극한 기상·기후 현상은 노출되고 취약한 인간계 및 자연계와 상호작용 하면서 재해를 초래할 수 있다. 이 특별보고서는 기후변화 적응을 향상시키기 위해 극한 기후의 위험을 이해하고 관리하는 문제를 탐구한다. 기상 재해와 기후 재해는 물리적 차원뿐 아니라 사회적 차원의 문제이기도 하다. 그 결과, 물리적 현상의 빈도 및 심각도의 변화는 재해위험에 영향을 준다. 공간적으로 다양하고 시간적으로 역동적인 노출 및 취약성 패턴도 마찬가지로 재해위험에 영향을 준다. 일부 유형의 극한 기상기후 현상은 빈도나 규모가 증가하였지만, 재해위험의 결과로 인한 인구 및 자산의 위험도 증가하였다. 기상 및 기후 관련 재해를 관리할 기회는 국지 규모부터 국제 규모까지 어떤 규모로나 존재하고 또는 발생할 수 있다. 기후변화를 효과적으로 관리하고 적응하기 위한 전략들 중에는 현재 활동들에 맞춘 전략도 있고 변혁, 즉 근본적인 변화를 요하는 것들도 있다.

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC))는 기후 자연과학; 영향, 적응 및 취약성; 기후변화 완화를 포함한 기후변화 평가를 선도하는 국제 단체이다. IPCC는 기후변화 및 그것의 잠재적 환경영향 및 사회경제적 영향에 대한 현재 지식수준의 포괄적 평가를 세계에 제공하고자 유엔환경프로그램(UNEP)과 세계기상기구(WMO)에 의해 설립되었다.

표지 사진: 2009년 3월 24일, 충칭시 변두리에서 한 농부가 가뭄에 말라붙은 논에서 일하고 있다. 파일사진. 저작권©Reuters.

표지 디자인: David Levy

기후변화 적응을 위한
극한현상 및 재해 위험 관리

CAMBRIDGE

발간등록번호
11-1360000-00858-14

기후변화 적응을 위한 극한현상 및 재해 위험 관리



기후변화에 관한 정부간 협의체의
특별보고서

ipcc

WMO UNEP

"As a UN body the IPCC publishes reports only in the six official UN languages. This translation of the IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation is therefore not an official translation by the IPCC. It has been provided by the Korea Meteorological Administration with the aim of reflecting in the most accurate way the language used in the original text."

이 보고서는 제34차 IPCC 총회('11.11.18~19., 우간다 캄팔라)에서 최종 승인 및 채택된
극한현상 및 재해 위험관리 IPCC 특별보고서를 기상청에서 번역한 자료입니다.

원본 출처 : **IPCC 홈페이지(http://www.ipcc.ch)**

기후변화 적응을 위한 극한현상 및 재해 위험 관리
(MANAGING THE RISKS OF EXTREME EVENTS AND DISASTERS TO ADVANCE CLIMATE CHANGE ADAPTATION)

기후변화에 관한 정부간 협의체의 특별보고서
(SPECIAL REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE)

극한기상 및 기후 현상은 인간계 및 자연계와 상호작용 하면서 재해로 이어질 수 있다. 본 특별보고서는 기후변화 적응을 증진하기 위해 극한기후의 위험을 이해 및 관리하는 문제를 탐구한다. 기상 관련 재해와 기후 관련 재해는 물리적 차원뿐 아니라 사회적 차원의 문제를 야기한다. 결과적으로 물리적 현상의 빈도 및 심각도의 변화는 재해 위험에 영향을 주며, 공간상 다양하고 시간상 동적인 노출 및 취약성 패턴 역시 그렇다. 일부 유형의 극한기상·기후 현상은 빈도 또는 규모가 증가하였고, 위험에 처한 인구와 자산도 재해 위험의 결과와 함께 증가하였다. 기상 및 기후 관련 재해의 위험을 관리할 기회는 지역 규모부터 국제 규모까지 어떤 규모에나 존재하고 혹은 개발될 수 있다. 효과적으로 위험을 관리하고 기후변화에 적응하기 위한 전략들 중 어떤 것들은 현재 활동들에 맞춘 조정을 요한다. 또한 특정 전략들은 변환 혹은 근본적인 변화를 요한다.

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)는 기후의 물리과학; 영향, 적응 및 취약성; 기후변화의 완화 등 기후변화를 평가하기 위한 선도적인 국제단체이다. IPCC는 기후변화와 기후변화의 잠재적 환경 및 사회경제 영향에 대한 현재 지식수준을 포괄적으로 평가해 전 세계에 제공하기 위하여 국제연합 환경 프로그램(United Nations Environment Programme, UNEP)과 세계 기상 기구(World Meteorological Organization, WMO)에 의해 설립되었다.

기후변화 적응을 위한 극한현상 및 재해 위험 관리
(MANAGING THE RISKS OF EXTREME EVENTS AND DISASTERS TO ADVANCE CLIMATE CHANGE ADAPTATION)

기후변화에 관한 정부간 협의체의 특별보고서
(SPECIAL REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE)

편 집:

Christopher B. Field
제2실무그룹 공동의장,
카네기 과학연구소
(Co-Chair Working Group II Carnegie Institution for Science)

Vicente Barros
제2실무그룹 공동의장,
해양대기연구소/
부에노스아이레스 대학교
(Co-Chair Working Group II CIMA / Universidad de Buenos Aires)

Thomas F. Stocker
제1실무그룹 공동의장,
베른대학교
(Co-Chair Working Group I University of Bern)

Qin Dahe
제1실무그룹 공동의장,
중국 기상청
(Co-Chair Working Group I China Meteorological Administration)

David Jon Dokken

Kristie l. Ebi

Michael D. Mastrandrea

Katharine J. Mach

Gian-Kasper Plattner

Simon K. Allen

Melinda Tignor

Pauline M. Midgley

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

캠브리지 대학교 출판국
Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore,
Sao Paulo, Delhi, Tokyo, Mexico City

캠브리지 대학교 출판국
32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA

www.cambridge.org
이 표제에 대한 정보: www.cambridge.org/97811 07607804

ⓒ Intergovernmental Panel on Climate Change 2012

본 출판물은 저작권을 가집니다. 본 출판물은 법으로 지정한 예외 사항 및 관련 집단 라이선스 협약(collective licensing agreements)이 적용되며, 캠브리지 대학교 출판국의 서면허가 없이 복제할 수 없습니다.

최초 발행: 2012년

인쇄: 미국

본 출판물의 카탈로그 기록은 영국도서관(British Library)에서 확인할 수 있습니다.

양장본 ISBN 978-1-107-02506-6
문고본 ISBN 978-1-107-60780-4

캠브리지 대학교 출판국은 본 출판물 안에 인용된 외부 웹사이트 또는 제3자 웹사이트의 지속성이나 정확성에 대하여 책임을 지지 않으며, 해당 웹사이트에 있는 내용이 정확하거나 적절한지, 또는 향후에도 지속적으로속 정확하거나 적절할지 여부에 대하여 보증하지 않습니다.

본 책자는 SFI (Sustainable Forestry Initiative; 지속가능 산림 협회)의 인증을 받은 제분소 및 유통자에게서 나온 중성지에 인쇄되었습니다. 본 책자는 FSC CoC의 인증을 받았습니다.

본 책자의 전 분량을 인용할 때는 다음 인용문구를 사용하십시오.

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp."

목 차

제1부 서문 x
추천사 xi

제2부 정책결정자를 위한 요약보고서(SPM) 3

제3부
제1장 기후변화: 재해위험, 노출, 취약성 및 복원력의 새로운 차원 25
제2장 위험의 결정인자: 노출과 취약성 61
제3장 극한기후의 변화와 이들이 물리적 자연 환경에 미치는 영향 103
제4장 극한기후의 영향 변화: 인간계와 생태계 217
제5장 지역 수준의 극한기후 위험 관리 273
제6장 국가적 극한기후 및 재해 위험관리 시스템 319
제7장 위험 관리: 국제적 수준 및 규모의 통합 369
제8장 지속 가능하고 복원력 있는 미래를 향하여 409
제9장 사례 연구 455

제4부
부속서 I 저자 및 전문 검토자 507
부속서 II 용어집 515
부속서 III 약어 525
부속서 IV 주요 IPCC 보고서 목록 529
색인 533

I

서문과 추천사

서문

'기후변화 적응을 위한 극한현상 및 재해 위험 관리에 관한 특별보고서(Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation; SREX)는 IPCC의 제1실무그룹(WGI)과 제2실무그룹(WGII)이 공동 총괄하였다. 이 보고서는 기후변화와 극한기후 현상 사이의 관계, 그러한 현상의 영향, 그리고 관련 위험의 관리전략에 초점을 맞춘다.

IPCC는 인간에 의한 기후변화의 위험, 잠재적 영향, 그리고 적응 및 완화 대안의 과학적 근거를 이해하는 데 기여하기 위해 모든 관련 과학적, 기술적, 사회경제적 정보들을 포괄적이고 객관적이고 투명한 방식으로 평가하기 위하여 1988년에 세계 기상 기구(WMO)와 국제연합 환경 프로그램(UNEP)이 공동 설립하였다. 1990년대부터 IPCC는 일련의 평가보고서(Assessment Reports), 특별보고서(Special Reports), 기술보고서(Technical Papers), 방법론(methodologies) 및 기타 주요 문서들을 발행해 왔고 이 문서들은 이후에 정책결정자와 과학자들에게 표준 참고문헌으로 사용되고 있다.

본 보고서는 특히 극한기상 및 기후 현상에 대처하는 불확실성 하의 위험관리 대응을 분석을 통한 의사결정에 기여한다. 본 보고서는 총 9개의 장으로 구성되어 있고, 위험관리; 극한기상 및 기후 현상에서 관측 및 예측된 변화; 그러한 현상에 대한 노출과 취약성 및 그런 현상으로 인한 손실; 지역 및 국제 규모의 적응 대안; 위험 조정에서 지속가능 개발의 역할; 및 구체적 사례연구에서 통찰된 사항을 다룬다.

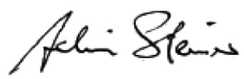
본 보고서는 다분야를 대표하는 전세계 전문가 수백 명의 지식과 노력, 열정과 협동을 통해 개발되었다. 우리는 본 보고서 제작에 무수한 전문지식과 시간, 그리고 노력을 기울인 모든 총괄 대표저자, 대표저자, 기여저자, 감사자, 전문가 및 정부 측 검토자들에게 깊은 감사를 표하는 바이다. IPCC 프로세스에 최선을 다해준 그들에게 깊이 감사하는 바이며, 제1실무그룹 기술지원단, 제2실무그룹 기술지원단 및 IPCC 사무국 직원들에게도 IPCC 특별보고서의 개발에 헌신해주신 점에 대해 깊은 감사를 표하는 바이다.

본 작업에 참여하는 내국 과학자들을 지원해준 각국 정부와 IPCC 신탁기금(IPCC Trust Fund)에 출자하여 개도국 전문가들의 중요한 참여를 촉진시켜준 분들께도 감사 드린다. 또한 이 보고서의 초고 회의를 자국에서 개최해준 오스트레일리아, 파나마, 스위스 및 베트남 정부와 이 보고서가 승인된 제1실무그룹 및 제2실무그룹 1차 합동회의를 캄팔라에서 개최한 우간다 정부에게도 감사를 표한다. 각각 제1실무그룹 기술지원단과 제2실무그룹 기술지원팀에게 자금지원을 해준 스위스 정부와 미국 정부에게도 감사를 표한다. 오리지날 보고서 제안서를 작성하는 데 협조해준 노르웨이 정부와 UN 재해감소 국제전략(United Nations International Strategy for Disaster Reduction; ISDR)에게도 감사를 표한다. 노르웨이 정부는 회의와 아웃리치를 위한 뜻깊은 지원도 제공해주었다.

IPCC 프로세스를 지휘하고 이끌어준 IPCC 의장 Dr. Rajendra Pachauri와 이 특별보고서를 개발하는 내내 탁월한 리더십을 보여준 제2실무그룹과 제1실무그룹의 공동의장 Vicente Barros 교수, Christopher Field 교수, Qin Dahe 교수 및 Thomas Stocker 교수에게 특별히 감사를 표한다.



M. Jarraud
사무총장(Secretary-General)
세계기상기구(World Meteorological Organization)



A. Steiner
상임이사 (Executive Director)
UN 환경프로그램 (United Nations Environment Programme)

추천사

본 '기후변화 적응을 위한 극한현상 및 재해 위험 관리에 관한 특별보고서(Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation)'는 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)의 특별보고서로, 제1실무그룹과 제2실무그룹의 협업을 통해 개발되었다. 본 보고서의 IPCC 지휘팀은 2013년과 2014년에 발행 예정인 IPCC 5차 평가보고서도 담당하고 있다.

본 특별보고서는 과학계에 극한기상 및 기후 현상 위험 관리의 3대 측면의 전문지식을 다룬다. 본 보고서를 위해 재해복구 커뮤니티, 재해 위험 관리 커뮤니티, 그리고 IPCC에 새롭게 합류한 재해 위험감소 커뮤니티의 전문가들은 기후변화의 물리과학 기초(제1실무그룹) 분야와 기후 영향, 적응 및 취약성 (제2실무그룹) 분야의 전문가들과 협업하였다. 2년 이상에 걸쳐 정보를 평가하고 보고서를 작성하는 과정에서 이 세 커뮤니티의 과학자들은 공통의 목표와 결과물을 구축하였다.

극한기상 및 기후 현상은 지난 IPCC 평가들에 있어 매우 중요한 사안이었다. 극한 현상은 재해에 기여할 수 있지만 재해 위험은 물리적 유해 이상의 것들에게 영향 받는다. 재해위험은 재해위험의 물리적 기여인자인 기상 또는 기후 현상들이 인간 측 기여인자인 노출 및 취약성과 상호작용 하여 출현한다. 재해는 심각한 결말, 희귀성, 인간, 및 물리적 결정인자들이 복합되어 있어 연구하기가 어렵다. 이 현상들의 과학, 이 현상들의 영향 그리고 이 현상들의 대처 대안이 포괄적 평가가 가능할 만큼 어느 정도 성숙된 것은 불과 몇 년 전부터이다. 이 보고서는 포함된 문헌들의 마감시한인 2011년 5월 현재의 과학적, 기술적, 사회 경제적 지식들을 신중히 평가한 결과를 담고 있다.

IPCC는 본 특별보고서에서 몇 가지 중요한 혁신을 꾀하였다. 첫 번째 혁신은 제1실무그룹, 제2실무그룹 및 재해 위험 관리 커뮤니티에서 다룬 분야들의 기술과 관점을 하나의 특별보고서에 통합하였다는 것이다. 두 번째 혁신은 본 보고서의 주안점을 '적응'과 '재해 위험 관리'에 두었다는 것이다. 마지막 세 번째 혁신은 야심찬 외부 지원 노력을 계획했다는 것이다. 이러한 혁신과 보고서 내 모든 관점의 기저에는 정책을 규정하는 방식이 아닌, 정책과 유관한 방식으로 과학을 평가하기 위한 최선의 노력이 담겨 있다.

프로세스

본 특별보고서는 수백 명의 일류 전문가들의 노력을 통해 탄생하였다. 2008년 8월, 노르웨이 정부와 UN 재해감소 국제전략(UN ISDR)은 이 보고서의 제안서를 IPCC에 제출하였다. 그 후 2009년 3월, 윤곽을 잡기 위한 범위설정 회의가 열렸다. 2009년 4월에 개략적인 내용이 승인된 후, 정부들과 관찰 조직들(observer organizations)은 저자팀을 구성할 전문가들을 추천하였다. 87명의 총괄 대표저자와 대표저자 그리고 19명의 감수자로 구성된 저자팀이 제2실무그룹 및 제2실무그룹 국(WGI and WGII Bureaux)에서 승인되었다. 그 외에도 기여저자 140명이 보고서 초고와 정보를 저자팀들에게 제출하였다. 보고서 초안은 공식 검토용으로 두 번 회람되었다. 1차는 전문가들에게 그리고 2차는 전문가와 정부들에게 회람되어 18,784건의 검토의견이 수집되었다. 저자팀들은 모든 의견에 응답하였고, 과학적으로 적절한 경우에는 의견에 응하여 초고를 수정하였으며, 감수자들이 그 과정을 감독하였다. 수정된 보고서는 심의를 위해 2011년 11월 14일부터17일까지 제1실무그룹과 제2실무그룹의 1차 합동회의에서 발표되었다. 이 합동회의에서 100개국 이상의 대표들은 정책결정자를 위한 요약보고서(Summary for Policymakers; SPM)을 한 줄 한 줄 평가해 만장일치로 승인하고 종합보고서(full report)를 인정하였다.

특별보고서의 구조

본 보고서는 정책결정자를 위한 요약보고서(SPM)과 아홉 개의 장으로 구성되어 있다. SPM의 참고문헌들은 모든 주요 소견의 추적 가능한 설명을 담고 있는 기술적인 내용의 장들의 보충 절들을 가리킨다. 처음 두 장은 본 보고서의 발판을 다진다. 1장에서는 극한기후 현상이라는 문제를 위험 이해 및 관리의 도전 과제로 설정한다.

1장에서 '위험'은 기폭제인 물리적 현상이 인간과 자산의 노출 및 취약성과 중첩됨으로써 나타나는 것으로 분석된다. 2장에서는 노출과 취약성의 결정인자를 심층 탐구하고, 모든 재해는 사회적 차원과 물리적 차원을 갖는 것으로 결론 내린다. 제1실무

그룹이 주로 기여한 3장에서는 극한기상 및 기후 현상에서 관측/예측된 변화를 평가하고, 가능한 경우 그 변화의 원인규명에 관한 학술문헌들을 평가한다. 4장에서는 관측된 영향과 예측된 영향을 부문별, 지역별 패턴을 고려하면서 평가한다. 5장부터 7장에서는 지방 규모 (5장), 국가 규모 (6장), 국제 규모 (7장)에서의 문제와 기회에 초점을 맞춰, 극한현상과 재해에 대한 적응의 경험 및 이론을 평가한다. 8장에서는 지속가능 개발, 취약성 감소 및 재해 위험 사이의 상호작용을 기회와 제약을 고려하면서 평가하고, 제약 극복에 관련된 변환의 종류도 평가한다. 9장에서는 실제 복잡성의 역할을 보여주는 일련의 사례연구를 개발하고 위험관리의 중요한 진척들의 예를 제시한다.

감사의 글

우리는 모든 총괄 대표저자, 대표저자, 기여저자, 감사자, 전문가 및 정부 검토자들에게 깊은 감사를 표하는 바이다. 그들의 전문지식, 헌신, 노력, 시간 투자가 없었다면 이러한 품질의 보고서는 결코 개발되지 못했을 것이다. 우리는 또한 본 보고서를 작성하는 동안 연구1그룹 및 2그룹 구성원들이 보여준 지원, 지혜, 호의에도 진심으로 감사하는 바이다.

특히 제1실무그룹 및 제2실무그룹의 뛰어난 기술지원단 팀원들이 보여준 전문성, 창의성, 헌신에 감사를 표하는 바이다. 제1실무그룹의 Gian-Kasper Plattner, Simon Allen, Pauline Midgley, Melinda Tignor, Vincent Bex, Judith Boschung, and Alexander Nauels에게 감사를 표한다. 보급과 전반적인 조정을 맡은 제2실무그룹에서 Dave Dokken, Kristie Ebi, Michael Mastrandrea, Katharine Mach, Sandy MacCracken, Rob Genova, Yuka Estrada, Eric Kissel, Patricia Mastrandrea, Monalisa Chatterjee, and Kyle Terran에게 감사를 표한다. 본 특별보고서를 조정하기 위해 그들이 발휘한 유능함, 그리고 노력 덕분에 과학적으로 매우 수준 높은 최종 결과물이 나왔고, 협력적이고 서로 존중하는 분위기가 유지될 수 있었다.

IPCC 사무국 직원 Renate Christ, Gaetano Leone, Mary Jean Burer, Sophie Schlingemann, Judith Ewa, Jesbin Baidya, Joelle Fernandez, Annie Courtin, Laura Biagioni, and Amy Smith Aasdam에게도 감사를 표한다. 또한 Francis Hayes (WMO), Tim Nuthall (European Climate Foundation), and Nick Nutall (UNEP)에게도 감사를 표한다.

전문가 회의, 네 차례의 대표저자 회의 및 승인 회의를 주최하고 개최한 분들에게도 감사를 표한다. 우리는 주최국들, 노르웨이, 파나마, 베트남, 스위스, 오스트레일리아, 우간다의 지원에 진심으로 감사한다. 이 특별보고서가 나오기까지 끊임 없이 지원해 준 노르웨이 정부에 특히 감사를 표한다.

Vicente Barros and Christopher B. Field
IPCC 제2실무그룹 공동의장

Qin Dahe and Thomas F. Stocker
IPCC 제1실무그룹 공동의장

II

정책결정자를 위한 요약보고서

SPM

정책결정자를 위한 요약보고서

저자:

Simon K. Allen, Vicente Barros, Ian Burton, Diarmid Campbell-Lendrum, Omar-Dario Cardona, Susan L. Cutter, O. Pauline Dube, Kristie L. Ebi, Christopher B. Field, John W. Handmer, Padma N. Lal, Allan Lavell, Katharine J. Mach, Michael D. Mastrandrea, Gordon A. McBean, Reinhard Mechler, Tom Mitchell, Neville Nicholls, Karen L. O'Brien, Taikan Oki, Michael Oppenheimer, Mark Pelling, Gian-Kasper Plattner, Roger S. Pulwarty, Sonia I. Seneviratne, Thomas F. Stocker, Maarten K. van Aalst, Carolina S. Vera , Thomas J. Wilbanks

이 정책결정자를 위해 본 요약서를 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝히기 바람:

IPCC, 2011: Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C. B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M. and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

A 배경

정책결정자를 위한 이 요약서는 “기후변화 적응을 위한 극한현상 및 재해 위험 관리” 특별 보고서(SREX)의 주요 결과물을 담고 있다. SREX는 기후변화와 극한 기상·기후 현상(“극한기후”) 간의 관계에서부터 이들 현상이 사회와 지속가능한 발전에 미치는 영향에 이르는 폭넓은 문제에 대한 과학 문헌을 평가함으로써 주제에 접근한다. 영향과 재해를 유발할 수 있는 기후와 환경, 인적 요인들의 상호작용, 영향 및 재해로 인한 위험을 관리하기 위한 옵션, 그리고 영향을 결정함에 있어 비-기후 요인들의 중요한 역할이 평가되었다. BOX SPM.1은 SREX의 핵심 개념을 정의한 것이다.

극한 기후로 인한 영향의 특성과 심각성은 극한기후 그 자체뿐만 아니라, 노출 및 취약성에 의해서도 좌우된다. 이 보고서에서는 악영향이 공동체나 사회의 정상적 기능에 광범위한 피해나 심각한 변화를 야기할 때, 그것을 재해로 간주한다. 극한기후, 노출, 취약성은 인위적 기후변화, 자연적 기후 변동성, 사회경제적 발전을 포함하는 광범위한 요인들의 영향을 받는다(Figure SPM.1). 재해 위험 관리와 기후변화 적응은 비록 위험을 완전히 제거할 수 없다 하더라도, 극한기후의 잠재적 악영향에 대한 노출과 취약성을 줄이고 복원력을 증가시키는 데 중점을 둔다(Figure SPM.2). 이 보고서에서는 기후변화의 완화를 중점적으로 다루지는 않으나, 적응과 완화는 상호보완 가능하며 기후변화의 위험을 크게 줄일 수 있다. [SYR AR4, 5.3]

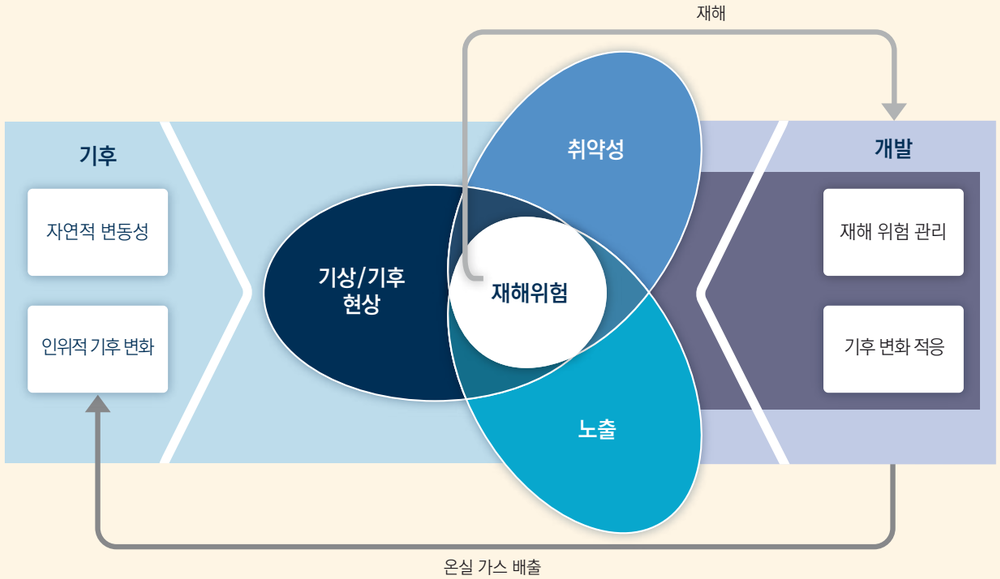


그림 SPM.1 | SREX의 핵심 개념. 보고서는 기상·기후 현상에 대한 노출과 취약성에 의해 영향, 재해 가능성(재해 위험)이 어떻게 나타나는 지를 평가한다. 보고서는 인간 사회와 자연 생태계의 노출과 취약성은 물론, 자연적 기후 변동성과 인위적 기후변화가 극한기후에 미치는 영향과 재해에 기여할 수 있는 다른 기상·기후 현상도 평가한다. 또한, 보고서는 노출과 취약성 추세에서 개발의 역할, 개발이 재해 위험에 미치는 영향, 재해와 개발 간의 상호작용을 고찰한다. 보고서는 재해 위험 관리와 기후변화에 대한 적응이 기상·기후 현상에 대한 노출과 취약성을 감축시킴으로써 어떻게 재해 위험을 줄이고 제거 불가능한 위험에 대한 복원력을 증가시킬 수 있는지 검토한다. 개발이 온실가스 배출 및 인위적 기후변화에 미치는 영향과 인위적 기후변화의 완화 가능성을 비롯한 다른 중요한 과정들은 본 보고서의 범위를 크게 벗어난다. [1.1.2, 그림 1-1]

Box SPM.1 | SREX의 주요 용어 정의

보고서 전반에 걸쳐 사용된 주요 핵심 개념은 SREX 용어집[1]에서 정의된 것으로 다음과 같다:

기후변화: 기후 상태의 변화가 기후 특성의 평균 및/또는 변동성의 변화를 통해 (예: 통계 검정을 사용) 확인 가능하고 보통 수십 년 이상 장기 지속되는 것. 기후변화는 자연적인 내부 과정이나 외부의 강제력으로 인해 일어날 수 있고 대기 조성 또는 토지 사용의 인위적 변화가 지속됨으로써 일어날 수도 있다.[2]

극한기후(극한 기상·기후 현상): 기상 또는 기후 변수에 대하여 관측된 값들의 범위의 상한 (또는 하한) 근처 임계값보다 높은 (또는 낮은) 변수의 값이 출현하는 것. 단순화를 위해, 극한 기상 현상과 극한기후 현상을 “극한기후”로 통칭한다. 상세한 정의는 3장, 3.1.2절에 제공된다.

노출: 사람, 생계수단, 환경 서비스 및 자원, 기반시설이나 경제적, 사회적 또는 문화적 자산이 악영향을 받을 수 있는 장소에 존재하는 것.

취약성: 악영향을 받게 될 성향 또는 경향

재해: 위험한 물리적 현상들과 취약한 사회적 조건들 간의 상호작용으로 인해 공동체나 사회의 정상적 기능이 심각하게 변하고, 그 결과 중대한 인간 욕구를 충족시키기 위해 즉각적인 비상 대응이 필요하며, 회복을 위한 외부 지원이 필요할 수도 있어 궁극적으로 광범위한 인적, 물질적, 경제적, 환경적으로 유해 결과가 초래되는 것.

재해 위험: 중대한 인간 욕구를 충족시키기 위해 즉각적인 비상 대응이 필요하고 회복을 위한 외부 지원이 필요할 수도 있는 광범위한 인적, 물질적, 경제적 또는 환경적 유해 결과를 초래하는, 위험한 물리적 현상들과 취약한 사회적 조건들 간의 상호작용에 의해 공동체 또는 사회의 정상적 기능에 심각한 변화가 일정 기간 지속될 가능성

재해 위험 관리: 인간 안전, 복지, 삶의 질, 복원력, 지속가능 발전의 증가라는 명백한 목적 하에, 재해 위험에 대한 이해를 증진시키고, 재해 위험 감축 및 전가를 촉진하며, 재해 대비, 대응, 복구 활동의 지속적 개선을 촉진하기 위한 전략과 정책 및 대책을 설계, 실행, 평가하는 과정.

적응: 인간 시스템에서는, 피해를 완화하거나 혜택의 기회를 이용하기 위한 목적으로 실제 혹은 예상되는 기후 및 그 영향을 조절하는 과정. 자연계에서는, 실제 기후 및 그 영향에 따른 조절 과정; 인간의 개입은 예상 기후에 따른 조절을 용이하게 할 수도 있다.

복원력: 시스템의 필수 기본 구조 및 기능을 확실히 보존, 복구, 개선하는 과정을 포함하여, 시기 적절하고 효율적인 방법으로 시스템과 그 구성 부분들이 위험 현상의 영향을 예상하고, 흡수, 수용, 회복하는 능력.

변환: 시스템(가치 체계; 규제, 법령 또는 관료 체제; 금융 기관; 기술적 또는 생물학적 체계 포함)의 기본 속성들을 변화시키는 것.

1.본 평가에 관련된 연구집단들의 다양성과 과학에서의 진보가 반영되었기 때문에, 본 특별 보고서에 사용된 정의들 중 일부는 AR4 및 다른 IPCC 보고서들에 사용된 정의들과 범위와 초점에서 차이가 있다.
2.이 정의는 UN 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)의 정의와 구분된다. UNFCCC에서는 기후변화를 다음과 같이 정의한다: “지구 대기 조성을 변화시키는 인간 활동에 직·간접적 원인이 있고, 그에 더해 상당한 기간 동안 관측된 자연적 기후 변동성에도 원인이 있는 기후의 변화”. 이와 같이, UNFCCC에서는 대기 조성을 변화시키는 인간 활동에 기인한 기후변화와 자연적 원인에 기인한 기후 변동성을 구분한다.

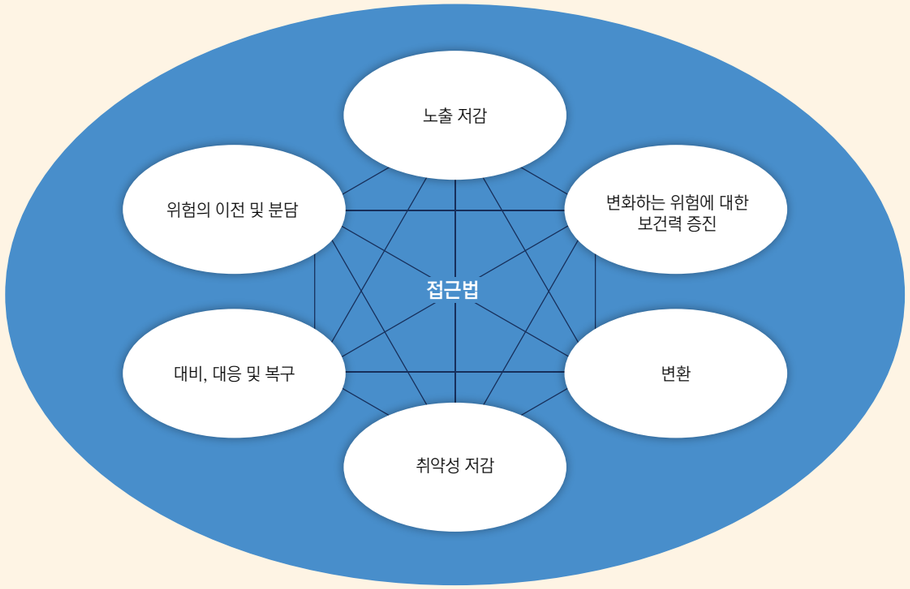


그림 SPM.2 | 변화하는 기후에 대응하여 재해위험을 줄이고 관리하기 위한 적응 및 재해 위험 관리 접근법. 이 보고서는 극한기후와 재해 위험을 줄이고 시간이 흘러 위험 정도가 변함에 따라 잔존하는 위험에 대한 복원력을 증가시킬 수 있는, 광범위한 상호 보완적 적응 및 재해 위험 관리 접근법들을 평가한다. 이 접근법들은 중복 가능하고 동시에 수행 가능하다. [6.5, 그림 6-3, 8.6]

극한기후로 인한 영향의 특성과 심각성은 극한기후 그 자체뿐 만 아니라, 노출 및 취약성에 의해서도 좌우된다. 이 보고서에서는 악영향이 공동체나 사회의 정상적 기능에 광범위한 피해와 심각한 변화를 야기할 때, 그것을 재해로 간주한다. 극한기후, 노출, 취약성은 인위적 기후변화, 자연적 기후 변동성, 사회경제적 발전을 포함하는 광범위한 요인들의 영향을 받는다(그림 SPM.1). 재해위험 관리와 기후변화에 대한 적응은 비록 위험이 완전히 제거될 수 없다 해도, 극한기후의 잠재적 악영향에 대한 노출과 취약성을 줄이고 복원력을 증가시키는 데 중점을 둔다(그림 SPM.2). 이 보고서에서 기후변화의 완화를 중점적으로 다루지는 않으나, 적응과 완화는 상호보완 가능하며 기후변화의 위험을 크게 줄일 수 있다. [SYR AR4, 5.3]

이 보고서는 기후 과학, 기후 영향, 기후변화에 대한 적응, 재해 위험 관리를 연구하는 탁월한 유수 연구집단의 견해를 통합한 것이다. 각 연구집단은 서로 다른 관점, 용어, 접근법, 목표를 가지고 있으며, 이 모두가 지식 기반 상태와 그 격차에 대한 중요한 통찰력을 제공했다. 많은 주요 평가 결과들이 이들 연구집단들 간의 교류로부터 도출되었으며, 이러한 교류에 의한 결과들은 표 SPM.1에서 볼 수 있다. 이 보고서에서는 주요 결과들의 확실성 정도를 정확하게 전달하기 위해 Box SPM.2에 소개된 바와 같이 보정된 불확실성 언어를 일관되게 사용한다. 이 정책결정자용 요약서의 주요 내용들의 근거는 괄호 안에 명시된 본 보고서의 장과 절에서 찾아볼 수 있다.

노출과 취약성은 위험이 실제 일어날 때 재해위험과 영향을 결정하는 주요 결정인자이다. [1.1.2, 1.2.3, 1.3, 2.2.1, 2.3, 2.5] 예를 들어, 열대 저기압은 언제 어디에 상륙하느냐에 따라 그 영향이 크게 달라질 수 있다. [2.5.1, 3.1, 4.4.6] 유사하게, 열파는 다

양한 인구집단의 취약 정도에 따라 매우 다른 영향을 미칠 수 있다. [Box 4-4, 9.2.1] 인간 시스템, 생태계, 물리계에 미치는 극단적 영향은 단일 극한 기상·기후 현상의 결과일 수 있다. 그러나 노출과 취약성이 높은 경우에는 비-극한 현상이 극단적 영향을 미칠 수도 있고[2.2.1, 2.3, 2.5], 여러 현상들과 그 영향이 복합적으로 작용하여 극단적 영향을 초래할 수도 있다. [1.1.2, 1.2.3, 3.1.3] 예를 들어, 폭염과 저습이 결부된 가뭄은 들불(wildfire)의 위험을 증가시킬 수 있다. [Box 4-1, 9.2.2] 극한 및 비-극한 기상·기후 현상은 복원력, 대응능력, 적응능력을 변화시킴으로써 미래의 극한현상에 대한 취약성에 영향을 미친다. [2.4.3] 특히, 지방 또는 국가단위 이하의 정부(sub-national) 수준에서의 재해의 누적 효과는 생계수단 옵션과 자원에, 그리고 미래 재해에 대비하고 대응하는 사회 및 공동체의 능력에 상당한 영향을 미칠 수 있다. [2.2, 2.7]

변화하는 기후는 극한 기상·기후 현상의 빈도, 강도, 공간 범위, 지속기간, 시기의 변화를 초래하면서, 전례가 없는 극한 기상·기후 현상을 야기할 수 있다. 극한의 변화는 평균, 분산 또는 확률 분포 형태를 변화시키거나 이 세가지 모두를 변화시킬 수 있다(그림 SPM.3). 어떠한 극한기후(예: 가뭄)는 개별적으로는 극한현상이 아닌 기상·기후 현상들이 누적되어 생긴 결과일 수도 있다. 많은 극한 기상·기후 현상은 여전히 자연적 기후 변동성의 결과일 것이다. 자연적 변동성은 기후의 인위적 변화의 효과와 더불어 미래 극한기후를 형성하는 중요한 인자가 될 것이다. [3.1]

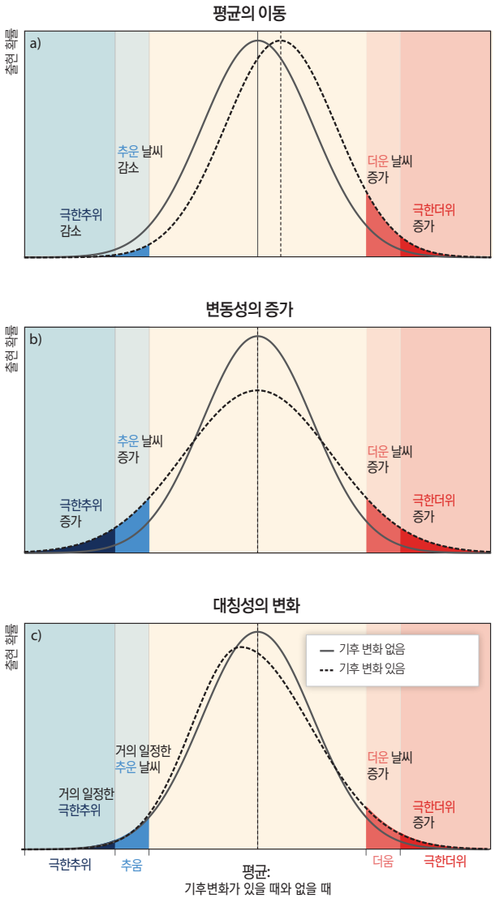


그림 SPM.3 | 극한에 대한 기온 분포 변화의 효과. 현재 기후와 미래 기후 간의 여러 가지 기온 분포 변화와 분포의 극한값에 대한 변화의 효과: (a) 보다 따뜻한 기후 쪽으로 분포 전체를 단순 이동시키는 효과; (b) 평균의 이동 없이 기온 변동성을 증가시키는 효과; (c) 분포 형태를 변형시키는 효과, 이 경우에는 분포가 변화하여 더 더운 쪽으로 치우친 비대칭성이 된다. [그림 1-2, 1.2.2]

B

노출, 취약성, 극한기후, 영향 및 재해 손실의 관측

극한기후의 영향과 재해의 가능성은 극한기후 그 자체와 인간 시스템 및 자연계의 노출과 취약성의 결과로 나타난다. 관측된 극한기후의 변화들은 기후 및 비-기후 요인들의 영향을 받는 노출 및 취약성의 변화와 함께, 자연적 기후 변동성은 물론 인위적 기후변화의 영향도 반영한다

노출과 취약성

노출과 취약성은 동적이고 시공간 규모에 따라 달라지며, 경제적, 사회적, 지리적, 인구통계적, 문화적, 제도적, 통치적, 환경적 요

인들에 좌우된다(높은 신뢰수준). [2.2, 2.3, 2.5] 개인과 공동체는 성별, 연령, 계급 및 기타 사회 문화적 특성 뿐 아니라 부, 교육수준, 장애, 건강상태를 통해 나타나는 차이에 따라서 노출의 정도와 취약성에서 차이가 난다. [2.5]

주거 양식, 도시화, 사회경제적 조건들의 변화는 모두 극한기후에 대한 노출과 취약성에서 관측된 경향성에 영향을 미친다(높은 신뢰수준). [4.2, 4.3.5] 예를 들어, 작은 섬들과 거대 삼각주를 포함하는 해안 주거지와 산악 주거지는 선진국과 개발도상국 모두에서 극한기후에 노출되고 취약하지만 지역과 국가 간에는 차이가 존재한다. [4.3.5, 4.4.3, 4.4.6, 4.4.9, 4.4.10] 급속한 도시화와 대도시의 성장은 특히 개발도상국에서 비공식 주거지와 부적절한 토지 관리로 인해, 매우 취약한 도시 공동체의 출현을 유발했다(높은 동의수준, 강한 증거수준). [5.5.1] 9.2.8 및 9.2.9의 사례 연구 참고. 취약한 인구집단에는 난민, 이주민, 경계 지역에서 살고 있는 사람들이 또한 포함된다. [4.2, 4.3.5]

극한기후와 영향

1950년 이래 수집된 관측결과로부터 일부 극한기후변화에 대한 증거가 도출되었다. 관측된 극한기후변화에 대한 신뢰수준은 지역과 극한기후에 따라 달라지는 자료의 질과 양, 그리고 이 자료를 분석하는 연구들의 가용성에 좌우된다. 지역적 또는 전지구 규모에서 관측된 특정 극한기후의 변화를 "낮은 신뢰수준"으로 지정할 경우 그것이 이 극한기후의 변화 가능성을 의미하는 것도 아니고 그 가능성을 배제하는 것도 아니다. 극한현상은 드물며, 이는 현상의 빈도나 강도 변화에 관한 평가를 수행함에 있어 사용할 수 있는 자료가 거의 없음을 의미한다. 현상이 드물수록 장기 변화의 확인은 더욱 어려워진다. [3.2.1] 특정 극한기후의 전지구적인 추세는 그 특정 극한기후의 지리적 균일성에 따라, 몇몇 지역규모 추세보다 신뢰도가 높을 수도 있고(예: 극한기온의 경우) 낮을 수도 있다(예: 가뭄의 경우). 1950년 이래 관측결과에 근거한 특정 극한기후에 대한 상세한 설명은 다음과 같다. [3.1.5, 3.1.6, 3.2.1]

전지구적 규모에서 볼 때, 한랭일 및 한랭야 일수[3] 의 전반적 감소와 온난일 및 온난야 일수[3]의 전반적 증가가 있었을 가능성이 매우 높다. 즉, 대부분의 육지 지역에 대해 충분한 자료가 존재한다. 북미, 유럽, 호주에서는 이 변화가 대륙 규모에서도 나타났을 가능성이 있다. 아시아의 많은 지역에서 극한 낮기온의 온난화 추세에 대한 신뢰수준은 보통이다. 아프리카와 남미에서는 극한 낮기온에서 관측된 추세에 대한 신뢰수준이 지역에 따라 대체로 낮은 신뢰수준부터 보통 신뢰수준까지 다양하다. 충분한 자료가 있는 세계의 (모든 지역은 아니지만) 많은 지역에서 온파(warm spell) 또는 열파3의 길이와 발생 횟수가 증가했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. [3.3.1, 표 3.2]

일부 지역에서는 호우 현상의 발생 횟수에서 통계적으로 유의한 추세가 나타났다. 이 지역들 중 보다 많은 지역이 감소보다는 증가를 경험했을 것으로 보이나, 이 추세는 지역과 소지역에 따라 변동이 크다. [3.3.2]

장기간(즉, 40년 이상) 관측된 열대 저기압 활동(즉, 강도, 빈도, 지속기간)의 증가는, 과거 관측 능력의 변화를 고려했을 때, 신뢰수준이 낮다. 주요 북반구 및 남반구 온대 폭풍 경로가 극지를 향해 이동했을 가능성이 있다. 토네이도 및 우박과 같은 국지적 현상에 대해 관측된 추세는 자료 불균일성과 모니터링 체계의 부적절성으로 인해 신뢰수준이 낮다. [3.3.2, 3.3.3, 3.4.4, 3.4.5]

세계 일부 지역, 특히 남유럽과 서아프리카에서는 더 강하고 더 긴 가뭄을 경험했으나, 몇몇 지역, 예를 들면 북미 중부와 호주 북서부에서는 가뭄이 덜 빈번해졌거나, 덜 강해졌거나, 더 짧아졌다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. [3.5.1]

3.다음 용어들의 정의에 대해서는 SREX 용어집을 참고할 것; 한랭일 /한랭야, 온난일 /온난야 및 온파 ·열파

지역 규모에서 홍수의 크기와 빈도에 대하여 관측된 기후로 인한 변화를 평가함에 있어 이용 가능한 증거는, 관측소에서 측정된 이용 가능한 홍수 계측 기록의 시공간적 한계와 토지이용 변화 및 공학기술의 복합 효과로 인해, 그 증거수준이 제한적이거나 보통이다. 더욱이, 이 증거수준에 대한 동의수준은 낮으며, 따라서 심지어 이들 변화의 징후에 관한 전지구적 규모에서의 신뢰수준도 전반적으로 낮다. [3.5.2]

평균 해수면의 증가와 관련하여 극한 연안 고조위의 증가가 있었을 가능성이 있다. [3.5.3]

일부 극한기후가 대기 중 온실가스 농도 증가를 비롯한 인위적 영향의 결과에 의해 변화했다는 증거가 있다. 인위적 영향이 전지구적으로 극한 일 최저 및 최고 기온의 온난화를 유발했을 가능성이 있다. 인위적 영향이 전지구적으로 호우 증가를 유발했다는 데 대한 신뢰 수준은 보통이다. 평균 해수면 증가에 기인한 극한 연안 고조위 증가에 대한 인위적 영향이 있었을 가능성이 있다. 과거 열대 저기압 기록들의 불확실성, 열대 저기압 계측값을 기후변화와 연관시키는 물리적 메커니즘에 대한 불완전한 이해, 그리고 열대 저기압 변동성의 정도로 인해 열대 저기압 활동에서 관측 가능한 변화의 원인을 인위적 영향으로 보는 데 대한 신뢰수준은 낮다. 단일 극한현상의 원인을 인위적 기후변화로 보기는 힘들다. [3.2.2, 3.3.1, 3.3.2, 3.4.4, 3.5.3, 표 3.1]

재해 손실

기상 및 기후 관련 재해로 인한 경제적 손실이 증가했지만, 증가에는 공간 및 경년 변동성이 존재했다(높은 동의수준, 보통 증거수준에 근거한 높은 신뢰수준). 지난 수십 년간 보고된 전지구 기상- 및 기후-관련 재해 손실은 주로 자산에 대한 직접적 손해를 금전적으로 환산해 나타낸 것인데 그 분포는 고르지 않다. 1980년 이래 연간 손해 추정액은(2010년 미 달러 가치로) 수십억 USD부터 2천억 USD 이상에 이르며, (허리케인 카트리나가 발생한 해였던) 2005년이 최고였다. 인명, 문화 유산, 생태계 서비스의 손실과 같은 영향들의 가치평가나 금전적 환산은 어렵기 때문에 손실 추정액에 잘 반영되지 못하며 따라서 손실 추정액은 하한 추정액이다. 간접적인 경제 효과는 물론 비공식적 또는 기록되지 않는 경제에 대한 영향은 일부 영역과 부문들에서 매우 중요할 수 있지만, 일반적으로 보고된 손실 추정액에는 포함되지 않는다. [4.5.1, 4.5.3, 4.5.4]

기상, 기후, 지구물리 현상[4]과 관련된 경제적 재해 손실(피보험액 포함)은 선진국에서 더 높다. 사망률과 GDP에 대한 비율로서 표현된 경제 손실은 개발도상국에서 더 높다(높은 신뢰수준). 1970~2008년 동안 자연 재해로 인한 사망의 95% 이상이 개발도상국에서 발생했다. 자산 기반이 급속히 팽창하는 중간소득 수준의 국가에는 큰 부담이 되었다. 2001~2006년 동안 제한된 증거수준에 근거할 때, 중간소득 수준의 국가에서는 손실이 GDP의 약 1%에 달했던 반면, 저소득 국가에서는 손실이 GDP의 약 0.3%, 고소득 국가에서는 손실이 GDP의 0.1% 미만이었다. 노출된 작은 국가들, 특히 개발도상의 소도서 국가에서 GDP에 대한 비율로서 표현된 손실이 특히 높았는데, 1970~2010년 동안 재해가 있었던 해와 없었던 해 모두를 포함하여 평균을 구했을 때 손실은 많은 경우에 1%를, 가장 극한 경우에 8%를 초과했다. [4.5.2, 4.5.4]

사람과 경제 자산의 노출 증가가 기상- 및 기후-관련 재해로 인한 경제 손실의 장기 증가의 주요 원인이었다(높은 신뢰수준). 부와 인구 증가를 감안한 경제적 재해 손실의 장기적 추세가 기후변화에 기인한 것은 아니었다. 그러나 기후변화의 영향이 배제된 것은 아니다(보통 증거수준, 높은 동의수준). 이 결론은 현재까지 연구의 한계에 달려있다. 취약성은 재해 손실의 중요 요인이지만 잘 설명되지 않는다. 다른 한계들은 다음과 같다: (i) 자료의 가용성. 이것은 대부분의 자료가 선진국의 표준 경제 부문들에 이용 가능하기 때문이다; (ii) 연구된 위험의 유형. 이것은 대부분의 연구가 저기압에 초점을 맞추고 있는데, 이 경우 관측된 추세와

4.이 단락에 기술된 경제 손실과 사망률은 기상, 기후, 지구물리 현상과 관련된 모든 재해에 관한 것이다.

변화의 원인을 인위적 영향으로 보는 데 대한 신뢰수준이 낮기 때문이다; (iii) 시간에 대하여 손실 자료를 조정하는 데 사용된 과정들; (iv) 기록의 길이. [4.5.3]

C 재해 위험 관리와 기후변화에 대한 적응: 극한기후에 대한 과거 경험

극한기후에 대한 과거 경험은 위험 관리를 위한 효과적인 재해 위험 관리 및 적응 접근법들을 이해함에 있어 도움이 된다.

극한기후 추세의 심각성은 이 극한기후에 대한 노출 및 취약성 수준에 크게 좌우된다(높은 신뢰수준). [2.1.1, 2.3, 2.5]

노출 및 취약성 추세는 재해 위험 변화의 주요 동인이다(높은 신뢰수준). [2.5] 노출과 취약성의 다측면적 본질을 이해하는 것은 기상·기후 현상이 재해 발생에 어떻게 기여하는지를 결정함에 있어, 그리고 효과적인 적응 및 재해 위험 관리 전략을 설계하고 실행함에 있어 필수적이다. [2.2, 2.6] 취약성 감축은 적응과 재해 위험 관리의 핵심적인 공통 요소이다. [2.2, 2.3]

개발 방식, 정책, 결과는 개발의 단점들로 인해 증가될 수도 있는 재해 위험을 구체적으로 설명함에 있어 매우 중요하다(높은 신뢰수준). [1.1.2, 1.1.3] 높은 노출과 취약성은 일반적으로 환경 파괴, 급하고 무계획적인 위험 지역의 도시화, 통치 실패, 빈민을 위한 생계수단 옵션 부족에 관련된 것과 같은, 잘못된 개발 과정의 결과로서 나타난다. [2.2.2, 2.5] 전지구적 상호연관성과 경제계와 생태계 간의 상호의존성 증가는 때때로 취약성과 재해 위험을 감축시키거나 증폭시키는, 대조되는 결과를 야기할 수 있다. [7.2.1] 국가가 국가 개발 및 부문 계획에 재해 위험의 고려사항을 포함시킨 경우, 그리고 국가가 기후변화 적응 전략을 채택한 경우, 그 국가는 이 계획과 전략을 취약 지역 및 집단을 표적으로 하는 대책들로 변형시키면서 보다 효과적으로 재해 위험을 관리하게 된다. [6.2, 6.5.2]

지방 수준에서 재해 및 재해 위험 감축에 대한 자료가 부족한 실정이며, 이로 인해 지방의 취약성 감축 개선이 제한될 수 있다(높은 동의수준, 보통 증거수준). [5.7] 전망되는 노출, 취약성, 극한기후변화에 대한 지식과 불확실성을 명백하게 통합하는 국가 재해 위험 관리 체계와 관련 위험 관리 대책의 예는 거의 없다. [6.6.2, 6.6.4]

불균형은 지방의 대응 및 적응 능력에 영향을 미치고, 지방 수준부터 국가 수준에 이르기까지 재해 위험 관리 및 적응에 어려움을 야기한다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 이 불균형은 사회경제적, 인구통계적, 건강-관련 차이와 통치의 차이, 생계수단에의 접근, 재정지원혜택 및 기타 요인들에서의 차이를 반영한다. [5.5.1, 6.2] 불균형은 국가들 간에도 존재한다: 선진국은 흔히 개발도상국보다 전망되는 노출, 취약성, 극한기후변화에 효과적으로 대응하고 적응하기 위한 확실한 대책을 채택하는 재정적 및 제도적 장치를 더 잘 갖추고 있다. 그럼에도 불구하고, 모든 국가는 전망되는 변화를 평가, 이해, 대응함에 있어 어려움에 직면한다. [6.3.2, 6.6]

재해 위험 감축 조치가 존재하지 않거나 불충분한 경우에는 인도주의적 구제가 필요하다(높은 동의수준, 강한 증거수준). [5.2.1] 규모가 작거나 경제적으로 덜 다각화된 국가일수록 재해 위험 관리에 관련된 공공재를 제공함에 있어, 극한기후로 인해 야기된 손실을 흡수함에 있어, 그리고 구제 및 재건 지원을 제공함에 있어 특히 어려움을 겪는다. [6.4.3]

재해-후 복구 및 재건은 기상 및 기후-관련 재해 위험을 감축시키고 적응 능력을 향상시킬 기회를 제공한다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 신속하게 주택 재건축을 하고, 기반시설을 재건하며, 생계수단을 복구하는 데 집중하는 것은 흔히 기존의 취약성을 재생하거나 심지어 증가시키고 복원력과 지속가능 발전을 강화하기 위한 장기 계획 및 정책 변경을 불가능하게 하는 방식으로 복구

가 이루어지게 한다. [5.2.3] 8.4.1 및 8.5.2의 평가 참고.

지방, 국가, 지역, 전지구적인 위험 분담 및 전가 체제들은 극한기후에 대한 복원력을 증가시킬 수 있다(보통 신뢰수준). 체제에는 비공식적 및 전통적 위험 분담 체제, 소액보험, 보험, 재보험과 국가, 지역, 전지구적 위험 공동대응이 포함된다. [5.6.3, 6.4.3, 6.5.3, 7.4] 이 체제들은 구호, 생계수단의 복구 및 재건을 재정적으로 지원하기 위한 수단들을 제공하고, 취약성을 감축시키며, 위험을 감축시키기 위한 지식 및 장려책을 제공함으로써 재해 위험 감축 및 기후변화 적응과 연결된다. [5.5.2, 6.2.2] 하지만, 어떤 조건 하에서는, 그러한 체제가 재해 위험의 감축을 억제할 수도 있다. [5.6.3, 6.5.3, 7.4.4] 공식적인 위험 분담 및 전가 체제의 활용은 지역과 위험에 대하여 불균일하게 분포된다. [6.5.3] 사례 연구 9.2.13 참고.

적응 및 재해 위험 관리 전략의 설계와 실행이 단기적으로는 위험을 감축시킬 수 있지만 장기적으로는 노출과 취약성을 증가시킬 수도 있다는 점에서, 노출과 취약성의 시공간적 역동성에 주목하는 것이 특히 중요하다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 예를 들어, 제방 시스템은 즉각적인 보호를 제공함으로써 홍수 노출을 감축시킬 수 있지만, 장기적으로는 위험을 증가시킬 수도 있는 주거 양식을 조장할 수 있다. [2.4.2, 2.5.4, 2.6.2] 1.4.3, 5.3.2 및 8.3.1의 평가 참고.

국가 체계가 노출, 취약성, 극한 기상·기후에서 관측되고 전망되는 추세의 도전에 대응하는 국가 역량의 핵심을 이룬다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 효과적인 국가 체계는 국가 및 국가단위 이하의 정부들, 민간 부문, 연구 기관들, 그리고 공동체-기반 단체들을 포함하는 시민 사회에 소속된 다수의 행위자로 구성되며, 이들은 용인되는 기능 및 능력에 따라 위험을 관리함에 있어 차별화되지만 보완적인 역할을 한다. [6.2]

재해 위험 관리와 기후변화 적응의 긴밀한 통합과 이 두 가지 요소를 개발정책 및 활동(지방, 국가 단위 이하의 정부, 국가, 국제)에 결합시킴으로서, 모든 범위에서 혜택을 제공할 수 있다(높은 동의수준, 보통 증거수준). [5.4, 5.5, 5.6, 6.3.1, 6.3.2, 6.4.2, 6.6, 7.4] 사회 복지, 삶의 질, 기반시설, 생계수단을 다루고 다중-위험 접근법을 재해 계획 및 대책에 단기적으로 편입시키는 것은, 국제적으로 점차 인정되고 있는 것과 같이, 궁극적으로 극한기후에 대한 장기 적응을 용이하게 한다. [5.4, 5.5, 5.6, 7.3] 전략과 정책은 다중 스트레스 요인들, 다양한 우선 가치들, 그리고 대립하는 정책 목표들을 인정할 때 보다 효과적이다. [8.2, 8.3, 8.7]

D 미래 극한기후, 영향 및 재해 손실

자연적 기후 변동성, 인위적 기후변화, 사회경제적 개발로 인한 노출, 취약성, 극한기후의 미래 변화가 자연계 및 인간 시스템에 대한 극한기후의 영향과 재해 가능성을 변화시킬 수 있다.

극한기후와 영향

극한기후의 방향 및 크기의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 극한의 유형, 지역 및 계절, 관측 자료의 질과 양, 기저 과정들에 대한 이해 수준, 모델의 모의 신뢰성을 비롯한 다양한 요인들에 좌우된다. 다양한 배출 시나리오[5]에서 전망된 극한 기후변화들은 대체로 향후 20~30년 동안은 크게 차이 나지 않지만, 이 징후들은 이 기간 동안의 자연적 기후 변동성에 비해 상대적으로 그 정도가 약하며, 심지어 이 기간 동안 전망된 몇몇 극한 기후변화의 징후는 불확실하기까지 하다. 21세기 말까지 전망된 변화에 대해

5. 방사성 물질에 대한 배출 시나리오들은 사회경제 및 기술 개발 경로들에 근거한다. 본 보고서에서는 "배출 시나리오에 관한 IPCC 특별 보고서(IPCC Special Report on Emissions Scenarios; SRES)"에 기술되고 추가적인 기후 사업들이 포함되지 않은, 2100년까지 확장된 40개 시나리오의 하위집합(B1, A1B, A2)이 사용된다. 이 시나리오들은 기후변화 전망에서 널리 사용되어 온 것으로서, 상당한 범위의 이산화탄소 상당 농도를 포괄하고 있지만 SRES에 포함된 시나리오들의 전 범위를 포함하고 있지는 않다.

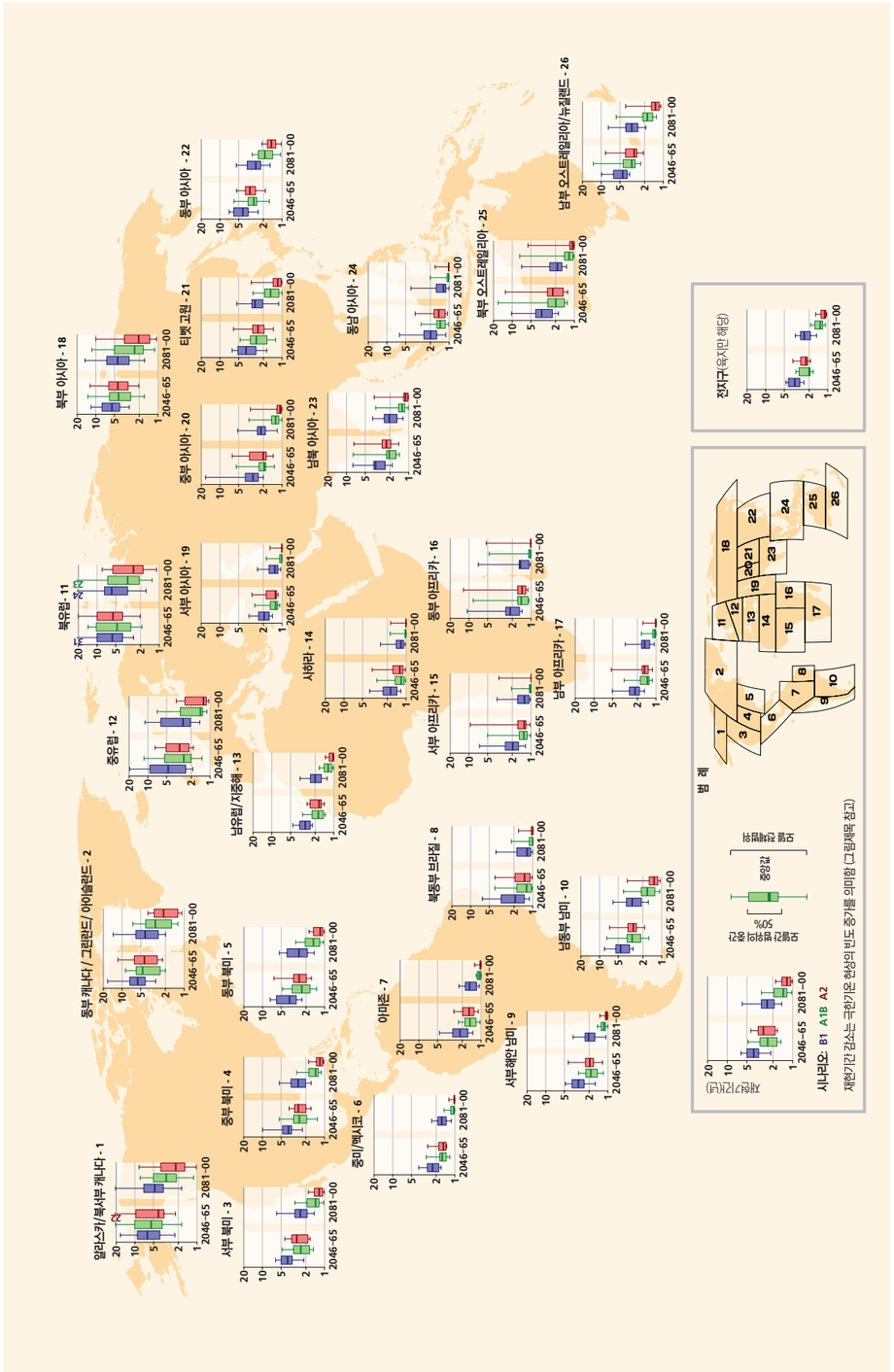


그림 SPM.4A | 20세기말(1981~2000년)의 20년 기간 동안 평균 1 회 초과되었던 일 최고기온에 대한 재현 주기 전망. 재현 주기의 감소는 극한 기온 현상이 더욱 빈번해짐(즉, 평균적으로 현상 발생 간의 간격이 짧아짐)을 의미한다. Box plots은 결과를 3가지 SRES 배출 시나리오(B1, A1B, A2)에 대한 지역 평균 전망 결과를 2046~2065년과 2081~2100년의 두 기간에 대하여 20세기 말과 비교하여 보여준다(범례 참고). 결과들은 "결합 모델 상호비교 프로젝트(Coupled Model Intercomparison Project)"의 3단계(CMIP3)에 사용된 12개 지구 기후 모델(GCM)에 기초한 것이다. 모델들 간의 일치 정도는 색칠된 Box의 크기(이 Box에는 모델 전망들의 50%가 포함된다)와 (모든 모델들로부터 얻은 최고 및 최저 전망치를 보여주는) 휘스커(whiskers)의 길이로 표시된다. 지역 범위의 정의에 대해서는 범례 참고. 값들은 오직 육지 지점에 대해서만 계산된 것이다. "지구(육지만 해당)"에 삽입된 Box는 모든 육지 격자점(grid points)을 사용하여 계산된 값들을 보여준다. [3.3.1. Fig. 3.1, Fig. 3.5]

서는, 극한현상에 따라 모델 불확실성이나 사용된 배출 시나리오들에 관련된 불확실성들이 우세해지기도 한다. 기후 시스템의 일시적이고 복잡한 특성을 고려할 때, 질 파악되지 않고 있는 기후 임계값들을 넘어섰을 때 발생할 수 있는 저-확률 고-영향 변화를 배제할 수 없다. 전망된 특정 극한현상에 대하여 "낮은 신뢰수준"을 부여한 것이 이 극한현상의 변화 가능성을 의미하는 것도 아니고 배제하는 것도 아니다. 다음 평가들은 21세기 말까지에 대한 전망의 발생가능성 및/또는 신뢰수준을 21세기 말 기후와 비교한 것이다 [3.1.5, 3.1.7, 3.2.3, Box 3.2]

모델을 통해 21세기 말까지 극한 기온의 온난화를 전망한다. 21세기에는 전지구 규모에서 극한 일기온의 온난화 빈도와 크기 증가 및 혹한의 감소가 발생할 것이 사실상 확실하다. 온파(warm spell) 또는 열파의 길이, 빈도 및/또는 강도가 대부분의 육지 지역에서 증가할 가능성이 높다. A1B 및 A2 배출 시나리오에 근거할 때, 20년 빈도로 출현한 일 최고기온이 21세기 말까지는 북반구 고위도 지역을 제외한 대부분 지역에서 2년 빈도로 출현할 가능성이 있다. 북반구 고위도 지역에서는 5년 빈도로 출현할 가능성이 있다(그림 SPM 3A 참고). B1 시나리오 하에서는, 20년 빈도로 출현한 일 최고 기온이 5년 빈도로 출현할 가능성이 있다(그리고 북반구 고위도 지역에서는 10년 빈도로 출현할 가능성이 있다). 20년 빈도로 출현한 극한 일 최고기온(즉, 1981~2000년 기간 동안 일 최고기온 값이 평균을 초과한 적은 단 한번이었음)이, 지역 및 (B1, A1B, A2 시나리오에 근거한) 배출 시나리오에 따라, 21세기 중반까지는 약 1℃~3℃, 21세기 말까지는 약 2℃~5℃ 증가할 가능성이 있다. [3.3.1, 3.1.6, Table 3.3, Figure 3.5]

21세기에는 지구상의 많은 지역에서 호우의 빈도 또는 총 강수량 대비 호우의 비율이 증가할 가능성이 있다. 이것은 특히 고위도 및 열대 지역에서, 그리고 북부 중위도 지역에서 겨울철에 해당될 수 있는 이야기이다. 지속적인 온난화로 인해 열대 저기압에 관련된 호우가 증가할 가능성이 있다. 일부 지역에서는, 그 지역의 총 강수량의 감소가 전망됨에도 불구하고 호우가 증가할 것이라는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 다양한 배출 시나리오(B1, A1B, A2)에 근거할 때, 20년 빈도로 출현한 연간 최대 일 강수량이 21세기 말까지는 많은 지역에서 5년~15년 빈도로 출현하게 될 가능성이 있다. 그리고 고배출 시나리오(A1B 및 A2)에 따르면, 대부분 지역에서 재현 주기의 강한 감소가 전망된다. 그림 SPM.4B 참고. [3.3.2, 3.4.4, 표 3.3, 그림 3.7]

평균 열대 저기압 최대 풍속은 증가할 가능성이 있지만, 이 증가가 모든 해양 분지에서 나타나지 않을 수도 있다. 열대 저기압의 전지구 빈도가 감소하거나 실질적으로 변하지 않고 유지될 가능성이 있다. [3.4.4]

각 반구에 대하여 평균된 온대 저기압 발생 횟수의 감소가 있을 것이라는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 온대 저기압 활동의 상세한 지리적 전망에 대한 신뢰수준은 낮은 반면, 온대 태풍 경로의 극지를 향한 이동 전망에 대한 신뢰수준은 보통이다. 토네이도 및 우박과 같은 국지적 현상의 전망에 대한 신뢰수준은, 대립하는 물리적 과정들이 미래 추세에 영향을 미칠 수도 있기 때문에, 그리고 현재 기후 모델이 그 현상을 시뮬레이션 하지 않기 때문에, 낮다. [3.3.2, 3.3.3, 3.4.5]

강수 감소 및/또는 증발산 증가로 인해, 일부 계절 및 지역에서 21세기에 가뭄이 증대할 것이라는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 이것은 남유럽 및 지중해 지역, 중앙 유럽, 북미 중부, 중미 및 멕시코, 브라질 북서부, 남아프리카를 비롯한 지역들에 적용된다. 다른 지역에서는, (모델 및 건조 지수에 의존한) 가뭄 변화 전망의 불일치성으로 인해 전반적으로 신뢰수준이 낮다. 정의 문제가 존재하고, 관측 데이터가 부족하며, 가뭄에 영향을 미치는 모든 요인을 모델들에 포함시킬 수 없기 때문에, 가뭄 전망에서는 보통보다 강한 신뢰수준이 불가능하다. 그림 SPM.5 참고. [3.5.1, 표 3.3, Box 3.3]

하천 홍수의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮지만, 강수 및 기온 변화 전망은 홍수 변화 가능성을 의미한다. 낮은 신뢰수준은 제한적 증거수준과 지역 변화의 원인들의 복잡성에 기인한 것이다. 하지만, 이 설명에는 예외가 존재한다. 전망되는 호우 증가가 일부 집수지 또는 지역에서 국지적 홍수 증가의 원인이 될 것이라는 데 대한 신뢰수준은 (물리적 추론에 근거할 때) 보통이다. [3.5.2]

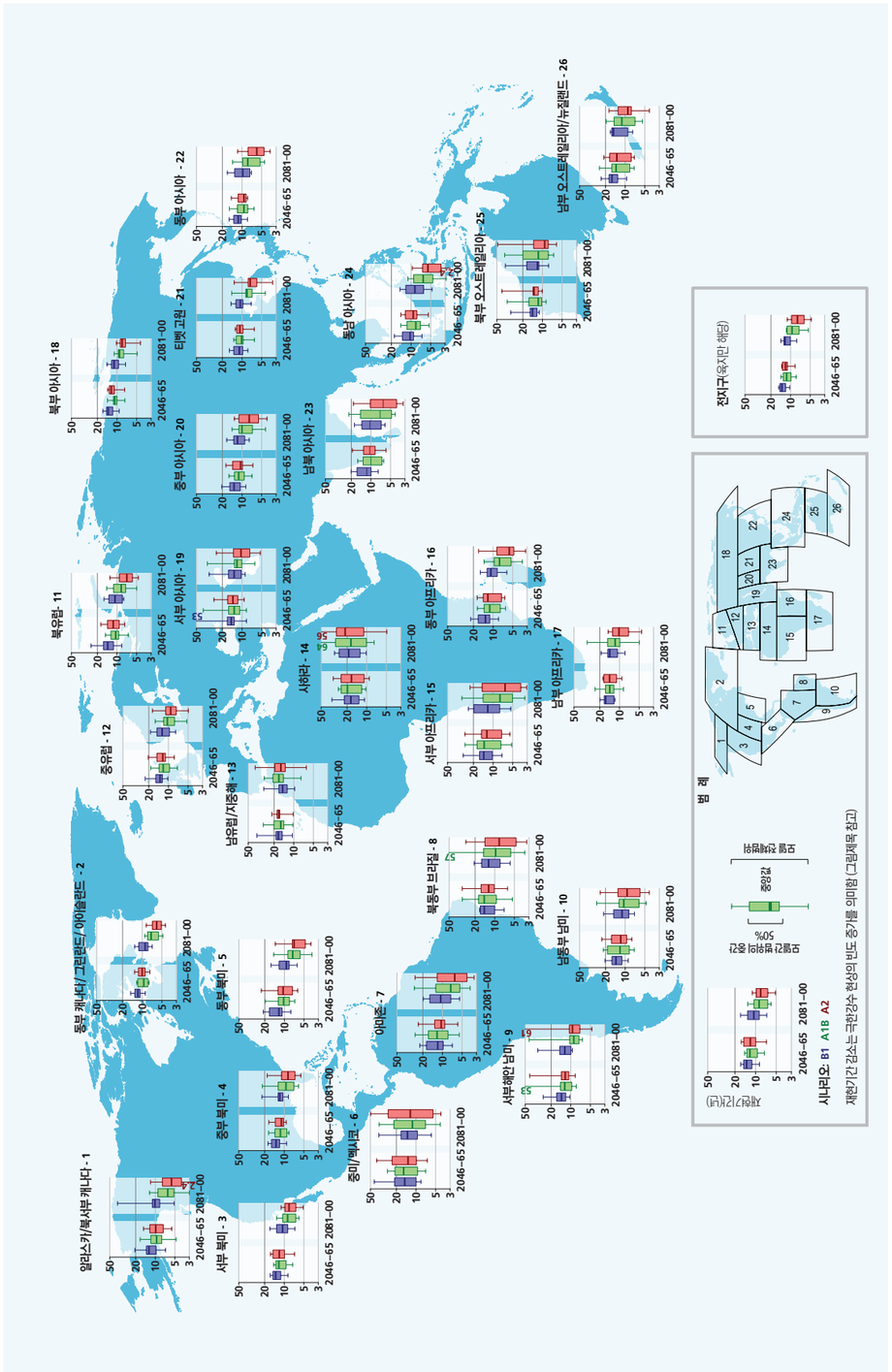


그림 SPM.4B | 20세기말의 20년(1981~2000년) 기간 동안 평균 1번 초과되었던 극한 일 강수 현상에 대한 재현 주기 전망. 재현 주기의 감소는 보다 빈번한(즉, 평균적으로 현상 발생 간의 간격이 짧아진) 극한 강수 현상을 의미한다. Box plots은 3가지 SRES 배출 시나리오(B1, A1B, A2)에 대한 지역 평균 전망 결과를 2046~2065년과 2081~2100년의 두 기간에 대하여 20세기 말과 비교 제시한다(범례 참고). 결과는 CMIP3에 사용된 14개 GCM에 기초한 것이다. 모델들 간의 일치 정도는 색칠된 Box의 크기(이 Box에는 모델 전망들의 50%가 포함된다)와 whiskers의 길이(모든 모델들로부터 얻은 최고 및 최저 전망치를 보여주는데 표시된다. 지역 범위의 정의에 대해서는 범례 참고. 값은 오직 육지 지점에 대해서만 계산된 것이다. "지구"에 삽입된 Box는 모든 육지 격자점(grid points)를 사용하여 계산된 값들을 보여준다. [3.3.2, Fig. 3.1, Fig. 3.7]

평균 해수면 상승이 미래에 극한 연안 고조위의 상승 추세에 기여할 가능성이 높다. 해안 침식 및 침수와 같은 악영향을 현재 경험하고 있는 장소들은, 모든 다른 기여 요인들이 동일하다면, 해수면 증가로 인해 미래에도 계속 그러할 것이라는 데 대한 신뢰수준은 높다. 극한 연안 고조위 상승에 대한 평균 해수면 상승의 높은 기여 가능성은, 열대 저기압 최대 풍속의 증가 가능성과 더불어, 열대 소도서 국가들에 있어 특수한 문제이다. [3.5.3, 3.5.5, Box 3.4]

열파, 빙하 후퇴 및/또는 영구동토 붕괴의 변화가 사면 불안정, 쇄설물의 이동, 빙하호 붕괴 홍수와 같은 고산 현상에 영향을 미칠 것이라는 데 대한 신뢰수준은 높다. 또한, 호우 변화가 일부 지역에서 산사태에 영향을 미칠 것이라는 데 대한 신뢰수준도 높다. [3.5.6]

자연적 기후 변동성의 대규모 패턴 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 기후 모델들에서 몬순의 미래 변화 징후에 대한 일치

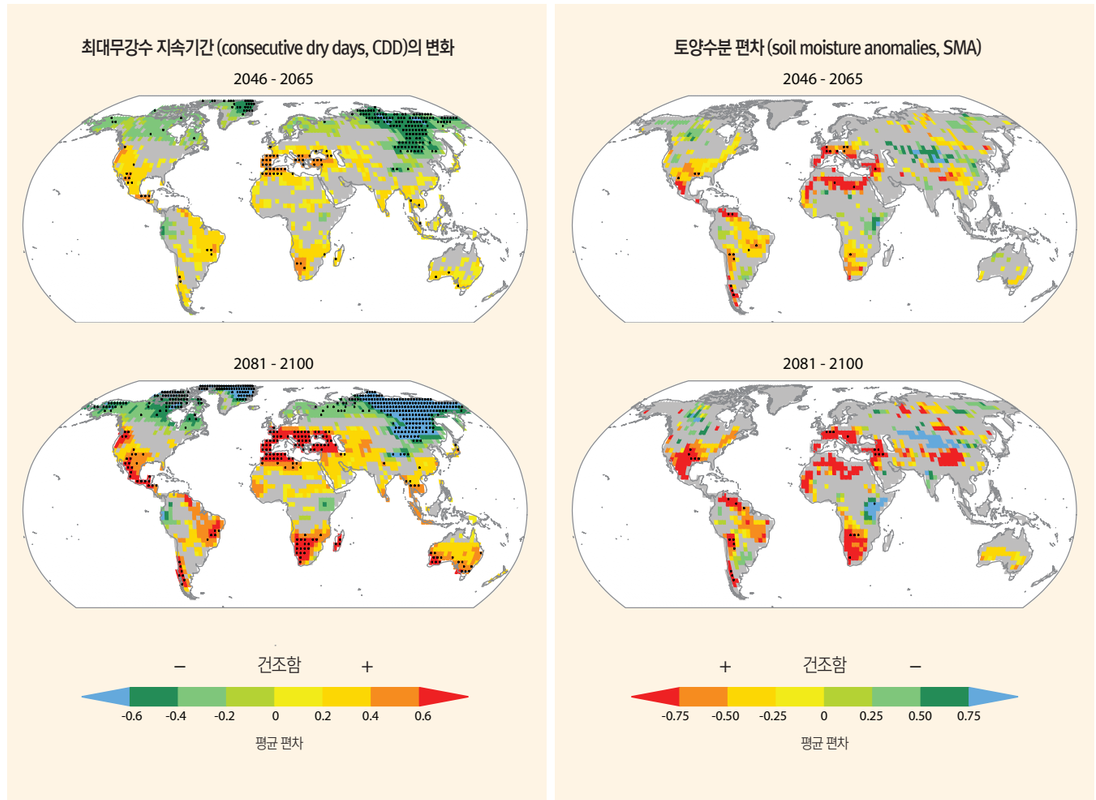


그림 SPM.5 | 두 지수에 의거해 평가된 연간 건조 변화 전망. 좌측: 최대무강수 지속기간(CDD, 강수량 < 1 mm인 일수)의 변화. 우측: 토양 수분(토양수분 편차, SMA)의 변화. 건조 증가는 노란색~빨간색으로 표시된다; 건조 감소는 초록색~파란색으로 표시된다. 전망된 변화는 3개 20-년 기간, 즉 1980-1999년, 2046-2065년, 2081-2100년에서의 경년 변동성의 표준 편차 단위로 표현된다. 그림들은 20세기 말에 대한 대응 시뮬레이션에 관련된 배출 시나리오 SRES A2 하에서 GCM 시뮬레이션에 근거하여, 2046~2065년과 2081~2100년의 두 시간 지평에 대한 변화를 20세기 말(1980~1999년)의 값들과 비교하여 보여준다. 결과들은 CMIP3에 사용되는 17개 (CDD) 및 15개 (SMA) GCM에 근거한 것이다. 색상 음영은 최소한 모델의 66%(CDD의 경우에는 17개 모델 중 12개, SMA의 경우에는 15개 모델 중 10개)에서 변화의 징후가 일치한 지역들에 적용된다; 최소한 모든 모델의 90% CDD의 경우에는 17개 모델 중 16개, SMA의 경우에는 15개 모델 중 14개)에서 변화의 징후가 일치한 지역에 대해서는 반점이 추가된다. 회색 음영은 모델 간의 일치가 불충분한(<66%) 지역을 표시한다. [3.5.1, 그림 3.9]

가 거의 이루어지지 않기 때문에, 몬순(강우, 순환) 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 엘니뇨 에피소드들의 엘니뇨·남방 진동 변동성 및 빈도 변화에 대한 모델 전망들은 일치하지 않으며, 따라서, 이 현상의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. [3.4.1, 3.4.2, 3.4.3]

인간에의 영향과 재해 손실

극한현상은, 물, 농업 및 식량 안보, 임업, 보건, 관광과 같이 기후와 더 밀접한 관련이 있는 부문에 더 큰 영향을 미칠 것이다. 예를 들어, 집수지 규모에서 특정 변화를 신뢰할 수 있을 정도로 전망하는 것은 현재 불가능하지만, 기후변화가 물 관리 시스템에 심각한 영향을 미칠 가능성이 있다는 데 대한 신뢰수준은 높다. 하지만, 기후변화는 많은 경우에서 미래 변화의 동인 중 하나일 뿐이며, 반드시 국지 규모에서 가장 중요한 동인이 되는 것은 아니다. 기후-관련 극한현상은 기반시설에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상되지만, 가능성 및 전망되는 손해에 대한 상세한 분석은 몇몇 국가, 기반시설 유형 및 부문들에 국한되어 있다. [4.3.2, 4.3.5]

많은 지역에서, 어떤 극한기후로 인한 경제 손실의 미래 증가의 주요 동인은 사실상 사회경제적 동인일 것이다(보통 동의수준, 제한된 증거수준에 근거한 보통 신뢰수준). 극한기후는 위험에 영향을 미치는 요소 중 하나일 뿐임에도 불구하고, 손실의 결정요소로서 인구의 변화, 사람 및 자산의 노출, 취약성의 효과를 특별히 정성화한 연구는 거의 없다. 하지만, 이용 가능한 소수의 연구에서는 위험에 노출된 인구 및 자본에 대해 전망되는 변화(증가)의 중요한 역할을 강조한다. [4.5.4]

노출 증가는 열대 저기압으로 인한 직접 경제 손실의 증가를 야기할 것이다. 손실은 열대 저기압 빈도 및 강도의 미래 변화에도 좌우될 것이다(높은 신뢰수준). 온대 저기압으로 인한 총 손실 또한 증가하겠지만, 일부 지역에서는 감소하거나 변화가 없을 가능성도 있다(보통 신뢰수준). 추가 보호 대책이 없는 경우 많은 장소에서 미래 홍수 손실이 증가하겠지만(높은 동의수준, 보통 증거수준), 추정되는 변화의 크기는 장소, 사용된 기후 시나리오, 강의 흐름 및 홍수 발생에 대한 영향을 평가하는 데 사용된 방법에 따라 크게 변한다. [4.5.4]

극한기후에 관련된 재해는 인구 이동 및 재배치에 영향을 미치며, 따라서 유입 공동체와 유출 공동체에 영향을 미친다(보통 동의수준, 보통 증거수준). 재해가 더 빈번하게/하거나 더 큰 규모로 발생한다면, 일부 지방(local area)은 생계를 유지하거나 살아갈 장소로서 한계상황에 처할 것이다. 그러한 경우에는, 이동 및 재배치가 영구적인 것이 될 수 있으며 재배치 지역에 새로운 압력이 가해질 수 있다. 환상 산호도(atoll)와 같은 장소에서는, 경우에 따라 많은 주민이 재배치되어야 할 가능성이 있다. [5.2.2]

E 변화하는 극한기후 및 재해 위험의 관리

기후변화에 대한 적응과 재해 위험 관리는 극한기후 및 재해의 위험을 관리하기 위한 다양한 보완적 접근법을 제공한다(그림 SPM.2). 접근법을 효과적으로 적용하고 결합함에 있어 지속가능 발전의 광범위한 도전을 고려하면 혜택을 얻을 수도 있다

Low-regrets 대책으로 불리는, 현재 기후와 다양한 미래 기후변화 시나리오 하에서 혜택을 제공하는 대책들은 노출, 취약성 및 극한기후의 추세 전망을 다루는데 있어 출발점으로 이용될 수 있다. 그러한 대책들은 현재 시점에서 혜택을 제공할 가능성을 가지고 있고 전망된 변화를 다루기 위한 토대가 된다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 이 Low-regrets 전략들 중 많은 전략이 공동-혜택을 산출하고, 생계수단의 개선, 인간 복지 및 생물다양성 보전과 같은 다른 개발 목표들을 다루는 데 도움이 되며, 부적응의 범위를 최소화하는 데 도움이 된다. [6.3.1, 표 6-1]

가능한 Low-regrets 대책으로는 조기 경보 시스템; 의사결정자와 지역(local) 시민 간의 위험 정보교환; 토지 사용 계획을 포함하는, 지속 가능한 토지 관리; 생태계 관리 및 복원이 있다. 다른 Low-regrets 대책으로는 보건 감시, 상수도, 위생 시설, 관개 및 배수 시스템의 개선; 기후변화에 대비한 기반시설의 보강; 건축법의 개발 및 강화; 보다 나은 교육 및 인식이 있다. [5.3.1, 5.3.3, 6.3.1, 6.5.1, 6.5.2] 사례 연구 9.2.11 및 9.2.14와 7.4.3의 평가 참고.

효과적인 위험 관리는, 어떤 한가지 조치나 조치 유형에 특별히 초점이 맞추는 것이 아니라, 위험을 감축 및 전가하고 현상 및 재해에 대응하기 위한 일련의 조치들을 포함한다(높은 신뢰수준). [1.1.2, 1.1.4, 1.3.3] 그러한 통합 접근법은 특수한 지역(local) 상황에 의해 알려지고 맞춰질 때 보다 효과적이다(높은 동의수준, 강한 증거수준) [5.1] 성공적인 전략에는 구조적인 사회기반시설-기반 대응과 개인적 및 제도적 능력 구축, 생태계-기반 대응과 같은 비구조적 해법들을 결합시키는 것이 포함된다.

다중-위험 관리 접근법은 복잡하고 복합적인 위험을 감축시킬 기회를 제공한다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 많은 유형의 위험을 고려하면, 한 가지 유형의 위험을 표적으로 하는 위험 감축 노력으로 인해 현재와 미래에 다른 위험들에 대한 노출과 취약성이 증가될 가능성이 감소된다. [8.2.5, 8.5.2, 8.7]

재해 위험 관리와 기후변화에 대한 적응을 위한 국제 재원에서 시너지 효과를 창출할 기회가 존재하지만, 아직 완전히 실현되지 않고 있다(높은 신뢰수준). 재해 위험 감축을 위한 국제적 재정 지원은 국제적 인도적 대응을 위한 지원 규모와 비교했을 때 아직 상당히 낮다. [7.4.2] 재해 위험 감축과 기후변화 적응을 촉진하기 위한 기술 이전 및 협력이 중요하다. 이 두 분야 간에서 기술 이전 및 협력이 충분히 조정되지 못했으며, 따라서 기술 이전 및 협력은 단편적으로 실행되었다. [7.4.3]

국제 수준에서의 더 강력한 노력이 반드시 지방(local) 수준에서 실직적이고 신속한 결과를 유발하는 것은 아니다(높은 신뢰수준). 국제적 규모부터 지방(local) 규모까지에 걸쳐 통합을 개선할 여지가 있다. [7.6]

현지 지식을 추가적인 과학 기술 지식과 통합함으로써 재해 위험 감축과 기후변화 적응을 개선할 수 있다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 지방(local) 주민들이 변화하는 기후, 특히 극한 기상현상에 대한 그들의 경험을 다양한 방식으로 기록하면, 이 자기-생성 지식으로부터 공동체 내부의 기존 능력과 현재 중요한 결점들을 알아낼 수 있다. [5.4.4] 지방(local) 참여는 재해 위험 및 극한기후의 혜택 관리에 대한 공동체-기반 적응을 지원한다. 그러나, 인적 및 금융 자본 가용성의 개선과 지방(local) 이해관계자들에 맞춰진 재해 위험 및 기상 정보의 개선은 공동체-기반 적응을 강화할 수 있다(보통 동의수준, 보통 증거수준). [5.6]

적시에 이루어지는 적절한 위험 정보교환이 효과적인 적응 및 재해 위험 관리에 있어 매우 중요하다(높은 신뢰수준). 불확실성과 복잡성의 명백한 특성화는 위험 정보교환을 강화한다. [2.6.3] 효과적인 위험 정보교환은 모든 이해관계자 집단 간에서 기후-관련 위험에 대한 지식을 교환, 공유, 통합함으로써 이루어진다. 개별 이해관계자들과 단체들 간에서는, 심리 문화적 요인, 가치, 신념에 의해 위험이 인식된다 [1.1.4, 1.3.1, 1.4.2] 7.4.5의 평가 참고.

모니터링, 연구, 평가, 학습, 혁신의 반복적 과정이 극한기후 상황에서 재해 위험을 감축하고 적응형 관리를 촉진할 수 있다(높은 동의수준, 강한 증거수준). [8.6.3, 8.7] 기후변화는 복잡성, 불확실성, 장기성을 가지므로, 적응 활동은 반복적 위험 관리 전략으로부터 혜택을 얻는다(높은 신뢰수준). [1.3.2] 강화된 관측 및 연구를 통해 지식 격차를 해소하는 것은 불확실성을 감소시킬 수 있고 효과적인 적응 및 위험 관리 전략들을 설계함에 있어 도움이 될 수 있다. [3.2, 6.2.5, 표 6-3, 7.5, 8.6.3] 6.6의 평가 참고.

표 SPM.1은 노출, 취약성, 극한기후에서 관측되고 전망되는 추세들이 어떻게 위험 관리 및 적응 전략, 정책, 대책에 영향을 미칠 수 있는지에 관한 예들을 보여준다. 의사 결정에 있어서의 추세의 중요성은 위험이 관리되는 시공간적 규모에서 그 추세의 크기 및 신뢰도에, 그리고 위험 관리 옵션들을 실행하는 데 이용 가능한 능력에 좌우된다(표 SPM.1 참고).

표 SPM.1 | 표 SPM.1은 노출, 변동성, 극한기후의 변화 정황에서 위험 관리와 적응을 위한 옵션들의 설명적 예를 제공한다. 각 예에서, 정보는 의사 결정에 직접 관련된 범위에서 특성화된다. 전지구 및 지역적 규모에서 관측되고 전망되는 극한기후변화는 그 규모에 따라 변화의 방향, 크기 및/또는 확실성의 정도가 다를 수도 있음을 보여준다.
예들은 노출, 취약성, 기후 정보, 위험 관리 및 적응 옵션, 등에 관한 기본 장에서 증거의 가용성에 근거하여 선택된 것이다. 예들은 포괄적인 지역별 정보를 제공하기 보다는 관련 위험 관리 주제들과 범위들을 보여주기 위한 것이다. 예들은 노출과 취약성의 지역차를 반영하거나 위험 관리에서의 경험을 보여주기 위한 것이 아니다.

국지적 규모에서 전망된 극한기후변화에 대한 신뢰수준은 전망된 지역적 및 전지구 변화에 대한 신뢰수준보다 흔히 더 제한적이다. 변화에 대한 이러한 제한된 신뢰수준은 노출과 취약성을 감축하고 완전히 제거될 수 없는 위험에 대한 대비와 복원력을 증가시키는 것을 목적으로 하는 low-regrets 위험 관리 옵션들에 초점을 맞춘다. 적응 및 위험 관리 결정에 관련된 범위에서, 전망된 극한기후변화에 대한 더 높은 신뢰수준은 전략, 정책, 대책의 보다 표적화된 조정을 가능하게 한다. [3.1.6, Box 3.2, 6.3.1, 6.5.2]

사례	위험 관리 규모에서의 노출과 취약성	공간규모 전체의 극한기후 정보			위험 관리 및 적응을 위한 옵션
		지구 관측되고(1950년이래) 전망되는(2100년까지) 전지구적 변화	**지역** 관측되고(1950년이래) 전망되는(2100년까지) 변화	**위험관리 규모** 관측되고(1950년이래) 전망되는(2100년까지) 전지구적 변화	
열대 소도서 개발도상 국가들(SIDS)에서의 극한 해수면에 관련된 침수	태평양, 인도양, 대서양의 소도서 국가들은 흔히 해발고도가 낮기 때문에 해수면 상승과 침식, 침수, 해안선 변경, 연안 대수층(aquifers)으로의 염수 침입과 같은 영향에 특히 취약하다. 이러한 영향은 생태계 교란, 농업 생산성의 감소, 질병 패턴의 변화, 관광산업과 같은 경제 손실, 인구 재배치를 야기할 수 있다 – 이들 결과는 모두 극한 기상 현상에 대한 취약성을 강화한다. [3.5.5, Box 3.4, 4.3.5, 4.4.10, 9.2.9]	**관측된 변화:** 평균 해수면 상승과 관련하여 전세계 극한 연안 고수위가 상승했을 가능성이 있다. **전망되는 변화:** 평균 해수면 상승이 극한 연안 고수위 상승 추세에 기여할 가능성이 매우 높다. 해안 침식과 침수를 현재 경험하고 있는 장소들은, 다른 기여 요인들이 변하지 않는 한, 해수면 증가로 인해 계속 그러할 것이라는 데 대한 신뢰수준은 높다. 열대 저기압의 전지구 빈도가 감소하거나 실질적으로 변하지 않고 유지될 가능성이 있다. 평균 열대 저기압 최대 풍속은 증가할 가능성이 있지만, 이 증가가 모든 해양 분지에서 나타나지 않을 수도 있다. [표 3.1, 3.4.4, 3.5.3; 3.5.5]	**관측된 변화:** 조수와 엘니뇨-남방 진동으로 인해 최근 수년간 일부 태평양 도서들에서 극한 연안 고수위와 이와 관련된 홍수가 보다 빈번하게 나타났다. **전망되는 변화:** 극한 연안 고수위 상승에 대한 평균 해수면 상승의 높은 기여 가능성은 열대 저기압 최대 풍속의 증가 가능성과 더불어, 열대 소도서 국가들에 특수한 문제이다. 열대 저기압에 대한 전지구 전망 정보에 대해서는 전지구 변화 부분 참고 [Box 3.4, 3.4.4; 3.5.3]	지구-기반 관측망은 지역 및 시간 범위가 분산되어 있고 해양 현장 관측망은 제한적이다. 하지만 최근 수 십 년 간 위성-기반 관측은 개선되었다. 폭풍우 변화가 극한 연안 고수위 변화에 기여할 수도 있지만, 현재까지의 연구들에서 제한된 지리적 범위와 폭풍우 변화에 관련된 불확실성은 폭풍 해일에 대한 폭풍우 변화의 효과에 대한 일반적 평가가 현 시점에서 불가능함을 의미한다. [Box 3.4; 3.5.3]	다양한 위험 추세에 대하여 노출과 취약성을 감축하는 Low-regrets 옵션들: • 배수 시스템의 유지보수 • 지하수의 염수 오염을 제한하기 위한 우수한 기술 • 조기 경보 시스템의 개선 • 지역 위험 공동대응 • 맹그로브 보전, 복구, 이식 특수한 적응 옵션으로는, 예를 들면, 국가 경제를 더 기후-독립적으로 만드는 것과 반복적 학습을 수반하는 적응형 관리가 있다. 어떤 경우에는, 예를 들면 폭풍 해일로 인해 완전히 침수된 환상 산호도의 경우에는, 재배치를 고려할 필요가 있을 수도 있다. [4.3.5, 4.4.10, 5.2.2, 6.3.2, 6.5.2, 6.6.2, 7.4.4, 9.2.9, 9.2.11, 9.2.13]
케냐 나이로비 비공식 주거지에서의 돌발 홍수	나이로비 주위의 비공식 주거지에 살고 있는 빈민의 급속한 팽창으로 인해 강 바로 옆에 약한 건자재로 집들이 건설되고 자연 배수 구역이 막혀버렸으며, 그 결과 노출과 취약성이 증가되었다. [6.4.2, Box 6-2]	**관측된 변화:** 홍수의 크기와 빈도에서 관측된 (기후-유발) 변화에 관한 전지구 규모에서의 신뢰수준은 낮다. **전망되는 변화:** 제한적 증거수준과 지역 변화의 원인들의 복잡성으로 인해, 홍수 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 하지만, 전망되는 호우 증가가 일부 저수지 또는 지역에서 강우로 인한 국지적 홍수에 기여할 것이라는 데 대한 신뢰수준은 (물리적 추론에 근거할 때) 보통이다. [Table 3-1, 3.5.2]	**관측된 변화:** 불충분한 증거로 인해, 동 아프리카에서의 호우 추세에 대한 신뢰수준은 낮다. **전망되는 변화:** 동 아프리카에서 호우 지표의 증가 가능성이 있다. [Table 3-2, Table 3-3, 3.3.2]	국지적 돌발 홍수를 전망하는 능력에 한계가 있다. [3.5.2]	다양한 위험 추세에 대하여 노출과 취약성을 감축하는 Low-regrets 옵션들: • 건축 설계 및 규제 강화 • 빈곤 감축 계획 • 전 도시에 걸친 배수 및 하수 설비 개선 나이로비강 복원 및 복구 프로그램(Nairobi Rivers Rehabilitation and Restoration Programme)에는 수변 완충지, 수로, 배수로, 기존 수로의 청소; 현지 기후 변동성 및 변화에의 주의집중과 폐수 기반시설의 설계; 홍수 조기 경보를 위한 환경 모니터링이 포함된다. [6.3, 6.4.2, Box 6-2, Box 6-6]

Continued next page →

표 SPM.1 | 이어짐

사례	위험 관리 규모에서의 노출과 취약성	공간규모 전체의 극한기후 정보			위험 관리 및 적응을 위한 옵션
		지구 관측되고(1950년이래) 전망되는(2100년까지) 전지구적 변화	**지역** 관측되고(1950년이래) 전망되는(2100년까지) 변화	**위험관리 규모** 관측되고(1950년이래) 전망되는(2100년까지) 전지구적 변화	
유럽 도시 지역에서의 열파의 영향	노출과 취약성에 영향을 미치는 요인으로는 연령; 선재 건강 상태; 야외 활동 정도: 빈곤과 사회적 고립을 비롯한 사회경제적 요인들: 냉방의 접근성 및 사용: 시민의 심리 및 행동 적응; 도시 기반시설이 있다. [2.5.2, 4.3.5, 4.3.6, 4.4.5, 9.2.1]	**관측된 변화:** 지구상의 (모든 지역은 아니지만) 많은 지역에서, 20세기 중반 이래 온난기 또는 열파의 길이와 발생횟수가 증가했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 전지구 규모에서 온난일 및 온난야 발생 횟수가 증가했을 가능성이 매우 높다. **전망되는 변화:** 대부분의 육지 지역에서 온난기 또는 열파의 길이, 빈도 및/또는 강도가 증가할 가능성이 매우 높다. 전지구 규모에서 온난일 및 온난야의 빈도와 크기가 증가할 것이 사실상 확실하다. [표 3-1, 3.3.1]	**관측된 변화:** 유럽에서 열파 또는 온난기의 증가에 대한 신뢰수준은 보통이다. 대륙 대부분에서 온난일 및 온난야가 전반적으로 증가했을 가능성이 있다. **전망되는 변화:** 유럽에서 열파 또는 온난기가 더 빈번하고, 더 길고, 더 강해질 가능성이 있다. 온난일 및 온난야가 증가할 가능성이 매우 높다. [표 3.2; 표 3.3; 3.3.1]	관측과 전망은 지역 내 특정 도시 영역에 대한 정보를 제공할 수 있는데, 지역 추세와 도시 열섬 효과로 인한 열파의 증가가 예상된다. [3.3.1, 4.4.5]	다양한 위험 추세에 대하여 노출과 취약성을 감축하는 Low-regrets 옵션들: • 특히 취약한 집단(예: 노인)에 도달하는 조기 경보 시스템 • 취약성 지도작성과 관련 대책 • 행동 권고를 포함하여, 열파 동안 무엇을 해야 하는지에 관한 공공 정보 • 취약한 집단을 포함하는 사회 보호망의 사용 열파 추세를 반영하는 전략, 정책, 대책의 특수한 조정에는 공중 보건 관심사로서 열파에 대한 의식 고취; 도시 기반구조 및 토지 사용 계획의 변경, 예를 들면 도시 녹지 공간의 증가; 공공 시설용 냉방에 대한 접근의 변경; 발전 및 송전 기반시설의 조정이 포함된다. [표 6.1; 9.2.1]
미국 및 카리브해 지역에서 허리케인으로 인해 손실의 증가	인구 성장과 재산 가치의 상승으로 인해, 특히 멕시코 연안 지역과 미국의 대서양 연안을 따라, 노출과 취약성이 증가하고 있다. 이러한 증가는 건축 법규의 개선으로 일부 상쇄되었다. [4.4.6]	**관측된 변화:** 열대 저기압 활동에서 관측된 장기(즉, 40년 이상) 증가에 대한 신뢰수준은, 관측 능력의 과거 변화를 고려했을 때, 낮다. **전망되는 변화:** 열대 저기압의 전지구 빈도가 감소하거나 실질적으로 변하지 않고 유지될 가능성이 있다. 평균 열대 저기압 최대 풍속은 증가할 가능성이 있지만, 이 증가가 모든 해양 분지에서 나타나지 않을 수도 있다 열대 저기압과 관련된 호우가 증가할 가능성이 있다. 전망되는 해수면 상승은 열대 저기압 해일 영향을 더 심화시킬 것으로 예상된다 [표 3.1; 3.4.4]	전지구 전망에 대해서는 전지구 변화 부분 참고	지구 모델들이 열대 저기압의 발생, 경로, 강도 발달에 관련된 요인들을 정확하게 모의할 수 없기 때문에, 특정 주거지나 다른 장소와 관련하여 변화를 전망하는 모델의 능력은 제한적이다. [3.4.4]	다양한 위험 추세에 대하여 노출과 취약성을 감축하는 Low-regrets 옵션들: • 개선된 건축 법규의 채택 및 시행 • 예측 능력 개선과 개선된 조기 경보 시스템의 구축 (소개 계획과 기반시설 포함) • 지역 위험 공동대응 추세에 관한 기저 변동성과 불확실성이 높은 상황에서는, 학습과 탄력성을 필요로 하는 적응형 관리를 강조하는 것이 옵션에 포함될 수 있다(예: 케이만 군도 국가 허리케인 위원회) [5.5.3, 6.5.2, 6.6.2, Box 6.7, 표 6.1, 7.4.4, 9.2.5, 9.2.11, 9.2.13]
식량 안보 측면에서 서아프리카의 가뭄	덜 진보된 농업 활동은 증가하는 계절적 강우, 가뭄, 극한 기상의 변동성에 대하여 지역을 취약하게 만든다. 취약성은 인구성장, 생태계 파괴, 천연 자원 남용과 빈약한 보건, 교육, 통치 표준에 의해 악화된다. [2.2.2, 2.3, 2.5, 4.4.2, 9.2.3]	**관측된 변화:** 세계 어떤 지역에서는 더 강하고 더 긴 가뭄을 경험했지만 어떤 지역에서는 가뭄이 덜 빈번하거나, 덜 강하거나, 더 짧아졌다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. **전망되는 변화:** 일부 계절 및 지역에서 전망된 가뭄 증대에 대한 신뢰수준은 보통이다. 다른 지역에서는, 전망의 불일치성으로 인해 전반적으로 신뢰수준이 낮다. [표 3.1, 3.5.1]	**관측된 변화:** 건조현상 증가에 대한 신뢰수준은 보통이다. 이전 40년보다 커진 경년 변동성을 특징으로 하는 최근 몇 년간, 사헬 서부는 건조한 상태를 유지했지만 사헬 동부는 보다 습한 상태로 바뀌었다. **전망되는 변화:** 모델 전망에서 징후의 불일치로 인해 신뢰수준이 낮다. [표 3.2, 표 3.3, 3.5.1]	하위-계절, 계절, 경년 예측은 시간 규모가 길수록 불확실성이 증가한다. 조기 경보 시스템과 관련하여 모니터링, 장비, 자료가 개선되었다. 하지만 참여 및 위험 인구집단에 대한 정보 전파는 제한적이다. [5.3.1, 5.5.3, 7.3.1, 9.2.3, 9.2.11]	다양한 위험 추세에 대하여 노출과 취약성을 감축하는 Low-regrets 옵션들: • 전통적인 우수 및 지하수 저류 및 저장 시스템 • 물 수요 관리 및 개선된 관개 효율성 척도 • 보전 농업, 윤작, 생계수단의 다양화 • 가뭄에 강한 변종 작물의 사용 증가 • 계절 예측을 가뭄 전망과 통합한 조기 경보 시스템과 연결 서비스를 포함한 통신의 개선 • 지역 및 국가 수준에서의 위험 공동대응 [2.5.4; 5.3.1, 5.3.3, 6.5; 표 6-3, 9.2.3, 9.2.11]

지속가능 발전의 영향

점진적 단계들에서부터 혁신적 변화에 이르는 다양한 조치가 극한기후로 인한 위험을 감축시킴에 있어 필수적이다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 점진적 단계들은 기존 기술, 통치, 가치 체계 내에서 효율성을 개선하는 것을 목표로 하는 반면, 변환은 이들 체계의 기본 속성들의 변경을 포함할 수 있다. 변환이 필요한 경우에는, 적응형 관리 및 학습에 더 역점을 두면 변환이 용이해진다. 취약성이 높고 적응 능력이 낮은 경우에는, 극한기후변화가 체계들이 혁신적 변화 없이 지속적으로 적응하는 것을 어렵게 만들 수 있다. 취약성은 흔히 저소득 국가 또는 단체에 집중되지만, 고소득 국가 또는 단체 역시 극한기후에 취약할 수 있다. [8.6, 8.6.3, 8.7]

사회, 경제, 환경 지속성이 재해 위험 관리 및 적응 접근법에 의해 강화될 수 있다. 기후변화의 정황에서 지속성의 필수조건은 빈곤을 유발하고 지속시키며 자원에의 접근을 제약하는 구조적 불평등을 비롯한 취약성의 근본 원인들을 처리하는 것이다(보통 동의수준, 강한 증거수준). 이를 위해서는 재해 위험 관리와 적응을 모든 사회, 경제, 환경 정책 영역에 통합시키는 것이 필요하다. [8.6.2, 8.7]

가장 효과적인 적응 및 재해 위험 감축 조치는, 장기간에 걸쳐 취약성을 감축시키는 것은 물론, 비교적 가까운 시일 내에 개발 혜택을 제공하는 조치이다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 현재의 의사결정과 다양한 가치, 관심, 미래 우선순위에 연관된 장기 목표 간에는 트레이드오프가 존재한다. 따라서 재해 위험 관리와 기후변화 적응에 대한 단기적 인식과 장기적 인식이 조화를 이루기 어려울 수 있다. 조화를 위해서는, 지역(local) 위험 관리 활동들과 국가의 제도적 및 법적 틀, 정책, 계획 간의 분리를 극복하는 것이 필요하다. [8.2.1, 8.3.1, 8.3.2, 8.6.1]

변화하는 극한기후 상황에서 복원력 있고 지속가능 발전을 향한 진보는 여러 가정과 패러다임에 의구심을 가지고 새로운 대응 패턴을 조장하기 위한 혁신을 자극함으로써 효용을 얻을 수 있다(보통의 동의수준, 강한 증거수준). 재해 위험, 기후변화 및 기타 스트레스 요인들을 성공적으로 다루기 위해서는, 흔히 전략 개발에의 폭넓은 참여의 수용, 다양한 인식들을 결합하는 능력, 사회 관계들을 조직하는 대조적 방법들이 필요하다. [8.2.5, 8.6.3, 8.7]

기후변화 완화, 적응, 재해 위험 관리 간의 상호작용은 복원력 있고 지속가능 발전 경로에 중대한 영향을 미칠 수도 있다(높은 동의수준, 제한적 증거수준). 특히 완화 목표와 적응 간의 상호작용은 국지적으로 영향을 미치겠지만, 결과는 전지구적일 것이다. [8.2.5, 8.5.2]

지속가능하고 복원력 있는 미래에 대한 무수한 접근법과 경로가 존재한다[8.2.3, 8.4.1, 8.6.1, 8.7] 그러나 사회계 및/또는 자연계에 관련된 임계값 또는 티핑 포인트가 초과될 때에는 복원력에 대한 한계에 직면하게 되고 적응에 대한 심각한 도전에 처하게 된다. [8.5.1] 지구 현상에 대한 적응 조치들의 선택과 결과에는 다양한 능력과 자원, 그리고 다수의 상호작용 과정이 반영되어야 한다. 조치는 경쟁하는 우선순위 가치와 목표 간의 트레이드오프, 그리고 시간에 따라 변할 수 있는 서로 다른 발전 비전에 의해 만들어진다. 반복적 접근법은 발전 경로에 위험 관리를 통합시켜서 시간이 따라 위험 및 위험 측정, 인식, 이해가 변화하면서 다양한 정책 해법들을 고려할 수 있도록 한다. [8.2.3, 8.4.1, 8.6.1, 8.7]

Box SPM.2 | 불확실성의 처리

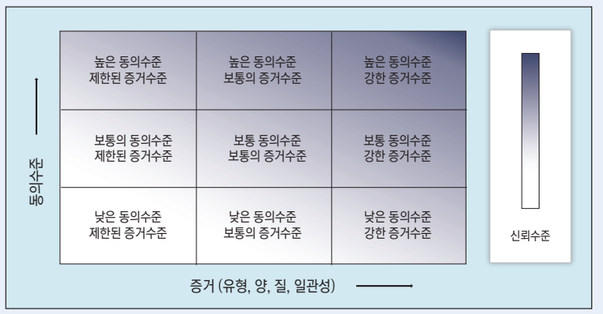
"제5차 IPCC평가 보고서 주 저자를 위한 일관된 불확실성 처리 안내문(Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties)"[6] 에 따라, 정책결정자를 위한 본 요약서는 근본적인 과학적 이해에 대한 저자들의 평가에 근거한, 중요 결과의 확실성의 정도를 나타내기 위하여 다음 두 가지 도량형(metrics)을 사용한다:

- 증거(예: 기계론적 이해, 이론, 데이터, 모델, 전문가의 판정)의 유형, 양, 질 및 일관성에 근거한, 결과의 타당성과 합의 수준에서의 확실성. 확실성은 정성적으로 표현된다.
- (관측 또는 모델 결과나 전문가 판정의 통계적 분석에 근거하여) 확률통계적으로 표현된 결과의 불확실성의 정성화된 척도들

이 안내문은 제3차 및 제4차 IPCC 평가보고서를 뒷받침하기 위해 제공된 지침을 개정한 것이다. 본 보고서에서의 결과들의 불확실성의 평가와 IPCC AR4에서의 결과들의 불확실성의 평가를 직접 비교하는 것은, 불가능하지는 않다 할지라도, 불확실성에 대한 개정 안내문의 적용, 새로운 정보의 가용성, 증진된 과학적 이해, 계속된 자료 및 모델의 분석, 평가된 연구들에 적용된 방법론에서의 특수한 차이로 인해 사실상 어렵다. 일부 극한기후의 경우, 평가가 서로 다른 측면들에 대하여 이루어졌기 때문에 직접적인 비교는 부적절할 것이다.

각 중요 결과는 관련 증거수준 및 동의수준에 대한 저자들의 평가에 기초한 것이다. 신뢰수준 도량형은 증거수준과 동의수준에 대한 평가를 통해 결정되는 것과 같이, 결과의 타당성에 대한 저자들의 판단을 정성적으로 합성한다. 불확실성이 확률통계적으로 정성화될 수 있다면, 저자들은 보정된 가능성 용어나 보다 정확한 확률 표현을 사용하여 결과를 특성화할 수 있다. 별도로 표시되지 않는다면, 높은 또는 매우 높은 신뢰수준은 저자들이 가능성 용어를 부여한 결과와 관련이 있다.

이용 가능한 증거를 묘사하기 위하여 다음 요약 용어를 사용한다; 제한적, 평균, 강한; 동의수준에 대해서는 다음 용어를 사용한다: 낮은, 보통, 높은. 신뢰수준은 다음의 다섯 가지 수식어를 사용하여 표현한다: 매우 낮은, 낮은, 보통, 높은, 매우 높은. Box SPM.2 그림 1은 증거수준 및 동의수준에 대한 요약 설명과 증거수준 및 동의수준과 신뢰수준과의 관계를 보여준다. 이 관계에는 유연성이 있다; 주어진 증거수준 및 동의수준 설명에 대하여, 다양한 신뢰수준이 부여될 수 있지만, 증거수준과 동의수준의 증가는 신뢰수준의 증가와 관련이 있다.



SPM.2 그림 1 | 증거수준 및 동의수준의 표현 및 그 표현들과 신뢰수준과의 관계. 신뢰수준은 명암의 강도 증가로 표시된 것과 같이 오른쪽 상단으로 갈수록 증가한다. 일반적으로, 증거수준은 일관되고 독립적인 다수의 고품질 증거들이 있을 때 가장 강하다.

평가된 가능성은 다음 용어들을 사용하여 표현하였다:

용어*	결과의 발생가능성
사실상 틀림없음(Virtually certain)	99–100% 확률
가능성 매우 높음(Very likely)	90–100% 확률
가능성 높음(Likely)	66–100% 확률
가능성이 절반임(About as likely as not)	33–66% 확률
가능성 낮음(Unlikely)	0–33% 확률
가능성 매우 낮음(Very unlikely)	0–10% 확률
사실상 가능성 없음(Exceptionally unlikely)	0–1% 확률

* AR4에서 제한된 경우에서 사용되었던 추가 용어들(극히 가능성 높은 : 95–100% 확률, 가능성이 없지는 않은 : 50–100% 확률, 극히 가능성 없는 : 0–5% probability)이 적절한 경우에 사용될 수도 있다.

6 Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, F.W. Zwiers, 2010: Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 〈http://www.ipcc.ch〉에서 이용 가능

III

1장 ~ 9장

1

기후변화: 재해 위험, 노출, 취약성 및 복원력의 새로운 차원

총괄 대표저자

Allan Lavell (코스타리카), Michael Oppenheimer (미국)

대표저자:

Cherif Diop (세네갈), Jeremy Hess (미국), Robert Lempert (미국), Jianping Li (중국), Robert Muir-Wood (영국), Soojeong Myeong (대한민국)

감수 편집자:

Susanne Moser (미국), Kuniyoshi Takeuchi (일본)

기여저자:

Omar-Dario Cardona (콜롬비아), Stephane Hallegatte (프랑스), Maria Lemos (미국), Christopher Little (미국), Alexander Lotsch (미국), Elke Weber (미국)

본 장을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

Lavell, A., M. Oppenheimer, C. Diop, J. Hess, R. Lempert, J. Li, R. Muir-Wood, and S. Myeong, 2012: Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.

목 차

본문 요약 27

1.1. 서론 29
1.1.1. 특별보고서의 목적과 범위 29
1.1.2. 주요 개념 및 정의 30
1.1.2.1. 일반 개념에 관련된 정의 30
1.1.2.2 재해 위험 관리와 기후변화 적응에 관한 개념 및 정의 33
1.1.2.3. 재해 위험의 사회적 구성(social construction) 35
1.1.3. 기후변화 적응과 재해 위험 관리 간의 관계 설정 36
1.1.4. 재해 위험 관리 프로세스와 기후변화 적응 프로세스의 설정 36
1.1.4.1. 예외성, 정기성 및 일상생활 37
1.1.4.2. 영토 규모, 재해 위험 및 적응 38

1.2. 극한 현상, 극한 영향 및 재해 38
1.2.1. 극한 현상, 극한 영향 및 재해의 구별 38
1.2.2. 물리적 용어로 정의된 극한 현상 38
1.2.2.1. 극한 현상의 정의 38
1.2.2.2. 변화하는 기후에서의 극한 현상 39
1.2.2.3. 극한 현상의 다양성과 범위 39
1.2.3. 극한 영향 40
1.2.3.1. 극한 영향의 세 가지 부류 40
1.3.3.2. 극한 현상의 복잡한 특성 40
1.2.3.3. 극한 현상의 사회영향 및 관리를 측정하는 척도 41
1.2.3.4. 극한 현상의 적응을 위한 전통적인 조절능력 42

1.3. 재해관리, 재해 위험 저감및 위험 전이 42
1.3.1. 기후변화는 일부 재해 위험 관리를 더 복잡하게 할 것이다 44
1.3.1.1. 변화하는 위험에 대한 정량적 추정 44
1.3.1.2. 변화하는 위험에 대한 판단에 영향을 미치는 프로세스 44
1.3.2. 기후변화 적응은 재해 위험 관리에 기여한다 45
1.3.3. 재해 위험 관리와 기후변화 적응은 다수의 개념, 목표 및 프로세스를 공유한다 46

1.4. 대응과 적응 48
1.4.1. 정의, 차이점 및 관계 48
1.4.1.1. 정의와 차이점 49
1.4.1.2. 대응, 대응 능력, 적응 능력, 대응 범위 사이의 관계 49
1.4.2. 학습 50
1.4.3. 적응 장벽 극복을 위한 학습 52
1.4.4. '후회 없는', 강력한 적응 및 학습 53

참고문헌 53

본문 요약

재해는 위험한 물리적 현상들이 취약한 사회적 조건들과 상호 작용하여 지역사회 또는 사회의 정상 기능들을 심각한 수준으로 변화시킬 때 겪는 극한 영향을 의미한다(높은 신뢰수준). 사회적 취약성과 노출은 재해 위험의 주요 결정인자들이며, 일부 극한 현상들과는 달리 극한적이지 않은 현상들과 만성적인 위험요소들이 극한 영향과 재해로 이어질 수 있는가를 설명해준다. 인간, 생태계 또는 물리적 시스템에 미치는 극한 영향은 개별적인 극한 현상이나 비극한 현상으로부터 또는 복합 현상이나 그 현상의 영향으로부터 발생한다(예: 산불의 위험을 촉진하는 가뭄, 그 후 산사태와 토양침식을 유발하는 호우). [1.1.2.1, 1.1.2.3, 1.2.3.1, 1.3]

전적으로 예외적 또는 극한 현상에 기초한 전략이 아니라 일상적 또는 만성적 위험인자들의 저감과 극한이 아닌 현상과 관련된 위험의 저감에 기초한 관리 전략은 재해 위험저감과 극한 현상 및 재해에 대한 대비 및 대응을 수월하게 하는 방법을 제공한다(높은 신뢰수준). 기후변화에 효과적으로 적응하기 위해서는 사회적 과정과 발전 경로들이 재해 위험을 형성하는 다양한 방식을 이해할 필요가 있다. 재해 위험은 진행 중이거나 만성적이거나 지속적인 환경적, 경제적 또는 사회적 위험요인과 일시적으로 관련 있는 경우가 많다. [1.1.2.2, 1.1.3,1.1.4.1,1.3.2]

개발 방식과 정책 및 결과는 재해 위험을 조성하는데 결정적이다(높은 신뢰수준). 재해 위험은 개발에 의해 나타나는 한계점에 의해 커질 수 있다. 생태계서비스의 고갈정도의 감소, 도시의 토지 이용과 국토 형성 과정의 개선, 농촌 지역의 생계 증진, 도시 및 농촌 관리방식의 일반적이며 구체적인 진전은 빈곤의 저감, 재해 위험저감, 기후변화 적응이라는 복합 의제를 제기한다. [1.1.2.1, 1.1.2.2, 1.1.3, 1.3.2, 1.3.3]

기후변화는 재해 위험 관리를 위한 노력을 적절히 배치하는 데 있어서 또 다른 과제를 던져줄 것이다(높은 신뢰수준). 기후의 모든 특징이 변화할 잠재력은 그로 인한 위험의 평가와 소통 및 관리를 복잡하게 만들 것이다. [1.1.3.1, 1.1.3.2, 1.2.2.2, 1.3.1, 1.3.2, 1.4.3]

위험평가는 기후변화 적응, 재해 위험의 저감및 재해 위험의 전환을 다루는 보다 폭넓은 위험 거버넌스의 틀 안에서 출발점의 하나이다(높은 신뢰수준). 평가 및 분석 과정에서는 관리 배경, 자료 및 기술에 대한 접근과 관련된 이해관계자들에 따라 다양한 도구를 이용할 수 있다. 이 도구들은 지역 수준에서의 정형화된 확률론적 위험 분석부터 참여적 위험과 상황 분석적 방법론까지 다양할 것이다. [1.3, 1.3.1.2, 1.3.3, Box 1-2]

위험평가에서 극한 현상의 발생가능성과 규모 및 영향을 추정하는 데는 어려움이 있다(높은 신뢰수준). 게다가 개별 이해관계자들과 집단 간 위험에 대한 인식은 심리적, 문화적 요인, 가치 및 신념에 의해 좌우된다. 효과적인 위험 정보교류를 위해서는 모든 이해관계자 집단 사이에서 기후 관련 위험에 대한 지식의 교환과 공유 및 통합이 필요하다. [Box 1-1, 1.1.4.1, 1.2.2.1,1.3.1.1,1.3.1.2, Box 1-2, Box 1-3, 1.4.2]

극한기후와 극한 현상의 영향 및 재해와 관련된 위험 관리는 개별 장소에서 개별 유형의 위험을 각각 관리하는 것보다는 통합시스템적인 접근법이 유리하다(높은 신뢰수준). 효과적인 위험 관리에서는 오로지 어떤 특정한 이행 또는 한 가지 유형의 이행에만 초점을 맞추기보다는 위험을 저감하고 전환할 수 있는 이행과 현상 및 재해에 대응할 이행의 포트폴리오가 필요하다. [1.1.2.2, 1.1.4.1, 1.3, 1.3.3, 1.4.2]

학습은 기후변화 적응에 있어 가장 중요한 부분이다. 또한 적응의 개념, 목표 및 과정은 재해 위험 관리, 특히 재해 위험 관리의 재해 위험 저감의 요소와 많은 것을 공유한다(높은 신뢰수준). 재해 위험 관리와 기후변화에 대한 적응은 계획된 적응에 대한 노력을 저해하거나 잘못된 적응대책의 이행을 초래하는 장벽을 최소화하거나 모면하는 데 도움이 될 수 있는 발전된 학습 과정의 기틀과 사례를 제공한다. 기후변화와 관련된 높은 불확실성, 동적인 복잡성과 오랜 기간으로 인해 실효성있는 적응 노력에는 반복적인 위험 관리 전략이 필요할 것이다. [1.1.3, 1.3.2, 1.4.1.2, 1.4.2, 1.4.5, Box 1-4]

기후변화와 관련된 위험, 노출 및 취약성에 대한 추세의 전망과 불확실성은 재해 위험 관리와 적응에 있어서 현 상태로의 복귀, 대응, 또는 정적인 복원력에 대한 목표를 점점 더 불충분하게 만든다(높은 신뢰수준). 사회생태계(social-ecological systems)의 복원력에 대한 최근의 접근법은 이러한 개념을 넘어서서 시간 경과에 따른 자기조직화(self-organize), 학습 및 적응할 능력을 포함하도록 확대된다. [1.1.2.1, 1.1.2.2, 1.4.1.2, 1.4.2, 1.4.4]

과거에 수행되었던 재해 위험 관리의 단점과 기후변화의 새로운 차원을 감안하면, 향후 위험을 줄이기 위한 개발 과정의 일환으로 훨씬 더 향상되고 강화된 재해 위험 관리와 적응이 필요할 것이다(높은 신뢰수준). 최근 몇 십 년간 여러 지역에서 재해 위험을 관리한 경험 및 성공사례와 위험식별, 저감, 전환 및 재해관리를 위한 적절한 접근법으로부터 정보가 입수되면 보다 효과적인 노력이 가능해질 것이다. 앞으로 재해 위험 관리 실무와 적응 실무는 제도, 재무, 정책, 전략 및 실무 측면의 더 많은 시너지와 연대를 통해 많은 혜택을 얻을 수 있을 것이다. [1.1.1, 1.1.2.2, 1.1.3, 1.3.3, 1.4.2]

커뮤니티의 참여를 통한 재해 위험 관리 계획, 지역과 커뮤니티의 지식과 역량을 활용하고, 국가 및 국제 정책과 이행으로 지원되며, 그것들과 시너지를 내는 의사결정 분권화는 재해 위험저감에 매우 중요하다(높은 신뢰수준). 재해 위험 관리에서 권장되고 지역수준에서 적응을 다루는 많은 시민사회와 정부기관이 지역수준에서의 적응 노력에 받아들여지는 재해 위험 관리에 영감을 받은 분석 방법론을 활용한다면 기후변화 적응과 재해 위험 관리는 더욱 잘 통합되고 더욱 높은 효과를 발휘할 것이다. [1.1.2.2, 1.1.4.2, 1.3.3, 1.4.2]

1.1. 서론

1.1.1. 특별보고서의 목적과 범위

기후변화란 기후 특성의 평균 또는 변동성의 변화로 정의할 수 있고, 수십 년 이상 혹은 더 오래 지속되는 기후상태의 변화를 뜻한다. 이는 또한 본 특별보고서에서 다루는 여러 가지 주제와 도전의 틀을 잡기 위한 기본적인 기준점이 된다.

기후변화는 자연적인 내부 과정이 외부 강제력으로 인해 또는 대기 조성이나 토지 이용의 지속적인 인위적 변화로 인해 발생할 수 있다(자세한 내용은 3장 참고). 인위적 기후변화는 금세기 이후에도 계속될 것으로 전망된다. 이러한 결론은 온실가스 저감을 전망하는 일부 시나리오를 포함해 미래 온실가스 배출량에 대한 다양한 시나리오에서 명백히 제시되었다(IPCC, 2007a).

최근 발간된 보고서에 의하면 특정한 국지 규모에서 기후변화의 결과는 불확실하지만, 열파, 호우, 가뭄, 열대저기압 등과 같은 기후 및 수문기상 현상을 포함하여 기상과 극한기후의 빈도, 강도, 공간적 범위, 또는 지속시간이 변할 것으로 전망된다(3장 참고). 취약성이 커지는 상황에서 그러한 변화들은 인간시스템과 자연계에 스트레스를 가중시키게 될 것이고 전 세계 여러 곳에서 심각한 부정적 영향을 초래할 것이다(UNISDR, 2009e, 2011). 동시에 기후변화는 특정 장소와 커뮤니티에 혜택을 가져다 줄 것으로 전망된다. 다양한 지역에서 기상 및 기후 현상에 의한 부정적 영향을 예측하고 대처하기 위한 새롭고, 개선되거나 강화된 과정이 필요해질 것이다. 이러한 결론은 부정적인 영향을 초래하는 요인에 대한 지식과 이해의 증가와 수문기상 현상의 발생으로 인한 인명손실을 줄이기 위해 최근 수십 년 간 상당한 진전이 (예를 들어, 9.2.11절에서 조기경보시스템의 상당한 발전) 있었음에도 불구하고, 그 동안 사회적 측면에서의 중재가 경제적, 사회적으로 발생한 부정적인 영향의 급속한 증가에 충분히 대응하지 못했다(ICSU, 2008) (높은 신뢰수준). 대신에 세계의 여러 지역에서 실제 경제적 손실과 생계의 붕괴가 급속히 증가하였다(UNISDR, 2009e, 2011). 열대저기압과 관련된 손실에 관한 최근의 분석에 의하면 동아시아와 태평양 및 남아시아 지역을 제외하면 "노출과 추정되는 경제손실 위험 모두 1인당 GDP보다 빠르게 증가하고 있다. 따라서 열대저기압과 관련한 재해로 인한 재산손실 위험은 재산 자체가 증가하는 속도보다 빠르게 증가하고 있다" (UNISDR, 2011, p. 33).

전 세계168개국이 채택한 효고 행동 계획(Hyogo Framework for Action) (UNISDR, 2005)은 재해 위험 관리와 그것의 실용적인 이행을 위한 기준을 제공한다(이에 대해서는 용어집과 1.1.2.2절 참고). 그 후 UN 성명서는 모든 개발 및 개발계획에서 재해 위험 관리와 적응이 기후변화와 관련한 주요 관심사 및 목표와 보다 긴밀하게 통합되어야 한다고 제시하였다(UNISDR, 2008a, 2009a,b,c). IPCC와 UN 재해경감 국제전략기구(UNISDR)는 노르웨이 정부의 지원으로 "기후변화 적응을 위한 극한 현상 및 재해의 위험 관리 (Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation)" (IPCC, 2009) 특별보고서에 착수하도록 협의하였다.

본 특별보고서는 기후변화와 그것이 극한(기상 및 기후) 현상, 재해 및 재해 위험 관리에 미치는 영향은 무엇인가, 극한 현상과 재해에 대한 (과거의 경험과 진전에 근거한) 인간의 대응은 적응에 대한 목적 및 과정에 어떻게 기여할 수 있는가; 그리고 기후변화의 적응이 재해 위험 관리의 실천과 어떻게 더 긴밀히 통합될 수 있는가를 고려하였다.

본 보고서는 현재의 과학지식에 의존해서 다음 세 가지 목표를 다룬다:

1) 향후 선제적으로 기후변화에 대한 적응과 극한 현상 및 재해를 관리하기 위하여 과거의 기후패턴 하에서 기후 관련 재해 위험의 관리에서 얻은 개념, 방법, 전략, 수단 및 경험의 관련성과 효용성을 평가한다.
2) 기후변화가 재해 위험 관리 분야에 가져오는 새로운 관점과 도전에 대해 평가한다.
3) 특히 적응의 관점에서 사회적 복원력 및 지속 가능성의 증가와 관련하여 재해 위험 관리 및 적응의 진전과 기후변화 분야의 상호 함축성을 평가한다.

본 특별보고서의 주요 독자는 국가 정부, 국제 개발기구, 비정부 단체 및 시민사회 단체의 정책결정자, 지방정부에서 중앙정부에 이르기까지의 전문 기술 인력들이다. 이 보고서는 이에 제한하지 않고 학계 및 관심을 가진 일반인들에게도 그 의미가 있다.

1장 1절에서는 이 보고서 내용의 틀을 잡는 데 필요한 중요한 개념, 정의, 배경 및 관리와 관련한 사항들을 간략히 소개한다. 그 다음 절에서는 극한 현상과 극한 영향; 재해 위험 관리, 저감, 전환 그리고 이것들과 기후변화 및 적응 과정의 통합; 그리고 대응과 적응에 관한 개념을 보다 상세히 설명한다. 상세 설명과 고찰의 수준에서 1장은 본 보고서를 대표하는 장의 역할을 한다. 나머지 여덟 장들은 보다 상세하고 구체적인 분석을 제시한다.

2장은 위험의 주요 결정인자들, 즉 기후 관련 위험의 맥락에서 노출과 취약성을 평가한다. 특히 단기적 경험과 장기적 적응의 연계성에 초점을 맞춘다. 현재의 위험에 대한 취약성을 줄이면 장기적으로 기후변화에 대한 적응이 향상될지의 여부, 그리고 단기 위험 관리 결정 및 조정이 어떻게 미래의 취약성을 억제하고 적응을 가능하게 하는가를 주로 다룬다.

3장은 기상 및 기후요소들(예: 기온과 강수)의 변화, 그러한 극한 현상과 관련이 있거나 그 자체가 극한 현상인 대규모 현상(예: 열대저기압, 온대저기압, 엘니뇨, 몬순), 그리고 물리적 환경에 미치는 영향(예: 가뭄, 홍수, 해안에 미치는 영향, 산사태)에 중점을 둔다. 3장은 4차 평가보고서와 새로운 문헌으로 인해 일부 업데이트된 내용에 바탕을 두고 있으며 평가의 개정으로 이어진다.

4장은 기후의 변화, 특히 3장에서 평가된 기상과 극한기후의 변화가 어떻게 인간시스템과 생태계에 대한 극한 영향으로 바뀌는가를 살펴본다. 여기에서 핵심 사안은 영향에 있어서 관측되고 또 전망되는 추세이다. 전망 추세는 물리적 조건과 사회적 조건의 추세에서 도출된다. 4장은 이러한 문제들을 지역 및 분야별 관점에서 평가하고, 그러한 변화의 직·간접적인 경제비용, 그리고 그러한 변화와 개발 간의 관계를 조사한다.

5, 6, 7장은 정부, 개인, 비정부 단체, 민간 부문 및 기타 시민사회 기관 및 단체의 역할을 고려함과 동시에, 지역, 국가, 국제적인 거버넌스의 관점에서, 재해 위험 관리와 기후변화 적응에 대한 접근법을 평가한다. 각 장은 미래를 위한 교훈을 도출하기 위해 현재의 재해 위험 저감, 대비, 대응 및 위험 전환 전략들과 극한 현상 및 재해에 대한 과거 접근법들의 효과를 검토한다. 영향과 적응 그리고 위험 관리 비용은 다양한 사회집단과 협력수단은 물론 다양한 제도적 장치들을 분해하여 평가된다.

5장은 주거와 건물 및 토지 이용을 포함하는 위험 관리 전략을 중심으로 장소, 사회 집단, 경험, 관리, 제도, 조건 및 지식의 차이에서 기인하는 매우 다양한 지역적 배경에 초점을 맞춘다. 6장은 이와 비슷한 문제들을 국가 수준에서 살피는데, 여기서 국가의 예산, 개발 목표, 기획, 경보시스템 및 건축 법규를 비롯한 메커니즘이 식량 안전과 농업, 수자원, 산림, 어업, 건축 방식 및 공공 보건을 관리하는데 활용될 수 있다. 7장은 이러한 분석을 국제 수준으로 넓혀서 국제기관들과 협력장치들의 특징인 제도, 조직, 지식 생산과 공유, 법적 틀과 자금조달에 중점을 두어 분석한다. 또한 7장에서는 재해 위험 관리와 기후변화 적응 및 개발 간의 연관성에 중점을 두고 모든 정부 차원에서 책임의 통합을 토론한다.

8장은 점진적인 저감으로부터 변환적 저감까지 재해 위험 저감 전략이 어떻게 기후변화 적응을 앞당기고 보다 지속 가능하며 유연한 미래를 촉진시킬 수 있는가를 평가한다. 여기서 핵심적인 질문은 기후변화 대응 전략과 지속가능한 개발 전략 간의 병행이 달성 가능한지와 단기적 관점과 장기적 관점이 조화를 이룰 수 있는지의 여부이다.

9장은 극한기후 관련 현상과 극한 영향에 대한 과거의 대응에서 얻은 교훈과 최선의 실행(best practice)을 규명하기 위해 사례 연구를 제시하며 이 보고서를 마무리 한다. 사례를 통해 보고서 전체의 핵심 기준점을 파악할 수 있음과 동시에, 다른 장들에서 고찰된 재해 유형, 위험 관리 방법론 및 대응에 대한 구체적이고 다양한 사례를 제시한다.

1.1.2. 주요 개념 및 정의

본 장에서 소개되며 본 특별보고서 전반에 걸쳐 적용되는 개념과 정의는 기존의 문헌(IPCC, 2007c; UNISDR, 2009d; ISO, 2009) 뿐 아니라 지식과 필요 및 상황이 변함에 따라 변하는 개념과 정의도 반영하였다. 재해 위험 관리와 기후변화 적응은 동적인 분야이며, 과거에도 그러했듯 향후에도 진전될 것이다.

본 장은 구체적이라기 보다는 보편적인 필수 '주요' 정의를 제시한다. 뒷 장에서는 본 장에 소개된 정의가 보다 자세히 설명되기도 하고, 그러한 정의의 변이는 필요 시 검토되고 설명될 것이다.

이 평가에서 사용된 기본적 정의의 용어해설은 보고서의 뒷부분에 제시되어 있다. 그림 1-1은 이 안에 정의된 핵심 개념들 간의 도식적인 관계를 보여준다.

1.1.2.1. 일반 개념에 관련된 정의

이 특별보고서의 중요 관심 사항의 범위를 정하기 위해, 일반적으로 재해 위험과 기후변화 적응에 관련된 개념 및 정의를 특별히 이 분야에 관한 사회적 중재들의 대안 및 형태와 관련된 개념 및 정의와 구분하였다. 1.1.2.1절에서는 일반적인 개념을 고려한다. 1.1.2.2절에서는 '재해 위험 관리'와 '기후변화 적응'을 통한 사회적 개입과 관련된 주요 개념을 고려한다.

본 특별보고서의 위험 관리와 관련된 핵심적인 관심사 두 가지는 극한(기상 및 기후) 현상과 재해이다.

극한 현상은 일정하거나 변화하는 기후조건에서 기후변동성의 한 단면이다. 극한 현상은 기상 또는 기후 변수의 관측값 범위의 상한(또는 하한)에 가까운 기준값보다 높은(또는 낮은) 값이 발생하는 것으로 정의된다. 이 정의는 1.2.2절, 3.1.1절, 3.1.2절에서 보다 자세히 고찰되고 보충된다.

본 보고서에서 재해는 위험한 물리적 현상과 취약한 사회 조건의 상호작용으로 지역사회 또는 사회의 정상적인 기능이 심각하게 변화되어 인간의 중대한 욕구를 충족하기에는 즉각적인 긴급 대응책을 요하고 복구를 위해 외부지원을 요할 수 있는 인적, 물질적, 경제적 또는 환경적인 부정적 영향이 폭넓게 초래되는 것으로 정의된다.

재해의 정의에서 말하는 **위험한 물리적 현상**은 자연적, 사회자연적(인간에 의한 물리적 환경의 악화 또는 변환에서 기인하는), 또는 순전히 인위적으로 발생할 수 있다(Lavell, 1996, 1999; Smith, 1996; Tobin and Montz, 1997; Wisner 등, 2004 참고). 본 특별보고서는 수문기상 현상과 해양의 현상이 노출과 취약성으로 인해 위협으로 전환된다면 위험으로 나타날 수 있는 다양한 물리적 현상에 중점을 둔다. 이에 대한 예로 지진, 화산, 쓰나미가 있다. 어느 지역이나 이들 중 한 가지 현상, 또는 복합적 현상으로 인해 동시에 또는 서로 다른 시간에 영향 받을 수 있다. 본 보고서를 비롯한 여러 문헌들은 이러한 현상(예: 홍수와 가뭄)을 물리적 영향이라고 칭한다(3.1.1절 참고).

극한 현상은 늘 그런것은 아니지만 재해와 종종 관련이 있다. 이러한 연관성은 특정한 물리적, 지리적, 사회적 조건 중 무엇이 우세한가에 달려있다('노출'과 '취약성'에 연관된 조절적인 환경에 대한 토론은 본 절과 2장 참고) (Ball, 1975; O'Keefe 등, 1976; Timmerman, 1981; Hewitt, 1983; Maskrey, 1989; Mileti, 1999; Wisner 등, 2004).

극한적이지 않은 물리적 현상도 물리적 또는 사회적 조건에 따라 그러한 결과를 초래하는 경우에는 재해로 이어질 수 있고 실제로 재해로 이어지기도 한다. 사실, 대부분의 재해 데이터베이스에 등록되는 연간 사례의 상당수는 확률적으로 정의된 극한 현상이 아닌, 물리적 현상과 연관되어 있지만, 개별적으로나 종합적으로나 커뮤니티와 정부에게 사회, 경제적으로 중대한 영향을 끼친다(UNISDR, 2009e, 2011) (높은 신뢰수준).

예를 들어, 널리 참고되는 루뱅 대학교(University of Louvaine) EM-DAT 데이터베이스(CRED, 2010)에 등록된 '재해' 중 대다수는 통계상의 극한 현상이라기 보다는 오히려 지역의 사회 및 경제 체계의 심각한 기능상실로 나타나는 극한 특성을 보인다. 이러한 연관성의 부재는 처음 라틴 아메리카에서 중소 규모의 재해 발생을 등록하기 위해 개발되었던 DesInventar 데이

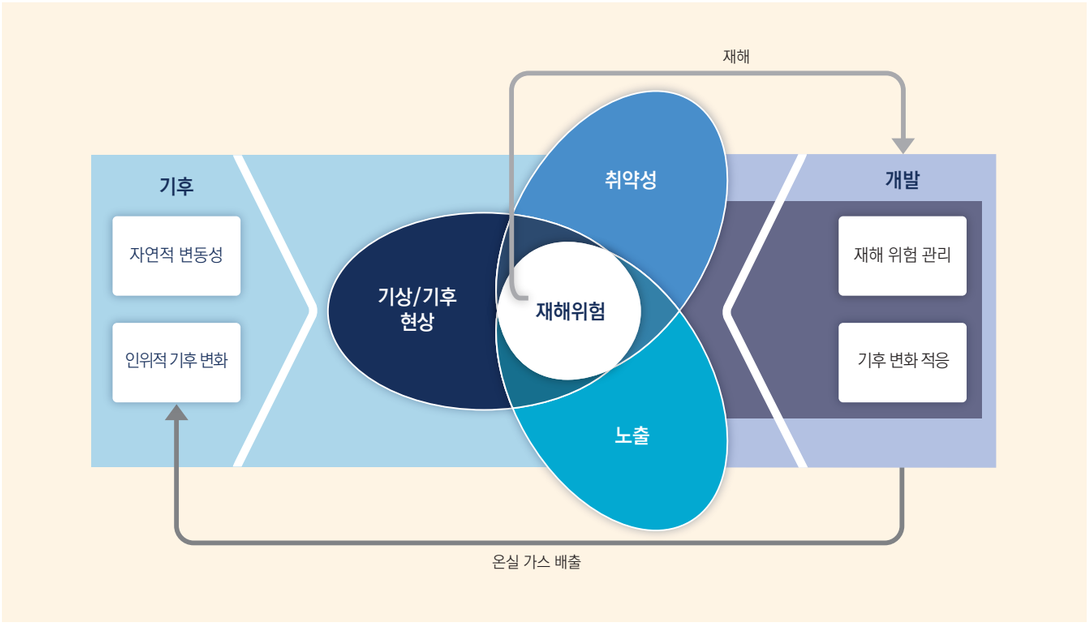


그림 1-1 | 이 보고서의 주요 개념과 범위. 이 그림은 재해 위험 관리와 기후변화 적응에 관련된 주요 개념들 그리고 재해 위험 관리 및 기후변화 적응과 지속가능한 개발 간의 상호작용을 나타낸 것이다.

터베이스(Corporación OSSO, 2010)에서 한층 더 명백히 드러난다. 이 데이터베이스는 최근 30년 동안 29개국의 재해 수십 만 건을 등록해왔다. UN 재해경감 국제전략기구(UNISDR), 미주 개발은행(Inter-American Development Bank), 및 기타 기관들은 특히 라틴 아메리카와 아시아의 재해 발생, 규모 및 영향을 조사하는 데 이 데이터베이스를 사용해왔다(Cardona, 2005, 2008; IDEA, 2005; UNISDR, 2009e, 2011; ERN-AL, 2011). 어느 곳에서나 사회적 조건이 악화되면 재해 유발 현상의 범위가 커질 수 있다(Wisner 등, 2004, 2011).

재해의 발생에는 일반적으로 재해 위험이라고 불리는 특정한 물리적, 사회적 조건이 언제나 먼저 존재한다(Hewitt, 1983; Lewis, 1999, 2009; Bankoff, 2001; Wisner 등, 2004, 2011; ICSU, 2008; UNISDR, 2009e, 2011; ICSU-LAC, 2009).

본 보고서에서의 재해 위험이란 특정 기간 동안 위험한 물리적 현상과 취약한 사회적 조건의 상호작용으로 인해 커뮤니티 또는 사회의 정상 기능이 심각하게 바뀌고, 결국은 중대한 인간의 욕구를 충족시키기 위한 즉각적 긴급 대응책이 필요하게 되며 복구를 위해 외부지원이 필요할 수 있는 인간, 물질, 경제, 또는 환경상의 폭넓은 부정적 영향이 발생할 가능성으로 정의된다. 재해 위험은 물리적 위험과 노출된 요소의 취약성이 복합되어 유도되며, 일단 재해가 발생하면 침범된 사회의 정상 기능을 심각하게 중단시킬 잠재력을 보일 것이다. 이에 대한 정성적인 논의는 본 보고서의 뒷부분에서 제시될 것이다(1.3절과 2장).

앞에서 제시된 재해 위험 및 재해의 정의들은 기후현상과 수문현상이 생태계나 지구 물리 시스템 자체에 끼칠 잠재적 또는 실제 영향은 포함하지 않는다. 본 보고서에서 그러한 영향은 다음 상황들 중 하나 이상에 해당하면 재해와 관련 있는 것으로 간주된다: i) 생태계서비스와 커뮤니티의 천연 자원에 심각한 영향을 줌으로써 생계에 부정적 영향을 준다; ii) 식량 안전에 막대한 영향력을 미치고/미치거나; iii) 인간의 건강에 영향을 미친다.

물리적 환경에 미치는 극한 영향은 3.5절에서 다루고, 생태계에 미치는 극한 영향은 4장에서 상세하게 다룬다. 그러한 영향들을 본 보고서에서 언급하는 '재해'의 정의에서 배제할 때, 본 장은 이들의 보다 폭넓은 중요성을 (예를 들어, 존재 가치에 관한) 결코 과소평가 하거나, 그것들을 적응 및 관리 조건의 규정 아래서 다루지 말아야 한다. 오히려 기후와 관련된 사회적으로 정의된 '재해' 및 '재해 위험'의 개념 틀 내에서, 그리고 재해 위험 저감 및 기후변화 적응의 촉진에 이용 가능한 관리 대안들 내에서 그들의 상대적 위치를 정립한다(1.1.2.2절과 용어집 참고). 따라서 본 보고서는 물리적 시스템과 생태계에 대한 극한 영향이 관여하거나 관여하지 않을 수 있는 '사회적 재해'를 인간활동과 자연적인 물리과정이 환경에 끼치는 직접적인 물리적 영향이 근본 원인인 (사회시스템에 직접적 피드백 영향을 끼칠 가능성이 있는) 소위 '환경 재해'와 구분한다.

재해 위험은 잠재적으로 피해를 주는 물리적 현상의 위협 없이 존재하지 않는다. 그러나 일단 그러한 현상들이 발생했을 때 그 현상만으로는 재해 또는 재해 규모를 설명하기에 충분하지 않다. 재해 위험의 개념(즉 재해)을 보다 잘 이해하기 위해서는 위험, 취약성 및 노출 개념을 고려해야 한다.

극한적 또는 극한적이지 않은 물리적 현상들, 예를 들어, 열대저기압, 홍수,

가뭄 등이 인간시스템의 요소에 부정적 영향을 끼칠 수 있을 때 이들은 위험을 나타낸다. 여기에서 위험이란 인명손실, 부상, 또는 기타 건강에 미치는 영향뿐 아니라 재산, 기간 시설, 생계, 서비스 제공 및 환경 자원의 피해와 손실을 야기할 수 있는 자연적 또는 인위적 물리적 현상의 잠재적 발생으로 정의한다. 물리적 현상은 사회적 요소들(또는 인간의 복지와 안보를 지원하는 환경 자원)이 물리적 현상의 잠재적 부정적 영향에 노출되고 그러한 부정적 영향을 받기 쉬운 체질로 만들 수 있는 조건 아래 존재하는 경우에는 위험이 된다. 따라서 이 연구에서 위험은 물리적 현상 자체가 아니라 잠재적 부정적 영향 또는 위협을 뜻하기 위해 사용된다(Cardona, 1986, 1996,2011; Smith, 1996; Tobin and Montz, 1997; Lavell, 2003; Hewitt, 2007; Wisner 등, 2004).

노출은 물리적 현상에 부정적 영향을 받을 수 있고 그럼으로써 미래의 잠재적 피해, 손실 또는 피해를 입을 수 있는 곳에 존재하는 사람, 생계, 환경 서비스 및 자원, 기간 시설, 또는 경제적, 사회적 또는 문화적 자산과 관련이 있다. 이러한 정의는 환경 서비스 및 자원이 인간의 복지와 안전에 필수적임을 받아들이면서 '환경 서비스 및 자원' 개념 아래 있는 물리 시스템과 생물 시스템을 포괄한다(Crichton, 1999; Gasper, 2010).

또한 노출은 사회 구조(예: 경제 구조와 규제 구조) 및 제도의 조정에 의해서도 좌우될 수 있다(Sen, 1983). 예를 들어, 다양한 장소에서 발생한 가뭄과 홍수가 작물생산에 끼친 영향으로 세계 시장의 변화가 발생하여 식량에 대한 불안이 발생할 수 있다. 노출의 기타 중요한 해석과 적용 사례는 2장에서 논의한다.

노출된 조건 하에서 부정적인 영향의 수준과 유형은 물리적 현상이 '취약성'으로 표현되는 사회적 조건과 상호작용한 결과일 것이다.

본 보고서에서 취약성은 일반적으로 부정적 영향을 받기 쉬운 성향 또는 기질로 정의된다. 그러한 성향은 영향 받은 요소의 내적인 특징이다. 재해 위험 분야에서, 취약성은 한 사람 또는 한 집단의 특징을 포함할 뿐 아니라 물리적 현상의 부정적 영향을 예상, 대응, 저항하고 부정적 영향으로부터 회복할 능력에 영향을 주는 상황까지도 포함한다(Wisner 등, 2004).

취약성은 다양한 역사적, 사회적, 경제적, 정치적, 문화적, 제도적, 천연 자원 및 환경적 조건과 과정의 결과이다.

이 개념은 1970년대 이래 재해연구에서 하나의 주제로 발전되어 왔고 (Baird 등, 1975; O'Keefe 등, 1976;Wisner 등, 1977; Lewis, 1979, 1984, 1999,2009; Timmerman, 1981; Hewitt, 1983, 1997, 2007; Cutter, 1996; Weichselgartner, 2001; Cannon, 2006; Gaillard, 2010), 그 동안 여러 분야와 응용에서 다양하게 수정되어 왔다(Adger, 2006; Eakin and Luers, 2006; Fussel, 2007). 취약성은 다양한 정량적, 정성적 척도에 따라 평가되어 왔다(Coburn and Spence, 2002; Schneider 등, 2007; Cardona, 2011). 이러한 개념과 취약성의 유발 요인 또는 근본 원인은 2장에서 자세히 논의한다.

재해 위험 관리를 위한 커뮤니티의 경우 손실과 피해의 물리적인 해명과 원인규명을 넘어 취약성이 위험 구조에서 사회적 요인의 역할을 강조했다는 점에서 그 중요성을 찾을 수 있다(Hewitt가 재해의 '물리주의자(physicalist)'적 해석이라고 명명한 것에 대한 초기 비평에 관하여 Hewitt (1983) 참고). 물리적 현상에 노출되는 조건이 비슷하다 할지라도 취약성 수준의 차이에 따라 피해 및 손실 수준은 차이를 가져올 것이다(Dow, 1992; Wisner 등, 2011).

여기에서 사용된 정의는 취약성의 사회적인 함축적 의미와 '예측'치가 강조된다. 그러나 이전에 IPCC가 정의한 취약성은 "시스템이 기후의 변이와 극한 현상을 포함해 기후변화의 부정적 영향에 민감하고 대처할 수 없는 정도를 말한다. 취약성은 기후변화의 특징, 규모 및 속도와 시스템의 노출 정도, 민감도 및 적응력의 함수이다" 라고 정의하였다(IPCC, 2007c, p. 883). 이 정의는 물리적 원인과 그것들의 영향을 취약성의 명백한 측면으로 만들지만 민감도와 적응력이라는 개념에 의해 사회적 배경이 포함된다(추후 정의). 본 보고서에 사용된 정의에서는 사회적 배경이 명확히 강조되고 취약성은 물리적 현상으로부터 독립된 것으로 간주된다(Hewitt, 1983, 1997, 2007; Weichselgartner, 2001; Cannon, 2006; O'Brien 등, 2007).

FAQ 1.1 | 극한 현상과 재해 사이에 일대일 관계가 있는가?

없다. 재해는 영향 받은 지역사회의 정상 기능을 심각하게 교란하는 사회적, 경제적 또는 환경적 영향을 수반한다. 극한기상 및 기후 현상은 재해로 이어질 것이다: 1) 지역사회가 그러한 현상에 노출되는 경우, 2) 잠재적으로 위험한 극한 현상에 대한 노출이 고도의 취약성 (손실과 피해가 발생하기 쉬운 경향)을 동반하는 경우. 한편, 재해는 통계적으로 극한적이지 않은 현상에 의해서도 발생된다. 높은 수준의 노출과 취약성은 영향 받은 일부 지역사회에게는 소규모 현상조차도 재해로 변환시킬 것이다. 동일 지역사회에 계속적으로 영향을 주며 발생하는 중소규모의 현상은 발전기반과 생계를 심각하게 침해할 수 있고 그리하여 취약성을 증가시킬 수 있다. 그러한 현상의 발생 시기(일, 월 또는 년)와 순서 (비슷한 현상들이 연달아 발생하거나 서로 다른 현상들이 동시에 발생)는 그러한 현상이 인간에게 미치는 영향에 결정적으로 중요하다. 재해 위험의 근본적인 물리적, 사회적 결정인자들의 상대적 중요도는 현상의 규모와 노출 및 취약성의 수준에 따라 다르다. 덜 빈번한 현상의 영향은 노출과 취약성을 증가시키는 물리적, 생태적, 사회적 조건들에 의해 악화되기 때문에 그러한 현상들은 위험, 노출 및 취약성을 줄일 대안에 거의 접근할 수 없는 자원이 빈곤한 지역사회에는 불균형하게 영향을 끼친다. 극한 현상의 잠재적 부정적 결과는 반응, 적응, 예상 및 시정하는 재해 위험 관리전략을 이행함으로써 그리고 지속 가능한 개발에 의해서 상당히 완화될 수 있다(그러나 완전히 제거될 수는 없다).

취약성은 능력 개념과 대비되어 왔고 능력의 정도를 나타내는 역할을 하였다.

능력은 개인, 지역사회, 사회, 또는 조직이 이용할 수 있고 수립된 목표를 달성하는 데 사용될 수 있는 모든 강점, 속성 및 자원을 통칭하는 말이다. 능력은 취약성을 줄이고 재해의 결과에 대처하기 위해 제반 사회(기관, 지역 집단, 개인 등)로 하여금 사회적, 경제적, 심리적, 문화적 그리고 생계와 관련한 천연 자원에 접근 및 사용할 수 있게 하고 필요한 정보와 거버넌스 조직에 접근할 수 있게 하는 조건과 특징을 포함한다. 이러한 정의는 Sen의 '개발에 다가가는 능력' (Sen, 1983)에서 언급된 능력의 정의를 확장하는 것이다.

능력의 결여는 전반적인 취약성의 단면으로 보일 수도 있는데, 이는 취약성에 기여하더라도 취약성 자체의 일부가 아닌 별도의 개념으로 간주된다. 취약성은 능력의 절대적인 결여가 아닌 상대적인 결여를 의미한다.

Anderson과 Woodrow(1989)의 재해복구에 대한 연구에 의하면 취약성을 부정적 측면으로부터 사람들에 의한 긍정적인 이행 쪽으로 분석의 균형을 옮기기 위한 수단으로 촉진시킨 능력 개념은 재해 위험 저감과 기후변화 적응에 유리한 개념 전환을 구상하고 설계하는 데 있어 필수적이다. 효과적인 능력 배양, 즉 능력의 성장을 자극하고 대비한다는 이 개념은 명확하게 정립된 목표와 함께 미래의 청사진을 요한다.

적응력은 능력 개념의 구체적인 이용으로 이루어지며 이 장의 뒷 절과 특히 2장과 8장에서 자세히 다룬다.

취약성과 능력의 존재, 그리고 물리적 현상의 영향과 함께 발생할 수 있는 부정적 영향의 성격과 범위를 이해하는 데 있어서 이들의 중요성은 일단 재해가 발생할 경우 부정적인 영향을 개선 또는 완화해주는 특징과 조건을 고려해서 보완될 수 있다. 따라서 복원력의 개념과 대응에 대한 개념은 필수적이다.

여기에서 **대응**(1.4절과 2장 참조)은 일반적으로 단기에서 중기적으로 기본 기능을 달성한다는 목표 하에 부정적 영향을 다루고 관리하고 극복하기 위해 가용 기술과 자원 및 기회를 사용하는 것으로 정의된다.

복원력은 시스템 및 구성요소들이 잠재적으로 위험한 현상의 영향에 대하여, 시스템의 본질적인 기본 구조 및 기능의 보존, 복구 또는 개선을 보장하는 등 시기 적절하면서도 효율적으로 예상, 흡수, 순응, 또는 그러한 영향으로부터 회복할 능력으로 정의된다. Gaillard(2010)가 지적하듯, 이 용어는 재해연구에서 1970년대 이래 사용되어 왔고(Torry, 1979), 공학(Gordon, 1978), 생태학(Holling, 1973) 및 아동심리학(Werner 등, 1971)에서 기원한 용어이다.

지금은 재해 위험 관리 분야와 적응 분야에서 널리 사용되지만, 복원력은 그동안 다양하게 해석되어 왔고 하나의 개념으로 수용되는 수준도 다양하였다 (Timmerman, 1981; Adger, 2000; Klein 등, 2003; Berkes 등, 2004; Folke, 2006; Gallopín, 2006; Manyena, 2006; Brand and Jax, 2007; Gaillard 2007; Bosher, 2008; Cutter 등, 2008; Kelman, 2008; Lewis and Kelman, 2009; Bahadur 등, 2010; Aven, 2011). 예를 들어, 일각에서는 이 용어를 위험 '순환' 또는 '연속체'를 따라 임의 시점에서의 상황, 즉 물리적 현상의 영향이 발생하기 전, 도중 또는 이후의 상황에 관하여 사용한다. 다른 이들은 '취약성' 개념과 '능력' 개념만으로 여러 복구 시나리오에서 나타나는 성공 또는 실패의 범위를 설명하기에 충분하다고 간주하여 이 용어의 사용을 선호하지 않는다(Wisner 등, 2004, 2011). 후자의 표현에 따르면, 취약성은 애초의 손실과 피해를 키울 뿐 아니라 복구를 방해하기도 하는 반면 능력의 배양은 이러한 부정적인 상태를 변화시키고 지속가능성의 증가와 재해 위험 저감에 기여할 수 있다.

복원력의 보다 오랜 개념인 '회복(bouncing back)'과, 복원력과 동류의 개념인 대응 개념(1.4절 참고)은 '전진(bouncing forward)'이나 궁극적인 '번성(thriving)'과 마찬가지로 지속적인 조건 개선을 초래하는 순환 과정을 만들 것을 강조하는 것이 아니라, 이전 상태로 또는 '생존'과 같이 가까스로 수용할 만한 수준으로의 복귀를 강조해 왔다(Davies, 1993; Manyena, 2006). 그러나 위험 및 취약성 프로파일에 대한 기후 변화의 동적이고 때로는 불확실한 결과(뿐 아니라 도시화 같이 진행 중이고 오래 이어진 개발 추세)는 '회복'은 재해 위험 관리의 목표로는 점점 불충분해지고 있다(Pelling, 2003; Vale and Campanella, 2005; Pendalla 등, 2010) (높은 신뢰수준). 사회생태계 시스템의 복원력에 대한 최근의 개념은 결과보다는 시간 경과에 따른 자기조직화(self-organization)와 학습 및 적응할 능력을 비롯해 결과보다는 과정에 보다 중점을 둔다(예: Norris 등, 2008) (8장 참고). 이 보고서에 사용된 것과 같이, 일부 복원력에 대한 정의는 현재 본질적인 기본 구조 및 기능의 예상과 '개선'이라는 발상도 포함한다. 1.4절은 복원력의 이러한 보다 미래 지향적인 응용을 통해 강조되는 학습의 중요성을 고찰한다. 8장은 혁신, 리더십 및 적응 관리를 위한 범위를 탐구한 문헌들로부터 학습의 중요성을 더욱 확장한다. 이 전략들은 기존 개발 비전, 목표 및 실무를 보다 지속 가능하고 복원력 있는 미래로 변환시킬 잠재적 경로들을 제안한다.

2장과 8장은 복원력의 개념과, 지속 가능성, 재해 위험 저감 및 적응에 대한 고찰에서 복원력과 그 중요성을 보다 자세히 다룬다.

1.1.2.2. 재해 위험 관리와 기후변화 적응에 관한 개념 및 정의

본 보고서에서 **재해 위험 관리**는 인간의 안전, 행복, 삶의 질 및 지속 가능한 개발을 증가시킨다는 명확한 목적 아래 재해 위험에 대한 이해를 향상시키고 재해 위험 저감과 재해 위험의 전환을 증진시키며 재해 대비, 대응 및 복구 방식의 지속적 개선을 촉진하기 위한 전략, 정책 및 대책들을 설계하고 이행과 평가하는 과정으로 정의한다.

재해 위험 관리는 수준과 강도가 서로 다른 재해와 재해 위험 모두와 관계가 있다. 다시 말해서 재해 위험 관리는 극한 현상에 연관된 위험 또는 재해의 관리를 위한 '지침서'에 국한되지 않고 그보다는 재해로 이어질 수 있는 노출, 위험 및 취약성의 상호작용의 종합적이고 다양한 패턴, 규모 및 수준에서 개입을 설명하고 예측하는 개념적인 틀을 포함한다. 재해 위험 관리에 대한 최근의 주요 관심사항은 물리적 의미에서 극한적이지 않은 보다 작은 규모의 물리현상들과 연관된다(1.1.1절 참고). 이것은 주로 노출과 관련 취약성의 증가 때문이다(UNISDR, 2009e, 2011).

이 장과 이 보고서에서 **위험 관리**라는 용어가 사용되는 경우, 달리 명시되지 않는 한 재해 위험 관리의 동의어로 해석해야 한다.

재해 위험 관리는 서로 관련 있으나 별개인 두 가지의 소분야 또는 구성요소, **즉 재해 위험 저감과 재해 관리**로 나눌 수 있다.

재해 위험 저감은 정책의 목표 또는 목적과 미래의 재해 위험을 예상하고 기존 노출이나 위험 또는 취약성을 저감하며 복원력을 향상시키는 데 이용되는 전략과 대책을 의미한다. 이것은 사람, 생계 및 자산의 취약성을 줄이는 것과 토지, 물 및 기타 환경 구성요소의 적절한 지속가능한 관리를 보장하는 것을 포함한다. 보편적인 개념과 전략들은 영향이 있기 전에 취해진 이행과 활동을 포함한 재해 위험 저감과 연관될 때, 또 복구와 재건이 새로운 재해 위험 시나리오나 조건의 예측을 요구하는 경우에 강조된다. 재해 위험 및 재해 위험 저감과 개발 및 개발 계획 사이의 강한 관련성은 주로 개발도상국에서 정립 및 검증되어 왔다(UNEP, 1972; Cuny, 1983; Sen, 1983; Hagman, 1984; Wijkman and Timberlake, 1988; Lavell, 1999, 2003, 2009; Wisner 등, 2004, 2011; UNDP, 2004; van Niekerk, 2007; Dulal 등, 2009; UNISDR, 2009e, 2011) (높은 신뢰수준).

재해 관리는 서로 다른 조직 수준과 사회 수준에서 재해 대비, 대응 및 복구에 대한 실무를 촉진하고 개선하는 전략, 정책 및 대책을 설계, 이행, 평가하는 사회적 과정을 말한다. 재해 관리 과정은 재해 현상의 시급성(immediacy)이 명백해지고 영향의 발생 전과 후에 대응할 자원과 능력이 투입되면 수행된다. 이 과정은 조기경보시스템, 비상 계획, 응급 대응(극심한 스트레스 조건 아래서 인간의 중대한 욕구를 충족하기 위한 영향 발생 후 긴급 지원) 그리고 궁극적으로 복구를 수행한다(Alexander, 2000; Wisner 등, 2011). 재해 관리가 필요한 이유는 진행 중인 재해 위험 저감 과정이 충분히 완화 또는 저감되지 않았거나 완전히 제거 또는 대비하지 않은 '남아있는 재해 위험'이 존재하기 때문이다(IDB, 2007).

재해 손실이 증가하자 재해 발생 이후의 대응 및 복구 재원에 대한 관심이 급속히 증가했다(UNISDR, 2009e, 2011). 마찬가지로 재해 위험에 대한 전환의 개념과 실례에 대한 관심도 커졌고 점차 부각되는 모습을 보이게 되었다. **위험 전환**은 특정 위험의 재정적 결과를 한 당사자에게서 다른 당사자에게로 공식 또는 비공식적으로 옮기고, 그럼으로써 그 다른 당사자에게 제공된 진행 중이거나 보상적인 사회적 또는 재정적 혜택의 대가로 가계, 지역사회, 기업, 또는 지방정부가 재해 발생 후에 그 다른 당사자에게서 자원을 획득하는 과정을 말한다. 위험 전환 메커니즘은 재해 관리와 재해 위험 저감으로 이루어져 있다. 전자의 경우, 재해가 일어나면 재해의 영향과 결과에 대처하도록 재정 지원이 이루어진다. 후자의 경우, 보험금의 적절한 사용을 통해 보험에 가입된 항목에 대해 재해 위험 저감 정책의 적용이 촉진되고 장려될 수 있다. 위험 전환은 5, 6, 7, 9장에서 보다 자세히 다룬다.

지난 20여년에 걸쳐, 1990년대 전까지 우세하게 사용되었던 재해 위험 관리 및 재해 위험 저감과 재해 관리의 개념은 재해 위험보다는 재해를 주요한 이슈로 강조했던 '재해와 비상관리'의 고유 개념 및 용어들을 대체해왔다. 이러한 재해는 개입 과정에 대한 필요성을 촉진시켰다. 그리고 재해 위험 관리와 재해 위험은 현재 이 분야에서의 사상과 이행 측면에 있어 보다 우세한 위치를 점하는 추세이다(재해 위험 관리를 지지하는 역사적 변화의 배경과 고찰에 대해서는 Hewitt, 1983; Blaikie 등, 1994; Smith, 1996; Hewitt, 1997; Tobin and Montz, 1997; Lavell, 2003; Wisner 등, 2004, 2011; van Niekerk, 2007; Gaillard, 2010을 참고).

재해 또는 재해 관리 순환의 개념은 기존에 재해 또는 비상 관리에 대하여 큰 관심과 흥미가 나타났던 상황에서 도입되고 널리 이용되기 시작했다. 이러한 순환과 이후에 등장한 '재해 연속체'의 개념은 재해 관리의 순서와 구성요소를 다루었다. 대비, 비상 대응, 재활 및 재건을 고려한 것 외에도, 이것은 '재해 관리'의 일환인 재해 예방과 완화도 포함하였고, 이행의 서로 다른 유형들을 분류하기 위해 재해 발생 전, 도중, 이후라는 시간 개념을 활용하였다 (Lavell and Franco, 1996; van Niekerk, 2007).

순환의 개념은 중재 과정을 역학적으로 묘사한 점, 서로 다른 요소와 이행들이 병합되는 방식과 서로 시너지 작용을 하고 영향을 줄 수 있는 방식을 충분히 고려하지 않은 점, 재해 위험 저감 고려사항들을 '재해 관리' 규정에 포함시킨 점 때문에 비난을 받았다(Lavell and Franco, 1996; Lewis, 1999; Wisner 등, 2004; Balamir, 2005; van Niekerk, 2007); 시간이 지나면서 세계의 여러 지역에서 순환의 개념은 뚜렷이 다른 위험 저감 요소와 재해에 대한 중재 요소를 고려하는 재해 위험 관리의 보다 포괄적인 접근법과 개념에 점차 자리를 내어주는 경향이 있었다. 재해 자체가 아니라 재해 위험 측면에서 기원한 개념 쪽으로의 이동은 '**재해 위험 연속체**'의 개념으로 이어졌다. 재해 위험 연속체의 개념에서 위험은 연속적으로 발달하고 변화하는 것으로 보이며, 시간이 지나면서 재해 영향 전 위험 저감으로부터 재해 영향 후 새로운 위험 조건에 대한 대응까지 여러 가지 양상에 대한 중재를 요하고 복구 시 새로운 위험 요인들의 통제를 요한다(Lavell, 2003 참고).

순환의 한 단계에서 취해진 이행이 다른 단계에 끼치는 영향에 관하여 예를 들어, 재해 자체에 대한 대응의 형태와 방법은 미래의 재해 위험 저감 노력에 어떻게 영향을 줄 수 있는가에 관하여 많은 저술이 이루어졌다. 재해 위험의 이해와 향후 재해 위험 저감에 대한 노력을 진전시키기 위해서는 커뮤니티의 적극적인 참여를 장려하고, 지역사회와 커뮤니티의 기존 능력과 자원을 사용하고, 재해 대비 및 대응에서 의사결정을 지방 수준으로 분권화 하는 것이 다른 어떤 요인들보다 중요한 것으로 간주되었다(Anderson and Woodrow, 1989; Alexander, 2000; Lavell, 2003; Wisner 등, 2004) (높은 신뢰수준). 복구에 사용된 방법과 복구를 통해 이룬 성과는 확실히 미래의 재해 위험과 미래의 대비 및 대응 필요성에 중대한 영향을 끼친다.

다음 절에서는 적응 분야와 재해 위험 관리 분야의 더 긴밀한 통합을 위한 연결 고리와 대안을 소개하기 위한 배경으로서, 재해에 중점을 둔 재해 관리에서 재해 위험에 중점을 둔 재해 위험 관리로의 전환을 설명하는 주요 요인을 소개한다.

개발 계획 절차(시민 보호, 민방위, 응급 서비스 및 공공사업 정부 부처의 기능으로 간주되는 재해 관리와 반대로서)의 일부로 재해 위험 저감 목적을 지지하는 정책들이 점차 변화함에 따라 재해 관리를 위한 기존의 비상 또는 재해-대응 위주의 제도적, 조직적 수단들이 면밀히 검토되었다. 대응 위주의 조직과 기반 시설 조직의 선제력은 재정 부처뿐 아니라 경제, 사회 부문과 국토 개발 부처 또는 기관 편입의 증가로 보완되어 왔다. 오늘날 많은 곳에서 단일 기관이 아니라 전체를 다루는 체계적인 접근법이 점차 개선되고 있다.

다분야 및 다기관 계획의 시너지, 협력, 조화 및 개발은 지속가능한 개발 체제 안에서 재해 위험 저감 및 재해 위험 관리의 이행을 보장하는 긍정적인 속성인 것으로 간주된다(Lavell and Franco, 1996; Ramirez and Cardona, 1996; Wisner 등, 2004, 2011). 이러한 환경 아래서 국가 재해 위험 관리 시스템 또는 조직이라는 개념이 강력하게 부상하였다. 이 개념들은 6장에서 자세히 고찰한다.

기후변화 적응은 이 특별보고서에서 정책적, 전략적, 제도적 측면에서 중요성을 가지는 인간시스템과 자연계를 모두 아우르는 개념이다. 여기서 인간 시스템의 적응은 위험을 저감하거나 이로운 기회를 활용하기 위해, 실제 또는 예상 기후 및 그 영향에 맞춰 조절해가는 과정으로 정의된다. 자연계의 적응은 실제 기후 및 그 영향에 대해 조절하는 과정으로 정의되고; 인간의 간섭이 예상되는 기후에 대한 조절을 더 촉진할 것이다.

이러한 정의는 "해로움을 완화하고 이로운 기회를 활용하기 위해, 실제 및 예상되는 기후 자극(climatic stimuli)에 대응하여 자연계와 인간시스템이 조절"하는 것이라고한 IPCC (2007c) 정의를 수정한 것이다. 본 평가 보고서에서 사용된 수정된 정의는 자연계가 예상되는 기후 자극에 적응할 수 있다는 예전 IPCC 정의에 있을 수 있는 함축적 의미를 피하기 위한 목적을 가지고 있다. 동시에, 이러한 정의를 통해 인간의 중재 중 일부는 인간이 예측한 미래의 기후자극에 대해 자연계의 조절에 도움을 줄 수 있는 기회를 제공하는 것임을 받아들이는 것이기도 하다.

적응은 본 보고서의 핵심 측면이며, 1.3절, 1.4절 그리고 뒷 장에서 보다 자세히 다룬다. 앞에서 재차 언급된 재해 위험 관리에 대한 광범위한 서론은 이 보고서의 특정 관점, 즉 적응은 진전되어야 할 목표이며 극한 현상과 재해 위험 관리는 그 목표를 지원하고 진전시키는 방법이라는 점이 도출되었다.

적응 개념은 기후변화 문헌 및 실무에 나오는 **완화**(mitigation) 개념에 대립하는 개념이다. **완화**는 기후변화의 요인(화석연료 연소, 농업, 토지이용 변화, 시멘트 생산 등에서 온실가스 배출)의 관리를 통해 기후변화의 진행 속도를 줄이는 것을 말한다(IPCC, 2007c). 그러나 재해 위험 저감을 위한 실무에서 '완화'는 여러 가지 **재해 대비책**의 사용을 비롯해 기존의 위험, 노출, 또는 취약성의 저감을 통해 재해 위험을 개선하는 것을 말한다.

조기경보와 비상 계획을 비롯한 **재해 대비책**은 재해 위험 저감과 재해 관리의 구성요소이며 이들을 연결하는 가교로 간주할 수 있다. 대비는 완화되지 않은 잔류 위험의 존재를 수용하며, 사회가 자연·물리적 현상 발생 시 겪을 수 있는 부정적 영향을 제거하는 데에 도움을 준다(예: 사람과 가축을 취약한 환경과 노출로부터 격리). 동시에 대비는 실제 발생하는 부정적 영향에 보다 잘 대응하도록 도움을 준다(예: 부정적 영향을 받거나 궁핍한 사람들에게 적당한 쉼터와 음용수 공급 또는 영향을 받고 있는 동물에게 먹이를 공급하는 계획).

완화의 서로 다른 두 정의를 수용하기 위하여, 본 보고서에서 '**완화**'는 기존 특정 조건들의 약화가 필요한 두 가지 상황에서 적용될 수 있는 실질적인 이행이라고 간주한다.

재해 완화는 재해가 발생한 경우에 그 이상의 악조건을 제한하려하는 이행을 나타내기 위해 사용된다. 이것은 초기 물리적 영향 이후의 소위 '2차 재해'를 방지하는 것을 말한다(Alexander, 2000; Wisner 등, 2011). '2차 재해'의 가장 큰 특징은 부적절한 재해 대응 및 재활 계획, 기존 계획의 부적절한 제정, 또는 예측되지 않거나 예측 불가능한 상황으로 인해 건강(Noji, 1997; Wisner 등, 2011)과 생계에 미치는 부정적 영향이다.

재해 위험 **예방**과 재해 **예방**은 엄격한 의미에서, 재해로 이어지는 기저 원인과 조건들을 제거 또는 방지하고 그리하여 재해 위험이나 재해발생의 가능성을 사전 배제하는 것을 말한다. 이러한 개념은 재해 위험은 관리 가능하고 재해 발생은 어느 정도 예방 가능하다(상황에 따라 다르지만)는 사실에 주목시키는 역할을 한다. 전향적인(상황을 앞서서 주도하는) 재해 위험 관리와 적응은 사후 시정식 또는 사후 대응식 관리의 경우처럼 그저 기존의 위험과 재해를 저감하는 것이 아니라 그보다는 미래의 위험과 재해를 회피하는 데 중요하게 기여할 수 있다(Lavell, 2003; UNISDR, 2011).

1.1.2.3. 재해 위험의 사회적 구성(social construction)

앞에서 설명한 위험, 노출, 취약성, 재해 위험, 능력, 복원력 및 대응이라는 개념과 이들의 사회적 근원 및 기반은 재해 위험과 재해의 경우 구체적이고 물리적인 조건에 의해 증강되지만 근본적으로 '사회적 구성', 즉 사회적 선택, 사회적 제약, 사회의 이행과 비이행의 결과라는 새로운 해석을 반영한다(높은 신뢰수준). 위험의 사회적 구성이라는 개념은 관리는 관련된 사회적 변수들을 고려할 수 있고 사회적으로 지속 가능한 결정과 인간의 공동 이행을 통해 위험 저감, 재해 관리 또는 위험 전환에 최대한 기여할 수 있다는 것을 함축한다(ICSU-LAC, 2009). 인간의 중재를 통해 상당히 저감할 수 없을 만큼 너무 큰 위험은 없다거나 바로 그 사회적 구성 과정이 악화시킬 수도 있는 위험은 없다는 것을 의미하지는 않는다(1.3.1.2절과 1.4.3절 참고). 그러나 예를 들어, 많은 자연 물리적 현상들과 그것들의 재해 위험 기여와는 대조적으로, 사회적으로 구성된 위험 요소는 위험 저감에 유리한 중재를 받게된다.

위험 저감 및 적응 대안을 조명하기 위해 재해 위험에 대해 물리적 현상이 미치는 통계 분포로 나타낼 수 있다(1.2절과 3장 참고). 그러나 위험의 정치적, 경제적, 사회적, 문화적, 자연적 및 심리적 요소들 또는 결정인자에 대한 명료한 인식은 **극한 영향** 개념에서 포착되었던 영향을 포함해 자연 현상의 다양한 잠재적 결과로 이어진다(1.2절과 4장 참고). 따라서 위험 및 위험 원인 규명 과정을 더 완전히 기술하기 위해서는 정량적 척도와 정성적 척도(사회적, 심리적) 모두를 이용하는 위험평가(1.3절 참고)가 필요하다(1.3절; Douglas and Wildavsky, 1982; Cardona, 2004; Wisner 등, 2004; Weber, 2006). 기후변화는 과거의 환경시스템에 대한 기능을 일시적으로 중단시킬 수 있으며, 그로 인해 물리적 현상의 예측은 과거의 추세에 덜 좌우된다. 이러한 조건에서 위험 평가가 효과적인 도구로 인정받으려면 인간에 대한 취약성을 유발하는 과정과 정립된 인간의 취약성을 나타내는 지표들을 재고할 필요가 있다. 물론 취약성을 대표하는 특징들의 본질적 성격과 구조는 기후의 변화 없이도 변할 수 있다.

1.1.3. 기후변화 적응과 재해 위험 관리 간의 관계 설정

기후변화 적응과 재해 위험 관리는 기후 관련 위험에 기여하는 요인을 최소화 하고 환경 및 인간 상황을 조절함으로써 사회 및 경제 발전에서 지속 가능성을 지원하고 증진하는 것을 추구한다. 적절한 재해 대비를 촉진하는 것 역시 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 기능 중 하나이다. 재해 위험 관리와 기후변화 적응은 기존 위험과 예측된 미래 위험을 다루는 시정적이고 전향적인 성격을 띄고 있으며 학습을 요하는 것으로 보인다(1.4절 참고).

그러나 이 둘은 서로 독립적인 진전 및 발전 경로를 거쳐왔고, 목적을 달성하기 위해 이용한 개념, 방법, 전략, 제도의 해석에서도 종종 차이를 보였다. 이들의 시너지를 높이려면 우선 차이점부터 고려해야 하며 이러한 차이점은 1.3절에서 개괄적으로 다루고 뒤 장에서 자세히 다룬다.

재해에 대한 공공 정책과 전문적 개념, 그리고 재해 및 재해 위험 관리에 대한 접근법은 지난 30년간 중대한 변화를 겪어왔다. 그래서 현재 적응 분야의 중점적인 문제들은 그간의 주요한 재해관리 관심사와는 다른 현재의 재해 위험 저감의 상당한 부분을 차지한다(Lavell, 2010; Mercer, 2010). 이러한 변화는 개념의 변화, 여러 분야의 개입, 사회적·경제적 요구, 재해의 영향뿐 아니라 1990년대의 자연재해 경감을 위한 10개년 계획(UN Declaration of the International Decade for Natural Disaster Reduction), 2005년 효고 행동계획(2005 Hyogo Framework for Action), 2000년대 이후의 재해저감을 위한 국제전략 연구 등과 같은 국제 합의 및 정책들에 반영된 제도에도 나타났다. 특히 개도국에서는 재해 위험과 '편향된' 개발 과정 간의 문서화 된 관계가 이러한 전환을 자극하였다(UNEP, 1972; Cuny, 1983; Sen, 1983; Hagman, 1984; Wijkman and Timberlake, 1988; Lavell, 1999, 2003; UNDP, 2004; Wisner 등, 2004, 2011; Dulal 등, 2009; UNISDR, 2009e, 2011). 개발에서 나온 이익의 분배 또는 할당에서 발생하는 상당한 차별과 만성적 또는 일상적 위험의 발생에서의 차이는 특정한 재해 위험에 기여하는 주요 인자인데, 이는 빈곤한 사람과 가족에게 불평등하게 영향을 준다(Hewitt, 1983, 1997; Wisner 등, 2004). 생태계서비스의 고갈속도 감소, 도시 토지이용 및 국토 공간조직 과정의 개선, 농촌 주민 생계의 개선, 도시 및 농촌 관리의 일반적이며 특정한 진전은 빈곤 감소, 재해 위험 저감, 기후변화 적응이라는 복합적인 의제를 달성하는 데 필수 불가결한 것으로 간주된다(UNISDR, 2009e, 2011) (높은 신뢰수준).

기후변화는 개발의 문제이자 '편향된' 개발의 징후이다. 이러한 맥락에서 복원력의 경로는 점증적 개발 접근법과 변환적 개발 접근법 둘 다 포함한다(8장 참고). 변환적 전략에서는 사회구조뿐 아니라 사회적 이행에서 기인하고 재해 위험 관리부터 개발 목표, 정책, 실무까지 이르는 보다 폭넓은 범위를 가진 위험을 다루는 데 중점을 둔다(Nelson 등, 2007). 이러한 방식으로 변환은 Hewitt (1983), Watts (1983), Maskrey (1989, 2011), Blaikie 등 (1994), Wisner 등 (2004)의 연구를 비롯해 결정적으로 중요한 방법들을 적용해온 유구하고 사회적으로 동의된 재해 위험 연구들을 기반으로 한다.

그러나 재해 위험 형성에 있어서 개발 정책 및 실무의 역할은 오래 전부터 알려져 있으나 기저원인 – 재해 위험의 사회, 정치, 경제 및 환경 유발 요인– 저감의 진척은 많은 지역에서 위험, 노출 및 취약성을 저감하기에는 여전히 불충분하다(UNISDR, 2009e, 2011)(높은 신뢰수준).

보다 포괄적인 재해 위험 관리로의 전환은 재해 위험 저감, 위험 전환, 재해 관리 노력을 어떻게 적절히 분배할 것인가 라는 어려움을 초래한다. 국가들은 정보 및 교육에 대한 기회의 차이, 다양한 수준의 논쟁과 토론, 그리고 배경, 이념, 제도 및 기타 관련 인자들로 인해, 개발관점에서 보이는 바와 같은 재해관리의 다양한 문제들에 대하여 수용 또는 저항의 폭넓은 반응을 나타낸다. 재해 대응 기관에서 재해 위험 저감을 위한 대책의 수립은 어떤 경우에서는 부족한 자원을 위험 저감 쪽으로 돌림으로써 재해 대응을 위한 개선 노력을 저하시켰을지도 모른다(Alexander, 2000; DFID, 2004, 2005; Twigg, 2004).

재해 위험 관리를 영향 후 재해 대응의 노력이 아니라 개발의 한 차원으로 간주하고 개발 계획의 일환으로 간주하는 것이 점점 더 중시되자 사후 대응식, 사후 시정식 재해 위험 완화가 아니라 순향적(proactive)이고 전향적(prospective)인 재해 위험 예방이 점점 더 중시되고 요구되었다(Lavell, 2003, 2010; UNISDR, 2009e, 2011).

최근에 통합적인 재해 위험 관리가 등장한 것은 주요한 개념과 계획에 있어서의 관심사가 재해의 개념에서 재해의 위험 개념으로 이동한 것을 보여주는 것이다. 재해 위험 관리는 포괄적인 재해 위험 저감에 더욱 중점을 둔다. 이렇게 위험 저감으로 관심사가 이동한 것은 다양한 사회 또는 국가 규모에서 그리고 서로 다른 시간 차원에서(예: 시정식 또는 전향적 위험 관리에 필요한) 물리적 현상의 잠재 영향에 대한 저항력(resistance)을 키우는 것과 영향 받은 지역사회의 복원력을 키우는 것이 점점 더 중시되는 것에서 볼 수 있다. 저항력은 부정적인 영향을 피할 능력을 말한다.

이러한 맥락에서 재해 위험 저감과 기후변화에 대한 적응은 비상 시 또는 재해 관리 목적이 토론이나 관행이 우세했던 시절보다 현실적으로 훨씬 긴밀하다. 기후변화 및 재해 분야의 많은 요소들이 재해 위험 관리를 재해 위험 저감 자체가 아닌 재해 대비 및 대응에 주로 연관시켜 왔다는 사실은 이 두 가지가 보완적이라해도 본질적으로 서로 다르다는 견해를 뒷받침한다(Lavell, 2010; Mercer, 2010). 기후변화 적응과 재해 위험 관리의 발전 기초를 위험의 구성에서 취약성의 역할, 재해발생의 시간 규모, 재해 위험 저감에 대한 시정적이며 전향적인 성격과 함께 고려하면, 관심사항과 행위 사이의 유사성과 두 가지를 병한한 대안은 그에 상응하여 증가한다.

두 가지 행위의 통합에 관한 장벽과 대안을 보다 자세히 고찰하기 위한 도입부로서 1.3절에서는 기후변화 적응의 현황을 살펴본다. 본 소절에 제시된 역사적인 설정은 그러한 고찰의 서론 격이다.

1.1.4. 재해 위험 관리 과정과 기후변화 적응 과정의 설정

본 절에서는 재해 위험 관리와 기후변화 적응 모두와 각각 연관되는, 그리고 이들의 성공적인 실행에 영향을 주는 현상 및 사회 과정들의 공통부분이나 차이점을 정립할 때 고려해야 하는 두 가지 핵심문제를 탐구한다: 1) 극한 현상에 초점을 맞추는 정도(물리적 현상의 완전한 연속체가 피해를 일으킬 잠재력, 물리적 현상이 발생하는 사회적 배경, 물리적 현상이 '극한 영향' 또는 재해를 일으킬 잠재력을 함께 고려하는 보다 포괄적인 접근법 대신에); 2) 이행 과정에서 서로 다른 행위주체 및 과정들의 원인과 영향에 대한 심층적인 이해를 증진하기 위하여 조사되어야 하는 적절한 사회–국가 규모에 대한 고려(즉, 집합체; Schneider 등(2007)을 참고).

Box 1-1 | 변화의 맥락에서 기후변동성에 대한 한 인간의 경험

요셉은 80세이다. 요셉과 그의 아버지, 할아버지는 무수한 변화를 목격해왔다. 그들이 거주하는 탄자니아의 집은, 사우스 페어 산(South Pare Mountains)의 1500 m 지점의 급한 비탈에서 시작하여 그로부터 20 km 떨어진 팡가니 강(Pangani River) 근처 평원까지 이동해 왔다. 세계1차 대전 때 독일군과 영국군의 전투를 본 아버지와 빅토리아 여왕 시절에 마사이 소떼 습격을 막아냈던 할아버지를 둔 이에게 '변화(mabadiliko, 즉 chagnes)'란 무엇을 의미할까?

요셉의 삶은 영국의 점령기보다 길었다. 그는 독립 후에 아프리카 사회주의(African Socialism)의 변천을 지켜 보며 성장했다. 도로는 구식 독일 철로 옆에 나란하게 건설되었다. 그의 기나긴 일생 동안 상업용 작물들이 계속적으로 바뀌는데 일부는 저지대의 농장에서 재배되었고(사이잘(sisal), 케이폭(kapok), 사탕수수) 일부는 산에서 재배되었다(커피, 카다몸, 생강). 그는 옥수수(maize)가 카사바(cassava)나 바나나보다 더 유행하면서 주식(主食)이 변하는 것을 지켜 보았다. 토지피복도 변하였다. 숲은 줄었지만, 새 나무들이 농장에서 자랐다. 정부가 절기에 쥐불(seasonal burning)을 금지함에 따라 초원의 잔디가 변하였다. 팡가니 강에 댐이 건설되었고, 전기회사는 농사를 위해 끌어다 쓸 수 있는 물의 양을 결정한다. 병원과 학교가 건설되었다. 살충 처리된 모기장이 최근에 아이와 임신부를 위해 도입되었다.

요셉은 산에서부터 평원까지 서로 다른 고도의 아홉 군데에 토지를 보유하고 있으며, 휴대폰으로 자식들과 연락을 유지한다. 요셉에게 '기후변화' (mabadiliko ya tabia nchi)란 무엇일까? 그는 무수한 변화 속에서 고통과 혜택 모두를 경험했다. 그는 기아를 동반하는 많은 가뭄을 겪으며 살아왔고, 홍수를 목격했으며, 산사태도 지켜 보았다. 그는 크고 작은 변화로부터 기회를 잡는 데 능란하다: 변화는 멈춰있는 것보다는 낫다 (Mabadiliko bora kuliko mapumziko; Change is better than resting).

이 글의 출처는 미국 국립과학재단의 자금지원을 받은 연구 프로젝트 "Linking Local Knowledge and Local Institutions for the Study of Adaptive Capacity to Climate Change: Participatory GIS in Northern Tanzania" (기후변화 적응능력 연구를 위한 지역의 지식과 기관들의 연결: 북탄자니아의 참여 GIS) 에서 Ben Wisner가 탄자니아 킬리만자로 지역의 Same District에서 행해진 2009년 11월의 현장연구 인터뷰이다.

1.1.4.1. 예외성, 일상성 및 일상 생활

극한 현상으로부터 기인하는 손실과 피해를 일차적으로 혹은 배타적으로 물리적 현상에 초점을 맞춰 설명하는 것은 '물리주의자(physicalist)'라고 일컬어져 왔다(Hewitt, 1983). 이와는 달리, 평범한 일상 생활 속 위험 요인의 연속체를 중심으로 발전되고 물리적 사회적 극한 현상의 고려까지 포함하는 개념은 그 개념이 재해 위험의 사회적, 물리적 측면을 포함하고 시간에 따른 경험의 진전을 고려하는 '포괄적', '통합적', 또는 '전체론적' 이라고 정의되어 왔다(Cardona, 2001; ICSU-LAC, 2009). 후자의 관점은 재해를 이해하기 위한 기초로 소위 '취약성 패러다임'이 발전하는 데 있어 주로 기여한 인자였다(Timmerman, 1981; Hewitt, 1983, 1997; Wisner 등, 2004; Eakin and Luers, 2006; NRC, 2006).

또한, 중·소규모 재해의 역할에 대한 관심(UNISDR, 2009e, 2011)은 재해 위험 관리 및 적응의 효과를 증진하기 위하여, 인간시스템과 물리적 시스템에서의 다양한 경험을 통해 누적된 재해 손실 및 피해의 문제를 통합적으로 다룰 필요성을 강조한다. 오로지 '예외적인' 또는 '극한' 현상에 기초한 이행이 아닌, 일상적 또는 만성적인 위험 인자들의 저감과 완화에 기초한 메커니즘과 전략의 설계(Sen, 1983; World Bank, 2001)는 이러한 접근법의 명백한 필연적 결과이다. 위험, 위기 및 변화를 처리하는 능력은 소규모의 보다 일반적인 물리적, 사회적 현상에 대한 개인의 일상적 경험과 밀접한 관계가 있다(Maskrey, 1989, 2011; Lavell, 2003; Wisner 등, 2004)(높은 신뢰수준). 이러한 개념은 다양한 위험의 부정적 영향에 대한 노출, 취약성 및 사회적으로 결정된 성향 또는 소질에 폭넓게 초점을 맞춤으로써 기후 관련 재해에 대한 취약성을 줄이고 복원력을 키우는 가능성을 다룬다.

Box 1-1에서 보는 바와 같이, 대다수의 기후변화 관련 극한 영향과 그러한 극한 영향에 수반되는 추가적 위험과 기회는 필연적으로 개인, 개별 가구 및 커뮤니티의 규모, 그리고 지역, 국가 및 그들의 조직, 관리 상의 대안 범위, 그리고 경제적, 정치적, 기술적, 문화적 배경을 포함한 일상적 변화의 맥락 내에서 이해하고 대처할 필요가 있을 것이다. 이러한 실례가 보여주듯이 일상 생활, 역사 및 일련의 위기는 더욱 극한적이거나 복잡한 문제에 대한 태도와 접근 방식에 영향을 줄 수 있다. 이와는 달리, 오늘날 세계 곳곳에서 보이는 고도의 중앙화되고 계층적인 권한 접근법을 고려하면, 재해 위험 관리 및 기후변화 적응 활동을 수행하는 단체와 기관들은 필연적으로 다른 관점에서 운영된다.

재해 위험 관리는 지난 30년 이상의 경험을 토대로 수정되어 온 반면에, 인위적 기후변화에 대한 적응은 대부분의 정책입안자들의 정책 의제 속에 등장한 비교적 최근의 사안이며, 오랜 경험에서 나온 정보는 없는 실정이다. 그러나 과거 천 년이나 수백 년 동안의 지배적인 기후변동성, 기후변화 및 극한 기후 및 기상 현상에 대한 인간의 적응은 기후변화에 대한 적응 분야와 개인 및 정부가 도출해낼 수 있는 풍부한 경험을 제공한다.

Box 1-1은 과거의 경험을 기후변동성 적응에 성공적으로 이용할 가능성과 새로운 위험의 성격을 이해하지 못할 가능성을 보여주며 일부 사람들이 이전의 경험으로부터 기후변화에 대응할 수 있는 방식을 암시한다.

1.1.4.2. 영토 규모, 재해 위험 및 적응

기후 관련 재해 위험은 위험과 취약성 간의 상호 작용이 현장에서 실제 진행되는 지역, 또는 미시(micro) 수준 (가족, 지역사회, 개별 건물, 또는 생산 단위 등)에서 가장 잘 묘사되고, 측정되며 관찰된다(Hewitt, 1983, 1997; Lavell, 1.2.1. 2003; Wisner 등, 2004; Cannon, 2006; Maskrey, 2011). 동시에, 재해 위험 구축 과정은 특정한 지역 또는 미시 과정에 국한되지 않으며, 그보다는 각자 잠재적으로 끊임 없이 유동하는, 국제 규모부터 국가, 국가 내, 지역 규모에서 원천을 찾아야 하는 다양한 환경적, 경제적, 사회적, 이념적 영향에 국한된다(Lavell, 2002,2003; Wisner 등, 2004, 2011).

국제 무역 시장에서 생필품의 가격 변화와 그것이 식량 안전과 농업인들의 복지, 농작물 생산 장소 및 중단에 대한 국제 기업들의 결정, 하천 상류의 산림 벌채, 도시 내륙의 토지이용 변화에 끼치는 영향은 지역 위험에 미치는 '역외적인(extra-territorial)' 영향의 일부일 뿐이다. 더욱이 재해는 일단 발생하면 직접적으로 영향 받은 지역을 넘어 훨씬 넓은 범위에까지 영향을 미치는 파급효과를 갖는다(Wisner 등, 2004; 5장). 재해 위험 관리 및 적응 정책, 전략 및 제도는 이해와 중재가 국가 및 사회의 여러 수준의 원칙에 기초하는 경우와 지역, 국가 내, 국가, 국제 규모의 현상과 이행들이 상호작용하거나 연계하는 방식으로 구축되는 경우에만 성공할 것이다(Lavell, 2002; UNISDR, 2009e, 2011; 5-9장).

1.2. 극한 현상, 극한 영향 및 재해

1.2.1. 극한 현상, 극한 영향 및 재해의 구별

재해 위험 관리에 대한 문헌과 기후변화 적응에 대한 문헌은 '극한기상' 현상과 '극한기후' 현상을 정의하고 그것들과 '극한 영향' 및 '재해'의 관계를 정의한다. 극한 현상, 극한 영향 및 재해의 분류는 기상 변수나 기후 변수의 측정된 물리적 속성 (1.3.2절 참고) 또는 사회시스템의 취약성에 영향 받는다(2.4.1절 참고).

이 절에서는 여러 계열의 극한기상 현상들에 대한 정량적 정의, 어떤 특징들이 영향을 극한 영향으로 결정하는가, 기후변화는 기후현상 및 영향의 이해에 어떻게 영향을 주는가를 논의한다.

1.2.2. 물리적 용어로 정의된 극한 현상

1.2.2.1. 극한 현상의 정의

일부 문헌은 '극한 현상'이라는 용어를 기상현상에 사용하고(Easterling 등, 2000; Jentsch 등, 2007), 일부 문헌들은 홍수와 같은 결과로 발생하는 자연적인 영향을 포함시키고(Young, 2002), 또 어떤 문헌은 인간, 사회, 생태계에 미치는 모든 범위의 결과를 포함시킨다(Rich 등, 2008). 본 보고서에서는 오직 '극한(기상 또는 기후) 현상'이라는 용어를 기후와 관련한 인적 측면에서의 요소(예: 토지 이용 변화, 토지 피복 변화, 수자원 관리의 변화 등. 3.1.2절과 용어집 참고) 이외의 인간과 관련된 요소가 인과관계에 포함된 현상(예: 홍수)을 포함해 기상현상 및 그로 인한 자연 현상만을 가리켜 사용한다. 인간, 사회, 그리고 생태계를 비롯한 물리적 시스템에 대한 결과의 범위는 '현상'에 대한 정의의 일부이기 보다는 '영향'으로 간주된다(1.1.2.1절, 3.1.2절, 용어집 참고).

'기후'는 장기간의 평균적인 기상에 대한 정보를 제공하는 것 외에도 '이례적으로' 발생하는 기상과 비정상적으로 오래 지속되는 기상과 관련된 평균과 비정상성의 모든 영역을 특징으로 한다. 세계기상기구(WMO, 2010)는 이러한 용어들을 다음의 방식으로 구분한다(FAQ 6.1 참고): 좁은 의미에서 기후는 대개 '평균 기상'으로 정의되거나 보다 엄격하게 "일정 기간 동안의 양(quantities)의 평균과 변동성 측면에서의 통계적인 표현"이라고 정의된다.

기상 및 기후 현상은 매우 넓은 범위의 공간 및 시간 규모에서 일어나는 동적, 열역학적 과정들의 상호 작용을 반영한다. 이러한 복잡성은 기온, 운동성 그리고 '극한 현상'을 구성하는 강수를 포함해 매우 가변적인 대기 상태를 초래한다. 극한 현상에는 불과 몇 분만에 통과하는 강력한 돌풍과 수십 년 동안 지속되는 가뭄이 포함된다 – 최소 10-7의 시간규모. 3.1.2절에서는 극한 '기상'과 '기후' 현상 간의 모호한 차이에 대해 시간 규모를 바탕으로 다룬다. 극한기후 또는 기상의 공간규모는 지역부터 대륙에 이르기까지 다양하다.

기상 또는 기후 요소의 공간적인 분포를 분석할 수 있는 장기간 기록된 자료가 존재하는 경우, 공학적인 설계에서 요구되는 기준값보다 높거나 낮을 가능성을 기상 또는 기후 자료에서 발견할 수 있다(어떤 기간 동안 기후가 변화하였는지를 확인하기 위해 기상 및 기후 자료에서 추세를 구할 수 있다; Milly 등, 2008). 어떤 주어진 규모의 기상 또는 기후 현상의 극한성은 지리적 상황에 따라 다르다(3.1.2절과 Box 3-1 참고). 인도 첸나이(Chennai)의 봄철 일최고기온이 한달 동안 지속된다면 프랑스에서는 열파라고 불릴 것이다; 미국 뉴욕에서 매년 발생하는 눈보라가 중국 남부에서 일어난다면 재해를 일으킬 것이다. 또한 공간적인 위치와 사회적 배경에 따라, 확률이 연간 1/10 또는 1/20인 현상은 이례적인 현상이라고 하기에는 충분하지 않을 수도 있다. 그럼에도 보편적 기준값이 존재할 수 있다. 예를 들어, 추운 날씨의 빈도나 강도가 감소하면 일부 질병 매개체가 번성할 수도 있다(예: Epstein 등, 1998). '극한(기상 및 기후) 현상'의 정의에서는 이러한 다양한 측면들이 고려된다.

관측 자료는 그 지역의 기후 특징을 정의하고 재해 위험을 관리하는 데 아주 중요하다. 그리고 기온 및 강수 자료는 쉽게 이용할 수 있지만 일부 요소들 예

를 들어, 토양 수분 같은 요소는 제대로 관측되지 않거나, 극한 풍속처럼 발생빈도가 적은 현상도 이와 마찬가지로 충분한 공간 해상도나 연속적인 시간 규모에서 관측되지 않는다(3.2.1절 참고).

1.2.2.2. 변화하는 기후에서의 극한 현상

현재 기후의 극한 현상의 빈도는 미래의 기후조건에서는 더 자주 발생하거나 드물어질 수 있다. 기후 요소의 전반적인 분포가 변할 때 발생하는 것은 분포의 양 끝의 극한 현상과는 다를 수 있다(그림 1-2 참고).

예를 들어, 온난해진 기후는 추운 날의 일수가 감소하여 기온 분포에서 분산이 감소하였거나 더운 날의 일수가 증가하여 기온 분포의 분산이 증가하였거나 또는 그 둘 다의 결과일 수 있다. 평균기온의 변화에 관해서 극한 현상의 변화는 3.1.6절에서 더 자세히 다룬다.

일반적으로, 한 번 일어난 극한 현상에 대해 인위적 기후변화를 그 원인이라고 단정지을 수는 없다. 현상이 다른 원인에 의해 발생했을 가능성이 항상 존재하기 때문이다(Hegerl 등, 2007; 3.2.2절; FAQ 3.2). 그러나 기후모델을 통한 결과에 의하면 일부 시계열의 지역적, 장기적 극한 현상(열파와 호우)의 경우, 그러한 극한 현상의 확률이 인위적인 기후강제력(Anthropogenic climate forcing)으로 인해 변해왔음이 가능다고 증명되었다(Stott 등, 2004; Pall 등, 2011).

극한 현상은 1607년에 발생한 영국의 과거 500년 중 가장 강력했던 폭풍해일로 인한 홍수(storm surge flood)처럼, 극한 사리(spring tide)와 동시에 일어나는 중규모 폭풍 해일처럼 서로 관련 없는 두 가지 지구물리적 현상 간의 상호작용을 통해 발생하기도 한다(Horsburgh and Horritt, 2006). 기후변화는 극한 해일(surge)의 빈도를 변화시키고 점진적인 해수면 상승을 야기할 수 있어 미래의 극한적인 홍수를 심화시킬 수 있다(3.5.3절과 3.5.5절 참고).

1.2.2.3. 극한 현상의 다양성과 범위

개인, 커뮤니티, 정부가 우려하고 있는 현상과 관련 있는 극한기상 및 기후 현상의 특징은 농업, 질병 관리, 도시 설계, 기반 시설 유지 등 어느 분야에서든지 간에 영향 받는 이해관계자에 따라 다르게 나타난다. 따라서 그러한 극한 현상의 범위는 매우 다양하고 폭넓게 변화한다. 예를 들어, 비, 언 비(freezing rain) (빙점 이하의 대기 층을 통과해 내리는 비), 눈 또는 우박으로 내리든지 간에 극한 강수는 상당한 피해를 야기할 수 있다(Peters 등, 2001). 강수가 내리지 않거나(McKee 등, 1993) 토양의 과도한 증발산 (Box 3-3 참고)도 극한 기후일 수 있고 가뭄으로 이어질 수 있다. 극한의 지상풍은 주로 구조적인 폭풍 순환과 연관이 있다(Emanuel, 2003; Zipser 등, 2006; Leckebusch 등, 2008). 가장 큰 피해를 초래하는 열대저기압과 중위도의 온대저기압은 물론 강력한 대류성 뇌우를 포함한 모든 폭풍 유형은 다양한 규모, 진행속도 및 강도를 나타낸다. 하나의 강한 폭풍으로 인해 극한 바람과 극한 강수가 나타날 수 있다.

바람이 장기간 불지 않는 현상도 도시 오염과 지장을 줄 정도의 안개를 초래

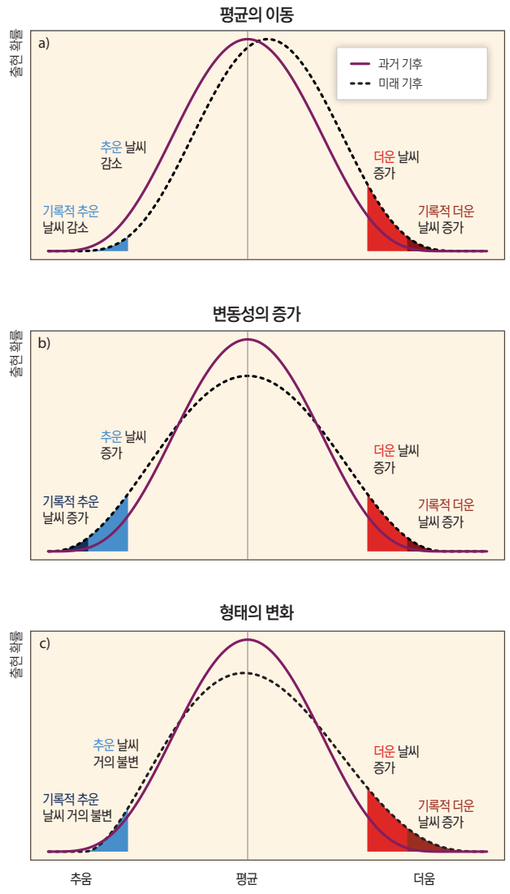


그림 1-2 | 기온분포의 변화가 극한 현상에 미치는 효과. 현재 기후와 미래 기후에 대한 기온분포의 서로 다른 변화 그리고 극한값의 분포에 미치는 효과: a) 더 따뜻한 쪽으로 분포 전체의 단순 이동; b) 평균 이동 없이 기온의 변동성만 증가; c) 분포의 형태 변화, 여기서는 더운 부분 쪽으로 치우친 비대칭적인 증가.

하는 위험한 기후 현상이라고 할 수 있다(McBean, 2006).

대기의 움직임도 수권, 빙권 및 육상 환경의 변화와 긴밀하게 얽혀 있기 때문에 극한(또는 때때로 극한이 아닌) 대기 현상은 드물게 발생하는 물리적 현상을 야기(또는 기여) 할 수 있다. 대표적인 수문기후에서의 극한 현상으로는 다음과 같은 것들이 있다:

- 해안 홍수와 대규모 파도의 원인이 되는 바람 그리고 이상 기압 현상을 일으키는 대규모 저기압성 폭풍(cyclonic storms) (Xie 등, 2004).
- 인간의 중재와 하천 정비 및 관리된, 집중 호우로 인해 수로의 용량을 초과한 하천; 겨울철 쌓인 적설의 급격한 융해; 눈이 내린 후에 내리는 비(Sui and Koehler, 2001); 또는 빙하, 산사태, 빙퇴석, 또는 인공적으로 막아 놓은 호수의 붕괴로 인한 유출(de Jong 등, 2005). 저수량에 따라, 하천 시스템은 경사가 크고 짧은 계곡, 사막의 강(wadis)과 수 시간의 강우에 대응하는 도시배수시스템에 대하여

특징적인 대응시간을 갖는 반면에, 대륙의 주요하천의 첨두유량은 수 주 동안 지속되는 지역 규모의 극한 강수를 반영한다(Wheater, 2002).

- 장기간의 강수량 감소, 여름에 녹고 남은 눈과 얼음의 감소((Rees and Collins, 2006), 또는 고온으로 인한 증발산의 증가. 이는 인간의 지하수 취수에 의해 악화되고, 지하수위를 낮추고 샘물이 유입되는 강을 사라지게 만들며(Konikow and Kendy, 2005), 가뭄 발생에 기여하기도 한다.
- 호우 발생 이후의 지하수위 상승이나 영구동토에서 해빙되는 사면에 있는 활성층에 의해 발생하는 산사태 (Dhakal and Sidle, 2004).

1.2.3. 극한 영향

1.2.3.1. 극한 영향의 세 가지 종류

이 절에서는 다음 세 가지 종류의 '영향'을 고려한다: 1) 폭풍과 진흙사태로 일어나는 해안 침식 같은 자연적인 물리적 환경의 변화; 2) 허리케인으로 인한 산림파괴 같은 생태계의 변화, 3) 인간 또는 사회적 상태 및 자산에 대한 부정적 영향(여러 가지 척도에 의해). 그러나 영향이 언제나 부정적이지는 않다: 홍수를 발생시킨 강우는 다음 계절에 농작물에게 이로운 효과를 끼칠 수 있고(Khan, 2011), 반면에 극한의 추위로 인해 다음 해의 농사에서 병충해가 감소할 수 있다(Butts 등, 1997).

극한 영향은 사회, 자연적인 물리적 환경, 또는 생태계에 매우 중요하고 장기적인 결과를 나타낸다. 극한 영향은 단일 극한 현상의 결과이거나, 연속적인 극한 현상 또는 비극한 기후 현상(예: 산불 발생 후의 호우로 산사태와 토양 침식이 발생)을 포함한 비극한 현상의 결과, 또는 가뭄을 초래하는 조건 등 조건들이 단순히 지속된 결과일 수 있다(이에 대한 고찰과 사례는 3.5.1절과 9.2.3절 참고).

극한 현상이 인간시스템과 사회 시스템에 극한 영향을 초래하는가의 여부는 물리적 현상의 규모뿐 아니라 그 영향에 대한 노출과 취약성의 정도에 달렸다(높은 신뢰수준). 인간시스템에 대한 극한 영향은 취약성과 노출이 높은 경우에는 극한적이지 않은 현상과도 연관될 수 있다(1.1.2.1절과 9.2.3절 참고). 기상 요소는 어떤 장소의 기준값(예: 열파로 인한 사망률 또는 작물의 서리 피해에 연관된 기준값)을 거스를 수 있고, 그래서 영향의 분포는 물리적 변화에 따라 분포의 어느 한 쪽으로 이동한다(4.2절 참고). 기후변화로 인해 예측되는 영향에 대한 포괄적인 평가는 대기 상태(기온과 강수)의 변화가 어떻게 물리적(예: 가뭄과 홍수, 해안 및 사면의 침식, 해수면 상승), 생태적(예: 산불), 인간시스템에(예: 사상자 발생, 기반 시설 피해) 영향을 미치게 되는가를 고려할 것이다. 예를 들어, 송·배전망에 대한 사회 전반적인 의존으로 인해 넓은 공간 규모(얼음 폭풍이나 폭풍에서처럼)에서 발생하는 극한 현상은 전력과 관련한 피해를 더 악화시키고 파괴적인 영향을 끼칠 수 있다(Peters 등, 2006). 기후현상과 물리적 영향 간의 관계는 3.5절에서 다루고 생태계에 미치는 영향과 인간시스템 영향과의 관계는 4.3절에서 다룬다.

재해는 사회가 받는 극한 영향을 의미하며, 물리적 환경과 생태계에 대한 극한 영향과도 연관될 수 있다. 1.1.2.1절의 정의에 근거해 기상, 기후 또는 수문에 미치는 영향으로 인한 극한 영향은 다음 세 가지 중 최소 하나의 기준값을 초과하면 재해가 될 수 있다. 즉, 공간적인 기준값을 초과하여 주변 지역의 능력으로도 피해가 쉽게 회복되지 못하는 경우; 시간적인 기준값을 초과하여 추가 피해로 인해 회복이 이루어지지 못하는 경우; 영향 받은 집단에 대한 영향의 강도에 대한 기준값을 초과하여 사회 또는 커뮤니티 자체의 복구 능력이 제거까지는 아니더라도 훼손되는 경우(Alexander, 1993). 그러나 발생률을 도표화 하기 위하여 일부 기관들은 특정 사망자 수나 부상자 수 또는 총 복구비를 넘는 경우에만 재해로 간주한다(Below 등, 2009; CRED, 2010).

1.2.3.2. 극한 현상의 복잡한 특성

극한기상 및 기후 현상과 그로 인한 영향을 함께 고려할 때, 문헌에 사용된 '현상'이라는 용어는 예를 들어, 동일 지역을 연속적으로 강타한 일련의 폭풍(예: 서유럽에서 1990년 1월과 2월 및 1999년 12월에 발생한 폭풍, Ulbrich 등, 2001) 같은 연속적인 물리적 현상들의 복합적인 결과를 정확하게 포착하지 못한다. 재해의 사회적 배경에 초점을 맞출 때, Quarantelli (1986)는 '현상(event)'이라는 단어가 흔히 함축하는 의미의 돌발적이고 상황에 따른 성격 때문에 '현상' 대신에 '재해 발생률 또는 시기(Disaster occurrences or occasions)' 라는 개념의 사용을 제안하였다. 특히 사회적 배경은 영향을 초래하는 지속시간에 대한 전제조건을 만들고 더 길게 할 수 있기 때문에 현상이라는 단어의 그러한 성격은 재해의 복잡성과 시간성을 착각하게 만든다.

때때로 '동일한' 대규모의 안정된 대기순환 내에서 극한 현상에 의해 영향을 받은 지역들은 서로 멀리 떨어져 있을 수 있다(예: 2010년 여름에 발생한 러시아 열파와 파키스탄의 인더스 계곡 홍수)(Lau and Kim, 2011). 또한 극한 현상은 엘니뇨-남방진동(El Niño–Southern Oscillation)에서 적도 부근 해양의 해수면 온도 및 바람의 주요한 동인을 특징 짓는 대기의 원격상관(atmospheric teleconnections)을 통해 상호 관련 될 수 있다. 기후변동성 모드와 극한 현상 모드 간의 관계는 3.1.1절에서 더 자세히 논의한다.

어떠한 극한 현상의 여파는 그 뒤를 잇는 현상들의 물리적 영향의 전제조건이 될 수 있다. 1995년 라인강의 사례와 같이 높은 지하수위와 하천 수위가 수 개월 간 지속될 경우, 폭풍으로 인해 홍수가 발생할 확률이 증가할 수 있다(Fink 등, 1996). 북극해 빙하의 두께 감소는 여름철 빙하의 분포를 더 극적으로 감소시키는 전제조건이다(Holland 등, 2006). 다양한 되먹임과 기타 상호 작용은 물리적 영향을 증폭시킬 수 있는 방식으로 극한 현상과 물리적 시스템 및 생태계의 반응을 연결한다(3.1.4절과 4.3.5절 참고). 예를 들어, 토양수분 감소는 열파를 강화할 수 있고 (Seneviratne 등, 2006), 반면에 우기 후에 찾아온 가뭄은 식생을 산불에서 소비될 수 있는 연료로 전환시킨다(Westerling and Swetman, 2003). 이것은 다시 비가 내릴 때 토양 유출수와 산사태를 촉진시킨다(Cannon 등, 2001). 그러나 극한 현상은 상호작용으로 재해 위험을 저감시킬 수도 있다. 허리케인을 통해 바람에 실려온 파도는 차가운 물을 수온약층(thermocline)에서 표층으로 이동시켜서 그 다음 달에 열대저기압이 아주 가까운 곳까지 다가오면 그 열대저기압의 잠재적 최대 강도는 감소할 것이다(Emanuel, 2001). 몬순과 허리케인을 동반한 강한 강우 역시 사회와 생태계에 큰 이익을 제공한다; 많은 경우에서 그러한 강우는 저수지를 채우고 농사를 유지시키고 건조 지대에서는 여름철에 건조 상태를 약화시킨다(예: Cavazos 등, 2008).

Box 1-2 | 확률적 위험 분석

가장 간단한 형태의 확률적 위험 분석은 위험(risk)을 어떤 현상 (또는 연속적인 현상)가 발생할 확률과 그 현상의 부정적인 결과의 곱으로 정의한다.

$$\text{위험} = \text{확률} \times \text{결과} \quad (1)$$

예를 들어, 어떤 커뮤니티가 인근의 하천 범람으로 처하는 위험은 그 하천이 범람하여 마을을 침수시키고 주민들 중에 사상자를 발생시키며 커뮤니티의 경제기반을 교란시킬 가능성에 기초하여 계산할 수 있다. 이러한 가능성에 사람들이 사망자 수와 경제적 교란에 부여한 값을 곱한다. 방정식 (1)은 1.1절에 나온 정성적 재해 위험 정의를 정량적으로 표현한 것이다. 세 인자 모두 – 위험, 노출, 취약성 – '결과'에 기여한다. 위험과 취약성은 둘 다 '확률'에 기여할 수 있다. 전자는 물리적 현상(예: 하천의 범람으로 인한 마을의 침수)의 가능성에 기여하고, 후자는 그 현상으로 인한 결과(예: 사망자 수와 경제적 교란)의 가능성에 기여한다.

거버넌스의 틀 내에서 더 큰 위험에 대한 확률적 위험 분석을 실행하면 위험 관리에 대한 할당과 평가에 도움이 될 수 있다. 방정식 (1)은 의사결정을 위한 문헌(Morgan and Henrion, 1990)에서 의사결정 규칙이라고 부르는, 즉 제반 위험을 저감할 능력으로 대안적인 이행에 대하여 평가하는 기준을 함축한다. 예를 들어, 보험회사(위험 전환의 노력의 일부로서)는 홍수보험의 연간 보험료를 정할 때 한 주택이 어떤 해에 침수될 확률의 추정치에 홍수가 야기할 금전적 손실의 추정치를 곱한 값을 이용할지도 모른다. 원칙적으로, 많은 거주자에게서 거둔 보험료는 실제로 침수되는 몇 안 되는 거주자들에게 보상하기 위한 자금으로 쓰일 것이다(행정 비용 지출). 또 다른 사례로써, 물 관리 기관(위험 저감을 위한 노력의 일부로서)은 관리 지역에서 100년 동안(또는 다른 기간 동안) 관측된 가뭄 중 최대 가뭄이 미래에 다시 발생하는 경우에 그 기관이 안정적인 급수를 할 수 있도록 충분한 크기의 저수지를 짓는 데 자원을 투자할 것이다.

방정식 (1)의 개념은 문헌에서 매우 다양하게 표현된다. 재해 위험 관리 커뮤니티는 위험(risk)을 위험(hazard), 노출, 취약성의 곱으로 표현하는 것이 편리하다는 것을 종종 발견한다(예: UNISDR, 2009e, 2011). 그 외에도 의사 결정과 관련된 문헌에서는 일부 상황에서 유용한 의사 결정 규칙이 방정식 (1)에서 확률과 결과에 의존하지 않는다는 것을 보여주었다. 예를 들어, 확률 추정치가 충분히 부정확하면 의사 결정자는 잠재적 결과의 비교 추정치에만 의존하는 기준을 사용할지도 모른다(예: 기회손실 최대치 최소화(mini-max regret), Savage, 1972).

실제로 확률적 위험 분석은 자료의 한계; 완전한 확률적 위험 평가에 필요한 노력보다 적은 노력으로 만족스러운 결과를 낳는 의사 결정 규칙; 중요한 확률 및 결과의 일부 추정치로부터 더 이상 줄일 수 없는 부정확성(1.3.1.1절과 1.3.2절 참고); 위험에 대한 판단에 영향을 주는 매우 다양한 인자들을 다룰 필요성(Box 1-3 참고) 때문에 순수한 형태로 수행되지 않는 경우가 많다. 위의 사례에서, 물 관리 기관은 완전한 확률적 위험 분석을 수행하지 않고 하이브리드 의사결정 규칙을 이용한다. 이 규칙으로 이 기관은 물 부족 가능성을 선택된 확률의 기준값 이하로 유지하는 데 필요한 어떤 합당한 투자도 정당화할 정도로 물 부족의 결과는 매우 심각할 것이라고 추정한다. 2장에서는 재해 위험 관리를 할당하기 위한 다양한 실용적인 정성적, 정량적 접근법들을 고찰한다.

순수한 형태의 확률적 위험 분석은 개념이 단순하기 때문에 가정이 분명해서 이해하기 쉽고, 이론적 기반이 탄탄하며 특정 사례들의 적용을 조사한 경험적 증거들이 방대하기 때문에 재해 위험 관리 노력의 효과에 대한 공식적 평가의 중대한 비교점이 되므로 중요한 가치가 있다.

1.2.3.3. 극한 현상의 사회영향 및 관리를 측정하는 척도

사회적, 경제적 영향을 정량하기 위한 (그래서 극한 영향을 정의하는 데 사용되는) 척도에는 다음과 같은 것들이 있다(Below 등, 2009):

- 사망자 수와 부상자 수
- 영구적 또는 일시적으로 거주지를 잃은 사람 수
- 직·간접으로 영향 받은 사람 수
- 손상되거나 파괴된 건물 수로 측정한, 재산에 대한 영향
- 기반 시설과 생명 유지에 필수적인 요소에 대한 영향
- 생태계서비스에 대한 영향
- 농작물과 농업시스템에 대한 영향
- 질병매개체에 대한 영향
- 심리적 안녕 및 안전에 대한 영향
- 재정적 또는 경제적 손실(보험손실 포함)
- 대응 능력과 외부지원 필요에 대한 영향

위에 언급된 것들은 모두 영향의 규모, 발생률, 지속 기간, 비가역성 정도에 따라 측정될 수 있다(Schneider 등, 2007). 이러한 척도는 다양한 배경에서 정책 수립에 정보를 제공하기 위한 확률적 위험 분석의 맥락에서 측정하고 이행할 수 있다(Box 1-2 참고).

일반적으로 대규모 재해에 대한 직접적, 간접적, 부차적 영향들에 관하여 이용할 수 있는 정보가 존재하고, 라틴아메리카 경제위원회(Economic Commission for Latin America), 대형 재보험사(reinsurer), EM-DAT 데이터베이스 같은 조직들에 의해 체계화되며 제공된다(CRED, 2010). 그보다 규모가 작고 더 빈발하는 현상들의 영향에 대한 정보는 훨씬 부족하고 영향력이 큰 변수의 개수도 현저히 적은 실정이다. 현재 29개국의 기상 및 기후 정보를 담은 데신벤타르(Desinventar) 데이터베이스(Corporación OSSO, 2010)와 미국의 기상 및 기후 정보를 담은 미국 재해 및 손실 데이터베이스(Spatial Hazard Events and Losses Database for the United States: SHELDUS; HVRI, 2010)는 이러한 필요를 충족하려는 시도들이다. 그러나 많은 영향에 대한 바료의 부재는 소규모 재해의 전지구적인 사회·경제 영향에 대한 완전한 지식이 구축되는 것을 방해한다(UNISDR, 2009e).

1.2.3.4. 극한 현상의 적응을 위한 전통적인 조절능력

재해 위험 관리와 기후변화 적응은 미래에는 더 넓은 범위의 조건들이 예상될 때 사회와 자연이 과거에 자발적으로 성취해온 적응을 반복, 촉진 또는 향상하려는 시도로 볼 수 있다.

자연계가 기후에 적응하는 데 있어서, 예를 들어, 수목의 자연 선택은 극한 현상에 맞서서(약간의 희생을 감수하고) 적절한 복원력을 진전시킬 잠재력을 갖고 있다. 수목이 바람에 쓰러지지 않고 버티는 저항력은 수목 품종에 따라 매우 다르며, 토종의 수목은 기후에 따라 진화해왔다(Canham 등, 2001). 원래의 서식지에 서식하는 수목은 10~50년 주기로 예측되는 극한 바람은 이겨내지만 그 수목의 평균 수명인 100~500년을 넘는 주기의 극한 현상은 이겨내지 못한다(Ostertag 등, 2005).

인간시스템에서 전통적으로 주기적 가뭄에 익숙해진 커뮤니티는 우물, 시추공, 펌프, 댐, 취수 및 관개 시스템을 활용한다. 고온에 노출된 주택에 사는 사람들은 두꺼운 벽과 좁은 거리를 이용하고, 수동 냉각 시스템을 개발하거나, 생활 양식에 적응하거나 에어컨을 갖추기도 한다. 열파의 발생이 흔하지 않은 지역에서는, 특히 가장 취약층인 노인이나 환자가 사는 집에서 이러한 시스템의 부재는 2003년 8월 프랑스 파리(Vandentorren 등, 2004)나 2006년 7월 캘리포니아(Gershunov 등, 2009)의 경우처럼 초과적인 사망률의 원인이 된다.

앞에서 말한 '자발적인' 인간시스템 적응의 사례는 예측되는 범위에서의 극한 현상에서 비롯한 위험을 저감하기 위해 취해지는 대책들과 대비될 수 있다. 열대저기압 활동이 가장 활발하고 강력한 지역인 괌에서는 건물을 세계에서 가장 엄격한 내풍 설계 규격에 따라 짓는다. 건물들은 몇 십년 주기로 예상되는 76 ms^{-1}의 최대돌풍(peak gust)을 견딜 것이 요구된다(International Building Codes, 2003). 일반적으로, 해안 지역의 연 극한 바람은 대체로 중위도에서 가장 높을 것이고, 100년 빈도의 극한 바람은 위도 10~25° 의 열대 지역에서 가장 강할 것이다(Walshaw, 2000). 결과적으로, 토착 건축물은 바람이 더 강한(그리고 폭풍 해일의 영향을 받는) 중위도보다 적도 부근에서 복원력이 덜할 가능성이 있다(Minor, 1983).

지역 규모에서 극한 현상의 경험은 재해 위험 관리와 기후변화의 적응을 위해 이용하는 지식의 창고를 제공하지만(Fouillet 등, 2008), 아직 그러한 극한 현상에 영향을 받지 않는 지역에서는 유효하지 않을 수 있다. 따라서 이러한 경험들은 기후가 변함에 따라 일부 극한 현상에서 예측되듯이, 미래의 극한 현상이 전통적 범위나 최근에 관측된 범위를 벗어난다면 지침을 제공하는 데 이용될 수 없다(3장 참조).

1.3. 재해 관리, 재해 위험 저감및 위험 전환

재해 위험 관리와 기후변화 적응에서 중요한 요소 하나는 1.1.2.2절에 정의된 재해 관리, 재해 위험 저감, 및 위험 전환 사이에 노력을 적절히 할당하는 것이다. 이 절에서는 그러한 할당에 대한 판단을 내리기 위한 위험에 대한 거버넌스 틀에 대하여 간략한 조사를 제공하고, 기후변화가 효과적인 재해 위험 관리를 복잡하게 할 수 있는 근거를 고찰하고, 재해 위험 관리와 기후변화 적응 간의 잠재적 시너지를 규명한다.

재해 위험은 인간이 원하는 것과 필요한 것을 충족하기 위해 무언가를 선택한다는 배경에서 나타난다(예를 들어, 어디에서 살고 어떤 주택에서 살 것인가, 어떤 교통수단을 이용할 것인가, 어떤 작물을 재배할 것인가, 어떤 기반시설로 경제활동을 지원할 것인가 등; Hohenemser 등, 1984; Renn, 2008). 이상적인 것은 재해 위험을 다룰 포트폴리오나 이행 방안을 선택할 때 무엇이 위험을 구성하는가에 대한 인간의 판단, 다른 가치 및 필요와 함께 그러한 위험을 측량할 방법, 누구의 판단이 그러한 위험에 대한 개인과 사회의 대응에 영향을 주는가는 사회·경제적 배경을 고려하는 것이다.

위험에 대한 거버넌스 틀은 이러한 더 넓은 배경 안에서 재해관리, 위험저감, 위험 전환에 대한 판단을 하도록 도와주는 체계적인 방법을 제공한다. Renn(2008)의 공식에서 위험에 대한 거버넌스는 개방되고 순환하며 반복적이고 상호연결된 과정에서 사전평가(pre-assessment), 평가(appraisal), 특성화/평가(characterization/evaluation), 관리(management)의 네 가지 단계로 구성되어 있다. 위험에 대한 소통은 이 네 단계 모두를 동반한다. 이 과정은 재해 위험 관리에 대한 관심 사항을 고려하기 위한 틀을 가장 잘 고수하는 UNISDR 효고 행동 계획 (UNISDR, 2005)에서의 과정과도 일관성을 유지한다(7장 참고).

보다 넓은 접근법 중 하나인 위험에 대한 거버넌스는 확률적 위험 분석에서 나온 개념을 사용해서 위험 저감, 위험 전환 및 위험 관리 이행 사이의 시간 경과에 따른 수준의 적절한 할당을 판단하도록 돕는다. 그러한 할당을 고려하기 위한 기초적인 확률적 위험 분석 틀은 위험을 현상의 확률에 현상의 결과를 곱한 것으로 간주한다(Box 1-2 참고; Bedford and Cooke, 2001). 이 공식에서 위험 저감의 목적은 노출과 취약성뿐 아니라 일부 현상(예: 인간의 중재에 의해 야기된 산사태와 산불에 관련된 현상)의 발생확률을 감소시키는 것이다. 위험 전환 에 대한 노력의 목적은 현상을 직접적으로 경험한 사람들이 겪은 손실을 보상하는 것이다. 재해관리의 목적은 즉각적 결과에 대응하고 장기적 결과의 감소를 촉진하는 것이다(1.1절 참고).

확률적 위험 분석은 위험 관리 대안들 간의 효과를 비교하고 위험 저감 자원의 적절한 할당에 대한 판단에 정보를 주는 데 도움이 될 수 있다. 예를 들어, 이 틀은 동등한 수준의 위험 저감은 현상의 확률이 감소한 결과이거나 현상의 결과를 등 백분율(equal percentage)만큼 감소한 결과라는 것을 암시한다. 또 확률적 위험 분석은 상대적으로 더 작고 빈도가 더 높은 일련의 현상들이 상대적으로 빈도가 더 낮은 단독의 현상과 동일한 위험을 가할 수 있다고 암시한다. 확률적 위험 분석은 대안적 할당에서 기인하는 위험의 증가 또는 감소의 비교를 수월케 함으로써 위험 관리 노력의 대안적 할당에 대한 의사결정에 정보를 제공할 수 있다(높은 신뢰수준). 이용 가능한 위험 저감, 위험 전환 및 위험 관리 이행들의 비용은 일반적으로 서로 다를것이므로, 이 틀은 어떤 특정 경우에서 그러한 이행의 효과적인 혼합에 대한 판단에 정보를 줄 수 있다(재해 위험 관리이행의 가장 적절한 조합을 찾기 위한 전제조건으로서 계층화된 상이한 위험수준에서의 노력에 관해서는 UNISDR, 2011 참고).

그러나 확률적 위험 분석은 위험과 취약성의 정량적 추정치가 언제나 존재하는 것도 아니고 그러한 추정을 하는 개인들로부터 독립적인 수치도 아니기 때문에 그 자체의 순수한 형태로 수행되지 않는다. 오히려 이러한 추정치들은 현상의 직접적인 물리적 결과를 심리적, 사회적, 제도적, 문화적 과정들의 상호작용의 조합으로 결정된다(Box 1-3 참고). 예를 들어, 원전의 위험에 대한 인식은 원전을 가동하는 사람들에 대한 신뢰에 의해 그리고 원자력과 핵무기 증식 간의 잠재적 관련성 – 원전의 공식 위험평가에서 고려될 수 없는 요인 – 에 대한 견해에 의해 영향 받을 수 있다. 위험에 대한 이러한 사회적 형성을 고려하면(1.1.2.2절 참고), 위험 저감, 위험 전환 및 재해 관리 중에서 노력을 가장 효과적으로 할당하는 방법은 사전 평가, 평가, 특성화/평가, 지속적인 소통을 요소로 포함하는 통합적인 위험에 대한 거버넌스 과정을 이용하는 것일 수 있다. 재해 위험 관리와 기후변화에 대한 적응은 이러한 위험에 대한 거버넌스 과정을 이미 사용하는 접근법 또는 사용하여 개선될 수 있는 접근법을 나타낸다. 그러나 1.3.1절에서 설명하였듯이 기후변화는 또 다른 도전을 야기시킨다.

Box 1-3 | 인지 과정, 문화 그리고 이념이 위험에 대한 판단에 미치는 영향

다양한 인지적, 문화적 그리고 사회적 과정은, 위험 판단 및 이러한 위험을 관리하는 노력에 대한 판단에 영향력을 끼친다. 1.3.1.2절에서 설명한 과정 외에도, 주관적 판단은 현상의 발생가능성에 대한 분석적 평가보다는 현상에 대한 정서적 반응(예: 두려움과 통제력 상실)에 더 많이 영향 받을 수 있다(Loewenstein 등, 2001). 사람들은 극한 현상의 예측에 강한 정서적 반응이 생기지 않으면 그 예측을 무시하지만 그 현상에 공포감이 생기거나 두려우면 그러한 예측에 과잉적으로 반응을 할 것이다(Slovic 등, 1982; Slovic 1993, 2010; Weber, 2006). 충분한 정보가 있어도 장기적 재해 위험을 다루는 이행에 대한 관심과 노력보다 일상의 관심사와 기본 욕구의 충족이 더 긴급한 관심사로 드러날 수도 있다(Maskrey, 1989, 2011; Wisner 등, 2004).

위험과 극한 현상에 대한 인식과 위험과 현상에 대한 반응은 인지적인 지름길(cognitive shortcut)에 영향 받을 뿐 아니라(Kahneman and Tversky, 1979), 동기 부여 과정에 의해 형성되기도 한다(Weber, 2010). 문화 이론은 위험에 대한 사회적 갈등을 설명하려 하는 실증적 연구의 개념적 틀 및 경험적 학습의 실체를 제공하기 위해 인류학의 통찰과 정치과학을 결합한다(Douglas, 1992). 인간의 세계관과 정치 이념은 그들이 원하는 사회 질서를 위협하는 현상을 향해 관심을 유도한다(Douglas, 1992). 이 틀 안에서의 위험은 사회적 평형 상태의 붕괴라고 정의된다. 개인적 신념도 극한기후 현상에 대한 전문적인 예측의 출처들이 신뢰를 받을지에 영향을 끼친다. 서로 다른 문화집단은 국제적인 기상 서비스를 제공하는 기관부터 독립적인 경영 조직이나 IPCC까지 서로 다른 조직들을 신뢰한다; 개인의 가치관, 신념, 상응하는 정신적 모델에 따라 사람들은 서로 다른 종류의 개입을 수용할 것이다(Dunlap and McCright, 2008; Maika and Krosnick, 2009). 대안적 이행의 결과에 관한 정보의 진실성에 대한 판단은 그러한 이행의 인지된 일관성과 개인의 문화적 가치관에 좌우된다. 그래서 개인은 자기의 가치관과 일치한다고 생각되는 이행으로 다룰 수 있는 결과에 대한 정보를 더 선호할 것이다(Kahan and Braman, 2006; Kahan 등, 2007).

사실에 입각한 정보는 위험과 극한 현상에 대한 사람들의 인식을 증폭하거나 약화시키는 방식으로 사회적, 제도적, 문화적 과정과 상호작용을 한다(Kahan and Braman, 2006; Kahan 등, 2007). 쓰리 마일 섬(Three Mile Island) 원전 사고 이후에 원자력의 위험에 대한 미국 대중의 평가는 공학적인 안전성에 대한 자료를 사회·문화적으로 필터링 한 하나의 사례를 보여준다. 사회적 증폭은 원자력의 위험에 대한 대중의 인식을 사고에 대한 통계 분석을 통해서만 이끌어 내는 수준을 훨씬 뛰어넘는 수준으로 끌어올렸다(Fischhoff 등, 1983). 전문가가 제공하는 위험 신호를 대중이 변환시키는 것은 사회의 문화적 소집단이 기술적 위험 평가에서 고려되지 않는 심리적 위험차원을 가지고 과학 기반의 위험 분석을 논박하는 수정 메커니즘(corrective mechanism) 역할을 할 수 있다(Slovic, 2000). 보건, 사회심리학 및 위험 소통 문헌에서 나오는 증거들은 사회적, 문화적 위험 증폭 과정이 어느 방향으로든 일반적으로 사회가 적응할 수 있는 방식으로 위험에 대한 인식을 바꾸지만 특정한 경우에는 사회적으로 바람직하지 않은 방식으로 반응을 편향시킬 수 있음을 시사한다(APA, 2009).

확률적인 위험 분석과 위험의 사회적 구성을 연관시키면 재해 위험 관리와 기후변화 적응에서 위험을 관리하기 위한 노력의 효과적인 할당과 이행에 관하여 다음 사항들이 고려된다:

- 1.1절에서 언급하였듯이 취약성, 노출 및 위험은 재해 위험과 그 위험을 관리하기 위해 취한 이행의 효과를 결정하는 데 아주 중요하다(높은 신뢰수준).
- 효과적인 재해 위험 관리는 일반적으로 시간이 지날수록 적용된 자원의 측면에서 적절히 균형잡힌 여러 유형의 재해저감 이행, 위험 전환의 이행, 재해관리 이행을 필요로 할 것이다(높은 신뢰수준).
- 더 높은 수준의 영토 지배구조(지역, 국가)와 연결된 참여적이고 분권적인 과정은 그러한 이행의 식별, 선택, 이행을 포함하는 위험에 대한 거버넌스의 모든 단계에 있어 중요한 일부분이다(높은 신뢰수준).

1.3.1. 기후변화는 일부 재해 위험 관리를 더 복잡하게 할 것이다

기후변화는 재해 위험 관리 목표를 달성하고 재해 위험 관리 노력을 적절히 할당하기 위한 많은 경우에서 적어도 다음 두 이유로 또 다른 문제들을 추가할 것이다. 첫째, 3장과 4장에서 고찰하듯이 기후변화는 물리적 현상의 발생을 증가시키고 발생 장소를 변화시킬 가능성이 매우 높다. 결과적으로 이것은 많은 커뮤니티가 직면하는 노출과 취약성에 영향을 끼칠 것이다. 노출 및 취약성의 증가는 재해 위험 증가에 기여할 것이다. 예를 들어, 영향 받은 지역의 발전 및 발전 잠재력에 미치는 기후와 관련한 직접적인 영향으로 인해 취약성이 증가할 수 있다. 왜냐하면 다른 방법으로 이용 가능하고 발전 목표에 쓰일 자원들이 그러한 영향을 대응하는 데 사용되기 때문에 또는 기후변화가 물 등과 같은 자원의 부족과 분포에 영향을 끼치면 그러한 자원을 할당하는 기관들이 더 이상 의도한대로 기능을 하지 못하기 때문이다. 둘째, 기후변화는 특히 극한 현상에 관련된 재해 위험에 기여하는 확률과 결과를 예측, 평가, 소통하는 것을 더 어렵게 만들 것이다. 이 절에서 고찰하는 이러한 문제들은 5, 6, 7, 8장에서 고찰하는 이러한 위험의 관리에 영향을 끼칠 것이다(높은 신뢰수준).

1.3.1.1. 변화하는 위험에 대한 정량적 추정

극한 현상은 상대적으로 드물게 일어나기 때문에 확률과 결과를 추정할 충분한 자료를 확보하기가 어려워서 확률적 접근법을 이행하는 데 특수한 문제를 제기한다. 기후변화는 극한 현상의 빈도 및 특징의 잠재적 변화에 기여하기 때문에 이러한 문제를 심화시킨다(1.2.2.2절 참고).

일반적으로 극현 현상의 발생가능성은 한 번 발생한 후에 다시 발생하기 까지 예상되는 평균 간격인 재현기간(return period)으로 설명한다. 예를 들면, 100년 빈도의 홍수 또는 50년 빈도의 폭풍 등으로 말할 수 있다. 보다 공식적으로 말하면, 이러한 간격들은 '연간 초과 확률(annual exceedance probability)', 즉, 어떤 규모를 초과하는 현상이 어떤 임의 해에 발생하는 가능성에 반비례 한다. 따라서 100년 홍수는 어떤 해에 발생할 가능성이 1%이다(다른 말로 이것은 그러한 홍수가 최소 한 번도 발생하지 않고 100년이 지나갈 가능성이 37% 라는 의미이다 (1–0.01)100 = 37%). 자료의 시계열보다 긴 빈도를 추정할 수 있는 통계적 방법이 존재하기는 하지만 (Milly 등, 2002), 극한 현상의 긴 재현기간 때문에 빈도를 신뢰성 있게 추정하는 것은 불가능하지는 않지만 어려워질 수 있다. 세계 여러 지역에서 지난 몇 십 년 간 관측된 기후자료에 의하면 주요 기후 요소에서는 자연적 변동성이 나타나지 않았다(Jansen 등, 2003). 또한 미래의 기후변화는 유동성의 문제를 심화시킨다(Milly 등, 2008). 이 경우에 기상 현상의 통계적 특성은 시간이 지나면서 일정하게 유지되지 않을 것이다. 이것은 예측하기 어려운 방식으로 극한 현상의 빈도 및 결과를 바꿈으로써 예측하기 어려운 문제를 더욱 복잡하게 만든다(3장; Meehl 등, 2007; TRB, 2008; NRC, 2009).

서로 다른 결과의 발생가능성 및 그 값을 추정하는 것은 극한 현상의 발생가능성을 추정하는 것만큼이나 어렵다. 미래의 취약성과 대응 능력을 예측하기 위해서는 인간 취약성에 대한 기본적인 원인의 추세와 변화 그리고 잠재적으로 까다롭고 새로운 조건에서 복잡한 인간시스템의 행동을 예측해야 한다. 예를 들어, 재해 위험은 위험 관리에 대한 단기적인 이행이 의도하지 않은 방식으로 미래 위험에 영향을 줄 수 있고 단기적인 이행은 미래 위험의 인식에 영향을 줄 수 있다는 의미에서 내생적이다(Box 1–3 참고). 1.4절은 그러한 시스템의 복잡성이 효과적인 위험평가에 제기할 수 있는 문제들의 일부를 설명한다. 또한, 재해는 재해의 결과에 정량적 값을 할당하기가 어렵도록 사회·경제 시스템에 여러 가지 방식으로 영향을 준다(1.2.3.3절 참고). 문헌들은 재해 관련 물리적 현상의 즉각적인 결과인 직접적인 손실과 그 현상의 즉각적인 영향 후에 삶과 활동의 붕괴로 생기는 결과인 간접적인 손실을 구분하였다(Pelling 등, 2002; Lindell and Prater, 2003; Cochrane, 2004; Rose, 2004). 1.3.2절은 이러한 문제들을 다룰 수단들을 고찰한다.

1.3.1.2. 변화하는 위험에 대한 판단에 영향을 미치는 과정

효과적인 위험에 대한 거버넌스는 지식과 정보를 교환, 통합, 공유하는 과정에서 다양한 이해관계자 집단 – 이를 테면 과학자, 정책결정자, 민간회사, 비정부 단체, 미디어, 교육자, 대중 – 을 참여시킨다. 최근에 등장한 지속가능한 과학 분야(Kates 등, 2001)는 학문적 경계를 넘어서는 접근법(Jasanoff, 2004; Pohl 등, 2010)과 사회적 학습 (Pelling 등, 2008; Pahl-Wostl, 2009; 1.4.2 참조)에 기반하여 전문가와 다른 행동 주체들 간에 상호 작용하여 지식의 공동생산을 촉진한다. 판단과 의사 결정에 관한 문헌에 의하면 확률이 낮고 심각성이 높은 현상에 대한 인식과 판단이 필요한 다양한 인지적 행동들은 그러한 이해관계자 과정의 의도된 기능을 복잡하게 만들 수 있다고 하였다(Box 1–3 참고). 기후변화는 이러한 문제들을 심화시킬 수 있다(높은 신뢰수준).

재해와 위험 및 재해 위험 관리 개념은 전문가와 비전문가들 모두에서 그 의미와 해석이 분분하다(Sjoberg, 1999a; Pidgeon and Fischhoff, 2011). 공식적으로 민간부문의 역할과 공공부문의 역할을 하는 전문가들은 위험에 대한 판단을 내릴 때 종종 확률과 결과의 정량적 추정치를 이용한다. 이와는 달리 일반 대중, 정치가, 미디어는 이러한 발생 현상의 부정적인 결과에 구체적으로 초점을 맞추고 이러한 현상의 가능성에는 덜 주목하는 경향이 있다(Sjoberg, 1999b). Box 1–3에서 설명하듯이 전문가들이 확률과 결과를 추정할 때도 사람들이 위험의 고려사항으로 여기는 모든 범위의 관심사들이 모두 다루어지지 않을 수 있다. 정의상 (실제로 항상은 아니지만), 전문가들은 극한 현상과 관련한 위험을 대부분 분석 기법에 기초하여 이해한다. 특히, 기후변화로 인한 재해 위험의 변화에 대한 전망치는 3장에서 설명하는 복잡한 기후모델의 결과에 기초해 추정하는 경우가 많다. 반면에 비전문가들은 보다 쉽게 이용 가능하고 보다 쉽게 처리된 정보, 이를테면 그들 자신의 경험이나 뉴스 매체에 보도된 내용으로부터의 대리적인 경험과 그러한 현상의 중요성에 대한 그들의 주관적 판단에 더 많이 의존한다(Box 1–1 참고). 전문가와 비전문가 사이에 이러한 극한 현상에 대한 이해의 차이는 심각한 소통의 문제를 야기한다(Weber and Stern, 2011). 이것은 시간이 지나면서 변화하는 위험을 다룰 노력의 할당을 판단하는 데 부정적 영향을 줄 수 있다(높은 신뢰수준).

5.5절과 6.3절에서 설명하는 방법처럼 확률적 위험 분석에 기초한 정량적 방법들은 전문가들로 하여금 종종 장기간 동안 관측된 관측 자료를 사용하여 미래의 현상들의 확률을 체계적이고 일관적으로 추정할 수 있게 한다. 1.3.1.1절에서 설명하였듯이 기후변화는 미래 위험의 예측인자인 과거 관측값의 정확도를 떨어뜨릴 수 있다. 비전문가이든 전문가이든 정형화된 방법을 사용하지 않고 추정하는 사람들(Barke 등, 1997)은 미래에 어떤 현상이 발생할 가능성을 그러한 현상에 대한 그들의 과거 경험을 참고해서 예측하곤 한다. '가용성' 휴리스틱(heuristic) (즉, 유용한 지름길)이 흔히 적용되는데, 이것은 쉽게 떠오를 수 있는 과거의 사례들을 통해 현상의 발생가능성을 판단하는 방법이다(Tversky and Kahneman, 1974). 정의상 극한 현상은 과거의 경험을 통해서 볼 때 발생할 확률이 낮기 때문에 상대적으로 이용성이 낮을 것이다. 전문가나 비전문가나 100년 홍수 사례와 같이 그러한 현상이 발생할 때가지는 근본적으로 그러한 현상을 무시할 수 있다(Hertwig 등, 2004). 극심하고 기억에 남을 결과를 동반하는 극한 현상이 실제로 발생할 때 사람들의 자기의 미래 위험에 예상 정도는 적어도 일시적으로는 부풀려질 것이다(Weber 등, 2004).

1.3.2. 기후변화 적응은 재해 위험 관리에 기여한다

기후변화 적응에 대한 문헌과 실행은 4장에서 설명하는 바와 같은 인간 사회 및 생태계에 대한 미래 영향을 예견하고 이미 경험한 것들에 대응한다. 최근 수년 간 기후변화 적응에 관한 문헌에서는 기후 관련 의사결정 (및 기후 방어(climate proofing))이라는 개념을 소개하였다. 이것은 기후변화에 의해 그리고 기후변화와 생태계, 경제 및 사회시스템 간의 상호작용에 의해 영향 받을 것으로 예상될 수 있는 결과를 낳는 개인이나 조직의 선택 또는 결정을 말한다(Brown 등, 2006; McGray 등, 2007; Colis 등, 2009; Dulal 등, 2009; NRC, 2009). 예를 들어, 기후변화로 인해 미래의 홍수 위험이 증가하는 저지대에 건축 여부에 대한 선택은 기후와 관련된 의사 결정이다. 이는 의사결정자의 의사결정 여부와 상관없이 기후와 관련이 있다. 재해 위험 관리 커뮤니티는 이미 이 개념을 이행하는 일부 기존의 실행과정으로부터 새로운 기후변화 맥락에서 추가적인 추진력을 끌어낼 수 있다. 많은 경우에서 재해 관리, 재해 위험 저감, 위험 전환의 이행 간에 노력의 적절한 할당에 대한 선택은 극한 현상의 빈도와 특징의 변화에 의해 그리고 노출과 취약성에 영향을 주는 기본적인 조건에 대한 기후변화의 다른 영향에 의해 영향을 받을 것이다.

기후변화 적응에 관한 문헌의 상당수는 기후변화로 인한 물리적, 생물학적, 사회·경제적 조건들의 과거 패턴들이 미래에 어떻게 변할 것인가에 대한 예상이 위험 관리 노력의 할당에 어떤 식으로 영향을 주어야 하는가를 다룬다. 이러한 문제를 다루기 위해 적응과 관련한 문헌에서 이 절의 앞에서 고찰한 위험에 대한 거버넌스와 일맥상통 하는 반복적인 위험 관리 틀에 관한 논의가 점차 증가하고 있다(Carter 등, 2007; Jones and Preston, 2011). 반복적인 위험 관리는 기후변화를 전망하고 대응하는 과정이 어떤 시점에서는 하나의 판단만으로 대응하지 않고 오히려(대다수의 기후 관련 의사 결정 경우에서) 무한히 계속될 진행 중인 평가, 이행, 재평가 및 대응을 구성한다(ACC, 2010). 많은 경우에 반복적인 위험 관리는 미래 위험의 추정에 근간이 되는 확률이 부정확한 경우 또는 현상을 결과와 관련시키는 모델의 구조가 불충분하게 설명되는 경우에는 조건들과 대립한다(NRC, 2009; Morgan 등, 2009). 이러한 극심한 불확실성(Lempert and Collins, 2007)은 미래 기후 현상에 대한 이해뿐만 아니라 인간의 취약성 및 대응 능력의 미래 패턴에서 특징적으로 나타날 수 있다. 복잡하고 이해 정도가 낮은 물리적 시스템과 사회·경제시스템이 많기 때문에 연구와 사회적 학습은 시간이 지나면 이해를 강화할 수 있으나, 관찰자의 특정하고 정확한 예측 능력을 기반으로 측정한 불확실성의 양은 점점 더 증가할 수 있다(Morgan 등, 2009, pp. 114–115; NRC, 2009, pp. 18–19; 3.1.7절의 '놀라움(surprises)'에 대한 고찰 참고). 예측 기법과 같이 이론과 모델들도 시간이 지나면 신뢰도가 증가하기보다는 낮아지는 식으로 변할 수 있다(Oppenheimer 등, 2008).

최근의 문헌들은 재해 위험 관리가 이러한 불확실성들을 다루는 것에 도움을 줄 수 있는 다양한 접근법 (McGray 등, 2007; IIED 2009; Schipper, 2009), 특히 현상들의 발생 확률과 부정적인 결과를 정확히 추정하기가 어렵거나 불가능하다고 판명날 때 의사결정을 지원하는 접근법들을 탐구해왔다.

불확실성을 특성화하기 위한 접근법으로는 정성적 시나리오법(qualitative scenario methods) (Parson 등, 2007); 퍼지 세트(fuzzy sets) (Chongfu, 1996; El-Baroudy and Simonovic, 2004; Karimi and Hullermeier, 2007; Simonovic, 2010); 단일 값 또는 단일 최적추정 분포보다는 값의 범위 또는 분포 세트를 사용하는 접근법(Morgan 등, 2009; Mastrandrea 등, 2010 참조) 등이 있다. 가까운 미래 뿐 아니라 먼 미래에서도 잘 수행되는 견고한 정책이 불확실성을 관리하는 것을 제안한 연구도 있다(Dessai and Hulme, 2007; Groves and Lempert, 2007; Brown, 2010; Means 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010; Dessai and Wilby, 2011; Reeder and Ranger, 2011; 8장 참고). 견고한 적응 정책 개념에 기초한 의사 결정의 규칙은 상대적으로 저비용의 단기적인 이행들과 시간이 지남에 따라 그러한 이행들을 조정할 명료한 계획이 어떻게 미래의 위험 관리 능력을 크게 향상시킬 수 있는가를 시사함으로써 '후회없는 정책(no regret)'을 능가한다(World Bank, 2009; Hine and Hall, 2010; Lempert and Groves, 2010; Walker 등, 2010; Brown, 2011; Ranger and Garbett-Shiels, 2011; 1.4.5절 참고).

8장에서 설명하는 복원력과 관련한 문헌들도 예측하기 어려운 미래를 관리하는 일에 관심을 갖는다. 기후변화의 적응에 대한 문헌과 취약성과 관련한 문헌들은 일련의 의사 결정에 직면하고 다양한 선호; 제도적 이권, 권력, 능력; 및 이용 가능한 정보에 기초해 선택을 할 수 있는 일련의 의사결정에 직면한 특정 기관들에 초점을 맞추는 행동주체 위주의 견해를 종종 취한다(Wisner 등, 2004; McLaughlin and Dietz, 2007; Nelson 등, 2007; Moser 2009). 기후변화 적응의 맥락에서 견고함(robustness)은 특정 행동주체가 취할 수 있는 의사 결정의 한 속성을 의미한다(Hallegatte, 2009; Lempert and Groves, 2010; Dessai and Wilby, 2011). 이와는 달리 복원력과 관련한 문헌은 상호 작용하는 여러 기관들과 복잡한 사회적, 생태학적, 및 지구물리학적 시스템에서 이 시스템과 그들의 관계를 고려하는(Olsson 등, 2006; Walker 등, 2006; Berkes, 2007; Nelson 등, 2007) 시스템적 견해를 취하는 경향이 있다(Miller 등, 2010). 이 문헌들은 재해 위험 관리에 관하여 이미 알려진 특정한 교란에 대한 복원력과 새로운 뜻밖의 교란에 대한 복원력 사이의 긴장(때때로 '구체적인' 복원력과 '일반적인' 복원력의 구분이라고도 칭한다; Miller 등, 2010), 서로 다른 시·공간적 규모의 복원력 사이의 긴장, 그리고 시스템이 현상태를 지속할 능력과 근본적으로 새로운 상태로 변환될 능력 사이의 긴장 등을 강조한다(1.4절; 8장; ICSU, 2002; Berkes, 2007).

재해 위험 관리는 적응 문헌에서 기후와 관련한 의사 결정의 개념과 일치하는, 위험 관리 영향의 인자 중 하나로서 기후변화에 중점을 두는 것과 다부문적 접근법 사이에 유사점이 있음을 발견하게 될 것이다. 예를 들어, 현재 일부 자원 관리 기관들은 투자 계획 및 사업 모델의 변화를 요할 수 있는 자원 수요의 증가, 환경 제약, 기반 시설의 노후화, 기술 변화 같은 추세들 중 하나로써 기후변화를 강조한다(CCSP, 2008; Brick 등, 2010). 저개발 지역은 기후에 대한 위험 관리만으로는 전반적인 취약성을 완전히 저감하지 못할 것이 확실하다. 이는 취약성, 적응력 및 노출은 기존의 구조적 결핍(저소득과 고도의 불평등, 의료 및 교육 접근의 결여, 보안 및 정치 접근의 결여 등)에 심각하게 영향을 받기 때문이다. 예를 들어, 가뭄으로 황폐해진 브라질 북동부에 있는 상당수의 취약한 가구들은 종자 보급 프로그램 같은 위험 관리 중재의 혜택을 받을 수 없을 것이다. 왜냐하면 그들은 종자를 받으러 이동할 경비가 없거나 프로그램에 참여하느라 하루 치 근로를 손실할 여유가 없을 것이기 때문이다(Lemos, 2003). 부르키나파소(Burkina Faso)의 농부들은 계절 예보(위험 관리 전략)의 이용이 제한되어 왔는데 그들에게는 그 예보에 효과적으로 대응하는 데 필요한 자원(쟁기, 다른 변종 작물, 비료 등)이 없었기 때문이다(Ingram 등, 2002). 그러나 방글라데시에서는 지속된 빈곤에도 불구하고 향상된 재해 대비 및 대응과 상대적으로 더 높은 수준의 가구 적응력으로 인해 홍수로 인한 사망자 수가 극적으로 감소했다(del Ninno 등, 2002, 2003; 9.2.5절 참고).

학자들은 이러한 지역에서 적응력을 구축하는 것은 기후적 위험 관리(특정 적응력)와 더 심층적인 사회·경제 및 정치 개혁(일반 적응력)이 반복되어 제반 취약성을 형성하는 변증법적인 2단계 과정이 필요하다고 주장해왔다(Lemos 등, 2007; Tompkins 등, 2008). 기후적 위험 관리가 시스템적 접근법의 일부로서 이행될 때 지역의 가구 및 기관들에게 권한을 주는 참여적이고 투명한 접근법(예: 참여를 통해 만드는 취약성에 대한 대응 또는 지방 재해 구제 위원회)을 통해 개발 목표와 함께 긍정적 시너지를 낼 수 있다(예: Degg and Chester, 2005; Nelson, 2005).

1.3.3. 재해 위험 관리와 기후변화 적응은 다수의 개념, 목표 및 과정을 공유한다

현재 수준의 재해 위험을 저감, 전환, 대응하기 위해 커뮤니티들이 사용하는 혼합적인 이행의 효과는 크게 증가할 수 있다. 이것의 전제 조건은 재해 위험 저감을 달성하기 위해 실행될 수 있는 개발 기반의 많은 수단에 대한 이해와 인식이다(Lavell and Lavell, 2009; UNISDR, 2009e, 2011; Maskrey 2011; Wisner 등, 2011). 동시에 상당수의 커뮤니티에게는 기후변화와 기타 요인들로 인해 재해 위험의 일부 측면이 증가할 것이다(3장과 4장 참고). 재해 위험 관리 문헌 및 실무와 기후변화 적응 문헌 및 실무 간의 잠재적 시너지를 탐구하면 현재 및 미래 위험의 관리가 개선될 것이다.

두 분야의 공통적인 관심사는 인간시스템이 물리적 시스템 및 생물계와 상호작용하여 발생하는 위험을 이해하고 저감하는 데 있다. 두 분야 모두 위험 저감, 위험 전환 및 재해 관리 노력의 적절한 할당, 예를 들어, 영향 전 위험 관리와 적응을 영향 후 대응 및 복구와 균형 맞추는 것을 추구한다. 두 분야에서 의사 결정은 위험에 대한 거버넌스 틀에 따라 구성될 수 있다. 예를 들어, 많은 국가들은 협력적이고 부문 및 다양한 분야 간 또는 학제 간 접근법을 이행하면서 경험을 쌓고 있다(ICSU, 2002; Brown 등, 2006; McGray 등, 2007; Lavell and Lavell, 2009). 일반적으로 재해 위험 관리는 기후변화 적응 실무자들이 현재의 영향 관리로부터 학습하는 것을 도울 수 있다. 기후변화 적응은 재해 위험 관리 실무자들이 현재와는 상이할 미래의 조건들을 보다 효과적으로 다루는 데 유용하다.

두 분야는 서로 다른 용어를 사용하고 서로 다른 학문을 기반으로 하며, 서로 다른 정부 조직의 책임으로 간주될 수 있기 때문에 개념과 실무를 통합하기가 점차 어려워진다. 한 예로 1.4절은 두 분야가 '대응(coping)'이라는 단어를 서로 다른 의미와 서로 다른 개념으로 사용할 지를 설명한다. 일반적으로 다양한 배경은 두 분야가 많은 개념, 목표, 과정을 공유한다는 점을 수용하는 것뿐 아니라 그것들의 차이에서 기인하는 시너지를 이용하는 것을 더

어렵게 만들었다. 이러한 차이에는 역사 및 진전 과정; 개념과 정의의 기반; 사회적 지식구성 과정과 그에 수반되는 주제 분야의 과학적 구획화; 제도적, 조직적인 재정 지원과 중요 배경; 과학적 출처와 기초 문헌; 관련된 인과 관계의 개념; 상이한 위험 인자들의 상대적 중요성 등이 있다(Sperling and Szekely, 2005; Schipper and Pelling, 2006; Thomalla 등, 2006; Mitchell and van Aalst, 2008; Venton and La Trobe, 2008, Schipper and Burton, 2009; Lavell, 2010). 이 측면들은 뒷 장에서 더 자세히 다루게 될 것이다.

이 분야의 서로 다른 강조점에서 오는 잠재 시너지로는 다음과 같은 것들이 있다.

첫째, 재해 위험 관리는 기후변화 적응과 관련한 문헌 및 실무에서의 관심사 대부분을 아우르는 다양한 부정적인 현상들을 다룬다. 따라서 적응은 기후변화 아래서 예측되는 새로운 문제와 유사한 재해 위험을 관리한 경험으로부터 이익을 얻을 수 있다. 예를 들어, 해수면의 변화가 발생했을 때 고려되는 이주 및 기타 대응은 지속적이거나 규모가 큰 홍수와 산사태 또는 화산 활동에 대한 재해 위험 관리 대응과 재해 전후의 이주의 이행을 참고할 수 있고; 빙하의 융빙수 손실로 인한 물 부족에 대한 대응은 기타 가뭄 스트레스로 인한 부족과 유사점이 있을 것이며; 기후변화로 인한 질병 매개체의 변화에서 생기는 공공 보건 문제는 엘니뇨 발생 같은 현재의 기후변동성에 관련된 것들과 유사점이 있다. 더욱이 기후변화의 영향을 받은 많은 지역이 지속적이고 되풀이되는 위험에 의해 역시 영향 받을 것이라는 점을 고려하면 재해 위험 관리처럼 기후변화 적응이 다중 위험의 지역적인 틀에서 종종 이루어질 것이다(Wisner 등, 2004, 2011; Lavell, 2010; Mercer, 2010). 또한 재해 위험 관리로부터 배우는 것은 현재까지 기후 변화에 더 초점을 맞춰온 적응이 극한 현상의 미래 변화와 잠재적으로 피해를 주는 다른 현상도 점차 초점을 맞춤에 따라 이에 도움을 준다.

둘째, 재해 위험 관리는 확대된 상향식 기초적 접근법을 권장하며 국가적 관리시스템의 틀 안에서 지역 및 커뮤니티 기반의 위험 관리를 강조하는 경향을 보여왔고(5장과 6장 참고), 반면에 적응과 관련한 문헌의 주요 부분에서는 대규모 지역에 걸친 사회 및 경제 부문과 거시적인 생태계에 초점을 맞춘다. 그러나 선진국과 개발도상국 모두 상당 수의 적응과 관련한 문헌은 지역 규모에 초점을 맞춘다. 두 분야는 개별적이고 집단적인 이행과 이행의 틀을 잡는 기관들의 상호작용에 초점을 맞추는 적응력 결정인자들에 관한 연구 결과에서 혜택을 볼 수 있을 것이다(McGray 등, 2007; Schipper, 2009).

셋째, 현재의 재해 위험 관리 문헌은 손실과 피해를 설명할 때 위험의 사회적 조건과 취약성의 구성을 원인요소로서 강조한다. 특히 초기의 기후변화 분야의 적응 관련 문헌과 최근 결과물들은 물리적 현상과 노출에 우선 순위를 두고 취약성을 다른 모든 인자들이 고려된 후에도 남아 있는 것으로 간주한다(O'Brien 등, 2007). 그러나 개발도상국에서 커뮤니티 기반의 적응 연구(Beer and Hamilton, 2002; Brown 등, 2006; Lavell and Lavell, 2009; UNISDR, 2009b,c)와 선진국에서 다수의 연구(Burby and Nelson, 1991; de Bruin 등, 2009; Bedsworth and Hanak, 2010; Brody 등, 2010; Corfee-Morlot 등, 2011; Moser and Eckstrom, 2011)에서는 사회적 인과관계를 고려해왔다. 미래에 이 개념들이 통합되면 이 두 분야는 혜택을 볼 수 있을 것이다.

전반적으로, 재해 위험 관리 및 기후변화 적응과 관련한 문헌들은 이제 위험 관리에 대한 보다 전체론적이고 통합적이며 학문적 경계를 넘어서는 접근법의 가치를 강조한다(ICSU-LAC, 2009). 세계를 부문과 주제별로 나누면 정부와 학계에게는 유용하다는 것이 증명되었지만 서로 다른 사회, 시간, 영토 범위에서 문제를 구성하고 정의하는 데 관련된 인적 요인과 물리적 요인의 복잡성과 상호작용을 구체적으로 이해하는 데는 오히려 불리할 수 있다. 보

FAQ 1.2 | 변화하는 기후 속에서 재해 위험을 관리하기에 효과적인 전략은 무엇인가?

그 동안 재해 위험 관리는 미래 기후가 과거의 기후와 비슷할 것이라는 전제조건 하에 수행되어 왔다. 기후변화는 위험 및 취약성의 평가에 더 큰 불확실성을 덧붙이고 있다. 이것은 재해 위험을 예측, 평가, 소통하는 것을 더 어렵게 만들 것이다. 그러나 불확실성은 '새로운' 문제가 아니다. 불확실성이나 극한 현상이 긴 재현기간을 갖는 경우에 재해 위험을 관리한 과거의 경험은 효과적인 재해저감, 대응, 대비, 재해 위험 관리 전략 전반에 정보를 제공할 수 있다.

기후변동성은 넓은 범위의 시간규모에서 일어나기 때문에 기후변화 아래서의 위험 관리에 관련된 기후 관련 위험을 관리하고 적응하는 이전 노력에 대한 역사적 기록이 존재한다. 이러한 노력은 대응, 중재 및 과거 영향으로부터의 복구를 평가하여 학습의 기초를 제공한다. 학습을 기상 및 기후 관련 위험의 관리에 결합하려는 노력들이 언제나 성공한 것은 아니지만 이러한 적응 접근법은 보다 장기적인 노력을 위한 타당한 모델이다. 학습은 특히 위험저감, 위험공유, 재해대응 및 복구 노력들의 할당에 관하여 재해 위험 관리전략의 평가를 초래할 때 그리고 학습이 다양한 이해관계자 집단, 특히 영향 받은 지역사회를 포함할 때 가장 효과적이다.

기후와 취약성에 있어서 매우 불확실한 장기간에 걸친 변화가 있을 때, 재해 위험 관리와 기후변화 적응은 현재의 상태를 적절하게 다루고, 다양한 잠재적인 기후변화를 예측하고, 현재의 취약성과 예측된 재해 위험 변화에 대한 효과적인 '후회 없는' 접근법을 촉진함으로써 개선될 수 있다. 위험과 취약성에 관한 현재 상황을 포괄하고 예측하는 견고한 계획이나 전략은 넓은 범위에서의 기후변화 측면에서 잘 이행될 것이다.

다 통합된 접근법은 다양한 사회적, 시·공간적인 배경들 간에 복잡한 관계의 인식을 수월하게 하고; 더 높은 수준의 지지계층 내에서 참여적 방법과 분권화를 이용하는 의사 결정 과정의 중요성을 강조하며; 그들이 인정했는지 여부와 무관하게 많은 재해 위험 관리 조직과 기타 조직이 기후와 관련한 의사결정에 직면하였음을 강조한다.

정부, 시민사회 행동주체, 커뮤니티들에 의해 일부 추진되기도 한 다음 분야들은 기후변화 적응과 재해 위험 관리의 통합 및 효과 증대를 도모해야 한다고 권장 또는 제안되어 왔다(WRI, 2008; Birkmann and von Teichman, 2010; Lavell, 2010 참고):

- 각 분야에서 사용되는 개념과 용어들의 공통 어휘 및 심층적인 이해의 개발(Schipper and Burton, 2009)
- 두 주제를 합동으로 고려하는 정부 정책 입안 및 전략 수립의 이행
- 환경부처와 개발 및 계획 담당 부처 간의 협업과 같이(예: 자메이카의 국가 환경 계획 기획부(National Environmental Planning Authority: NEPA), 페루의 경제 및 재정, 주거, 환경 부처) 두 가지 테마를 중심으로 합병 및 동기화 하는 국가 및 국제 조직과 프로그램의 진전
- 개발 기관과 비정부 단체를 통한 재해 위험 관리 및 적응에 대한 재정 지원 메커니즘을 병합 또는 조율
- 지방 수준에서 적응을 다루는 많은 시민사회 및 정부기관에 의해 현재 적극적으로 수용되고 재해 위험 관리에 의해 고무되는 참여적이고, 지역적인 수준의 위험 및 배경 분석 방법론의 사용 (IFRC, 2007; Lavell and Lavell, 2009; UNISDR, 2009 b, c)
- 지역의 커뮤니티가 물리적, 사회적 환경에 대한 통합된 견해에 상응하는 단일의 인과적으로 규모화된 중재의 틀 안에서 기후변화 적응, 재해 위험 관리, 기타 환경 및 개발 관련 관심 사항들을 통합하는 상향식 접근법의 이행 (Moench and Dixit, 2004; Lavell and Lavell, 2009).

1.4. 대응과 적응

이 절에서는 다음 네 가지를 목표로 고찰한다: 적응과 대응 간의 관계, 특히 대응 범위 개념을 규명하고; 적응 과정에서 학습의 역할을 강조하며; 성공적 적응을 가로막는 장벽과 부적응(maladaption)의 문제를 고찰하고; 기후변화 적응을 이미 진전시킨 재해 위험 관리 커뮤니티의 학습 사례를 강조한다.

본 절의 주요 결론은 다음과 같다. 학습은 적응에 매우 중요하다는 것, 그리고 재해 위험 관리 커뮤니티가 경험으로부터 학습하고 실무를 다양한 기존의 위험과 진화하는 위험에 대응하기 위해 조정하고 있는 사례가 풍부하다는 것이다(1.4.5절과 9장 참고). 이러한 사례들은 기후변화 적응 커뮤니티가 그러한 사례에서 학습의 세부적인 사항을 연구해볼 기회뿐 아니라 기후와 관련한 위험을 다루는 다른 커뮤니티가 어떻게 학습을 실무에 통합해왔는가를 되짚어볼 기회를 제공한다.

재해 위험 관리는 대응과 적응 모두를 포함하고, 이 두 가지는 학문과 실무에서 기후변화 적응의 중심적인 개념이기 때문에 이 용어들의 의미를 명확히 하는 것부터 시작하는 것이 중요하다. 두 개념의 차이점과 의미 상의 공통

차원	대응	적응
긴급사태	즉각적이고 대단히 중요한 스트레스에 직면하여 살아 남기. 시작하기에 극히 적었을 수도 있는 자원에 세금을 매긴다(Wisner 등, 2004).	종종 자원의 한계에 대한 구체적인 언급 없이 최근의 변화 또는 예견된 미래 변화에 대응한 재교육.
제약	**생존이 가장 중요하고, 전술은 이용 가능한 지식, 경험 및 자산에 의해 제약된다. 재창조(reinvention)는 그 다음의 문제이다(Bankoff, 2004).**	**초점은 조정(adjustment)에 있고, 전략은 미래에 이용할 수 있는 자원과 추세에 관한 가정보다는 현재의 한계에 덜 제약된다.**
반응성	**의사결정은 주로 전술적이며, 현상이 발생한 후에 기본 복지를 보호하고 기초적 인간보호를 제공하는 것을 목표로 한다(Adger, 2000).**	**의사결정은 전략적이며, 변화를 예견하고 설령 미래 변화의 징조로 보이는 최근 현상에 자극되더라도 그 변화 예측을 사전대비식으로(proactively) 다루는 것에 초점을 맞춘다(Fussel, 2007).**
예비교육	현재의 조건 및 한계를 형성하는 과거 현상에 초점을 둔다. 더 나아가 이전에 성공했던 전술에도 초점을 둔다(Bankoff, 2004).	미래 조건과 전략에 초점을 둔다. 과거 전술은 조정을 얼마나 수월케 할 수 있는가와 관련이 있다. 그래도 일부 전문가는 과거 및 미래 예비교육이 중첩되고 섞일 수 있다고 본다(Chen, 1991).

표 1-1 | 대응과 적응의 다양한 차원

부분을 명확히 인식하지 않으면 대응 범위와 적응력에 관한 문제, 그리고 강력한 기후변화 적응 촉진에서 조직적 학습의 역할에 관한 문제를 비롯한 관련된 다양한 문제들을 완전히 이해하기가 어렵다. 그러한 차이점들의 규명은 즉각적인 생존 및 복구를 위해 대응에 의존하는 과정인 복원력과, 미래의 잠재적 위험성을 낮추는데 새로운 정보를 결합시키는 적응 및 재해 위험 저감을 촉진하는 데 관심 있는 의사결정자들에게 운영 면에서 큰 도움이 된다.

1.4.1. 정의, 차이점 및 관계

재해 위험 관리에 대한 문헌과 기후변화 적응과 관련한 문헌에서는 대응의 의미와 중요성뿐 아니라 대응과 적응 간의 관계 및 차이점에 관해 상당한 격차가 발견된다. 이러한 불일치 가운데, 예를 들어, 일부 재해 위험 관리 학자들은 대응이 지역 인구를 참여시키고 재해 대비 및 대응에 대한 전통적인 지식을 활용하는 수단의 일환이라고 언급해 왔고(Twigg, 2004), 반면 다른 학자들은 이러한 발상을 비판하면서 이는 구조적 문제에 대한 관심을 멀어지게 하며(Davies, 1993) '번영' 대신에 '생존'에 초점을 맞추게 할 것이라고 우려하였다. 대응이 재해 전에 일어나는가 후에 일어나는가에 대한 논쟁도 지속되었다(UNISDR, 2008b,c, 2009e). 이러한 논쟁은 대응이란 "사람, 조직 및 시스템이 기술과 자원을 사용해서 악조건, 비상사태 또는 재해에 대응하고 관리할 능력" 이라는 UNISDR의 정의(UNISDR, 2009d)로써 완전하게 해소되지 않는다. 명백하게 비상사태와 재해는 사후 상황이지만, '악조건'은 부정적인 영향 전 생계 조건과 재해 위험 상황 또는 단순히 영향 후 결과를 포함할 수 있는 애매한 개념이다.

본 장의 첫 부분은 이 두 가지 개념을 분석하는 데 초점을 맞춘다. 이러한 용어들을 충분히 구분한 후, 초점은 두 용어와 정부와 이해관계자들에게 운영상 중요한 기타 관련 개념들 간의 중요한 관계로 이동한다.

1.4.1.1. 정의와 차이점

재해 위험 관리 분야와 기후변화 적응 분야에 있어서 대응이라는 용어의 중요성에도 불구하고 이 용어의 의미에 관하여 상당한 혼돈점이 있고(Davies, 1996) 이 용어가 적응과 어떻게 다른가에 관한 혼선도 상당하다.

이러한 측면을 명확히 규명하기 위해서는 먼저 재해 위험 맥락과 적응 맥락의 외부를 보는 것이 유용하다. 옥스포드 영어사전은 대응을 "문제나 어려움을 극복하는 이행 또는 과정" 또는 "스트레스 상황 또는 상태를 관리하거나 견디는 것"이라고 정의하고 적응을 "적절하게 바꾸는 것, 개조하는 것"이라고 정의한다(OED, 1989). 표 1-1에서 보듯이 이 두 용어를 대조하면 두 용어의 – 긴급사태(exigency), 제약(constraint), 반응성(reactivity), 예비교육(orientation) – 관련 사례에 차이가 있는 몇 가지 중요한 측면이 부각된다.

전반적으로 대응은 시점, 제약, 생존에 초점을 맞추고, 적응 (인간의 대응 측면에서)은 미래에 초점을 맞춘다. 이 때는 학습과 재창조가 핵심적인 특징이며 단기적인 생존은 이보다 덜 논의된다(이미 변경된 환경 조건에 의해 고무된 변화를 여전히 포함하고 있는 경우도 포함).

1.4.1.2. 대응, 대응 능력, 적응력, 대응 범위 사이의 관계

이 보고서에 사용된 대응과 적응에 대한 정의는 사전적 정의를 반영한다. 한 예로, 커뮤니티는 '적응'을 통해 허리케인의 여파를 헤쳐나갈 수 없으며; 대신 '대응'이 반드시 필요하다. 커뮤니티의 적응력 또는 대응할 능력 (Gallopin, 2003)은 대응에 사용할 수 있는, 현재 이용할 수 있는 자원의 함수이며, 재해에서 온전하게 살아남을 능력을 좌우한다(Bankoff, 2004; Wisner 등, 2004). 복구를 위한 충분한 시간과 대비 없이 대응 메커니즘을 반복적으로 사용하면 대응 능력이 감소할 수 있고, 커뮤니티를 일시적 빈곤 상태로 만들 수 있다(Lipton and Ravallion, 1995). 적응을 위해 자원을 남겨두기보다는 어쩔 수 없이 대응해야 하는 커뮤니티 미래의 위험에 점점 더 취약해질 수 있다(O'Brien and Leichenko, 2000).

그러나 미래의 허리케인을 예측하여 적응을 하면 그 다음 폭풍에서 살아남기 위한 대응의 필요를 줄일 수 있다. 커뮤니티의 적응력은 적응을 추진할 수 있는 정도를 결정할 것이다(Smit and Pilofosova, 2003).

대응 능력과 적응력을 정의하는 방법에 약간의 차이는 있지만, 문헌은 일반적으로 적응력은 장기적이고 보다 지속적인 적응에 초점을 맞춘다(Gallop-

Box 1-4 | 증가하는 위험수준에 대한 적응

서기 1000년 이전에, 북해 남부와 현재 네덜란드 지역인 라인 델타 주변의 저지대 해안 범람원(floodplain)에서, 주민들은 이전에 발생했던 다수의 극한 폭풍 해일의 높이보다 높게 쌓아올린 제방 위에서 거주하였다. 1000년 무렵에 인구는 약 30만 명으로 추정되며 거주자들은 처음으로 제방을 건설하기 시작했고, 400년 내에 고조보다 높은 곳에 있는 육지의 모든 주요지역을 둘러싸서 동물들은 방목되고 사람들은 안전한 습지대에 살 수 있었다. 거주가 가능한 육지가 확대되자 기록적인 홍수에 노출되는 인구 수도 크게 증가했다(Borger and Ligtendag, 1998). 구조가 약한 해안의 제방들은 폭풍이 몰아치는 13세기와 14세기 내내(특히 1212, 1219, 1287, 1362년) 대형 폭풍 해일로 인한 홍수로 파괴되어 방대한 지역이 침수(때로는 영구적인 침수)되었고, 20만 명 이상의 사상자를 냈으며, 그 지역에 사는 사람들의 사망률이 5%를 넘었다(평균 수명 30세를 가정할 때; Gottschalk, 1971, 1975, 1977).

악조건의 환경(장기간 삼각주 침하를 초래하는)에 적응하기 위해 제방의 건설 및 배수 공학의 기술 향상이 15세기부터 점차 이루어졌다. 국가가 부유해지고 인구가 증가함에 따라(1500년까지 95만명, 1700년까지 190만 명으로 추정) 홍수로부터의 위험을 저감시키고 식량 생산이 가능한 토지를 확대하기 위해 더 나은 수준의 보호를 제공하며 토지를 바다와 강의 침식으로부터 보호하는 것이 중요해졌다(Hoeksma, 2006). 기술혁신의 예를 들면, 물을 끌어내기 위한 풍차의 개발, 그리고 풍차 또는 풍력으로 구동되는 아르키메데스식 나선식 펌프(Archimedes screw)로 최소 4 m의 물을 양수하는 방법이 있었다. 토지 개간을 유일한 목적으로 하는 합자 회사에 투자할 자본이 중요한 요소로 부각되었다. 1607년에 암스테르담 북쪽에 있는 72 km2의 벰스터 호수(Beemster Lake)를 개간하기 위해 한 회사가 설립되었다. 50km 운하와 원형 제방(dike ring)이 건설되었고, 총 50개의 풍차가 설치되어 5년 간 물을 퍼낸 끝에 벰스터 간척지(Beemster polder)가 탄생했다. 이 간척지는 주변보다 3~4 m 낮았고, 30년 내에 농장 200개와 2,000명이 정착했다.

17세기에 수방(flood defense)의 육성 및 강화에 많은 투자가 이루어진 후에 대형 홍수가 두 세 차례 있었다. 하나는 1717년에 발생해 14,000명이 익사하였고 다른 두 홍수는 1825년과 1953년에 발생했다; 그 이후로 홍수로 인한 평균 사망률은 100년 당 1,000명으로, 중세의 사망률보다 500배 낮은 약 0.01%의 사망률(평균수명을 50세로 가정)을 보였다(Van Baars and Van Kempen, 2009). 이러한 변화는 폭풍의 감소보다는 보호의 증가를 반영했다는 점이다. 홍수로 인한 위험이 현재 다시 증가하고 있고(Bouwer and Vellinga, 2007), 새로운 위험의 분포를 예상해 대응 범위를 옮겨 미래에 발생할 수위의 상승을 관리할 계획들이 개발 중이다.

fn, 2006; Smit and Wandel, 2006). 그러나 대응 메커니즘의 반복적인 적용은 차후 대응 때 필요한 이용 가능한 자원을 소비하는 것과 마찬가지로 적응에 이용할 수 있는 자원들도 소비한다(Adger, 1996; Risbey 등, 1999).

적응과 **대응 범위**, 즉 시스템이 기후 상태 및 그 영향의 변동성을 수용할 능력 사이에도 연관성이 있다(시스템은 특정 생태계부터 사회까지 다양할 수 있다) (IPCC, 2007b). 적응과 관련한 문헌에서 Yohe and Tol (2002, p. 26)은 외부 스트레스원에 대응하여 "시스템의 기본적인 복원력 덕분에 심각한 결과가 나타나지 않을 상황"의 범위를 가리켜 이 용어를 사용해왔다. 대응 범위 바깥에서 커뮤니티들은 "그들의 환경의 변화 또는 변동성에서 오는 상당한 영향을 느낄" 것이다(Yohe and Tol, 2002, p. 25). 대응 범위 내에서 커뮤니티가 살아남을 수 있고 상당한 자연적 위험 속에서도 번성할 수 있다. 특히 위험 강도에 대한 역사적인 사실이 잘 알려져 있고 상대적으로 안정적일 때 그러하다(1.2.3.4절 참고). 커뮤니티의 대응 능력은 부분적으로 사전 적응에 의해서 결정되며(Hewitt and Burton, 1971; de Vries, 1985; de Freitas, 1989), 커뮤니티는 적응을 위한 노력이 대응 범위가 전형적인 위험의 범위와 맞을 때 가장 생존하고 번성하기 쉽다(Smit and Pilifosova, 2003). 기후변화가 미래의 변동성과 극한 현상 발생률을 변화시킴에 따라 그리고 사회적 추세가 인간시스템의 취약성을 변화시킴에 따라 적응은 예측되는 또는 수용 가능한 위험 범위 내에서 사회의 기능을 유지하도록 대응 범위를 조정할 필요가 있다(Moser and Luers, 2008).

Box 1-4는 현재 네덜란드 지역에서 일어난 이러한 과정의 사례로써, 이를 통해 사회의 대응 범위가 변하는 과정은 미래의 경제발전에 좌우되고 그 경제발전을 수월하게 한다는 것(즉, 적응력을 요하고 대응 능력을 강화)을 보여준다. 또한 이 과정이 점점 증가하는, 잘못 적응된, 위험에 대한 노출을 피하기 위하여 위험 분포의 이동에 대응하여 위험과 적응의 지속적인 재평가가 필요하다는 것도 알 수 있다. Box 1-4에 나타나 있고 1.4.2절에서 보다 자세히 설명하듯이, 부분적으로 기관에서 시행하는 학습에 의해 촉진되는 성공적인 적응은 커뮤니티의 대응 범위를 넓히고 이동시킬 수 있어서 더 넓은 범위의 미래 재해 위험에 대한 복원력을 촉진할 수 있다(Yohe and Tol, 2002) (높은 신뢰수준).

1.4.2. 학습

위험 관리 의사결정은 사회-생태 시스템(환경 자원 및 조건에 긴밀히 결부되어 있는 사회시스템을 가리키는 용어) 내에서 내려진다. 어떤 사회생태 시스템들은 다른 것들에 비해 더 복원력이 강하다. 가장 큰 복원력을 가진 사회-생태 시스템은 학습하고 조절할 능력, 교란 후에 재구성할 능력, 시스템 스트레스가 있을 때 기본 구조 및 기능을 유지하는 것이 특징이다(Folke, 2006). 따라서 극한 스트레스에 대응하고 정상 기능을 재개할 능력은 복원력의 중요한 요소이지만 학습, 재구성, 시간에 따른 변화 역시 중요하다. 8장에서 강조하듯이, 사회의 가장 중요한 사회-생태 시스템이 지속 가능하고 복원되는 미래를 이루기 위해서는 변환적 변화(transformational change)가 필요하다. 학습은 적응적 관리, 혁신, 리더십과 더불어 이 과정에 필수적이다.

사회생태 시스템에 관련된 학습은 지연, 저량과 유량(stock-and-flow) 역학, 피드백 루프를 비롯한 복잡한 역학을 인식할 필요가 있다(Sterman, 2000). 이러한 특징들 때문에 시스템의 작동 원리 인식이 어려워지고 결과적으로 관리 전략을 복잡하게 할 수 있다. 휴리스틱 장치와 심성 모형(mental model)은 때로는 문제의 전체의 복잡한 특징들을 애매하게 만들어 학습을 방해할 수 있고 (Kahneman 등, 1982; 1.3.1.2절) 전문가와 일반인들 사이에 정책의 이행을 복잡하게 만들어 학습을 방해할 수 있다(Cronin 등, 2009). 예를 들어, 흔한 휴리스틱 (1.3.1.2절 참고)은 온실가스 배출율과 대기 내 축적량 간의 관계를 잘못 이해하게 만들고 완화에 대한 '정관주의(wait and see)' 접근법을 신뢰하게 만든다(Sterman, 2008). 다양한 메커니즘을 통해 그러한 인자들은 마비를 초래할 수 있고, 특정 위험 관리 전략경로를 가리키는 확실한 증거가 있음에도 불구하고 적절한 위험 관리 전략을 동원하지 못하게 만들 수 있다(Sterman, 2006). 따라서 효과적인 적응에 이르는 학습을 촉진할 방법을 탐구할 때는 결과적인 학습 장벽을 특별히 주의해야 한다.

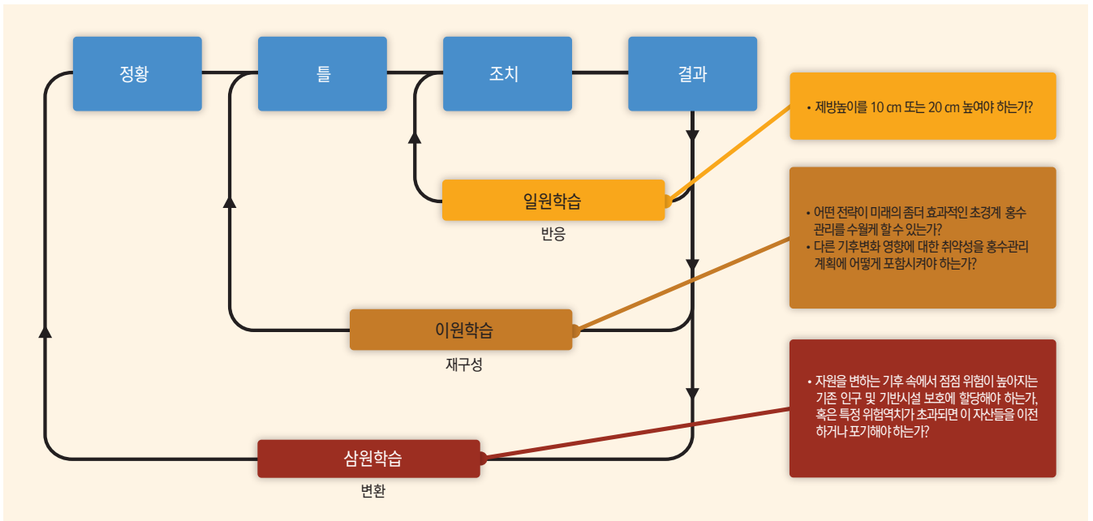


그림 1-3 | 순환 학습: 일원, 이원 및 삼원 학습의 경로, 결과 및 역학과정과 홍수관리에의 적용. Argyris and Schon, 1978; Hargrove, 2002; Sterman 등, 2006; Folke 등, 2009; and Pahl-Wostl, 2009.

사회생태 시스템 및 그것과 기후변화 간 상호작용의 복잡한 역학을 고려하면, 기후변화 적응 (여기서 보통은 간단히 '적응'이라고 칭하는)에 관한 문헌은 반복학습과, 새 정보가 제공됨에 따라 진화하도록 설계된 관리 계획을 강조한다(Morgan 등, 2009: NRC, 2009). 적응과는 달리 재해 위험 관리 분야는 역사적으로 기후변화의 결과와 반복학습의 필요성에 뚜렷하게 초점을 두지 않았다. 그러나 이 분야는 9장에 소개된 일부 사례를 포함해 적응 실무자들에게 도움이 될 수 있는 몇 가지 중요한 학습 사례를 제공한다. 1.4.5절에서 이 사례연구를 소개하기 전에 우리는 기관 학습과 '순환 학습'의 관련 이론을 소개할 것이다.

방대한 문헌들이 적응에서 학습의 역할 (Armitage 등, 2008; Moser, 2010; Pettengell, 2010)과 '복잡한 적응시스템'에서 기관 및 사회 학습을 촉진하기 위한 전략에서 학습의 역할을 강조한다(Pahl-Wostl, 2009). 중요한 전략들은 과학자, 정책결정자, 기타 행동주체들이 협력해 지식을 교환, 생성, 적용하는 지식 공동생산 (van Kerkhoff and Lebel, 2006)과, 연구팀들이 실세계 문제에 대한 가설을 세우고 그 결과에 기초해 관리전략을 수정하는 반복 과정인 이행 연구 (List, 2006)의 사용을 포함한다.

학습이론, 예를 들어, 경험적 학습(experiential learning) (Kolb, 1984)과 전환 학습(transformative learning) (Mezirow, 1995)에 관한 이전의 연구는 이행 위주의 문제 해결, 실천에 의한 학습, 구체적 학습 사이클, 그리고 이 과정들이 반영, 의미 재고, 가치 구조 재해석을 초래하는 방식의 중요성을 강조한다. 순환 학습의 틀 (Kolb and Fry, 1975; Argyris and Schon, 1978; Keen 등, 2005)은 위의 이론들을 통합하여 학습 과정을 학습이 관리 전략의 변환적 변화를 촉진하는 정도에 따라 세 가지 루프로 나눈다. 그림 1-3은 이 틀과 홍수관리 문제에서 이 틀의 적용을 보여준다.

일원 학습 과정에서는 기대한 것과 관측된 것의 차이에 기초해서 변화한다. 일원학습은 주로 이행의 효과를 개선하는 것 (Pelling등, 2008)과 "제대로 되고 있는가?"라는 질문에 대답 (Flood and Romm, 1996)하는 것, 즉 관리 전술은 규명된 목적을 달성하기에 적절하거나 충분한지 여부에 답하는 데에 초점을 둔다. 홍수 관리에서 예를 들면 홍수가 기존의 수방을 붕괴하려할 때, 홍수 관리자는 제방과 강둑의 높이가 충분한지 질문할 수 있고 그에 따라 조정을 할 수 있다. 그림 1-3에서 보듯이, 일원 학습은 주로 이행에 초점을 둔다. 데이터를 통합하고 그에 따라 이행을 취하지만, 데이터 처리에 사용된 기저의 심성 모형은 변하지 않는다.

이원 학습에서는 평가를 확대해 행동주체가 '적절한 일을 하고 있는지' 여부를 평가한다(Flood and Romm, 1996). 즉, 관리 목표 및 전략이 적절한지 여부를 평가한다. 시정조치는 문제를 재구성하고 다른 관리 목표를 세운 후에 행해진다(Pelling 등, 2008); 무엇을 하고 왜 하는가에 대한 심성 모형에 대한 도전과 비평적 사고를 고취하기 위해 자료들이 사용된다. 홍수관리에 대한 사례를 계속하자면, 이원학습은 현재의 홍수관리 방법이 지속가능한지 그리고 특정 기간 동안 극한 수문현상의 예상 변화에 복원력이 있는지 판정하기 위해 그 방법의 목표를 비판적으로 검토할 때 사용한다. 예를 들어, 500년 홍수를 견디도록 지어진 제방으로부터 보호되는 범람원에서, 연간 초과확률(annual exceedance probability)이 0.002에서 0.005로 변하면 (어느 해에 500년 빈도의 홍수가 발생할 가능성이 역사적으로 200년 빈도의 현상에서 보인 가능성으로 변했다는 말과 같다), 손실 가능성의 증가가 수방에의 투자 증가부터 취약인구 보험정책 변경까지 다른 위험 관리 의사결정들을 정당화 하는지 묻게 될 것이다.

많은 저자들이 삼원 학습 (Argyris and Schon, 1978; Hargrove, 2002; Peschl, 2007), 또는 깊이 고수된 기본적인 원칙들을 질문하는 학습 (Pelling 등, 2008)을 구분한다. 삼원학습에서 행동주체는 어떻게 해서 기관 및 기타 권력 관계가 가능한 중재의 범위, 허용가능한 비용 및 적절한 전략에 대한 인식을 결정하는지 묻는다(Flood and Romm, 1996). 관리 전략은 합의된 더 큰 목표에 기여하지 않는다, 즉 적응을 하지 못한다는 증거에 대응하여, 삼원 학습은 사회구조, 문화적 규범, 지배적 가치구조, 그리고 위험 및 위험 관리를 완화하는 기타 구조들이 (Box 1-3 참고) 어떻게 변화 또는 변환될 수 있는지를 묻는다. 홍수관리 예에 대해 더 논의해 보면, 삼원학습은 홍수위험에 크게 기여하는 문화, 기관, 국가, 기타 경계를 망라한 추가 당사자들을 포함하고 특정 요소에 최적이라고 간주된 전략 대신, 견고한 이행을 목적으로 하는 계획을 포함하는 거버넌스 및 참여적 위험 관리에 대한 완전히 새로운 접근법을 수반할 수도 있다(Pahl-Wostl, 2009).

어떤 임의 상황에 더 또는 덜 적절한 학습유형이 있다(Pahl-Wostl, 2009, p. 359). 예를 들어, 일원 학습의 과잉의존은 급속히 변화하는 상황에서는 문제가 많을 수 있다. 일원 학습은 개별 상황에 특정한 기존 기술 및 기억의 인벤토리를 이용한다. 그 결과, 급속한, 돌발적인 또는 놀라운 변화는 일원 학습 과정에 맞지 않음을 입증할 수 있다(Batterbury, 2008). 대응 메커니즘은 장기간 발전되어 왔고 관측과 경험에 비추어 검증되어 온 것조차도 새로운 상황에서는 평소의 생존 장점을 부여하지 못할 수 있다. 대응 범위를 새로운 위험에 매치하는 데는 이원 학습과 삼원 학습이 더 적절하다(Yohe and Tol, 2002). 다중 위험 및 스트레스원에 노출된 인구의 경우, 이원 학습과 삼원 학습을 적응 프로젝트에 통합하는 것이 미래의 특정 기후정보에 의존하는 보다 좁게 계획된 접근법보다 더 효과적이다(McGray 등, 2007; Pettengell, 2010).

행동보다 말이 쉽지만, 삼원 학습은 보다 근본적인 변화를 수용하기 위해 위험을 포함, 완화하는 사회 구조, 제도, 구성을 재구성할 수 있다는 점에서 (Pelling, 2010) '변환(transformation)'과 유사하다(Kysar, 2004; 1.1.3절과 8장 참고). 이원 학습과 삼원 학습을 정책으로 옮기기 위해서는 더 큰 위험-혜택을 나타내는 세계의 명확한 규명뿐 아니라 다양한 중재와 다양한 시계(time horizon)에서 그것들의 혜택과 위험과 관련된 비용을 식별, 해명, 비교할 메커니즘도 필요하다. 이해당사자들은 광범위한 위험 관리의 가능성 및 영향에 대해 총체적, 협조적으로 고려하기 위해 이상 현상의 수준에 함께 협력할 필요가 있을 것이다.

1.4.3. 적응 장벽 극복을 위한 학습

적응 장벽에 초점을 맞춘 학습이 특히 유용할 수 있다. 일반적으로 자원의 한계는 상황에 따라 정도는 다르지만 주요 장애물로 간주된다. 또한, 적응 장벽을 식별, 분류하기 위한 최근의 일부 노력들은 특정 문화적 요인 (Nielsen and Reenberg, 2010) 또는 특정 부문의 특정 이슈 (Huang 등, 2011)에 초점을 맞추고, 반면에 어떤 노력들은 이 주제를 보다 포괄적으로 고찰한다 (Moser and Ekstrom, 2010). 적응 과정의 특정 단계의 장벽을 규명하는 연구들도 있다. 예를 들어, Moser and Ekstrom (2010)은 적응의 세 가지 단계(phase), 즉 이해, 계획, 관리에 대해 설명하였다. 각 단계(phaes)마다 몇 개의 주요 단계(step)가 있고 장벽들은 각 단계의 진척을 방해할 수 있다.

예를 들어 이해에 대한 장벽에는 검출, 인지, 평가의 어려움으로 인해 변하는 신호를 인식하기 어려움; 증가하는 신호로부터 관심을 분산시키는 여타 긴급 사안들에 몰입; 적응 의사결정을 위한 행정적, 사회적 지원의 부재가 포함될 수 있다. 이 연구는 진단 틀을 제공하고 적응 장벽 극복에 대한 처방은 피하지만 위에 언급된 연구들 같은 다른 연구들은 특정 부문 및 배경과 관련된 보다 집중된 처방을 제공한다.

일반적으로 장벽에 대한 연구는 보편적으로 수용 가능한 성공적인 적응 결과의 선험적 정의를 제공하기 어렵다는 것을 수용하면서 일종의 과정으로써 적응에 초점을 맞추어 왔다(Adger 등, 2005). 그러나 이것은 중요한 규범적 질문을 잠재적으로 회피한다. 그리고 일부 연구자들은 특정 활동들이 "다른 시스템, 부문 또는 사회집단의 취약성에 부정적 영향을 끼치는 또는 그들의 취약성을 증가시키는 기후변화 취약성을 표면상 피하거나 저감하기 위해 취해진 이행"이라고 정의된 부적응적(maladaptive) 이행으로 간주되어야 하는지 여부를 고려하였다(Barnett and O'Neill, 2009, p. 211). 그들은 온실가스 배출을 증가시키고, 취약한 인구에게 불균형적으로 부담을 안기고, 한 경로의 이행에 과도한 몰입을 요하는 활동들을 식별한다(Barnett and O'Neill, 2009). 부적응적 이행일 가능성이 있는 다른 후보로는 위험을 상쇄하지만 다른 위험들을 증가시켜 순 위험 증가를 초래하는 이행들 (예: 홍수를 감소시키지만 동물원성 감염 질병을 증가시키는 댐), 그리고 노출된 채로 생존하는 사람들 (또는 부적응적인 이행으로 인해 새로이 노출된 사람들)에게 위험을 증폭시키는 이행들이 있다. 이러한 사례들은 공공 보건 분야의 문헌 (Sterman, 2006)과 여타 분야에 광범위하게 존재한다.

이러한 문제들은 재해 위험 관리에서 오랜 역사를 갖고 있다. 예를 들어, 1942년에 Gilbert White는 1930년대의 연구에서, 제방은 안전을 제공할 수 없고 결국 실패할 여지가 있어 궁극적으로 위험을 증가시킬 수 있다고 주장하였고, 홍수 위험에 대처하기 위해서는 다른 '조정'방안 중에서도 강 유역의 토지이용 계획과 환경관리 계획이 중요하다고 옹호하였다(Burton 등, 1978). 이러한 견해는 '위험에 대한 인간의 적응' 분야에서 꽤 앞서 있었고, 인간–환경 관계에 대한 생태학적 접근법에서 도출되었다. 예를 들어, 제방 사례에서 적응적 이행과 부적응적 이행의 구분은 얼마 동안의 위험을 평가하는가에 좌우된다. 확률론적 관점에서 볼 때, 제방의 보호능력을 넘어서는 기록적인 홍수가 발생할 가능성은 시간의 함수와 관련이 있다. 기후변화는 기후와 관련하여 발생하는 많은 위험이 빈번해져 어떤 의사결정이 '적응적'이라고 간주될 수 있는 시간규모를 축소시킬 수 있고 커뮤니티는 자신이 '적응된' 것으로 여길 수 있다(Nelson emd, 2007).

적응 장벽 진단에 도움이 되는 틀은 부적응적 의사결정의 근원을 식별하는 데 유용하지만 적응적인 정책을 만드는 것은 장벽이 완전히 노출될 때 조차도 어렵다. 예를 들어, 위험이 연속적으로 재평가되지 않는 경우, 또는 위험을 전 인구에 분산시키기 위한 위험 관리 전략과 메커니즘 (예: (보험계획에서 위험 요율 산정)이 부적절하게 유지되는 경우, 또는 새로운 위험 관리 전략이 필요한 것으로 설득되지 않는 경우, 위험 이동(risk displacement)은 대형 보험체계에서 공통의 관심사다. 허리케인 카트리나가 오기 전 뉴올리언스의 제방이 그러한 경우였다. 이 제방은 위험지역을 안전하게 보호하기 위해 건설되었지만 아이러니하게도 훨씬 더 많은 인구를 큰 위험에 노출시켰다. 여러 인자들의 결과로 (Burby, 2006), 부적절한 제방 기반시설은 홍수 가능성을 증가시켰으나 적절한 위험 저감 및 관리 대책이 전혀 이행되지 않았고, 결국 강력한 3급 폭풍(Category 3 storm)으로 인한 해일에 강타 당했다(Comfort, 2006). 미국 연방정부의 역사적 재해 접근법에 의해, 뉴올리언스에서 재산이 위험에 처한 사람들은 홍수재해 발생 시 연방 복구자금을 받을 것을 이미 예상했다는 주장이 있다. 이것이 차례로 위험 관리를 왜곡하여 결국 홍수위험 가격(flood risk pricing)이 부적절하게 책정되고 적절한 위험 관리 이행을 취할 동기가 감소하여 그렇지 않았을 경우보다 더 많은 인구를 홍수위험에 노출되게 했을지도 모른다(Kunreuther, 2006).

위의 예는 적응 장벽이 궁극적으로 부적응적 위험 관리 방법을 야기했을 수도 있는 방식을 보여주며, 위험이 실제로 어떻게 가정되고 공유되는지 고려하는 것이 얼마나 중요한지를 입증한다. 위험 공유의 목표 중 하나는 위험이 실현되는 경우에 복구에 재정 지원을 할 수 있는 연합자본(capical pool)이 충분히 존재하도록 위험가격을 적절히 책정하는 것이다. 위험 가격이 부적당하게 책정되고 위험 공유가 적절히 규제되지 않을 때는, 위험 공유 장치가 적절히 모니터 되지 않을 때 가능한 것처럼 적절한 연합준비금(reserve pool)이 축적될 수 없다. 위험이 실현될 때 복구에 자금을 댈 책임은 마지막으로 보험사에게, 때로는 대중에게 돌아간다.

또한 이 사례는 개별 주택소유자 또는 홍수 방호기관에 의해서 적응 동기를 유발하도록 설계된 보험시스템이 어떻게 기술적 보험율(technical rate) – 경험적으로 결정된 위험수준을 제대로 반영하는 보험료– 가 정해질 수 있고 상대적으로 높은 시공간 해상수준에서 다양한 수준의 위험과 연관될 수 있는 경우에만 제대로 기능할 수 있는가를 보여준다. 자유시장을 통해 홍수보험 시스템을 가진 나라들에서도 보험사들은 전면적인 기술 보험료를 부과하기를 꺼릴 수 있다. 왜냐하면 소비자들은 보험비용은 특정 장소에서 비교적 한결같아야 한다고 여기게 되었기 때문이다. 그러나 기술 보험료를 부과하지 않으면 가격책정(pricing)을 사용해서 홍수 방지공사 또는 새로운 개발지에서 1층을 높게 짓는 것 (Lamond 등, 2009), 건물 건축 가능지역 제한, 공용 수방 건설의 정당화 같은 적응전략에 동기를 부여하기는 어렵다. 그러한 경우, 적응 장벽 (이 경우에는 계획과 관리)은 전략의 현재 결과를 부적응적으로 만들 수 있다. 노출과 취약성의 부정적 조건이 만연한 가운데 기후변화로 인해 위험수준이 상승하는 곳에서는 그러한 장벽들에 대한 재고 – 이원학습과 삼원학습을 포함하는 과정 – 가 보다 적응적인 위험 관리를 촉진할 수 있다. 그렇지 않으면, 부적응적 위험 관리 의사결정은 집단 자원 (공공 또는 민간)을 성공적 적응보다는 대응과 복구에 투입하

거나 사회의 일부 부분으로 하여금 불균형적인 위험수준에 어쩔 수 없이 대응하게 만들 수 있다.

1.4.4. '후회 없는' 강력한 적응 및 학습

적응전략과 예측된 필요 간의 이 불일치는 후회할 가능성, 즉 미래에 일어날 가능성이 있는 한 가지 또는 몇 가지 기후에게는 최적이지만 다양한 시나리오에서 꼭 강력하지만은 않은 의사결정 (그리고 이전의 선택이 미래의 상황과 의사결정을 제약하는 관련 경로 의존성)에 관련된 기회비용으로 나타났다(Lempert and Schlesinger, 2001). '후회 없는' 적응이란 예상하는 미래의 기후 및 관련 영향의 모든 범위에서 순이익을 갖는 의사결정을 말한다 (Callaway and Hellmuth, 2007; Heltberg 등, 2009).

기후변화 및 개발과 관련하여 역동적이며 복잡한 배경에서 뿐만 아니라 미래 기후조건의 확률적 추정이 여전히 부정확한 조건 아래서 위험 관리의 문제를 해결하기 위해 일부 연구자들은 견고함의 개념을 발전시켰는데(Wilby and Dessai, 2010), 이것의 특별한 사례가 '후회 없는' 적응이다(Lempert and Groves, 2010). 견고함은 계획이나 전략이 어떤 특정 시나리오에서 최적으로 수행되지는 않더라도 넓은 범위의 다양한 미래 시나리오에서 곧잘 수행되는 속성을 말한다. 견고한 적응계획은 예상 변화뿐 아니라 갑작스런 변화도 다루는 것을 목표로 하기 때문에 설령 위험의 확률적 평가가 틀린 것으로 증명되는 경우에도 상대적으로 잘 수행될 수 있고, 값과 기대치에 대하여 불일치하는 경우에도 다양한 이해관계자들이 이행에 동의하게 할 수 있다(Brown and Lall, 2006; Dessai and Hulme; 2007; Lempert and Groves, 2010; Means 등, 2010; 1.3.2 참조).

1.4.3절에서 강조하듯이, 극한기상과 여타 기후에 민감한 위험(hazard)과 관련된 위험(risk)은 적절히 관리되지 못하는 경우가 많다. 적응의 효과를 높이려면, 위협에 대한 현재의 복원력뿐 아니라 미래의 복원력도 증가시키는 대책에 적응의 우선 순위를 두어야 할 것이다. 현재의 취약성을 다루고 위험 관리를 강화하는 데 초점을 맞춘 학습을 비롯한 '학습'이 적응노력의 중추가 되면 견고함은 시간이 지나면서 자연스럽게 증가한다(높은 신뢰수준). 일원 학습, 이원 학습 및 삼원 학습은 모두 관리 전략의 효과를 향상시킬 것이다.

9장에 나온 사례 연구들은 다양한 기후의 민감성에 대한 위협과 다양한 부문에 관련된 재해 위험 관리에서 학습의 중요한 예를 제시한다. 9.2절은 일원 학습 및 이원 학습 과정들 – 공공 보건 대응 능력을 강화하고, 조기경보시스템을 강화하고, 새로운 환경에서 극한 열의 위협으로부터 건강을 보호하기 위해 알려진 전략들을 적용하는 과정들 – 이 어떻게 극한 열에 관하여 지역의 대응 능력을 빠르게 이동시켜 더위 관련 사망률에 입증 가능한 영향을 끼쳤는지 사례를 보여준다. 그 밖에 위험 전환 사례 연구(9.2.13절)와 조기경보시스템 사례 연구들(9.2.11절)은 새로운 환경에서 위험 프로파일의 변화에 대응하여 어떻게 기존 방법과 도구가 수정되고 배치되었는지의 예를 보여준다. 이와 유사하게, 거버넌스에 관한 사례연구(9.2.12절)와 작은 섬을 개발하는 국가에서 적응의 한계에 관한 사례연구(9.2.9절)는 재해 위험 관리에 대한 삼원 학습 접근법 및 변환 접근법의 예를 보여준다.

참고문헌

본장에인용된, 일반인이쉽게열람하기어려운비–저널문헌의디지털라이브러리는 IPCC 검토및초고과정의일부로서취합되었고, IPCC 사무국또는 IPCC 실무그룹 II 웹사이트를통해접근할수있다

ACC, 2010: Informing an Effective Response to Climate Change. America's Climate Choices, National Academies Press, Washington, DC.

Adger, WN., 1996: Approaches to Vulnerability to Climate Change. CSERGE Working Papers. University of EastAnglia, Norwich, UK.

Adger, WN., 2000: Social and ecological resilience: Are they related? Progress in Human Geography, 24(3), 347-364.

Adger, WN., 2006: Vulnerability. Global Environmental Change, 16, 268-281.

Adger, WN., N. Arnell, and E.M. Thompkins, 2005: Successful adaptation to climate change across scales. Global Environmental Change, 15, 77-86.

Alexander, D., 1993: Natural Disasters. UCL Press, London, 632 pp.

Alexander, D., 2000: Confronting Catastrophe. Oxford University Press, New York.

Anderson, M. and P. Woodrow, 1989: Rising from the Ashes: Development Strategies in Times of Disasters. Westview Press, Boulder, CO.

APA, 2009: Psychology and Global Climate Change: Addressing a Multi-faceted Phenomenon and Set of Challenges. American Psychological Association Task Force on the Interface between Psychology and Global Climate Change, American Psychological Association, Washington, DC.

Argyris, C. and D. Schon, 1978: Organizational Learning: A Theory of Action Perspective. Addison-Wesley, Reading, MA.

Armitage, D., M. Marschke, and R. Plummer, 2008: Adaptive co-management and the paradox of learning. Global Environmental Change, 18, 86-98.

Aven, 1, 2011. On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability, and resilience. Risk Analysis, 31 (4), 515-522.

Bahadur, A.V., M. Ibrahim, and 1 Tanner, 2010: The resilience renaissance? Unpacking of Resilience for Tackling Climate Change and Disasters. Institute of Development Studies (for the Strengthening Climate Resilience (SCR) consortium), Brighton, UK.

Baird, A., P. O'Keefe, K. Westgate, and B. Wisner, 1975: Towards an Explanation of and Reduction of Disaster Proneness. Occasional Paper number 11, Disaster Research Unit, University of Bradford, Bradford, UK.

Balamir, M., 2005: Ways of understanding urban earthquake risks. In: Book of Abstracts from 'Rethinking Inequalities: 7th Conference of the European Sociological Association, Institute of Sociology, Nicolaus Copernicus University of Torun, Poland, p. 132.

Ball, N., 1975: The myth of the natural disaster. The Ecologist, 5(10), 368-369.

Bankoff, G., 2001: Rendering the world safe: vulnerability as western discourse. Disasters, 25 (10), 19-35.

Bankoff, G., 2004: The historical geography of disaster: "vulnerability" and "local knowledge" in western discourse. In: Mapping Vulnerability: Disasters, Development, and People [G. Bankoff, G. Frerks, and D. Hillhorst (eds.)]. Earthscan, London, pp. 25-36.

Barke, R, H. Jenkins-Smith, and P. Siovic, 1997: Risk perceptions of men and women scientists. Social Science Quarterly, 78, 167-176.

Barnett, J. and S. O'Neill, 2009: Maladaptation. Global Environmental Change, 20, 211-213.

Barron, E.J., 2009: Beyond climate science. Science, 326, 643.

Batterbury, S., 2008: Anthropology and global warming: the need for environmental engagement. Australian Journal of Anthropology, 1, 62-67.

Bedford, T.J. and R.M. Cooke, 2001: Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods. Cambridge University Press, New York, NY and Cambridge, UK.

Bedsworth, L.W and E. Hanak, 2010: Adaptation to climate change: A review of challenges and tradeoffs in six areas. Journal of the American Planning Association, 76(4), 477-495.

Beer, 1 and R. Hamilton, 2002: Natural Disaster Reduction: Safer Sustainable Commu-

nities, Making Better Decisions about Risk. International Council for Science, ICSU Position Paper.

Below, R., A Wirtz and D. Guha-Sapir, 2009: Disaster Category Classification and Peril Terminology for Operational Purposes. Common Accord Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) and Munich Re, Brussels, Belgium and Munich, Germany, cred.be/sites/defaultfiles/DisCatClass_264.pdf.

Berkes, F., 2007: Understanding uncertainty and reducing vulnerability: Lessons from resilience thinking. Natural Hazards, 41, 283-295.

Berkes, F.,J. Colding, and e. Folke (eds.), 2004: Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Birkmann, J., and K. von Teichman, 2010: Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: key challenges - scales, knowledge, and norms. Sustainability Science, 5(2), 171-184.

Blaikie, P., 1 Cannon, I. Davis, and B. Wisner, 1994: At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. 1 st edition. Routledge, London.

Borger, G.J. and WA Ligtendag, 1998: The role of water in the development of the Netherlands - a historical perspective. Journal of Coastal Conservation, 4, 1 09- 114.

Bosher, L.S. (ed.), 2008: Hazards and the Built Environment: Attaining Built-in Resilience. Taylor and Francis, London.

Bouwer, L.M. and Vellinga P., 2007: On the flood risk in the Netherlands. Advances in Natural and Technological Hazard Research, 25, 469-484.

Brand, F.S., and K. Jax, 2007: Focusing the meaning(s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. Ecology and Society, 12(1), 23, www.ecologyandsociety.org/vol12/iss21/art23/.

Brick, T.,J. Kightlinger, and D. Mann, 2010: Integrated Water Resources Plan 2010 Update. Report No. 1373, Metropolitan Water District of Southern California, Los Angeles, CA

Brody, S., H. Grover, E. Lindquist and A Vedlitz, 2010: Examining climate change mitigation and adaptation behaviors among public sector organizations in the USA Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability, 15(6), 591-603.

Brown, C., 2010: The end of reliability. Journal of Water Resources Planning and Management. March/April. 143-145.

Brown, C., 2011: Decision-scaling for Robust Planning and Policy under Climate Uncertainty. World Resources Report, World Resources Institute, Washington, DC. www.worldresourcesreport.org/files/wrr/papers/wrr_brown_uncertainty.pdf.

Brown, C. and U. Lall, 2006: Water and economic development: The role of variability and a framework for resilience. Natural Resources Forum, 30(4), 306-317.

Brown, O.,A Crawford, and A Hammill, 2006: Natural Disaster and Resource Rights: Building Resilience, Rebuilding Lives. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Canada.

Burby, R., 2006: Hurricane Katrina and the paradoxes of government disaster policy: Bringing about wise governmental decisions for hazardous areas. Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604, 171-191.

Burby, R.J. and Ae. Nelson, 1991: Local government and public adaptation to sea-level rise. Journal of Urban Planning and Development, 117(4), 140-163.

Burton, I., R. Kates, and G. White (eds.), 1978: The Environment as Hazard. Guildford, New York, NY.

Butts, R.A., R.A. Schaalje, and G. Bruce, 1997: Impact of subzero temperatures on survival, longevity, and natality of adult Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). Environmental Entomology, 26(3), 661-667.

Callaway, J. and M. Hellmuth, 2007:Assessing the incremental benefits and costs of coping with development pressure and climate change: A South African case study. Submissions from admitted non-governmental organizations on socio-economic information under the Nairobi work programme. United Nations, Geneva, Switzerland.

Canham, C.D., M.J. Papaik, and E.F. Latty, 2001: Interspecific variation in susceptibility to windthrow as a function of tree size and storm severity for northern temperate tree species. Canadian Journal of Forest Research, 31 (1), 1-10.

Cannon, S.H, R.M. Kirkham, and M. Parise, 2001: Wildfire-related debris-flow initiation processes, Storm King Mountain, CO. Geomorphology, 39, 171-188.

Cannon, T., 2006: Vulnerability analysis, livelihoods and disasters. In: Risk21. Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21st Century [Amman, W., S. Dannenmann, and L. Vulliet (eds.)]. Taylor and Francis Group, London, UK, pp. 41-50.

Cardona, O.D., 1986: Estudios de vulnerabilidad y evaluación del riesgo sísmico: Planificación física y urbana en áreas propensas. Boletín Técnico de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 33(2), 32-65.

Cardona, O.D. 1996: Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados. In: Ciudades en Riesgo [Fernandez, M.A. (ed.)]. La RED-USAID, Lima, Peru, pp. 79-101.

Cardona, O.D., 2001: Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos. Doctoral dissertation, Department of Terrain Engineering, Technical University of Catalonia, Spain, www.desenredando.org/public/varios/2001/ehrisusd/index.html.

Cardona, O.D., 2004: The Need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: A necessary review and criticism for effective risk management. In: Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People [Bankoff, G., G. Frerks, and D. Hilhorst (eds.)]. Earthscan Publishers, London, UK, pp. 37-51.

Cardona, O.D., 2005. Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean – Summary Report. English and Spanish edition, Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Cardona, O.D., 2008. Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean – Summary Report – Second Edition. English and Spanish edition, Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Cardona, O.D., 2011: Disaster risk and vulnerability: Notions and measurement of human and environmental insecurity. In: Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security – Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, Vol. 5, Springer Verlag, Heidelberg, Berlin and New York, pp. 107-121.

Carter, T.R., R.N. Jones, X. Lu, S. Bhadwal, C. Conde, L.O. Mearns, B.C. O'Neill, M.D.A. Rounsevell, and M.B. Zurek, 2007: New Assessment Methods and the Characterization of Future Conditions. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 133-171. Cash, D.W., W.C. Clark, F. Alcock, N.M. Dickson, N. Eckley, D.H. Guston, J. Jager, and R.B. Mitchell, 2003: Knowledge systems for sustainable development. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100, 8086-8091.

Cash, D.W., J.C. Borck, and A.G. Patt, 2006: Countering the loading-dock approach to linking science and decision making: Comparative analysis of El Niño/Southern Oscillation (ENSO) forecasting systems. Science, Technology and Human Values, 31, 465-494.

Cavazos, T., C. Turrent, and D. P. Lettenmaier, 2008: Extreme precipitation trends associated with tropical cyclones in the core of the North American monsoon. Geophysical Research Letters, 35, L21703, doi:10.1029/2008GL035832. CCSP, 2008: Preliminary Review of Adaptation Options for Climate-Sensitive Ecosystems and Resources [Julius, S.H. and J.M. West (eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 873 pp.

Chen, M. (ed.), 1991: Coping with Seasonality and Drought. Sage Publications, New Delhi, India.

Chongfu, H., 1996: Fuzzy risk assessment of urban natural hazards. Fuzzy Sets and Systems, 83, 271-282.

Coburn, A. and R. Spence, 2002: Earthquake Protection. 2nd edition. John Wiley and Sons, Chichester, UK.

Cochrane, H., 2004: Economic loss: Myth and measurement. Disaster Prevention and Management, 13, 290-296.

Collins, M., 2007: Ensembles and probabilities: A new era in the prediction of climate change. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365, 1957-1970.

Colls, A., N. Ash, and N. Ikkala, 2009: Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change. IUCN, Gland, Switzerland, 16 pp.

Comfort, L., 2006: Cities at risk: Hurricane Katrina and the drowning of New Orleans. Urban Affairs Review, 41(4), 501-516.

Corfee-Morlot, J., I. Cochran, S. Hallegatte, and P.-J. Teasdale, 2011: Multilevel risk governance and urban adaptation policy. Climatic Change, 104(1) (Special Issue: Understanding Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation at City Scale), 169-197.

Corporación OSSO, La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 2010: .DesInventar online 8.1.9-2: sistema de inventario de efectos de desastres. OSSO/La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Cali, Columbia, online.desinventar.org/.

Cox, P. and D. Stephenson, 2007: A changing climate for prediction. Science, 317, 207-208.

CRED, 2010: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Data Base. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Université Catholique de Louvain, Louvain, Belgium, www.emdat.be/Database/.

Cronin, M., C. Gonzalez, and J.D. Sterman, 2009: Why don't well-educated adults understand accumulation? A challenge to researchers, educators, and citizens. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 108(1), 116-130.

Cuny, F.C., 1983: Disaster and Development. Oxford University Press, New York, NY.

Cutter, S.L., 1996: Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, 20, 529-239.

Cutter, S. L., L. Barners, M. Berry, C. Burton, E. Evans, E. Tate, and J. Webb, 2008: A place-based model for understanding community resilience to natural disasters, Global Environmental Change, 18, 598-606.

Davies, S., 1993: Are coping strategies a cop out? Institute of Development Studies Bulletin, 24(4), 60-72.

Davies, S., 1996: Adaptable Livelihoods: Coping with Food Insecurity in the Malian Sahel. Macmillan Press, London, UK.

de Bruin, K., R. Dellink, A. Ruijs, L. Bolwidt, A. van Buuren, J. Graveland, R. de Groot, P. Kuikman, S. Reinhard, R. Roetter, V. Tassone, A. Verhagen, and E. van Ireland, 2009: Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. Climatic Change, 95(1), 23-45.

de Freitas, C.R., 1989: The hazard potential of drought for the population of the Sahel. In: Population and Disaster [Clarke, J.I., P. Curson, S.L. Kayastha, and P. Nag (eds.)]. Blackwell, Oxford, UK, pp. 98-113.

de Jong, C., D. Collins, and R. Ranzi (eds.), 2005: Climate and Hydrology in Mountain Areas. John Wiley and Sons, New York, NY.

de Vries, J., 1985: Analysis of historical climate-society interaction. In: Climate Impact Assessment [Kates, R., J. Ausubel, and M. Berberian (eds.)]. John Wiley and Sons, New York, NY.

Degg, M.R. and D.K. Chester, 2005: Seismic and volcanic hazards in Peru: changing attitudes to disaster mitigation. The Geographical Journal, 171, 125-145.

del Ninno, C., P.A. Dorosh, and N. Islam, 2002: Reducing vulnerability to natural disasters – Lessons from 1998 floods in Bangladesh. Ids Bulletin–Institute of Development Studies, 33, 98-107.

del Ninno, C., P.A. Dorosh, and L.C. Smith, 2003: Public policy, markets and household coping strategies in Bangladesh: Avoiding a food security crisis following the 1998 floods. World Development, 31, 1221-1238.

Dessai, S., and M. Hulme, 2004: Does climate adaptation policy need probabilities? Climate Policy, 4, 107-128.

Dessai, S., and M. Hulme, 2007: Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: A case study on water resources management in the East of England. Global Environmental Change, 17(1), 59-72.

Dessai, S. and R. Wilby, 2011: How Can Developing Country Decision Makers Incorporate Uncertainty about Climate Risks into Existing Planning and Policymaking Processes? World Resources Report, World Resources Institute, Washington, DC, http://www.worldresourcesreport.org/files/wrr/papers/wrr_dessai_and_wilby_uncertainty.pdf.

Dessai, S., M. Hulme, R. Lempert, and R. Pielke Jr., 2009: Climate prediction: a limit to adaptation? In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, W.N., I. Lorenzoni, and K.L. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

DFID, 2004: Adaptation to Climate Change: Making Development Disaster Proof. Key Sheet 06, UK Department for International Development, London, UK.

DFID, 2005: Disaster Risk Reduction: A Development Concern. Policy Briefing Document, DFID-ODG, UK Department for International Development, London, UK.

Dhakal, A.S. and R.C. Sidle, 2004: Distributed simulations of landslides for different rainfall conditions, Hydrological Processes, 18(4), 757-776.

Doherty, S.J., et al., 2009: Lessons learned from IPCC AR4: Scientific developments needed to understand, predict, and respond to climate change. Bulletin of the American Meteorological Society, 90, 497-513.

Douglas, M., 1992: Risk and Blame: Essays in Cultural Theory. Routledge, London, UK and New York, NY.

Douglas, M. and A. Wildavsky, 1982: Risk and Culture: An Essay on the Selection of Technical and Environmental Dangers. University of California Press, Berkeley, CA.

Dow, K., 1992: Exploring differences in our common future(s): the meaning of vulnerability to global environmental change. Geoforum, 23, 417-436.

Dulal, H.B., K.U. Shah, and N. Ahmad, 2009: Social equity considerations in the implementation of Caribbean climate change adaptation policies. Sustainability, 1, 363-383.

Dunlap, R.E. and A.M. McCright, 2008: A widening gap: republican and democratic views on climate change. Environment, 50, 26-35.

Eakin, H., and A. L. Luers, 2006. Assessing the vulnerability of social-environmental systems. Annual Review of Environment and Resources, 31, 365-394.

Easterling, D., G. Meehl, C. Parmesan, S. Changnon, T. Karl, and L. Mearns, 2000: Climate extremes, observations, modeling and impacts. Science, 289, 2068-2074.

El-Baroudy, I. and S.P. Simonovic, 2004: Fuzzy criteria for the evaluation of water resources systems performance. Water Resources Research, 40(10), W10503, doi:10.1029/2003WR002828.

Emanuel, K, 2001: Contribution of tropical cyclones to meridional heat transport by the oceans. Journal of Geophysical Research, 106(D14), 14771-14781.

Emanuel, K., 2003: Tropical cyclones. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 31, 75-104.

Epstein, P., H. Diaz, S. Elias, G. Grabherr, N. Graham, W. Martens, E.M. Thompson, and J. Susskind, 1998: Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito borne diseases. Bulletin of the American Meteorological Society, 79, 409-417.

ERN-AL, 2011: Probabilistic Modelling of Natural Risk at Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve – Development of a Methodology and Implementation of Case Studies, Phase 1A: Colombia, Mexico, Nepal. Report for the GAR 2011, Consortium Evaluación de Riesgos Naturales – América Latina, Bogotá, Colombia.

Fink, A.H., U. Ulbrich, and H. Engel, 1996: Aspects of the January 1995 flood in Germany. Weather, 51(2), 34-39.

Fischhoff, B., 1994: What forecasts (seem to) mean. International Journal of Forecasting, 10, 387-403.

Fischhoff, B., P. Slovic, and S. Lichtenstein, 1983: The "public" vs. the "experts": Perceived vs. actual disagreement about the risks of nuclear power. In: Analysis of Actual vs. Perceived Risks [Covello,V., G. Flamm, J. Rodericks, and R. Tardiff (eds.)]. Plenum, New York, NY, pp. 235-249.

Flood, R. and N. Romm, 1996: Diversity Management: Triple Loop Learning. Wiley, Chichester, UK.

Folke, C., 2006: Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. Global Environmental Change, 16, 253-267.

Folke, C., F.S. Chapin III, and P. Olsson, 2009: Transformations in ecosystem stewardship. In: Principles of Ecosystem Stewardship: Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World [Chapin III, F.S., G.P. Kofinas, and C. Folke (eds.)]. Springer, New York, NY, pp. 103-125.

Fouillet, A., G. Rey, V. Wagner, K. Laaidi, P. Empereur-Bissonnet, A. Le Tertre, P. Frayssinet, P. Bessemoulin, F. Laurent, P. De Crouy-Chanel, E. Jougla, and D. Hemon, 2008: Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003?A study of the 2006 heat wave. International Journal of Epidemiology, 37(2), 309-317.

Füssel, H., 2007: Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. Global Environmental Change, 17(2), 155-167.

Gaillard, J.C., 2007: Resilience of traditional societies in facing natural hazard. Disaster Prevention and Management, 16, 522-544.

Gaillard, J.C., 2010: Vulnerability, capacity, and resilience: Perspectives for climate and development policy. Journal of International Development. 22, 218-232.

Gallopín, G.C., 2003: Box 1. A systemic synthesis of the relations between vulnerability, hazard, exposure and impact, aimed at policy identification. In: Handbook for Estimating the Socio-Economic and Environmental Effects of Disasters. Economic Commission for Latin American and the Caribbean, LC/MEX/G.S.,

Mexico, pp. 2-5.

Gallopín, G.C., 2006: Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Global Environmental Change, 16, 293-303.

Gasper, D., 2010: The idea of human security. In: Climate Change, Ethics and Human Security [O'Brien, K. A.L. St. Clair, and B. Kristoffersen (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 23-46.

Gershunov, A., D. R. Cayan, and S. F. Iacobellis, 2009: The great 2006 heat wave over California and Nevada: Signal of an increasing trend. Journal of Climate, 22, 6181-6203.

Goddard, L., W. Baethgen, B. Kirtman, and G. Meehl, 2009: The urgent need for improved climate models and predictions. EOS, 90(39), 343.

Gordon, J.E., 1978: Structures. Penguin Books, Harmondsworth, UK.

Gottschalk, M.K.E., 1971: Stormvloeden en rivieroverstromingen in Nederland Deel I (Storm surges and river floods in the Netherlands, part I). Van Gorcum, Assen, The Netherlands.

Gottschalk, M.K.E., 1975: Stormvloeden en rivieroverstromingen in Nederland Deel II (Storm surges and river floods in the Netherlands, part II). Van Gorcum, Assen, The Netherlands.

Gottschalk, M.K.E., 1977: Stormvloeden en rivieroverstromingen in Nederland Deel III (Storm surges and river floods in the Netherlands, part III). Van Gorcum, Assen, The Netherlands.

Groves, D.G. and R.J. Lempert, 2007: A new analytic method for finding policyrelevant scenarios. Global Environmental Change, 17, 73-85.

Hagman, G., 1984: Prevention Better than Cure. Swedish Red Cross, Stockholm, Sweden.

Hallegatte, S., 2009: Strategies to adapt to an uncertain climate change. Global Environmental Change, 19(2), 240-247.

Hargrove, R., 2002. Masterful Coaching. Revised Edition. Jossey-Bass/Pfeiffer, Wiley, San Francisco, CA, USA.

Hawkins, E. and R. Sutton, 2009: The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. Bulletin of the American Meteorological Society, 90, 1095-1107.

Hegerl, G.C., F.W. Zwiers, P. Braconnot, N.P. Gillett, Y. Luo, J.A. Marengo Orsini, N. Nicholls, J.E. Penner, and P.A. Stott, 2007: Understanding and attributing climate change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, pp. 663-745.

Heltberg, R., P.B. Siegel, and S.L. Jorgensen, 2009: Addressing human vulnerability to climate change: Toward a "no-regrets" approach. Global Environmental Change, 19(1), 89-99.

Hertwig, R., G. Barron, E.U. Weber, and I. Erev, 2004: Decisions from experience and the effect of rare events. Psychological Science, 15, 534-539.

Hewitt, K., 1983: The idea of calamity in a technocratic age. In: Interpretations of Calamity from the Viewpoint of Human Ecology [Hewitt, K. (ed.)]. Allen and Unwin, Boston, MA and London, UK, pp 3-32.

Hewitt, K., 1997: Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters. Longman, Harlow, Essex, UK.

Hewitt, K., 2007: Preventable disasters: addressing social vulnerability, institutional risks and civil ethics. Geographisches Bundscahu. International Edition, 3(1), 43-52.

Hewitt, K. and I. Burton, 1971: The Hazardousness of a Place: A Regional Ecology of Damaging Events. University of Toronto, Toronto, Canada.

Hine, D. and J.W. Hall, 2010: Information gap analysis of flood model uncertainties and regional frequency analysis. Water Resources Research, 46(19), W01514, doi:10.1029/2008WR007620.

Hoeksma, R.J., 2006: Designed for Dry feet: Food Protection and Land Reclamation in the Netherlands. American Society of Civil Engineers, Reson, VA.

Hohenemser, C., R.E. Kasperson, and R.W. Kates, 1984: Causal structure. In: Perilous Progress: Managing the Hazards of Technology [Kates, R.W., C. Hohenemser and J.X. Kasperson (eds.)]. Westview Press, Boulder, CO, pp. 25-42.

Holland, M.M., C.M. Bitz, and B. Tremblay, 2006: Future abrupt reductions in the summer Arctic sea ice. Geophysical Research Letters, 33, L23503, doi:10.1029/2006GL028024.

Holling, C.S., 1973: Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4, 1-23.

Horsburgh, K.J. and M. Horritt, 2006: The Bristol Channel Floods of 1607 – reconstruction and analysis. Weather, 61(10), 272-277.

Huang, C., P. Vaneckova, X. Wang, G. FitzGerald, Y. Guo, and S. Tong, 2011: Constraints and barriers to public health adaptation to climate change. American Journal of Preventive Medicine, 40(2), 183-190.

HVRI, 2010: The Spatial Hazard Events and Losses Database for the United States. Version 8.0 (online database). Hazards and Vulnerability Research Institute, University of South Carolina, Columbia, SC, www.sheldus.org.

ICSU, 2002: Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations. Series on Science for Sustainable Development: Resilience and Sustainable Development No. 3, International Council for Science, Paris, France, 37 pp.

ICSU, 2008: A Science Plan for Integrated Research on Disaster Risk: addressing the challenge of natural and human induced environmental hazards. International Council for Science, Paris, France.

ICSU-LAC, 2009: Understanding and Managing Risk Associated with Natural Hazards: An Integrated Scientific Approach in Latin America and the Caribbean. International Council for Science Regional Office for Latin America and the Caribbean, Rio de Janeiro, Brazil and Mexico City, Mexico.

IDB, 2007: Disaster Risk Management Policy. GN-2354-5, Inter-American Development Bank, Washington, DC.

IFRC, 2007. How to Do a VCA: A Practical Step-by-Step Guide for Red Cross Red Crescent Staff and Volunteers. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.

IIED, 2009: Natural Resilience: Healthy ecosystems as climate shock insurance. IIED Policy Brief, International Institute for Environment and Development, London, UK.

Ingram, K.T., M.C. Roncoli, and P.H. Kirshen, 2002: Opportunities and constraints for farmers of West Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study. Agricultural Systems, 74(3), 331-349.

International Building Codes, 2003: International Code Council (paperback), 656 pp. ISBN 1892395568.

IPCC, 2007a: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri, and A. Reisinger (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC, 2007b: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY.

IPCC, 2007c: Appendix I: Glossary. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, pp. 869-883.

IPCC, 2009. Scoping Meeting for an IPCC Special Report on Extreme Events and Disasters: Managing the Risks. Proceedings [Barros, V., et al. (eds.)]. 23-26 March 2009, Oslo, Norway.

ISO, 2009: Guide 73: 2009. Risk Management – Vocabulary. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jansen, V., N. Stollenwerk, H.J. Jensen, M.E. Ramsay, W.J. Edmunds, and C.J. Rhodes, 2003: Measles outbreaks in a population with declining vaccine uptake. Science, 301, 804.

Jasanoff, S., 2004: States of Knowledge: The Co-Production of Science and Social Order. Routledge, London, UK.

Jentsch, A., J. Kreyling, and C. Beierkuhnlein, 2007: A new generation of climate change experiments: events not trends. Frontiers in Ecology and the Environment, 6(6), 315-324.

Jones, R.N. and B.L. Preston, 2011: Adaptation and Risk Management. WIREs Climate Change, 2, 296-308, doi:10.1002/wcc.97.

Kahan, D.M. and D. Braman, 2006: Cultural cognition and public policy. Yale Law and Policy Review, 24(1), 149-172.

Kahan, D.M., D. Braman, J. Gastil, P. Slovic, and C.K. Mertz, 2007: Culture and identity – protective cognition: Explaining the white male effect in risk perception. Journal of Empirical Legal Studies, 4(3), 465-505.

Kahneman, D. and A. Tversky, 1979: Prospect theory: An analysis of decisions under risk. Econometrica, 47, 313-327.

Kahneman, D., P. Slovic, and A. Tversky (eds.), 1982: Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. Cambridge University Press, New York, NY.

Karimi, I. and E. Hullermeier, 2007: Risk assessment system of natural hazards: A new approach based on fuzzy probability. Fuzzy Sets and Systems, 158, 987-999.

Kasperson, R.E., O. Renn, P. Slovic, H.S. Brown, J.Emel, R. Goble, J.X. Kasperson, and S. Ratick, 1988: The social amplification of risk: A conceptual framework. Risk Analysis, 8,177-187.

Kates, R.W., et al., 2001: Sustainability science. Science, 292(5517), 641-642.

Keen, M., V.A. Brown, and R. Dyball, 2005: Social Learning in Environmental Management: Towards a Sustainable Future. Earthscan, London, UK.

Kelman, I., 2008. Relocalising disaster risk reduction for urban resilience. Urban Design and Planning, 161(DP4), 197-204.

Khan, T.A., 2011: Floods increase wheat yield in KP. Inpaper Magazine, Pakistan, 16 May 2011.

Klein, R.J.T, R.J. Nicholls, and F. Thomalla, 2003: Resilience to natural hazards: how useful is this concept? Global Environmental Change, 5, 35-45.

Knutti, R., 2010: The end of model democracy? Climatic Change, 102, 395-404.

Kolb, D.A., 1984: Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Kolb, D.A. and R. Fry, 1975: Toward an applied theory of experiential learning. In: Theories of Group Process [Cooper, C. (ed.)]. John Wiley, London, UK, pp. 33-57.

Konikow, L.F. and E. Kendy, 2005: Groundwater depletion: a global problem. Hydrogeology Journal, 13, 317-320.

Kunreuther, H., 2006: Disaster mitigation and insurance: Learning from Katrina. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604(1), 208-227.

Kysar, D., 2004: Climate change, cultural transformation, and comprehensive rationality. Boston College Environmental Affairs Law Review, 31(3), 555-590.

Lamond, J.E., D.G. Proverbs, and F.N. Hammond, 2009: Accessibility of flood risk insurance in the UK: confusion, competition and complacency. Journal of Risk Research, 12, 825-841.

Lau, W.K.M. and K.-M. Kim, 2011: The 2010 Pakistan flood and Russian heat wave: Teleconnection of hydrometeorologic extremes. Journal of Hydrometeorology, doi:10.1175/JHM-D-11-016.1.

Lavell, A., 1996: Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición una agenda de investigación. In: Ciudades en Riesgo [Fernandez, M.A. (ed.)]. La RED-USAID, Lima, Peru, pp. 21-59.

Lavell, A., 1999: Environmental degradation, risks and urban disasters. Issues and concepts: Towards the definition of a research agenda. In: Cities at Risk: Environmental Degradation, Urban Risks and Disasters in Latin America [Fernandez, M.A. (ed.)]. La RED, US AID, Quito, Ecuador, pp. 19-58.

Lavell, A., 2002: Riesgo y Territorio: los niveles de intervención en la Gestión del Riesgo (Risk and Territory: Levels of Intervention and Risk Management). Anuario Social y Político de América Latina y el Caribe. FLACSO-Nueva Sociedad, Latin American School of Social Sciences.

Lavell, A., 2003: Local level risk management: Concept and practices. CEPREDENACUNDP. Quito, Ecuador.

Lavell, A., 2009: Technical Study in Integrating Climate Change Adaptation and Disaster Risk Management in Development Planning and Policy. Study undertaken for the Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Lavell, A., 2010: Unpacking Climate Change Adaptation and Disaster Risk Management: Searching for the Links and the Differences: A Conceptual and Epistemological Critique and Proposal. IUCN-FLACSO, International Union for Conservation of Nature - Latin American School of Social Sciences.

Lavell A. and E. Franco (eds.), 1996: Estado, Sociedad y Gestión de los Desastres en América Latina. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, La RED, Tercer Mundo Editores, Bogotá, Colombia.

Lavell, A. and C. Lavell, 2009: Local Disaster Risk Reduction Lessons from the Andes. Series: Significant Local Development Initiatives in the Face of Disaster Risk. General Secretariat of the Andean Community, Lima, Peru.

Leckebusch, G.C., D. Renggli, and U. Ulbrich, 2008: Development and application of an objective storm severity measure for the Northeast Atlantic region. Meteorologische Zeitschrift, 17, 575-587.

Lemos, M.C., 2003: A tale of two policies: the politics of seasonal climate forecast use in Ceará, Brazil. Policy Sciences, 32(2), 101-123.

Lemos, M.C., E. Boyd, E.L. Tompkins, H. Osbahr, and D. Liverman, 2007: Developing adaptation and adapting development. Ecology and Society, 12(2), 26, www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art26/.

Lempert, R.J. and M. Collins, 2007: Managing the risk of uncertain threshold responses: Comparison of robust, optimum, and precautionary approaches. Risk Analysis, 27(4), 1009-1026.

Lempert, R.J. and D.G. Groves, 2010: Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water agencies in the American west. Technological Forecasting and Social Change, 77, 960-974.

Lempert, R.J. and M. Schlesinger, 2001: Climate-change strategy needs to be robust. Nature, 412, 375.

Lewcowicz, A.G. and C. Harris, 2005: Frequency and magnitude of active-layer detachment failures in discontinuous and continuous permafrost, northern Canada. Permafrost and Periglacial Processes, 16,115-130.

Lewis, J., 1979: The vulnerable state: An alternative view. In: Disaster Assistance: Appraisal, Reform and New Approaches [Stephens, L. and S.J. Green (eds.)]. New York University Press, New York, NY, pp. 104-129.

Lewis, J., 1984: Environmental interpretations of natural disaster mitigation: The crucial need. The Environmentalist, 4(3), pp. 177-180.

Lewis, J., 1999: Development in Disaster-prone Places: Studies in Vulnerability. IT Publications (Practical Action), London, UK.

Lewis, J., 2009: An island characteristic: Derivative vulnerabilities to indigenous and exogenous hazards. Shima: The International Journal of Research into Island Cultures. 3(1), 3-15.

Lewis, J. and I. Kelman, 2009: Housing, flooding and risk-ecology: Thames Estuary South-Shoreland and North Kent. Journal of Architectural and Planning Research, 26(1), 14-29.

Lindell, M. and C. Prater, 2003: Assessing community impacts of natural disasters. Natural Hazards Review, 4(4), 176-185.

Lipton, M. and M. Ravallion, 1995: Poverty and policy. In: Handbook of Development Economics, Vol. 3B [Behrman, J.S. and T.N. Srinivasan (eds.)]. Elsevier Science, Amsterdam, New York, and Oxford, pp. 2551-2657.

List, D., 2006: Action research cycles for multiple futures perspectives. Futures, 38, 673-684.

Loewenstein, G.F., E.U. Weber, C.K. Hsee, and E. Welch, 2001: Risk as feelings. Psychological Bulletin, 127, 267-286.

Malka, A. and J.A. Krosnick, 2009: The association of knowledge with concern about global warming: trusted information sources shape public thinking. Risk Analysis, 29, 633-647.

Manyena, S.B., 2006: The concept of resilience revisited. Disasters, 30(4), 433-450.

Maskrey, A., 1989: Disaster Mitigation: A Community Based Approach. Oxfam, Oxford, UK.

Maskrey, A., 2011: Revisiting community based risk management. Environmental Hazards, 10, 1-11.

Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, and F.W. Zwiers, 2010: Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. IPCC, www.ipcc-wg2.gov/meetings/CGCs/Uncertainties-GN_IPCCbrochure_lo.pdf.

McBean, G., 2006: An integrated approach to air pollution, climate and weather hazards. Policy Options, October 2006, pp. 18-24.

McGray, H., A. Hammill, and R. Bradley, 2007: Weathering the Storm: Options for Framing Adaptation and Development. World Resources Institute, Washington, DC.

McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist, 1993: The duration of drought frequency and duration to time scales. In: Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California, ccc.atmos.colostate.edu/relationshipofdroughtfrequency.pdf.

McLaughlin, P. and T. Dietz, 2007: Structure, agency and environment: Toward an integrated perspective on vulnerability. Global Environmental Change, 39(4), 99-111.

Means, E., M. Laugier, J. Daw, L. Kaatz, and M. Waage, 2010: Decision Support Plan-

ning Methods: Incorporating Climate Change Uncertainties into Water Planning. Water Utility Climate Alliance, San Francisco, CA, www.wucaonline.org/assets/pdf/actions_whitepaper_012110.pdf.

Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, Watterson, I.G., A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global climate projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, pp. 747-843.

Mercer, J., 2010: Disaster risk reduction or climate change adaptation: are we reinventing the wheel? Journal of International Development, 22, 247-264.

Mezirow, J., 1995: Transformation theory in adult learning. In: In Defense of the Life World [Welton, M.R. (ed.)]. State University of New York Press, Albany, NY, pp. 39-70.

Mileti, D., 1999: Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States. Joseph Henry Press, Washington, DC.

Miller, F., H. Osbahr, E. Boyd, F. Thomalla, S. Bharwani, G. Ziervogel, B. Walker, J. Birkmann, S. Van der Leeuw, J. Rockström, J. Hinkel, T. Downing, C. Folke, and D. Nelson, 2010: Resilience and vulnerability: complementary or conflicting concepts? Ecology and Society, 15(3), 11.

Milly, P.C.D., R.T. Wetherald, K.A. Dunne, and T.L. Delworth, 2002: Increasing risk of great floods in a change climate. Nature, 415, 514-517.

Milly, P.C.D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R. Hirsch, Z. Kundzewicz, D. Lettenmaier, and R. Stouffer, 2008: Stationarity is dead: Whither water management? Science, 319(5863), 573-574.

Minor, J.E., 1983: Construction tradition for housing determines disaster potential from severe tropical cyclones. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 14, 55-66.

Mitchell, T. and M. van Aalst, 2008: Convergence of Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation. Technical Paper, October 2008, UK Department of International Development, London, UK.

Moench, M. and A. Dixit (eds.), 2004: Adaptive Capacity and Livelihood Resilience: Adaptive Capacities for Responding to Floods and Droughts in South Asia. Institute for Social and Environmental Transition, Boulder, CO and Nepal.

Morgan, M.G. and M. Henrion, 1990: Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Morgan, M.G., H. Dowlatabadi, M. Henrion, D. Keith, R.J. Lempert, S. McBride, M. Small, and T. Wilbanks, 2009: Best Practice Approaches for Characterizing, Communicating, and Incorporating Scientific Uncertainty in Decisionmaking. Synthesis and Assessment Product 5.2 of the U.S. Climate Change Science Program, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC.

Moser, S.C., 2009. Whether our levers are long enough and the fulcrum strong? Exploring the soft underbelly of adaptation decisions and actions. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, W.N., I. Loronzoni, and K. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 313-343.

Moser, S.C., 2010: Now more than ever: The need for more socially relevant research on vulnerability and adaptation to climate change. Applied Geography, 30(4), 464-474.

Moser, S.C. and J.A. Ekstrom, 2010: Barriers to climate change adaptation: A diagnostic framework. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(51), 22026-22031.

Moser, S.C. and J.A. Ekstrom, 2011: Taking ownership of climate change: Participatory adaptation planning in two local case studies from California. Journal of Environmental Studies and Sciences, 1(1), 63-74.

Moser, S.C. and A.L. Luers, 2008: Managing climate risks in California: The need to engage resource managers for successful adaptation to change. Climatic Change, 87, S309-S322.

Nelson, D.R., 2005: The Public and Private Sides of Persistent Vulnerability to Drought: An Applied Model for Public Planning in Ceará, Brazil. PhD Thesis, University of Arizona, Tucson, AZ.

Nelson, D. R., N. Adger, and K. Brown, 2007: Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework. The Annual Review of Environment and Resources, 32, 395-419.

Nielsen, J.Ø. and A. Reenberg, 2010: Cultural barriers to climate change adaptation: A case study from Northern Burkina Faso. Global Environmental Change, 20(1), 142-152.

Noji, E., 1997: The Public Health Impacts of Disasters. Oxford University Press, New York, NY.

Norris, F.H., S.P. Stevens, B. Pfefferbaum, K.F. Wyche, and R.L. Pfefferbaum, 2008: Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. American Journal of Community Psychology, 41, 127-150 NRC, 2006: Facing Hazards and Disasters: Understanding Human Dimensions. National Research Council, National Academies Press, Washington DC.

NRC, 2009: Informing Decisions in a Changing Climate. Panel on Strategies and Methods for Climate-Related Decision Support, Committee on the Human Dimensions of Global Change, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, National Research Council, The National Academies Press, Washington, DC, 188 pp.

O'Brien, K. and R. Leichenko, 2000: Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. Global Environmental Change, 10, 221-232.

O'Brien, K., S. Eriksen, L.P. Nygaard, and A. Schjolden, 2007: Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. Climate Policy, 7(1), 73-88.

O'Keefe, P., K. Westgate, and B. Wisner, 1976: Taking the naturalness out of natural disasters. Nature, 260(5552), 566-577.

OED, 1989: The Oxford English Dictionary. Oxford University Press, Oxford, UK.

Olsson, P., L.H. Gunderson, S.R. Carpenter, P. Ryan, L. Lebel, C. Folke, and C.S. Holling, 2006: Shooting the rapids: navigating transitions to adaptive governance of social-ecological systems. Ecology and Society, 11(1), 18.

Oppenheimer, M., B.C. O'Neill, and M. Webster, 2008: Negative learning. Climatic Change, 89, 155-172.

Ostertag, R., W.L. Silver, and A.E. Lugo, 2005: Factors affecting mortality and resistance to damage following hurricanes in a rehabilitated subtropical moist forest. Biotropica, 37(1), 16-24.

Pahl-Wostl, C., 2009: A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. Global Environmental Change, 19(3), 354.

Pall, P.,T Aina, D.A. Stone, PA Stott, 1 Nozawa, AG. H ilberts, D. Lohmann, and M.R. Allen, 2011: Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. Nature, 470, 382-386

Parson, E., V. Burkett, K. Fisher-Vanden, D. Keith, L. Means, H. Pitcher, C. Rosenzweig, and M. Webster, 2007: Global Change Scenarios: Their Development and Use. Sub-report 2.1B of Synthesis and Assessment Product 2.1 by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, DC, 106 pp.

Pelling, M., 2003: The Vulnerability of Cities: Social Resilience and Natural Disaster. Earthscan, London, UK.

Pelling, M., 2010: Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation. Routledge, London, UK.

Pelling, M., A. Özerdem, and S. Barakat, 2002: The Macroeconomic impact of disasters. Progress in Development Studies, 2, 283-305.

Pelling, M., C. High, J. Dearing, and D. Smith, 2008: Shadow spaces for social learning: a relational understanding of adaptive capacity to climate change within organizations. Environment and Planning A, 40(4), 867-884.

Pendalla, R., K.A. Foster, and M. Cowella, 2010: Resilience and regions: building understanding of the metaphor. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 3(1), 71-84

Peschl, M.F., 2007: Triple-loop learning as foundation for profound change, individual cultivation, and radical innovation. Construction processes beyond scientific and rational knowledge. Constructivist Foundations, 2(2-3), 136-145.

Peters, G., A.M. DiGioia Jr, C. Hendrickson, and J. Apt, 2006: Transmission Line Reliability: Climate Change and Extreme Weather. Carnegie Mellon Electricity Industry Center Working Paper CEIC-05-06, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.

Peters, O., C. Hertlein, and K. Christensen, 2001: A complexity view of rainfall. Physical Review Letters, 88, 018701, doi:10.1103/PhysRevLett.88.018701.

Pettengell, C., 2010: Climate Change Adaptation: Enabling People Living in Poverty to Adapt. Oxfam International Research Report, Oxfam International, Oxford, UK.

Piao, S., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li, L. Zhou, H. Liu, Y. Ma, Y. Ding, P. Friedlingstein, C. Liu, K. Tan, Y. Yu, T. Zhang, and J. Fang, 2010: The impact of climate change on water resources and agriculture in China. Nature, 467, 43-51.

Pidgeon, N. and B. Fischhoff, 2011: The role of social and decision sciences in communicating uncertain climate risks. Nature Climate Change, 1, 35-41.

Pielke, Jr., R.A., 2007: Future economic damage from tropical cyclones: sensitivities to societal and climate changes. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365(1860), 2717-2729.

Pohl, C., S. Rist, A. Zimmermann, P. Fry, G.S. Gurung, F. Schneider, C. Ifejika Speranza, B. Kiteme, S. Boillat, E. Serrano, G. Hirsch Hadorn, and U. Wiesmann, 2010: Researchers' roles in knowledge co-production: experience from sustainability research in Kenya, Switzerland, Bolivia and Nepal. Science and Public Policy,37(4), 267-281.

Quarantelli, E.L, 1986: Disaster Crisis Management. Preliminary Papers 113, University of Delaware, Disaster Research Center. Newark, DE, http://dspace.udel.edu:8080/dspace/handle/19716/487.

Ramírez, F. and O.D. y Cardona, 1996: Sistema nacional para la prevención y atención de desastres de Colombia, Estado, sociedad y gestión de los desastres en América Latina. In: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina [Lavell, A. and E. y Franco (eds.)]. Tercer Mundo Editores, Bogotá, Colombia.

Ranger, N. and S.-L. Garbett-Shiels, 2011: How can Decision-Makers in Developing Countries Incorporate Uncertainty about Future Climate Risks into Existing Planning and Policymaking Processes? Policy Paper, Centre for Climate Change Economics and Policy and Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment in collaboration with the World Resources Report, World Resources Institute, Washington, DC, www.worldresourcesreport.org/files/wrr/papers/wrr_ranger_uncertainty.pdf.

Rayner, S., D. Lach, and H. Ingram, 2005: Weather forecasts are for wimps: Why water resource managers do not use climate forecasts. Climatic Change, 69, 197-227.

Reeder, T. and N. Ranger, 2011: How Do You Adapt In an Uncertain World? Lessons from the Thames Estuary 2100 Project. World Resources Report, World Resources Institute, Washington, DC, www.worldresourcesreport.org/files/wrr/papers/wrr_reeder_and_ranger_uncertainty.pdf.

Rees, H.G. and D.N. Collins, 2006: Regional differences in response of flow in glacier-fed Himalayan rivers. Hydrological Processes, 20(10), 2157-2169.

Renn, O., 2008: Risk Governance. Coping with Uncertainty in a Complex World. Earthscan, London, UK.

Rich, P.M., D.D. Breshears, and A.B. White, 2008: Phenology of mixed woodyherbaceous ecosystems. Ecology, 89(2), 342-352.

Risbey, J., M. Kandlikar, H. Dowlatabadi, and D. Graetz, 1999: Scale, context, and decision making in agricultural adaptation to climate variability and change. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 4(2), 137-165.

Rose, A., 2004: Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation. In: Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters [Okuyama, Y. and S. Chang (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 14–36.

Sarewitz, D., R.A. Pielke, Jr., and R. Byerly, Jr. (eds.), 2000: Prediction: Science, Decision Making, and the Future of Nature. Island Press, Washington, DC, 405 pp.

Savage, L.J., 1972: Foundations of Statistics. Dover Publications, New York, NY.

Schipper, L., 2009: Meeting at the crossroads? Exploring the linkages between climate change adaptation and disaster risk reduction. Climate and Development, 1, 16-30.

Schipper, L. and I. Burton (eds.), 2009: The Earthscan Reader on Adaptation to Climate Change. Earthscan, London, UK.

Schipper, L. and M. Pelling, 2006: Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. Disasters, 30(1), 19-38.

Schneider, S.H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C.H.D. Magadza, M. Oppenheimer, A.B. Pittock, A. Rahman, J.B. Smith, A. Suarez, and F. Yamin, 2007: Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 779-810.

Sen, A.K., 1983: Poverty and famines: an essay on entitlement and deprivation. Oxford University Press, Oxford, UK.

Seneviratne, S.I., D. Lüthi, M. Litschi, and C. Schär, 2006: Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. Nature, 443, 205-209.

Shapiro, M., J. Shukla, G. Brunet, C. Nobre, M. Beland, R. Dole, K. Trenberth, R. Anthes, G. Asrar, L. Barrie, P. Bougeault, G. Brasseur, D. Burridge, A. Busalacchi, J. Caughey, D. Chen, J. Church, T. Enomoto, B. Hoskins, O. Hov, A. Laing, H. Le Treut, J. Marotzke, G. McBean, G. Meehl, M. Miller, B. Mills, J. Mitchell, M. Moncrieff, T. Nakazawa, H. Olafsson, T. Palmer, D. Parsons, D. Rogers, A. Simmons, A. Troccoli, Z. Toth, L. Uccellini, C. Velden, and J.M. Wallace, 2010: An earth-system prediction initiative for the twenty-first century. Bulletin of the American Meteorological Society, 91, 1377-1388.

Shukla, J., R. Hagedorn, B. Hoskins, J. Kinter, J. Marotzke, M. Miller, T.N. Palmer, and J. Slingo, 2009: Revolution in climate prediction is both necessary and possible: A declaration at the World Modelling Summit for Climate Prediction. Bulletin of the American Meteorological Society, 90, 175-178.

Simonovic, S.P., 2010: Systems Approach to Management of Disasters: Methods and Applications. John Wiley and Sons, New York, NY, 348 pp.

Sjöberg, L., 1999a: Risk perception by the public and by experts: A dilemma in risk management. Human Ecology Review, 6(2).

Sjöberg, L., 1999b: Consequences of perceived risk: Demand for mitigation. Journal of Risk Research, (2), 129-149.

Slovic, P., 1993: Perceived risk, trust, and democracy. Risk Analysis, 13(6), 675-676.

Slovic, P. (ed.), 2000: The Perception of Risk. Earthscan, Sterling, VA.

Slovic, P. (ed.), 2010: The Feeling of Risk: New Perspectives on Risk Perception. Earthscan, London, UK.

Slovic, P., B. Fischhoff, and S. Lichtenstein, 1982. Facts versus fears: Understanding perceived risk. In: Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases [Kahneman, D., P. Slovic, and A. Tversky (eds.)]. Cambridge University Press, New York, NY.

Smit, B. and O. Pilifosova, 2003. From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction. In: Climate Change, Adaptive Capacity and Development [Smith, J.B., R.J.T. Klein, and S. Huq (eds.)]. Imperial College Press, London, UK.

Smit, B. and J. Wandel, 2006: Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change, 16, 282-292.

Smith, K., 1996: Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster. Second Edition. Routledge, London, UK.

Sperling, F. and F. Szekely, 2005: Disaster Risk Management in a Changing Climate. Discussion Paper prepared for the World Conference on Disaster Reduction on behalf of the Vulnerability and Adaptation Resource Group, Washington, DC.

Stainforth, D.A., M.R. Allen, E.R. Tredger, and L.A. Smith, 2007: Confidence, uncertainty, and decision-support relevance in climate predictions. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365, 2145-2161.

Sterman, J.D., 2000: Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin/McGraw-Hill, Boston, MA.

Sterman, J.D., 2006: Learning from evidence in a complex world. American Journal of Public Health, 96(3), 505-514.

Sterman, J.D., 2008: Risk communication on climate: mental models and mass balance. Science, 322(5901), 532-533.

Stott, P.A., D.A. Stone, and M.R. Allen, 2004: Human contribution to the European heatwave of 2003. Nature, 432, 610-614.

Sui, J. and G. Koehler, 2001: Rain-on-snow induced flood events in Southern Germany. Journal of Hydrology, 252(1-4), 205-220.

Thomalla, F., T. Downing, E. Spanger-Siegfried, G. Han and J. Rockström, 2006: Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. Disasters, 30(1), 39-48.

Timmerman, P., 1981: Vulnerability, Resilience and Collapse in Society. Environmental Monograph No. 1, Institute for Environmental Studies, University of Toronto, Toronto, Canada.

Tobin, G.A. and B.E. Montz, 1997: Natural Hazards: Explanation and Integration. The Guildford Press, London, UK.

Tompkins, E.L., M.C. Lemos, and E. Boyd, 2008: A less disastrous disaster: Managing response to climate-driven hazards in the Cayman Islands and NE Brazil. Global

Environmental Change – Human and Policy Dimensions, 18, 736-745.

Torry, W., 1979: Intelligence, resilience and change in complex social systems: famine management in India. Mass Emergencies, 2, 71-85.

TRB, 2008: The Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation. Special Report 290, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC. (See Appendix C: Commissioned paper: Climate Variability and Change with Implications for U.S. Transportation, Dec. 2006).

Tversky, A., and Kahneman, D., 1974: Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. Science, 185, 1124-1131.

Twigg, J., 2004: Disaster Risk Reduction: Mitigation and Preparedness in Development and Emergency Programming. Overseas Development Institute, London, UK.

Ulbrich, U., A.H. Fink, M. Klawa, and J.G. Pinto, 2001: Three extreme storms over Europe in December 1999. Weather, 56, 70-80.

UNDP, 2004: Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. A Global Report. United Nations Development Programme, New York, NY.

UNEP, 1972: Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNISDR, 2005: Hyogo Framework for Action 2005-2015. Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2008a: Climate Change and Disaster Risk Reduction. Briefing Note 01, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2008b: Indigenous Knowledge for Disaster Risk Reduction - Good Practices and Lessons Learned from Experiences in the Asia-Pacific Region. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Bangkok, Thailand.

UNISDR, 2008c: Linking Disaster Risk Reduction and Poverty Reduction, Good Practices and Lessons Learned. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, UNDP, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2009a: Adaptation to Climate Change by Reducing Disaster Risk: Country Practices and Lessons. Briefing Note 02, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2009b: Reducing Disaster Risk through Science: Issues and Actions. Full Report of the Scientific and Technical Committee 2009, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2009c: After Action Review: Second Session Global Platform for Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), 2009d: Terminology: Basic Terms of Disaster Risk Reduction. UNISDR, Geneva, Switzerland, www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng%20home.htm.

UNISDR, 2009e: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and Poverty in a Changing Climate – Invest Today for a Safer Tomorrow. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 207 pp.

UNISDR, 2011: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Revealing Risk, Redefining Development. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

Vale, L.J. and T.J. Campanella, 2005: The Resilient City: How Modern Cities Recover from Disaster. Oxford University Press, Oxford, UK.

Van Baars, S. and I.M. Van Kempen, 2009: The causes and mechanisms of historical dike failures in the Netherlands. E-Water Official Publication of the European Water Association, Hennef, Germany, 14 pp., www.dwa.de/portale/ewa/ewa.nsf/C125723B0047EC38/8428F628AB57BECFC125766C003024B6/$FILE/Historical%20Dike%20Failures.pdf.

van Kerkhoff, L. and L. Lebel, 2006: Linking knowledge and action for sustainable development. Annual Review of Environment and Resources, 31,445-477.

van Niekerk, D., 2007: Disaster risk reduction, disaster risk management and disaster management: Academic rhetoric or practical reality? Disaster Management South Africa, 4(1), 6.

Vandentorren, S., F. Suzan, S. Medina, M. Pascal, A. Maulpoix, J.C. Cohen, and M. Ledrans, 2004: Mortality in 13 French cities during the August 2003 heat wave. American Journal of Public Health, 94(9), 1518-1520.

Venton, P. and S. La Trobe, 2008: Linking Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction. Technical Paper, Tearfund, Teddington, UK.

Walker, B.H., J.M. Anderies, A.P. Kinzig, and P. Ryan (eds), 2006: Exploring Resilience in Social-Ecological Systems: Comparative Studies and Theory Development. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

Walker, W.E., A.W. Vincent, J. Marchau, and D. Swanson, 2010: Addressing deep uncertainty using adaptive policies. Technological Forecasting and Social Change, 77, 917-923.

Walshaw, D., 2000: Modelling extreme wind speeds in regions prone to hurricanes. Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics), 49, 51-62.

Watts, M., 1983: On the poverty of theory: natural hazards research in context. In: Interpretations of Calamity [Hewitt, K. (ed.)]. Allen and Unwin, Boston, MA, pp. 231-262.

Weber, E.U., 2006: Experience-based and description-based perceptions of long-term risk: why global warming does not scare us (yet). Climatic Change, 77, 103-120.

Weber, E.U., 2010: What shapes perceptions of climate change? Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1, 332-342.

Weber, E.U. and P.C. Stern, 2011: Public understanding of climate change in the United States. American Psychologist, 66(4), 315-328.

Weber, E.U., S. Shafir, and A.R. Blais, 2004: Predicting risk-sensitivity in humans and lower animals: Risk as variance or coefficient of variation. Psychological Review, 111, 430-445.

Weichselgartner, J., 2001: Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited. Disaster Prevention and Management, 10(2), 85-94.

Werner, E.E., J.M. Bierman, and F.E. French, 1971: The Children of Kauai Honolulu. University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii.

Westerling, A.L. and T.W. Swetman, 2003: Interannual to decadal drought and wildfire in the Western United States. EOS, Transactions American Geophysical Union, 84(49), 545-555, doi:10.1029/2003EO490001.

Wheater, H.S., 2002: Progress in and prospects for fluvial flood modeling. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 360, 1409-1431.

Wijkman, A. and L. Timberlake, 1988: Natural Disasters: Acts of God or Acts of Man? New Society Publishers, Philadelphia, PA.

Wilby, R.L. and S. Dessai, 2010: Robust adaptation to climate change. Weather, 65(7), 180-185.

Wisner, B., P. O'Keefe, and K. Westgate, 1977: Global systems and local disasters: the untapped power of peoples' science. Disasters, 1(1), 47-57.

Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon, and I. Davis, 2004: At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters, 2nd edition. Routledge, London, UK.

Wisner, B., J.C. Gaillard, and I. Kellman (eds.), 2011: Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction. Routledge, London, UK.

WMO, 2010: Understanding Climate. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, www.wmo.int/pages/themes/climate/understanding_climate.php.

World Bank, 2001: World Development Report 2000-2001. World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2009: World Development Report 2010: Development and Climate Change. World Bank, Washington, DC.

WRI (World Resources Institute), United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, and World Bank, 2008: World Resources 2008: Roots of Resilience: Growing the Wealth of the Poor. WRI, Washington, DC.

Xie, L., L.J. Pietrafesa, and M. Peng, 2004: Incorporation of a mass-conserving inundation scheme into a three dimensional storm surge model. Journal of Coastal Research, 20, 1209-1233.

Yohe, G. and R.S.J. Tol, 2002: Indicators for social and economic coping capacity – moving toward a working definition of adaptive capacity. Global Environmental Change, 12(1), 25-40.

Young, P.C. 2002: Advances in real-time flood forecasting. Philosophical Transactions of the Royal Society, A360, 1433-1450.

Zipser, E.J., D.J. Cecil, C. Liu, S.W. Nesbitt and D.P. Yorty, 2006: Where are the most intense thunderstorms on Earth? Bulletin of the American Meteorological Society, 87, 1057-1071.

2

위험의 결정인자: 노출과 취약성

총괄 대표저자:
Omar-Dario Cardona (콜롬비아), Maarten K. van Aalst (네덜란드)

대표저자:
Jörn Birkmann (독일), Maureen Fordham (영국), Glenn McGregor (뉴질랜드), Rosa Perez (필리핀), Roger S. Pulwarty (미국), E. Lisa F. Schipper (스웨덴), Bach Tan Sinh (베트남)

감수 편집자:
Henri Décamps (프랑스), Mark Keim (미국)

기여 저자:
Ian Davis (영국), Kristie L. Ebi (미국), Allan Lavell (코스타리카), Reinhard Mechler (독일), Virginia Murray (영국), Mark Pelling (영국), Jurqen Pohl (독일), Anthony-Oliver Smith (미국), Frank Thomalla (오스트레일리아)

본 장을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

Cardona, O.D., M.K. van Aalst, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Perez, R.S. Pulwarty, E.L.F. Schipper, and B.T. Sinh, 2012: Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108."

목 차

본문 요약 **63**

2.1 서론과 범위 **65**

2.2. 위험의 결정요인들에 대한 정의: 위험(Hazard), 노출(Exposure) 및 취약성(Vulnerability) **65**

2.2.1. 재해 위험(Disaster Risk)과 재해(Disaster) 65

2.2.2. 위험 요인 65

2.3. 취약성의 동인 **66**

2.4. 대응 및 적응 능력 **68**

2.4.1. 능력과 취약성 68

2.4.2. 요구되는 능력들 69

2.4.2.1. 위험 예측 능력 70

2.4.2.2. 대응 능력 70

2.4.2.3. 복구 및 변화 능력 70

2.4.3. 능력의 요인: 동인과 장벽 71

2.5. 취약성 및 노출의 차원과 추세 **71**

2.5.1. 환경 측면 72

2.5.1.1. 물리적 측면 73

2.5.1.2. 지리, 장소, 위치 73

2.5.1.3. 정착 패턴과 개발 방향 73

2.5.2. 사회적 측면 75

2.5.2.1. 인구통계학 75

2.5.2.2. 교육 76

2.5.2.3. 보건과 복지 78

2.5.2.4. 문화 측면 79

2.5.2.5. 제도 및 거버넌스(governance)의 측면 80

2.5.3. 경제적 측면 81

2.5.4. 상호작용, 공통의 주제(crosscutting theme), 통합 82

2.5.4.1. 공통부분(Intersectionality)과 기타 차원 82

2.5.4.2. 시기, 공간 및 기능적 규모 82

2.5.4.3. 과학과 기술 83

2.6. 위험 식별과 평가 **84**

2.6.1. 위험 식별 84

2.6.2. 취약성과 위험 평가 84

2.6.3. 위험 소통 88

2.7. 위험 축적과 재해의 성질 **89**

참고문헌 **90**

본문 요약

극한 및 비극한 기상, 기후현상으로 인한 영향의 심각성은 그 현상에 대한 취약성 및 노출의 수준에 크게 좌우된다 (높은 신뢰수준). [2.2.1, 2.3, 2.5] 취약성과 노출의 추세는 재해 위험 변화의 그리고 위험으로 인한 영향의 주요 동인이다 (높은 신뢰수준). [2.5] 취약성과 노출의 다양한 측면에 대한 이해는 기상 및 기후현상이 재해 발생에 어떻게 기여하는지 규명하고 효과적인 적응 전략과 재해 위험 관리 전략을 설계, 이행하기 위한 전제조건이다. [2.2, 2.6]

취약성과 노출은 역동적이고, 시간과 공간 규모에 따라 다르며, 경제적, 사회적, 지리적, 인구통계적, 문화적, 제도적, 거버넌스(governance) 요인과 환경적 요인에 따라 달라진다 (높은 신뢰수준). [2.2,2.3, 2.5] 개인과 지역사회는 노출과 취약성에서 차이가 있으며 이것은 기상, 교육, 인종/민족/종교, 성별, 나이, 사회계층, 장애, 보건상태 같은 인자들에 기초한다. [2.5] 극한현상과 변화에 대한 복원력 및 예측, 대응 및 적응 능력의 부재는 취약성의 중요한 원인 요인이다. [2.4]

또한 극한 및 비극한 기상, 기후현상은 지역사회, 사회, 또는 사회생태계의 복원력, 대응 및 적응 능력을 변경시킴으로써 미래의 극한현상에 대한 그들의 취약성에 영향을 끼친다(높은 신뢰수준). [2.4.3] 분포의 양 끝부분에 있는 저확률 고강도 현상의 경우, 극한 기상 및 기후현상의 강도와 그 현상에 대한 노출은 영향의 정도에 따라 설명되는 취약성보다 재해로 인한 손실에 따라 설명되는 경우가 더 일반적인 경향이 있다. 그러나 보다 덜 극한적인 현상, 즉 그보다 확률은 높고 강도는 낮은 현상들의 경우, 노출된 요소들의 취약성이 점점 더 중요한 역할을 한다 (높은 신뢰수준). [2.3] 준국가(subnational) 또는 국지적 수준에서 재발하는 중소규모 재해의 누적 효과는 생계유지 방식의 선택, 자원 및 사회와 지역사회가 미래 재해에 대비하고 대응할 능력에 상당한 영향을 줄 수 있다. [2.2.1, 2.7]

높은 취약성과 노출은 일반적으로 부실한 환경관리, 인구 변화, 위험 지역의 급속하고 무분별한 도시화, 거버넌스의 실패(failed govenance), 빈곤층의 생계유지 방식의 선택 부족 같은 편향된 개발 과정의 결과이다 (높은 신뢰수준). [2.2.2, 2.5]

취약성과 위험을 평가하기 위한 적절한 접근법의 선택은 의사결정 배경에 좌우된다 (높은 신뢰수준). [2.6.1] 취약성 및 위험 평가 방법은 전지구 및 국가규모의 정량적 평가부터 국지적 규모의 정성적 참여형 접근법까지 다양하다. 어떠한 특정 방법이 적합한지 여부는 관련된 시간 및 지역 규모, 행동주체의 개수와 유형, 경제 측면, 거버넌스의 측면을 비롯해 다루어야 할 적응 또는 위험관리 이슈에 따라 달라진다. 지시자(indicator), 지표(index) 및 확률적 지표는 취약성 및 위험 분석의 중요한 척도와 기법들이다. 그러나 취약성 정량평가 접근법들은 취약성의 각 차원에서 취약성의 복잡성과 유형, 무형의 다양한 측면들을 포착하기 위해 정성적 접근법으로 보완될 필요가 있다. [2.6]

타당하고 시기 적절한 위험 소통은 효과적인 적응 및 재해 위험 관리에 매우 중요하다 (높은 신뢰수준). 효과적인 위험 소통은 위험평가를 기반으로 하여 특정 대상에 맞게 조정된다. 이 대상은 정부의 각 계층의 의사결정자부터 민간 분야, 지방 지역사회, 특정 사회집단을 비롯한 공공분야까지 다양할 수 있다. 불확실성과 복잡성의 명확한 특성분석은 위험소통을 강화한다. 정보 흐름의 방해물과 인식 부족은 위험을 증폭시킨다. 신념, 가치관 및 규범은 위험 감지, 위험 인식, 이행의 선택에 영향을 준다. [2.6.3]

적응 및 위험관리 정책과 실무는 기획 및 실무의 각 단계에서 불확실성과 복잡성을 명확히 특성화 하는 것을 포함하여 취약성과 노출의 역동적인 성격을 고려한다면 보다 성공적일 수 있다(보통 신뢰수준, 높은 동의수준). 그러나 그러한 역동성을 정량적으로 표현하기 위한 접근법은 아직 충분히 개발되지 않았다. 기후변화 영향 예측은 상이한 개발 경로에 따른 취약성과 노출이 변화하는

스토리라인을 도입함으로써 강화할 수 있다. 적응 및 위험관리 전략과 정책의 설계와 이행은 단기적으로 위험을 저감할 수 있으나 장기적으로는 취약성과 노출을 증가시킬 수 있다는 점을 고려할 때 취약성과 노출의 시간적 공간적 동력학에 주목하는 것이 특히 중요하다. 예를 들어 제방 시스템은 즉각적 보호를 제공함으로써 위험 노출(hazard exposure)을 감소할 수 있지만 장기적으로 위험을 증가시킬 수 있는 패턴을 조성할 수 있다. [2.4.2.1, 2.5.4.2, 2.6.2]

취약성 저감은 적응 및 재해 위험 관리의 핵심 공통 요소이다(높은 신뢰수준). 따라서 취약성 저감은 정책과 실무 두 분야에서 공통적으로 중요한 기반이다. [2.2,2.3]

2.1. 서론과 범위

기후변화 적응 노력의 목적은 인간 사회에 대한 극한 영향의 위험에 영향을 주는 기상 및 기후현상의 빈도, 강도 및 지속기간의 잠재적 변화가 갖는 함축적 의미를 다루는 것이다. 여기서 위험은 기후 및 기상 현상(위험)뿐 아니라 그러한 위험에 대한 취약성과 노출에 의해서도 결정된다. 따라서 효과적인 적응 및 재해 위험 관리 전략과 수행 역시 노출과 취약성에 대한 심도 높은 이해뿐 아니라 그러한 차원들의 변화에 대한 적절한 평가에 의해 좌우된다. 본 장에서는 1장에 소개한 위험 결정요인들을 더 상세히 다룸으로써 그러한 이해와 평가를 제공한다.

본 장의 첫 번째 절에서는 위험을 정의 및 이해에 필요한 개념들을 규명하고, 위험은 사회적 과정이 환경과의 상호작용과 결합되어 생긴다는 것을 설명하고 (2.2절과 2.3절), 대응 능력과 적응 능력의 역할을 강조한다(2.4절). 2.5절에서는 취약성과 노출의 각기 다른 차원 및 그것들의 추세를 고찰한다. 노출과 취약성은 맥락에 따라 매우 다르다는 점을 고려하면 이 절은 정의상 일반 개요 수준이다(보다 정량적인 추세 전망은 4장에서 다룬다). 위험을 식별하고 평가하기 위한 접근법들의 방법론적 고찰(2.6절)에서는 노출과 취약성의 차원들을 적응 계획 같은 특정 맥락에서 어떻게 탐구할 수 있는지 그리고 위험 인지와 위험 소통의 핵심 역할은 무엇인지를 설명한다. 이 장의 결론에서는 위험 축적과 재해의 특성을 비교·고찰한다.

2.2. 위험의 결정요인들에 대한 정의: 위험(Hazard), 노출(Exposure) 및 취약성(Vulnerability)

2.2.1. 재해 위험(Disaster Risk)과 재해(Disaster)

재해 위험은 미래에 악영향이 생길 가능성을 의미한다. 재해 위험은 사회적 과정과 환경 과정의 상호작용에서, 즉 물리적 위험과 노출된 요소들의 취약성이 결합되어 발생한다(1장 참고). 위험 현상은 위험의 유일한 동인이 아니며, 악영향 수준은 사회와 사회생태계의 취약성 및 노출에 의해 결정된다(높은 신뢰수준. UNDRO, 1980; Cuny, 1984; Cardona, 1986, 1993, 2011; Davis and Wall, 1992; UNISDR, 2004, 2009b; Birkmann, 2006a,b; van Aalst 2006a).

재해 위험은 고정되어 있지 않고 꾸준히 진화한다. 재해는 무수한 재해 '순간'을 구성하는 단일원이며(ICSU-LAC, 2010a.b), 편향된 개발 문제를 부각시키는 관리되지 않은 위험을 의미한다(Westgate and O'Keefe, 1976; Wijkman and Timberlake, 1984). 또한 재해는 위험이 실현된 것이라고 볼 수 있으며, 그 자체로 사회적 구조인 잠복된 조건이 '실제'가 된 것을 의미한다(아래 설명 참고. Renn, 1992; Adam and Van Loon, 2000; Beck, 2000, 2008).

재해 위험은 다양한 수준 및 유형의 악영향들과 관련 있다. 그 악영향은 치명적일 수도, 또는 미미한 재해 수준에 그칠 수도 있다. 재정적 비용은 크지 않은 반면에 인명 손실과 영향 받은 사람들의 수 면에서 인간 비용이 매우 큰 악영향도 있었고, 재정 비용은 매우 큰 반면에 인간 비용은 상대적으로 크지 않은 악영향도 있었다. 작은 재해들의 누적 효과는 준국가 또는 국지적 수준에서 지역사회나 사회, 사회생태계의 미래 재해 대응 능력에 영향을 줄 수 있다(높은 신뢰수준. Alexander, 1993, 2000; Quarantelli, 1998; Birkmann, 2006b; Marulanda 등, 2008b, 2010, 2011; UNISDR, 2009a).

2.2.2. 위험(risk) 요인

1.1절에서 자세히 설명했듯이 위험(hazard)이란 취약하고 노출된 요소에게 악영향을 끼칠 수 있는 자연적인, 또는 인위적인 물리적 현상이 미래에 발생할 가능성을 말한다. (White, 1973; UNDRO, 1980; Cardona, 1990; UNDHA, 1992; Birkmann, 2006b). 때때로 위험(hazard)은 위험(risk)과 동일 의미로 사용되어 왔지만 현재는 위험(hazard)은 위험(risk)의 한 성분이지 위험(risk) 자체가 아닌 것으로 받아들여지고 있다. 위험 현상의 강도 또는 재발은 부분적으로는 환경 악화와 인간의 자연 생태계 간섭에 의해 결정될 수 있다. 인위적 환경 변경에 연관된 산사태나 홍수 그리고 기후 변화 관련 새로운 위험들이 그러한 사회자연적 위험의 예이다(Lavell, 1996, 1999a).

노출이란 위험 현상이 발생할 수 있는 지역에 있는 요소들의 인벤토리를 말한다(Cardona, 1990; UNISDR, 2004, 2009b). 따라서 만약 인구와 경제적 자원이 잠재적 위험 환경 안에 위치하지(노출되지) 않는다면 재해 위험의 문제는 전혀 존재하지 않을 것이다. 문헌과 일반 관습에서 종종 노출과 취약성을 서로 같은 개념으로 사용하고 있지만 노출과 취약성은 엄연히 다르다. 노출은 위험의 필요조건이되 충분조건은 아니다. 노출은 취약하지 않지만 노출되는 것이 가능하다(예를 들면 범람원 안에 살지만 잠재 손실을 완화하기 위해 건물구조와 행동을 변경할 충분한 수단을 가진 경우). 그러나 극한현상에 취약한 조건은 노출을 필요로 한다.

토지이용과 국토계획은 위험 저감에 있어서 핵심적 요인이다. 환경은 인간의 개발에 자원을 제공할 뿐 아니라 내재적이고 요동하는 위험 조건에 대한 노출도 의미한다. 인구 역학, 장소에 대한 다양한 수요 및 더 안전한 토지의 가용성 감소는 인간과 인간의 노력이 잠재적으로 위험한 곳에 위치하게 될 것임이 거의 불가피하다는 것을 의미한다(Lavell, 2003). 현상에 노출되는 것을 피하기가 불가능한 경우, 토지이용 계획과 장소 결정은 위험을 방지 또는 완화할 다른 구조적 또는 비구조적 방법들을 동반할 수 있다(UNISDR, 2009a; ICSU-LAC, 2010a,b).

취약성이란 인간, 생계, 자산 같은 노출된 요소들이 위험 현상에 영향 받을 때 악영향을 겪기 쉬운 성향을 말한다(UNDRO, 1980; Cardona, 1986, 1990, 1993; Liverman, 1990; Maskrey, 1993b; Cannon, 1994,2006; Blaikie 등, 1996; Weichselgartner, 2001; Bogardi and Birkmann, 2004; UN ISDR, 2004, 2009b; Birkmann, 2006b; Janssen 등, 2006; Thywissen, 2006).

취약성은 노출된 요소에 악영향을 촉진하는 소인(predisposition), 민감성(susceptibilities), 연약함(fragilities), 약점(weaknesses), 결핍(deficiencies), 또는 능력 결여(lack of capacities)와 관련 있다. Thywissen (2006)

과 Manyena (2006)은 용어(terminology)에 대한 광범위한 검토를 수행하였다. 전자는 취약성이라는 용어에 사용되는 수많은 정의를 고찰하였고, 후자는 취약성과 복원력의 정의와 관계를 고찰하였다.

재해 위험 관리의 맥락에서 취약성에 대한 초기의 견해는 엔지니어링 구조의 물리적 저항과 관련 있었으나 (UNDHA, 1992), 보다 최근에는 취약성을 사회적 프로세스와 환경적 프로세스의 특징에 관련시킨다는 견해가 지배적이다. 기후변화 맥락에서 취약성은 극한 및 비극한 현상에 대응하고 적응할 노출된 시스템의 민감성, 및 복원력 또는 능력의 결여와 직접적으로 관련 있다(Luers 등, 2003; Schröter 등, 2005; Brklacich and Bohle, 2006; IPCC, 2001, 2007).

취약성은 재해 위험과 기후변화 적응의 핵심 개념이지만 여타 무수한 맥락에서, 예를 들면 역학적 및 심리적 취약성, 생태계 감도, 또는 사람들을 자연적, 경제적 스트레스원에 취약하게 만드는 조건, 상황 및 동인을 가리키기 위해서도 사용된다(Kasperson 등, 1988; Cutter, 1994; Wisner 등, 2004; Brklacich and Bohle, 2006; Haines 등, 2006; Villagran de Leon, 2006). 고령자, 아동 또는 여성은 이들 집단이 무엇에 취약한지에 대한 아무런 지표 없이 '취약한' 집단으로 묘사되는 경우가 많다(Wisner, 1993; Enarson and Morrow, 1998; Morrow, 1999; Bankoff, 2004; Cardona, 2004, 2011).

취약성은 상황에 따라 다르며 위험 현상과의 상호작용으로 위험을 낳는다고 볼 수 있다(Lavell, 2003; Cannon, 2006; Cutter 등, 2008). 예를 들면 재정 위기에 대한 취약성은 기후 변화나 자연 위험에 대한 취약성을 암시하지 않는다. 이와 비슷하게, 어떠한 모집단은 허리케인에 취약할지 모르나 산사태나 홍수에는 취약하지 않을지 모른다. 기후변화 관점에서, 기본 환경조건은 점진적으로 변하고, 그 후에는 사회에 새로운 위험 조건을 유도한다. 예를 들면 보다 빈번하고 강력한 현상들이 어떠한 지역에 위험요인을 끌어들이고 근본적인 취약성을 드러내게 할 수 있다. 사실, 미래의 취약성은 미래에 노출될 수 있는 지역사회의 현재 조건 안에 들어 있다(Patt 등, 2005, 2009). 즉, 과거에는 대상이 아니었던 지역에서 새로운 위험이 취약성을 생산하지는 않더라도 근본적인 취약성의 원인을 드러내게 할 것이다(Alwang 등, 2001; Cardona 등, 2003a; Lopez-Calva and Ortiz, 2008; UNISDR, 2009a).

취약성은 일반적으로 위험에 특정적이지만, 빈곤, 소셜 네트워크 및 사회지원 메커니즘의 부재 같은 요인들은 위험 유형에 상관 없이 취약성의 정도를 악화시키거나 영향을 줄 것이다. 이러한 유형의 일반 요인들은 특정 위험의 요인들과는 다르고, 위험관리 및 적응 프로세스의 개입 이행과 성격에서 차지하는 위치도 다르다(ICSU-LAC, 2010a,b). 인간 거주지 및 생태계의 취약성은 서로 다른 사회문화적 프로세스와 환경 프로세스에 본질적으로 얽혀 있다(Kasperson 등, 1988; Cutter, 1994; Adger, 2006; Cutter and Finch, 2008; Cutter 등, 2008; Williams 등, 2008; Decamps, 2010; Dawson 등, 2011). 또한 취약성은 위험 소통의 부재, 특히 잘못된 위험 인식을 초래할 수 있는 적절한 정보의 부재와도 연관 있고 (Birkmann and Fernando, 2008), 이것은 기후 변화 및 환경 스트레스원에 대응 또는 적응할 동기와 인지 능력에도 영향을 준다(Grothmann and Patt, 2005). 부적응(maladaptation) 또는 지속 불가능한 적응(unsustainable adaptation)의 프로세스는 취약성과 위험을 증가시킬 수 있다(Birkmann, 2011 a).

재해 위험 관리 맥락에서 취약성은 사회구조에서 발생하는 위험의 가장 뚜렷한 징후이다(Aysan, 1993; Blaikie 등, 1996; Wisner 등, 2004; ICSU-LAC 2010a,b). 이 개념은 사회는 자연계의 변화와 상호작용 속에서, 인구 집단과 생계, 생산, 기반시설의 유지, 서비스의 노출과 취약성을 증가시키는 사회 프로세스를 통해, 물리 현상을 서로 다른 강도나 규모의 위험으로 변형시킴으로써 재해 위험을 구축한다는 점을 강조한다(Chambers, 1989; Wilches-Chaux, 1989; Cannon, 1994; Wisner 등, 2004; Wisner, 2006a; Carreno 등, 2007a; ICSU-LAC, 2010a,b). 이에는 다음이 포함된다.

- 인간의 행동이 서로 다른 물리 현상에 처한 상태에서 노출 및 취약성의 수준에 어떻게 영향을 주는가.
- 환경에서 인간의 중재가 새로운 위험의 창조 또는 기존 위험의 수준 내지 잠재적 피해의 증가로 어떻게 이어지는가.
- 위험인자에 대한 인간의 인지, 이해, 동화는 사회적 반응, 우선순위 결정, 의사결정 프로세스에 어떻게 영향을 주는가.

높은 취약성과 노출은 환경의 부실관리, 인구 변화, 급속하고 무분별한 도시화, 빈곤층의 생계유지 방식의 선택 생계옵션의 부족 등 편향된 개발 프로세스의 결과라는 높은 수준의 동의 및 강한 수준의 증거가 있다(Maskrey, 1993a,b, 1994, 1998; Mansilla, 1996; Lavell, 2003; Cannon, 2006; ICSU-LAC, 2010a,b; Cardona, 2011).

재해 위험과 재해 빈도의 증가는 지난 50년 간 명백하였다(Munich Re, 2011) (1.1.1절 참고). 재해 위험을 다룰 개입을 비롯해서 취약성 저감과 기후변화 적응을 위한 합의된 이행들이 시행되지 않는 한, 이 추세는 예상되는 기후변화, 인구 및 사회경제적 변화, 및 거버넌스 추세의 결과로 앞으로 계속되거나 심화될 수 있다(Lavell, 1996, 1999a, 2003; ICSU-LAC, 2010a,b; UNISDR, 2011).

2.3. 취약성의 동인

위험을 효과적으로 관리하기 위해서는 취약성이 어떻게 발생하고, 증가하고, 심화되는가를 이해하는 것이 필수적이다(Maskrey, 1989; Cardona, 1996a, 2004, 2011; Lavell, 1996, 1999a; O'Brien 등, 2004b).

취약성은 사람들이 역사, 지배적 문화, 사회, 환경, 정치, 경제 맥락에서 갖게 되는 일련의 조건을 의미한다. 이러한 맥락에서, 취약한 집단은 위험에 노출되기 때문일 뿐만 아니라 주변성(marginality), 사회적 상호작용 및 조직의 일상적 패턴, 및 자원 접근성의 결과로도 위험에 처한다(Watts and Bohle, 1993; Morrow, 1999; Bankoff, 2004). 따라서 어떠한 특정 가구에게 재해가 끼치는 영향은 복잡한 동인들과 상호작용 조건들의 결과로 나타난다. 사람들과 지역사회는 취약성의 희생자일 뿐 아니라 적극적 관리자라는 점을 유념하는 것이 중요하다(Ribot, 1996; Pelling, 1997, 2003). 따라서 취약성의 원인을 이해하는 데는 통합적이고 다차원적인 접근법이 매우 중요하다.

일부 글로벌 프로세스들은 위험의 중요한 동인에 속하며 특히 취약성의 발생과 관련이 있다. 그 예로는 인구 증가, 급속하고 무분별한 도시 개발, 국제 재정난, 사회경제적 불평등의 증가, 관리의 추세와 실패 (예: 오염, 부실관리), 환경 악화 등이 있다(높은 신뢰수준. Maskrey, 1993a,b, 1994, 1998; Mansilla, 1996; Cannon, 2006). 취약성의 프로파일은 환경, 사회 및 경제 주변성의 근원들을 고려하여 구축할 수 있다(Wisner, 2003). 이는 지역사회와 특정 환경 서비스 간의 연결고리 그리고 생태계 구성요소들의 취약성을 고려하는 것도 포함한다(Renaud, 2006; Williams 등, 2008; Decamps, 2010; Dawson 등, 2011). 기후변화 관련 영향평가에서는 기술적 측면에만 초점을 맞추기보다는 근본적인 '취약성 원인'과 적응능력을 통합하는 것이 더욱 필요하다(Ribot, 1995; O'Brien 등, 2004b).

분야 별로 개념 틀과 정의는 물론 견해가 서로 다르기 때문에 취약성 원인을 다루는 접근법도 분야 별로 상이하다(Burton 등, 1983; Blaikie 등, 1994; Harding 등, 2001; Twigg, 2001; Adger and Brooks, 2003, 2006; Turner 등, 2003a,b; Cardona, 2004; Schriiter 등, 2005;Adger 2006; Fussel and Klein, 2006; Villagran de Leon, 2006; Cutter and Finch, 2008; Cutter 등, 2008). Thomalla 등 (2006), Mitchell and van Aalst (2008), 및 Mitchell 등 (2010)은 기후변화 적응 공동체와 재해 위험 관리 공동체 간의 공통점과 차이점을 조사하고, 주요 차이 분야와 공통 분야를 규명하였다. 두 공동체는 위협의 성격과 시간규모를 서로 다르게 인지하는 경향이 있다. 기후변화로 인한 영향과 극한현상 재현기간은 불확실성이라는 표현을 자주 사용한다. 하지만 극한 환경 조건들에 관련된 현상의 특징 및 노출에 관해서는 상당한 지식과 확실성이 표현되어 왔다.

취약성과 그 원인을 이해하기 위한 접근법은 정치경제학(political economy), 사회생태, 취약성, 재해 위험 관리뿐 아니라 기후변화 적응에 기초해 다음 4가지로 구분할 수 있다.

1) 압박 및 이완(pressure and release: PAR) 모델 (Blaikie 등, 1994, 1996; Wisner 등, 2004)은 사회과학 관련 취약성 연구에서 공통으로 사용되며 불안전한 조건을 만드는 위험보다 노출의 사회적 조건과 근본 원인들을 더 강조한다. 이 접근법은 지방 취약성을 자원의 정치경제적 관점과 정치권력에 있어서의 보다 넓은 국가적, 지구적 변화에 연결하는 연속체 안에서 취약성과 불안정한 조건들을 연결시킨다.
2) 사회생태학적 관점은 인간과 환경 간의 결합시스템에 초점을 맞춰야 할 필요성을 강조한다(Hewitt and Burton, 1971; Turner 등, 2003a,b). 이 관점은 자연을 변형시킬 사회의 능력뿐 아니라 환경 변화가 사회 및 경제 시스템에 갖는 함축적 의미도 강조한다. 그리고 단일 시스템의 노출과 민감성(susceptibility)은 그 결합 프로세스들과 상호작용이 다루어져야만 제대로 이해될 수 있다고 주장한다.
3) 취약성에 관한 전체론적 관점은 기술적 모델링을 넘어 취약성에 대한 더 넓고 포괄적인 설명을 포용하는 것을 목표로 한다. 이 접근법들은 취약성의 원인 또는 요인으로서 노출, 민감성 및 사회적 대응능력을 구분한다(Cardona, 1999a, 2001, 2011; Cardona and Barbat, 2000; Cardona and Hurtado, 2000a,b; IDEA, 2005; Birkmann, 2006b; Carreno, 2006; Carreno 등, 2007a,b, 2009; Birkmann and Fernando, 2008). 이 접근법들의 핵심 요소는 취약성은 역동적이며 현재 또는 미래 위험의 주요 동인이자 결정요인이라고 강조하는 피드백 루프(feedback loop)이다.
4) 기후변화 적응의 맥락에서, 여러 가지 취약성 정의와 개념들이 개발되고 논의되어 왔다. 가장 두드러진 정의 중 하나는 IPCC 4차 평가보고서에 반영되었던 것인데, 그 정의는 취약성을 노출, 민감성 및 적응능력의 함수라고 설명한다. 이것은 예를 들면 McCarthy 등 (2001), Brooks (2003), K. O'Brien 등 (2004a), Fussel and Klein (2006), Fussel (2007), 및 G. O'Brien 등의 연구에도 반영되었다. (2008). 이 접근법은 기후변화의 변화율과 규모를 고려하므로 재해 위험 관리 관점에서 이해하는 취약성과는 다르다. 여기서 취약성 개념은 충격이나 스트레스라는 외부 환경 인자를 포함한다. 따라서 이 견해에서는 잠재적 위험 현상의 규모와 빈도를 기후변화 취약성에서 고려해야 한다. 또한 이 견해는 재해 위험 관리 접근법에서 분명하게 배제되지 않고 드물게나마 고려되는 현재 예측되는 충격보다는 장기적 추세와 스트레스에 초점을 둔다는 점에서도 다른 견해들과 차이를 보인다.

여러 학문분야에서 공동으로 위험평가를 수행하는 포괄적인 개념 틀의 부재는 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 효과를 저해한다(Cardona, 2004). 위험은 미래의 잠재적 악영향을 제시하는 잠복된 조건이기 때문에 예상되는 재해 위험을 저감하고 적응하기 위한 옵션은 분명하게 존재한다(Lavell, 1996, 1999a). 재해 위험 관리를 하나의 사회적 프로세스로 이해하면 초점을 재해현상 대응에서 재해 위험 이해로 옮길 수 있다(Cardona and Barbat, 2000; Cardona 등, 2003a). 이를 위해서는 인간과 자연환경의 상호작용이 어떻게 새로운 위험을 만들게 되는지, 그리고 사람, 재산, 기반시설, 상품, 환경이 잠재적으로 해로운 현상에 어떻게 노출되는지에 대한 지식이 필요하다. 나아가 저항, 복원력, 보안을 달성하는 데 기여하거나 방해할 수 있는 사회적, 경제적 자원들의 할당과 분배를 포함해, 사람과 생계의 취약성에 대한 이해도 필요하다(ICSU-LAC, 2010a,b).

종합적으로, 위험 현상이 대체로 재해 위험의 원인으로 간주되지만 취약성과 노출은 재해 위험의 핵심 결정요인이다(높은 신뢰수준). 게다가 위험과는 달리, 취약성과 노출은 종종 중장기적으로 정책과 실무에 의해 영향 받을 수 있다. 따라서 재해 위험 관리 및 적응 전략은 주로 이와 같은 위험요인들을 다루어야 한다(Cardona 1999a, 2011; Vogel and O'Brien, 2004; Birkmann, 2006a; Leichenko and O'Brien, 2008).

취약성을 정의하고 평가하기 위해 개발된 다양한 틀에도 불구하고, 재해 위험 관리 공동체와 기후변화 적응 공동체에서 공통된 취약성의 원인요인들이 적어도 몇 가지는 규명되었다는 것이 흥미롭다(Cardona, 1999b, 2001, 2011; Cardona and Barbat, 2000; Cardona and Hurtado, 2000a,b; McCarthy 등, 2001; Gallopin, 2006; Manyena, 2006; Carreno 등, 2007a, 2009; IPCC, 2007; ICSU-LAC 2010a,b; MOVE, 2010 참고):

- 민감성/연약함(재해 위험 관리에서) 또는 감도 (기후변화 적응에

서): 과거에 영향 받은 시스템은 위험 현상의 영향으로 인해 붕괴되거나 막대한 피해를 입을 것임을 기정사실화하는 본질적인 배경 조건의 결과로 해를 입는 사회와 생태계의 저항력 결여 및 소인으로 인해 위험한 현상에 영향을 받는 인간, 기반시설, 환경의 물리적 소인.

- 복원력 부재(재해 위험 관리에서) 또는 대응 및 적응 능력 부재(기후변화 적응에서): 인간과 제도가 자원에 접근하고 이용하는 데 한계가 있는 것, 그리고 사회생태적, 경제적 영향을 흡수하는 데 있어서 예측, 적응, 대응하지 못하는 것.

분포의 양 극단에서, 극한 기상 및 기후현상의 강도 – 저확률 고강도–와 그것들에 대한 노출은 취약성 설명보다는 재해손실을 설명함에 있어서 더 만연하는 경향이 있다(높은 신뢰수준). 그러나 현상들의 극단성이 약할수록 – 더 높은 확률, 더 낮은 강도–, 노출된 요소들의 취약성은 영향수준 설명에서 점점 더 중요한 역할을 한다. 취약성은 비극한 현상, 즉 국가 수준이나 준국가 수준에서는 자주 보이지 않는 소규모 재발 재해들의 악영향이 증가하는 주요 원인이다(Marulanda 등, 2008b, 2010, 2011; UNISDR, 2009a; Cardona, 2011; UNISDR, 2011).

종합적으로 사회의 복원력과 적응능력을 촉진하려면 일차 초점을 자연 위험과 극한 기상현상에서 취약성의 식별, 평가, 등급 쪽으로 옮기는 패러다임 전환이 필요하다(Maskrey, 1993a; Lavell, 2003; Birkmann, 2006a,b). 그러므로 취약성 이해는 기후변화의 측면에 있어서 극한현상의 위험과 위험 저감 및 적응 전략 개발을 이해하기 위한 전제조건이다(ICSU–LAC, 2010a,b; MOVE, 2010; Cardona, 2011; UNISDR, 2011).

2.4. 대응 및 적응 능력

능력(capacity)은 대부분의 취약성과 위험의 개념 틀에 있어서 중요한 요소이다. 능력은 어떠한 위험(hazard)이 가하는 위험(risk)을 줄일 수 있는 사람들의 특징 중 긍정적인 특성을 의미한다. 능력 향상은 종종 정책과 프로젝트의 목표로 설정되곤 하는데 이것은 능력 강화가 궁극적으로 위험 저감을 초래할 것이라는 개념에 기초한다. 능력은 명백히 기후변화 영향을 감소시키는 데 있어 중요하다(예: Sharma and Patwardhan, 2008).

1장에서 소개하였듯이, 대응은 대개 사후(ex post) 조치를 말하는 데 사용되고, 적응은 대개 사전(ex ante) 조치와 연관있다. 이것이 함축하는 의미는 대응능력은 겪은 위험의 악영향에 대응하고 저감시킬 능력을 말하는 반면에 적응능력은 위험에서 더 잘 살아남기 위해 구조, 기능, 또는 조직을 예측하고 변화시킬 능력을 말한다는 것이다(Saldafia–Zorrilla, 2007). 능력이 있다는 것은 영향의 극한성이 덜 하거나 또는 복구시간이 단축될 것을 시사하지만 높은 복구능력이 그와 동등한 수준의 예기능력을 보장하지는 않는다. 다시 말해서, 대응능력은 적응능력을 암시하지 않지만 (Birkmann, 2011 a), 대응능력은 종종 적응능력의 일부인 것으로 간주된다(Levina and Tirpak, 2006).

2.4.1. 능력과 취약성

1990년대 이전에는 위험과 관련한 연구들이 대부분 위험에 주로 초점을 맞추었으나, 최근에는 문제의 취약성 쪽에도 동등하게 초점을 두는 쪽으로 패러다임이 바뀌었다. 위험이 취약성을 통해 저감될 수 있다고 강조하는 것은 위험을 좌우하는 사회, 정치, 환경, 경제 요인들의 힘을 수용한다는 것이다. 이 요인들은 한편으로는 위험을 좌우하지만 다른 한편으로는 위험 저감 능력의 원천일 수 있다(Carreño 등, 2007a; Gaillard, 2010).

상당수의 취약성 평가 접근법은 사람들이 특정 위험에 얼마나 취약한 가를 이해하는 기준으로서 능력을 평가하는 방식을 사용한다. 능력과 취약성 간의 관계는 개발, 재해 위험 관리, 및 기후변화 적응 분야에서 서로 다르게 사용되었기 때문에 서로 다른 학파들 사이에서 서로 다르게 기술된다. Gaillard (2010)는 적응 개념이 "과학계에서 취약성 패러다임이 점진적으로 출현하는 데 중심 역할을 하였다"고 말한다. 반면에 문헌들은 취약성과 능력의 관계를 다음 두 가지 방식으로 기술하는데 이 두 방식은 서로 배타적이지 않다(Bohle, 2001; IPCC, 2001; Moss 등, 2001; Yodmani, 2001; Downing and Patwardhan, 2004; Brooks 등, 2005; Smit and Wandel, 2006; Gaillard, 2010):

1) 취약성은 곧 능력 부재의 결과이다.
2) 취약성은 능력의 반대이고 그래서 능력의 향상은 취약성 저감을 의미하고 높은 취약성은 낮은 능력을 의미한다.

Box 2–1 | 대응 및 적응 능력: 서로 다른 근원과 사용

1.4절에서 설명하였듯이, 대응과 적응이라는 용어의 이해와 사용에는 차이가 있다. 대응능력은 기후변화 문헌에서 적응능력과 종종 혼용되곤 하지만 Cutter 등(2008)은 적응능력은 지구 환경변화 관점에서 더 자주 사용되고 위험과 관련한 논의에서는 덜 사용된다고 지적한다.

적응능력은 시스템 또는 개인이 기후변화에 적응할 능력을 말하지만 재해 위험의 맥락에서도 사용될 수 있다. 적응능력은 "개인, 가족, 지역사회 또는 기타 사회집단이 생존과 지속가능성을 보장하는 환경의 변화에 적응할 능력"을 결정한다(Lavell, 1999b)고 간주되기 때문에, 많

은 이들은 불확실한 환경변화의 맥락에서는 적응능력이 핵심적으로 중요할 것이라고 생각한다. Dayton–Johnson (2004)는 적응능력을 "재해를 당하기 전의 사회의 취약성과 이후의 복원력"이라고 정의한다. 적응능력을 분류하는 방식 중에 기본 적응능력(baseline adaptive capacity)' (Dore and Etkin, 2003)이 있는데 이것은 국가가 기존 기후변동성에 적응할 수 있는 능력을 말하며, '사회적으로 최적인 적응능력'은 개별 장소의 규범과 규칙에 의해 결정된다. 적응능력은 "시스템이 기존 기후 변동성 또는 미래의 기후 조건 아래서 대응범위를 확대하기 위해 특징이나 행동을 적응시키는 속성" 이라고도 정의된다(Brooks and Adger, 2004). 대응범위는 시스템의 대응능력의 경계를 말하는 대응능력과 동의어이기 때문에 이 정의는 적응능력을 대응능력과 연관시킨다(Yohe and Tol, 2002).

간단히 말해서, 대응능력은 "사람, 조직 및 시스템이 가용 기술과 자원을 사용해서 악조건, 비상사태 또는 재해에 맞서고 관리할 능력"을 말한다(UNISDR, 2009b). 대체로 대응능력은 인도주의적 담론에서 시스템이 극한현상의 영향에서 살아남을 수 있는 정도를 암시하는 데 사용된다. 이것은 사람들이 어느 정도의 불안정에는 대처할 수 있다는 것을 시사하며, 어떠한 시점에 이르면 능력을 넘어설 수 있다는 것을 인정한다. Eriksen 등 (2005)은 대응능력을 불리한 현상이 발생했을 때 물자를 받을 수 있는 권리와 관련시킨다. 비상상황에 이 능력을 동원할 수 있다는 것은 대응전략이 있다는 징후이다(Gaillard, 2010). 나아가 Birkmann (2011b)는 대응과 적응의 차이점은 대응과정의 품질과도 관련이 있다고 강조한다. 대응은 불리한 조건에 처할 때 시스템 및 그 기능들을 유지하는 것이 목적이지만 적응은 변화를 수반하며 재편성의 과정을 요한다.

과거 몇 십 년 동안 재해 공동체는 능력에서 '대응' 능력 또는 '적응' 능력을 그다지 구분하지 않았고, 취약성을 상쇄하는 것으로 보일 수 있는 긍정적 특징 또는 환경을 가리켜 능력이라는 용어를 사용하였다(Anderson and Woodrow, 1989). 이 접근법은 재해에 초점을 두기 때문에 즉각적인 대응 필요와 연관되어 왔고, 변화 극복보다는 변화 적응이 목적인 기후변화 분야에서 일반적으로 논의되는 장기적 관점과 대비된다. 대응전략이 적응으로 가는 디딤돌이 될 것인지 아니면 부적응을 초래할 수도 있는지에 대하여 취약성, 빈곤 및 기후변화 학계에서 상당한 고찰이 있었다(Yohe and Tol, 2002; Eriksen 등, 2005) (1장 참조). 유용한 대안적인 용어는 적응능력 대신에 '변화하고 적응할 능력' (Nelson and Finan, 2009)이라 칭하고 대응 능력 대신에 '흡수할 능력'(Cutter 등, 2008)이라고 칭하는 것이다.

기후변화 실무 조직에서 적응능력은 기후변화의 영향에 어떻게 대응할 것인가에 관한 논의에서 가장 중요한 위치를 차지하고 있지만 초기에는 개입을 구축할 하나의 특징으로 보았을 뿐이고 나중에 가서야 개입의 목표로 인식되었다(Adger 등, 2004). 예를 들어 UN 기후변화 협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)은 생태계가 기후변화의 영향에 자연적으로 적응하는 데 필요한 시간을 염두해두고 온실가스 배출 감소의 이행을 진행해야 한다는 것을 그 협약의 궁극적 목표에서 밝히고 있다

능력과 취약성 간의 관계는, 기후변화 실무 조직과 재해 위험 관리 실무 공동체 간에 서로 다르게 해석된다. 1980년대 내내 취약성은 재해 관련 연구의 핵심이었고 일부 분야에서는 위험을 좌우하는 데 있어 위험보다 더 중요한 역할을 한다고 간주되었다. 어떠한 이들은 취약성의 강조는 취약성의 부정적 측면에 너무 초점을 두어서 능력을 간과하는 경향이 있다고 지적하였다(Davis 등, 2004). 위험 저감에서 능력의 역할을 인정하는 것은 사람들은 '무력한 희생양'이 아니라고 인정하는 것을 의미한다(Bohle, 2001; Gaillard, 2010).

많은 기후변화 관련 연구에서 초기에는 능력이 취약성의 하위단계에 포함되었다. 적응에 관한 최초의 지침과 가이드라인들은 영향과 취약성 평가를 적응을 위한 선택의 결정을 위한 필수 단계로서 강조하였다(Kate, 1985; Carter 등, 1994; Benioff 등, 1996; Feenstra 등, 1998). 기후변화의 취약성은 종종 능력의 정반대의 위치에 놓이곤 했다. 측정된 취약성은 능력을 고려하고 난 후의 그 나머지로서 간주되었다.

그러나 Davis 등 (2004), IDEA (2005), Carreño 등 (2007a,b), 및 Gaillard (2010)은 매우 취약한 지역사회가 사실 어떠한 면에서는 높은 능력을 보일 수도 있기 때문에 능력과 취약성이 꼭 서로 정반대는 아니라고 말한다.

이것은 위험저감의 많은 요소들과 그 요소들에 필요한 여러 가지 능력을 반영한다. Alwang 등 (2001)도 취약성은 역동적이며, 많은 요인들에 의해 결정되고, 따라서 극한 현상에 대응할 높은 능력이 낮은 취약성을 정확히 반영하는 것은 아니라고 강조한다.

2.4.2. 요구되는 능력들

극한현상에 영향 받을 것을 예상하고 피하는 데 필요한 능력은 영향에 대처하고 회복될 능력에서 나오는 다양한 자산, 기회, 사회 네트워크, 지역 및 외부 제도를 필요로 한다(Lavell, 1994; Lavell and Franco, 1996; Car–

dona, 2001, 2010; Carreño 등, 2007a,b; ICSU-LAC, 2010a,b; MOVE, 2010). 그러나 변화할 능력은 다른 요인들에 의존한다. 여기서 중요한 것은 능력의 이러한 차원들이 서로 관련이 없지 않다는 것이다. 즉, 변화할 능력은 위험 저감 능력과 대응 능력에도 필요하다.

취약성과 마찬가지로, 능력은 동적이며 상황에 따라 변할 수 있다. Box 2-1의 고찰은 대응 및 적응 능력이 어떠한 관련이 있는가에 대한 상이한 관점들이 있다는 것을 보여준다. 대응과 적응이 서로 다른 것으로 간주된다는 것은 각각에게 필요한 능력도 서로 다르다는 뜻이다(Cooper 등, 2008). 이것은 사전 적응 능력의 동인을 이해하기 위한 연구들 (Leichenko and O'Brien, 2002; Yohe and Tol, 2002; Brenkert and Malone, 2005; Brooks 등, 2005; Haddad, 2005; Vincent, 2007; Sharma and Patwardhan, 2008; Magnan, 2010)이 과거에 (사후에) 도움이 되었던 그리고 경험한 대응 프로세스와 보다 밀접한 연관이 있는 능력들의 규명된 동인들과는 비슷하지 않을 수도 있다는 것을 시사한다. 이 요소들 중 상당수는 이 특별보고서의 5장과 6장 및 7장에서 지역, 국가, 국제규모에서의 맥락에 반영되어 있다.

2.4.2.1. 위험 예측 능력

불안전과 변화에 의한 위험을 저감할 능력을 가졌다는 것은 사람들의 관리 능력이 없어지지 않았고 그래서 불행한 상태로 남아 있지 않다는 것을 의미한다. 위험을 저감한다는 것은 위험 발생 시 사람들이 그 위험에 대처하는 데 상당한 자원을 쏟아붓지 않아도 되고 대신에 그러한 종류의 현상을 예측할 능력을 갖는 것을 의미한다. 기후변화에 적응하고 위험 저감을 위한 의식 있는 계획된 노력을 투입하기 위해서는 이러한 유형의 능력이 필요하다. 또한 위험을 저감할 능력은 어떠한 현상이 발생한 후에 미래 현상의 영향을 감소하는 선택을 하는 것을 포함하는 사후 이행에도 좌우된다.

위험 예방 및 저감 능력은 현존하거나 지배적인 미래 위험을 저감시키려는 목적으로 위험과 취약성에서 간섭을 지향하는 일련의 요소, 대책 및 도구라고 이해할 수도 있다(Cardona 등, 2003a). 이것은 생존을 보장하는 것부터 미래 생계를 확보하는 능력까지 다양할 수 있다(Batterbury, 2001; Eriksen and Silva, 2009).

토지 이용과 도시 계획을 비롯한 개발 계획, 하천 유역 및 토지 관리, 위험 방지를 고려한 건축 법규, 조경 설계 등은 모두 위험과 변화에 대한 노출 및 취약성을 저감할 수 있는 활동이다(Cardona, 2001, 2010). 이것들을 효과적으로 수행하는 능력은 위험저감 능력의 일부이다. 그 외 활동으로는 소득원의 다각화, 사회 네트워크 유지, 사람들에게 위험을 높이는 개발을 방지할 집단적 조치 등이 있다(Maskrey, 1989, 1994; Lavell, 1994, 1999b, 2003).

1990년대 초까지 재해 대비와 인도주의적 대응이 재해 실무를 지배하였고, 능력의 초점은 본질적 대응능력을 이해하는 것으로 국한되었다. 따라서 위험저감 능력을 강조하는 것은 우선순위가 아니었다. 그러나 재해 손실의 상당한 증가에 관한 증거가 계속 많아지는 재해 대응 및 복구에 투입되는 재정 자원과 인간 자원이 불가피하게 증가하는 가운데 위험 예방 및 저감 능력을 촉진시킬 필요성에 대한 인식이 점차 증가하고 있다(Lavell, 1994, 1999b, 2003). 그럼에도 각기 다른 행동주체, 이해관계자 및 이해관계는 재해를 예기할 능력에 영향을 준다. 한 집단의 노출과 취약성을 줄이는 조치는, 예를 들어 대규모의 상류 제방 건설을 통해 홍수 위험이 상류에 위치한 지역사회에서 하류에 위치한 지역사회에게로 이동하는 경우처럼 다른 집단의 노출과 취약성을 증가시킬 수 있다(Birkmann, 2011a). 결론적으로, 한 집단만의 목적에 초점을 맞추어 적응 또는 위험저감 능력의 성공을 평가하는 것은 충분치 않다. 적응전략의 성공에 대한 평가는 사용된 시□공간 규모에 따라 달라진다(Adger 등, 2005).

2.4.2.2. 대응 능력

대응 능력은 일단 극한현상이 일어날 때 대응하는 데 필요한 모든 것을 포함하기 때문에 사전과 사후 모두와 관련 있다. 대응능력은 기관들이 자연재해에 대응하는 능력, 특히 비상사태 시에 사후 대응하는 능력을 말하는 데 가장 많이 사용된다. 그러나 효과적인 대응은 재해 대비 및 조기 경고에 대한 상당한 사전 계획과 투자를 요한다(재정적 비용 측면뿐 아니라 특히 인식 향상과 능력 구축 측면에서; IFRC, 2009). 아울러 기후변화로 인한 생태계 또는 기온의 점진적 변화에 대한 대응 단계도 있다. 대응은 재해의 영향이 발생하는 즉시 사람들이 취하는 초기 대응부터 2차적 피해를 줄이기 위한 조치까지 모든 것을 포함한다. 기후변화 문헌에서는 예측 이행(anticipatory action)을 종종 대응이라고 칭하는데, 이와는 달리 재해 위험 맥락에서 대응이라는 용어는 영향 발생 후에 취해지는 이행만을 함축한다.

대응 능력으로는 위험을 충분히 저감하지 못한다. 인도주의적 원조 및 구호의 개입은 기존의 취약성을 강화 또는 증폭하는 데 있어서의 역할이라는 맥락에서 고찰되어 왔다(Anderson and Woodrow, 1991; Wisner, 2001 a; Schipper and Pelling, 2006). 이것은 대응능력에만 관련 있는 것이 아니라 능력의 다른 측면들과도 관련이 있다.

Wisner (2001a)는 엘살바도르에서 1998년에 허리케인 Mitch가 휩쓸고 간 뒤에 사람들에게 임시로 제공되었던 부실하게 지어진 대피소들이 비정부조직(NGO)의 지원이 끊기면서 어떻게 그들의 고정주거지가 되었는지를 보여준다. 2001년 1월과 2월에 두 차례 강진이 발생하자 그 대피소들이 붕괴되어 그 사람들은 또 다시 오갈 데가 없어졌다. 이 예는 위험과 변화를 줄일 능력보다는 오직 대응에만 초점을 맞춘 비상 대책들에 관련된 대규모 위험을 보여준다. 대응능력 역시 차등적이다(Chatterjee, 2010). 가장 효과적인 사전 위험관리 전략은 종종 위험 저감과 영향 대응능력 강화를 결합해서 사용할 것이다(더 우수한 대비 및 조기 경보뿐 아니라 보험 같은 위험전이에 의해 더 현명하게 대응하는 것도 포함한다).

2.4.2.3. 복구 및 변화 능력

변화 능력을 갖는 것은 기후변화에 적응하기 위한 요건이다. 적응을 변환이 필요한 것으로 본다는 것은 적응을 오직 사람들을 자연적 위험으로부터 물리적으로 보호하는 일단의 조치로만 이해할 수는 없다는 것을 의미한다(Pelling, 2010). 자연 위험의 맥락에서, 변화할 기회는 물리적 기반시설을 재건해야 하고 개선할 수 있으며 행동 패턴과 습관을 보완할 수 있는 복구 단계에서 가장 크다(Susman 등, 1983; Renn, 1992; Comfort 등, 1999; Vogel and O'Brien, 2004; Birkmann 등, 2010a). 그 지역에서 다른 종류의 환경변화가 일어날 수도 있다는 점을 고려함으로써 재배하는 작물들이 그 기후에 가장 적절한지 그리고 해안 근처에 있는 호텔을 재건축할 가치가 있는지를 재고할 수 있는 기회가 된다.

복구 능력은 물리적 영향의 정도뿐 아니라 생계 활동을 재개할 능력을 포함해 사회가 받은 영향 정도에 의해서도 좌우된다(Hutton and Haque, 2003). 이 능력은 정신적 신체적 복구 능력, 재정적 환경적 실행 가능성, 정치적 의지 등을 포함한 많은 인자들에 의해 좌우된다. 재건 과정은 종종 사람들의 생계를 고려하지 않고 그보다는 그들의 안전에 초점을 맞추기 때문에 새로운 거주지는 종종 사람들이 원하지 않는 곳에 위치하고 이것이 변화를 가져온다. 하지만 그러한 변화가 언제나 지속 가능한 개발을 초래하는 것은 아니다. 재정착한 사람들이 그저 그 새 장소에서는 그들의 논밭이나 시장, 도로, 바다에 쉽게 접근할 수 없기 때문에 (예: 2004년 쓰나미 이후 남부 아시아와 남동 아시아) 설령 다른 곳에 더 튼튼한 주택이 있음에도 불구하고 어떻게 원래의 거주지로 돌아가 황폐한 집으로 들어가거나 새 집을 짓는지를 보여주는 예들이 무수하다(예: 허리케인 미치 이후의 엘살바도르).

자연적 위험이 발생하기 이전의 조건으로 돌아가도록 복구한다는 것은 그 위험이 똑같거나 그 이상일 수 있다는 것을 함축할 뿐 아니라, 이전의 환경이 바람직했는지 여부도 되묻는다. 실상 복구과정은 나날이 개선되는 개발과정과 동시에 이뤄지지 않는 경우가 많다. 재해 발생 후 복구 단계와 재건 단계는 이전 조건들을 재고하고 위험의 근본원인을 다루면서 취약성의 반복을 피하도록 주의할 수 있는 기회를 제공하지만 (IDB, 2007), 종종 너무 성급하여 효과적인 반영, 고찰, 합의의 구축이 이루어지지 않는 경우가 많다 (Christoplos, 2006). 전환과 변화를 향한 복구를 추진하기 위해서는 '정상'으로 돌아가기보다는 새 접근법을 취할 필요가 있다. 복구 능력이 빈곤 때문에 심각하게 제한되는 것을 보여주는 몇몇 예에서 (Chambers, 1983; Ingham, 1993; Hutton and Haque, 2003) 사람들은 더욱 빈곤의 소용돌이 속으로 내몰리면서 결코 이전 상태로 돌아가지 못하는 경우를 볼 수 있다.

위험 현상과 변화에 대응하고 살아남을 다양한 능력은 복원력 개념의 맥락에서도 고찰되었다. 애초에 복원력 개념은 생태계와 약조건 및 위기 속에서도 주요 기능을 유지할 생태계의 능력에 관한 환경 관점에 크게 연관 있었던 것에 반해 (Holling, 1973), 이 개념은 중대한 변화를 경험해 왔고 강화되어 왔으며 사회생태계와 재해 위험 분야에서도 적용되었다(Gunderson, 2000;Walker 등, 2004; UN, 2005; Abel 등, 2006). Folke (2006)은 복원력을 복구 및 불변성(constancy) 문제에 초점을 맞추는 공학적인 복원력의 관점을 아우르는 세 가지의 개념으로 구분한다. 생태적 사회적 복원력은 지속성과 견고성에 초점을 맞추고, 마지막으로 통합 사회생태 복원력 관점은 적응능력, 전환가능성(transformability), 학습 및 혁신을 다룬다(Folke, 2006). 재해 위험 저감에서 복원력 구축(resilience building)과 복원력 부재(lack of resilience)라는 용어는 높은 인지도를 얻었다. 이 용어들은 위험현상 또는 위기의 영향을 다룰 지역사회 또는 사회의 능력 그리고 그러한 경험을 통해 복원력을 학습하고 만들어낼 능력과 관련 된다. 그러나 최근 논문들은 복원력 개념의 무분별한 사용이나 더 광범위한 적응 개념으로의 단순한 전이를 비평한다(Cannon and Muller-Mahn (2010) 참고). 또한 복원력 부재는 지역사회가 위험 현상을 다루기 위해 망라하는 능력들의 결핍을 조사하기 위한 지표로도 사용되어 왔다. 복원력 부재를 설명하면서 Cardona와 Barbat (2000)는 재해 때 격심하게 고통받는 사회에서 종종 다양한 능력의 부재, 이를테면 변화하는 환경조건과 자연위험을 예측, 대응, 적응할 능력에 관한 결핍과 같이 종종 불충분한 다양한 능력들을 규명한다.

재해의 발생은 개발 과정에 차이가 있다는 것을 보여주기 때문에 복원력에 관한 다른 견해도 연구되었다(UNDP, 2004). 2004년 인도양 쓰나미의 영향을 연구하여 얻은 교훈들 (Thomalla 등, 2009; Thomalla and Larsen, 2010)은 기후와 관련하여 발생하는 위험에서 유용한 정보로, 이는 다음 내용을 시사한다.

- 다중 위험, 특히 드물게 일어나는 극한현상에 대한 사회적 취약성은 충분히 이해되지 않은 경향이 있다.
- 취약성 평가에서 복원력 구축 쪽으로 초점이 점차 이동하고 있다. 그러나 복원력에 대한 이해는 부실하며 이론에서 실무로 가기 위해서는 많은 것이 필요하다.
- 준국가 위험저감 이니셔티브의 핵심문제 중 하나는 행동주체로서 정부와 NGO의 역할과 책임을 더 잘 정의하고 그들 사이의 조율을 향상시킬 필요가 있다. 공동 목표 설정, 조율, 감시, 평가할 메커니즘이 없으면 행동주체들 간에 노력, 경쟁, 불안감이 훨씬 커진다.
- 위험저감이 빈곤 감소, 생계 개선, 자연자원 관리, 지역사회 개발 같은 보다 긴박한 일상 문제들에 관련 있다고 인식되는 경우, 위험저감은 그저 지방정부 당국에게만 유의미하며 우선시 된다.

2.4.3. 능력의 요인: 동인과 장벽

극한 및 비극한 기상 및 기후현상은 그러한 현상에 영향 받은 지역사회, 사회, 또는 사회생태계의 복원, 대응 및 적응 능력을 변경시킴으로써 미래의 극한현상에 대한 그들의 취약성에 영향을 끼친다(높은 신뢰수준). 사람들이 자연 위험과 변화에 반복적으로 대응해야 하는 경우에는 능력을 지탱하는 자본이 소진되어 위험 취약성이 증가한다(Wisner and Adams, 2002; Marulanda 등, 2008b, 2010, 2011; UNISDR, 2009a). 능력의 이러한 요인들이 무엇인지 규명하여 능력의 동인과 장벽을 이해하기 위해 무수한 연구들이 수행되었다(Adger 등, 2004; Sharma and Padwardhan, 2008).

능력의 동인으로는 통합된 경제, 도시화, 정보 기술, 인권에 대한 관심, 농업 능력, 강한 국제 기관, 보험 접근성, 계급 구조, 기대 수명, 보건, 복지, 도시화 정도, 공중보건시설 접근성, 지역사회 조직, 국가 및 지역 수준의 기존 계획 규정, 제도적 기틀, 의사결정 기틀, 자연 위험에 대한 기존 경고 및 보호, 우수한 거버넌스가 있다(Cannon, 1994; Handmer 등, 1999; Klein, 2001; Barnett, 2005; Brooks 등, 2005; Bettencourt 등, 2006).

2.5. 취약성 및 노출의 차원과 추세

본 장에서는 다양한 차원에서 위험, 재해, 기후변화 및 극한현상에 대한 노출과 취약성을 설명한다. 어떠한 이들은 노출을 취약성의 한 성분으로 간주하고(Turner 등, 2003a), 차원에 관한 가장 큰 지식체계(body of knowledge)는 노출보다는 취약성을 언급하지만 노출과 취약성은 종종 명확하게 구분되지 않는다. 취약성은 다차원적이고 차등적이어서 물리적 공간, 사회집단들 사이 및 사회집단들 내부에서 서로 다르며, 공간과 개인, 가구, 지역, 또는 시스템 같은 분석단위에 따라 규모가 다르다. 그리고 역동적이다. 역동성은 시간 경과에 따른 취약성 변화의 특징이자 추진력이다(Vogel and O'Brien, 2004). 취약성과 노출은 고정되어 있지 않으므로 취약성과 노출의 추세를 이해하는 것이 중요하다.

일부 위험의 경우에 있어서 노출의 변화와 일부 경우에서의 취약성의 변화는 위험 특성의 변화보다는 관측된 재해손실 추세의 잠재적인 주요 동인이며, 앞으로도 계속 위험패턴 변화의 본질적인 동인일 것이다(높은 신뢰수준; Bouwer 등, 2007; Pielke Jr. and Landsea, 1998; UNISDR, 2009a). 또한 기후변화는 일부 현상의 빈도, 강도 및 지속기간의 변화를 통해서(3장 참고) 그리고 취약성과 노출에 대한 간접적인 효과를 통해서도 재해 위험에 영향을 줄 것이다(높은 신뢰수준). 대부분의 경우, 그것은 단독 작용은 아닐 것이다. 예를 들면 빈곤층 사람들 또는 식량과 용수 부족에 시달리는 사람들에게 미친 영향을 통해 많은 스트레스원 중 하나로서 작용할 것이고 질병 패턴과 일반 보건 수준, 사람들의 거주지를 변화시킬 것이다. 어떠한 경우에는 이러한 변화들이 긍정적일 수도 있으나 이미 가장 취약한 집단과 지역에게는 부정적일 것이다.

위험과 취약성의 결정요인 중 일부의 추세는 명백하지만 (예를 들면 도시화 가속), 그것들이 어떠한 범위의 지리적, 시간적 규모에서 위험과 취약성의 수준을 얼마나 바꾸고 있는지 언제나 명확하지는 않다. 이러한 관계가 존재한다는 것은 신뢰수준이 높지만, 현재의 지식으로는 지역적으로 또는 전지구적으로 유의미한 구체적인 정량적 수치를 제공하기 어렵다.

취약성과 노출의 다차원적인 특징 때문에 조직화 기틀(organizing framework)은 종종 독단적이고 중복되며 한편으로 논란이 되기도 한다. 다음 내용은 세 가지의 큰 측면, 즉 환경, 사회, 경제적인 측면으로 구성되어 있다. 이러한 각각의 측면은 무수한 하위범주를 갖고 있으며 그 하위범주들이 주요한 관심요소를 이룬다.

2.5.1. 환경 측면

환경 측면은 다음을 포함한다.

- 잠재적으로 취약한 자연계(예: 낮은 지대의 섬, 해안 지대, 산악지역, 건조지대, 군소도서 개발도상국) (Dow, 1992; UNCED, 1992; Pelling and Uitto, 2001; Nicholls, 2004; UNISDR, 2004; Chapter 3)
- 시스템에 미치는 영향(예: 해안도시와 농경지역의 홍수, 또는 강제이주)
- 영향을 유발하는 메커니즘(예: 특정 빙상의 분해) (Fussel and Klein, 2006; Schneider 등, 2007)
- 환경조건 대응 또는 적응 (UNEP/ UNISDR, 2008).

개발, 환경 관리, 재해 저감, 기후 적응 사이에는 긴밀한 관계가 있으며 (van Aalst and Burton, 2002), 이에는 재산권 같은 사회적, 법적 측면도 포함된다(Adger, 2000). 기후변화 맥락에서 취약성을 분석하기 위해서는 생태계를 구성하는 환경과 인간 (Gallopin 등, 2001)이 비선형적으로 행동하고, 서로 강하게 결합되어 있고 복잡하며 진화 중(Folke 등, 2002)이라는 것을 인지하는 것이 중요하다.

사회와 환경의 상호작용으로 사람들이 극한 현상에 취약해지고 (Bohle 등, 1994) 생태계 서비스의 취약성이 부각되는 (Metzger 등, 2006) 예가 다수 존재한다.

일례로, 범람원 침식지와 증가된 위험 노출에서 기인하는 취약성은 인간-환경계 안에서 복잡하고 섬세하게 균형잡힌 관계의 전형이며 (Kates, 1971; White, 1974), 이러한 사실은 몇 십년 전에야 비로소 알려졌다. 범람원에 거주하는 인간이 증가할수록 홍수 위험 노출도 증가한다. 그러면 인간의 생명과 재산이 위험에 처할 뿐 아니라 범람원 생태계와 관련 생태계 서비스도 피해를 입을 수 있다. 인간의 노출 증가는 위험 저감을 위한 조치들 가운데서도 발생한다. 표면적으로 홍수위험을 저감하기 위해 설계된 구조적 대응 및 완화 대책 (예: 제방 설치, 수로 변경, 범람원 환경의 기타 물리적 변경)이 반대 결과를 가져올 수 있다. 이것을 제방 효과 (levee effect-Kates, 1971; White, 1974), 또는 에스컬레이터 효과 (Parker, 1995), 또는 '안전 개발 패러독스(safe development paradox)' (Burby, 2006)라고 다양하게 부르는데, 범람원 제방이 홍수위험을 증가시켜 궁극적으로 홍수 피해를 증가시키는 것을 말한다. 그러한 노출에 대한 적응성 없는 정책(maladaptive policy) 대응은 구조적 홍수 방어 시설물을 제공하고, 이것은 홍수 위험이 제거되었다는 믿음을 조장한다. 이것은 차례로 더 많은 범람원의 제방 건설을 장려하는데 수방(더 낮은 설계 사양으로 건설된)이 초과됨에 따라 이러한 순환은 반복된다. 이것이 바로 적응성 없는 정책적 대응의 전형이며, 부실한 환경관리의 근본원인보다는 증상에 초점을 맞추는 대응방식이다.

범람원은 심지어 낮은 해안지대에 있는 것조차도 이익 또는 위험을 줄 잠재력이 있으며, 사회적 상호작용의 종류와 대상을 결정하는 것은 바로 사회적 상호작용의 형태이다(다음 하위절 참고). 기후변동성은 이전의 위험 기반 의사결정을 더 불확실한 조건 속으로 변화시키므로 극한현상의 발생 확률에 대한 확실성이 약해진다.

취약성의 환경적 측면도 생태계 서비스 및 생태계 기능을 조절하는 것의 역할에 대해 다룬다. 생태계 서비스와 생태계 기능은 인간의 행복, 특히 생계 특성상 이러한 서비스와 기능에 크게 의존하는 사회집단의 행복에 직접적으로 영향을 준다. 특히 개발도상국과 체제 전환국(country in transition)의 빈곤한 시골 지역사회들은 전적으로 생태계 서비스와 기능에 의존해서 생계를 충당하곤 한다. 환경 취약성과 재해 위험의 맥락에서 지역사회에 있어 이러한 생태계 서비스와 생태계 기능의 중요성은 2009년과 2011년 세계 재해위험 저감 평가 보고서와 (Global Assessment Reports on Disaster Risk Reduction (UNISDR, 2009a, 2011)) 새천년 생태계 평가 (Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005))에서도 부각되었다. 생태계 서비스

및 기능의 저하는 자연 위험 맥락과 인간의 취약성이 둘 다 악화되는 데 기여할 수 있다. 생태계 서비스 및 기능의 쇠퇴는 자연 자원 악화로 인해 생계와 소득활동의 대안이 감소한다는 측면에서 대응능력과 적응능력의 감소에 기여할 수 있다. 또한 환경 서비스 및 기능의 악화는 예를 들면 가뭄이나 염류화에 타격을 입은 시골 지역사회에서 음용수를 구하는 데 필요한 시간과 이동이 증가한다는 측면에서 환경 서비스 접근 비용도 증가시킬지 모른다.

아울러 환경 취약성은 위험현상이 발생하는 경우에 지역사회가 유일한 가용 수자원을 이용할 수 없게 되거나 토양 생산성이 크게 감소하여 작물실패 위험도 증가될 수 있다는 것 또한 의미할 수 있다. 예를 들어, Renaud (2006)는 우물 말고는 담수 자원에 접근할 대안이 전혀 없던 지역사회들에게 2004년 인도양 쓰나미가 덮친 후 우물들이 염류화 되어 막대한 부정적 영향을 끼친 것을 강조하였다.

2.5.1.1. 물리적 측면

환경 측면 내에서 물리적 측면이란 인간-환경 상호작용에서 장소에 특정한 맥락과 (Smithers and Smit, 1997) 물질 세계 (예: 건축된 구조물)을 말한다.

인간이 위험에 물리적으로 노출되는 것은 부분적으로는 위험을 입기 쉬운 지형이 제공하는 상쇄적 이득을 위해 그러한 지형에 정착하는 패턴에 의해 형성된다(UNISDR, 2004). 나아가 기후변화 맥락에서 물리적 노출은 홍수, 가뭄 피해 지역, 염류화 영향을 받은 삼각주 같은 자연 위험의 공간적 확대로 인해 많은 지역에서 증가 중이다. 이것이 그러한 장소의 거주자들을 그 자체적으로 취약하게 만들지는 않는다. 그들은 극한현상의 영향에 저항할 능력이 있을 수도 있기 때문이다. 이것이 노출과 취약성의 본질적 차이다. 취약성의 물리적 측면은 극한적인 물리적 또는 자연적 현상과 취약한 인간집단 간의 관련성을 인식하는 것에서부터 시작한다(Westgate and O'Keefe, 1976). 물리적 취약성은 지리(geography), 장소(location), 공간(place) (Wilbanks, 2003); 정착 패턴; 위험을 입기 쉬운 지역에 위치하거나 피해 내성 내지 민감성이 결핍된 기반시설(Wilches-Chaux, 1989)을 비롯한 물리적 구조물(Shah, 1995; UNISDR, 2004) 측면으로 구성된다. Cutter (1996)의 '공간의 위험성(hazards of place)' 취약성 모델은 시간 차원을 말한다(2.5.4.2절 참고). 이것은 공간적 취약성(place vulnerability)의 역동적인 특징을 수용하는 데 있어서 보다 미묘한 차이가 있는 접근법에 대하여 논의한다.

2.5.1.2. 지리, 장소, 공간

노출과 취약성에 대한 환경 측면의 전체적인 추세는 지리, 장소, 공간과 관련 있기 때문에 3장과 4장에서 다루고, 이 절에서는 보다 개념적인 측면들을 다룬다.

노출과 취약성은 개발도상국과 선진국 간에 상당한 차이가 있다. 저개발국과 고도 개발국에서 해마다 위험에 노출되는 사람들의 수 (평균)는 비슷할 수 있지만 (각각 11%와 15%), 평균 사망자 수는 매우 다르다(각각 53%, 1%) (Peduzzi, 2006).

개발도상국들은 더 큰 영향에 직면하고, 특히 기온, 수자원, 농업 생산량, 보건, 생물다양성의 변화에 쉽게 적응하기 어려운 가장 취약한 인구 수가 가장 많은 것으로 간주된다(IPCC, 2001; McCarthy 등, 2001; Beg 등, 2002).

군소도서 지역의 개발도상국 중 상당수는 최저개발국들이기도 하며 극한기후를 포함해 외부 충격에 매우 취약한 것으로 간주된다(UN/DESA, 2010; Chapter 3). 기후변화에 대한 적응 노력은 착수되었으나 진도는 미진한 상태이며 이행보다는 대중인식, 연구, 정책 개발에 초점을 맞추고 있다(UN/DESA, 2010).

선진국들 역시 취약하고 지리적으로 뚜렷한 수준의 취약성을 갖고 있지만 생물물리학 시스템 및 방대한 경제 부문에 대한 직접적 영향에 두드러지게 초점을 두고 있어 그 취약성이 가려져 있다. 그러나 강건해 보이는 선진국 내에서 간접적 시너지 효과, 차등적 취약성, 그리고 적응이 상대적으로 비교적 쉽다는 가정은 예측되지 않은 취약성의 발생을 초래할 수 있다(O'Brien 등, 2006). 따라서 개발 자체가 '취약성'을 완전히 방지함을 의미하는 것은 아니다. 개발은 한편으로는 생태계 복원력을 갉아먹을 수 있으나 개발이 공정하게 이루어진다면 사회적 복원력을 전반적으로 강화시킬 수도 있다(Barnett, 2001).

지리의 중요성은 Dilley 등의 '재해 빈발지역(disaster hotspot)' 분석에서 강조되었다(2005). 다양한 지구물리 위험으로부터 위험에 처한 지역들을 식별하기 위해 위험 노출 (현상 발생률)을 사망률과 경제손실로 측정된 역사상의 취약성과 결부시킨다. 홍수 위험은 많은 지역에서 광범위한 분포를 보이는 반면에 가뭄과 특히 저기압으로 인한 위험은 뚜렷한 공간적 분포를 보이며, 후자의 경우 저기압 경로 및 산사태의 기후학적 발생패턴과 더 밀접한 관계가 있다.

2.5.1.3. 정착 패턴과 개발 방향

도시화(Hardoy and Pandiella, 2009)와 농촌과(Scoones, 1998; Nelson 등, 2010a,b) 연관된 특정한 노출/취약성의 규모가 존재한다. 전 지구적으로 도시화 추세가 증가하고 있고, 수많은 사람들의 노출과 취약성이 증가할 잠재력 때문에 아래 설명들은 주로 도시화에 초점을 맞춘다.

2.5.1.3.1. 도시 환경

도시 가속화는 인간의 정착에 있어 매우 중요한 추세이며, 극한현상에 대한 노출과 취약성을 고려하는 것과 긴밀한 관계가 있다. 1950년과 2011년 사이에 도시 인구가 거의 5배 증가하였고 그중 대다수는 개발이 덜 된 지역들에서 증가했다(UN-HABITAT, 2011).

위험 지역에서의 급속하고 무분별한 도시화 과정은 자연재해 취약성을 악화시킨다(높은 신뢰수준; Sanchez-Rodriguez 등, 2005). 인구밀도가 높은 메가시티의 개발 (Mitchell, 1999a,b; Guha-Sapir 등, 2004)은 다른 무엇

보다도 부실한 기반 시설 개발(Uitto, 1998) 그리고 자연적, 기술적, 사회적 위험들이 교차되면서 생기는 시너지 효과 (Mitchell, 1999a)를 통해 더 많은 사람들을 노출시키고 취약성을 증가시켰다. Lavell (1996)은 재해 위험과 취약성을 증가시키거나 그것들에 기여하고 기후변화와 관련 있는 여덟 가지의 도시 상황을 규명하였다.

1) 도시와 그 부분들의 상호의존성이 가진 시너지
2) 도시의 교통, 에너지, 배수 시스템에 있어서의 잉여 분량 부족
3) 주요 기능들의 지역적 밀집도와 건물 및 인구의 밀도
4) 잘못된 위치 선정
5) 사회적-공간적 분리
6) 환경 악화
7) 제도적 조율의 부재
8) 통일된 기능 시스템으로서 도시와 이행의 조율을 다수 방해하는 도시행정 경계 간의 비교.

도시 지역의 복잡성은 사람, 기반시설, 제도, 환경 과정 측면에서 잠재적 관리 문제를 만든다(Ruth and Coelho, 2007). 이중 어떠한 것의 변경이나 추세, 또는 도시 시스템의 환경 거버넌스 (Freudenberg 등, 2008)나 보험 활용 (McLemand and Smit 2006; Lamond 등, 2009) 같은 구성요소들의 변경 또는 추세는 극한기후현상에 대한 노출과 취약성을 상당히 증가시킬 잠재력이 있다.

재해 취약성의 정도가 상이한 집단들의 양극화와 공간적 분리가 점점 더 심해지는 것이 새로운 문제로 확인되었다(Mitchell, 1999b). 상당한 지역적 변동성이 존재하는 미국의 경우, 사회 취약성 지수(Social Vulnerability Index)로 표현되는 사회적 취약성을 꾸준히 증가시키는 것으로 밝혀진 구성요소는 밀도 (도시화), 인종/민족(아래 참고) 및 사회경제적 지위이며, 건설된 환경의 개발 수준, 나이, 인종/민족, 성별은 미국의 카운티(county)에서 사회적 취약성에 있어서 변동성의 거의 절반을 차지한다(Cutter and Finch, 2008). 사회적 고립은 특히 개인 특징 (사례연구 9.2.1 참고)이 기타 사회적 소외(marginalization) 과정과 교차될 때 취약성의 발생에서 (또는 역으로 취약성 저감에서) 상당한 역할을 한다.

급속히 성장하는 도시 인구는 개발도상국 정부가 필수 도시 기반시설을 제공하지 못함으로 인해 또는 시민들이 필수 서비스의 비용을 지불하지 못함으로 인해 극한현상의 영향에 대처할 개발도상국의 능력에 영향을 줄 수 있다(UN-HABITAT, 2009). 그러나 기존 기반시설 유지관리 필요성과 잠재적 극한기후를 만날 기반시설의 적절한 지속적 적응에 충분히 신경쓰지 않았다는 보다 일반적인 우려가 있다(Auld and Maciver, 2007). 메가시티는 얼마 전부터 위험의 증가와 관련이 있지만 (Mitchell, 1999a), 소도시와 시골 지역사회는 대도시나 메가시티보다 잠재적으로 재해에 더 취약하다. 메가시티는 위험과 재해를 처리할 상당한 자원을 가졌지만 (Cross, 2001) 작은 규모의 주거지는 정부의 예산 지출에서 우선순위가 낮기 때문이다.

이미 조성된 환경은 극한기후에 의한 영향을 방지할 수 있고 또한 극한기후의 대상이 될 수 있다. 부적절한 구조물은 거주자들을 희생양으로 만들지만 적절한 구조물은 인간의 취약성을 저감할 수 있다. 안전하지 않은 학교 (UNISDR, 2009a), 병원과 보건시설 (PAHO/World Bank, 2004), 가정 내 구조물 (Hewitt, 1997), 기반시설 (Freeman and Warner 2001)에서 사망자 및 부상자 수가 계속 증가한다는 것은 더 넓게는 건설된 환경의 많은 부분이 취약하다는 것을 암시한다. 보다 가변적이며 잠재적으로 더 극한적인 현상을 동반한 기후 변화 속에서는 건축된 구조물들의 보호능력에 대한 기존의 확실성은 약화된다.

임시 거주지 또는 빈민가는 대체 장소가 없기 때문에 또는 하천 유역에서 가까운 지역이나 해안에 있는 지역이 사유지보다 접근이 쉬운 공유지라는 사실 때문에 종종 도시 내 불모지 또는 주변부에 위치하므로 임시 거주지 또는 빈민가의 개수 및 범위의 증가 (UN-HABITAT, 2003; Utzinger and Keiser, 2006)는 중요한 문제이다. 위치의 특성 상 빈민가는 산사태(Nathan, 2008)와 홍수 (Bertoni, 2006; Colten, 2006; Aragon-Durand, 2007; Douglas 등, 2008; Zahran 등, 2008)와 같은 수문기상 관련 위험에 자주 노출된다. 임시 거주지에서는 열악한 보건(Sclar 등, 2005), 생계 불안(Kantor and Nair, 2005), 서비스 제공 및 기본 수요(예: 깨끗한 물, 바람직한 거버넌스)에 대한 접근방법 부재, 그리고 개발 및 적응 계획을 포괄적, 예방적, 동반적으로 조율할 공식 주체의 능력 감소 (Birkmann 등, 2010b) 때문에 취약성이 악화될 수 있다. 나이지리아의 라고스(Lagos) (Adelekan, 2010)와 방글라데시의 치타공(Chittagong) (Rahman 등, 2010)은 슬럼 지역의 상승 추세가 빈민가 거주자들의 홍수에 대한 노출을 증가시킨 좋은 예이다. 급속히 성장하는 임시적이고 빈곤한 도시 지역이 종종 위험 노출의 빈발지역이라는 사실에도 불구하고, 많은 장소에서 도시 빈곤층은 환경조건 변화에 대처하는 데 있어 그들의 취약성을 줄일 다소 성공적인 대응 및 적응 전략을 개발해왔다(Birkmann 등, 2010b).

세계적으로, 도시 지역의 범람원과 긴 해안지역(coastal strip)으로의 확장에 대한 압박은 강기슭과 해안의 홍수위험에 노출되는 인구를 증가시켰다 (McGranahan 등, 2007; Nicholls 등, 2011). 예를 들어, 홍수가 나기 쉬운 지역에 집약적이고 무분별하게 생겨난 거주지는 아프리카에서 지난 수 십 년 간 홍수위험 증가에 큰 역할을 한 것으로 판단된다(Di Baldassarre 등, 2010). 도시지역이 팽창함에 따라 도시의 열은 관리 및 보건과 관련된 문제가 되었다(2.5.2.3절, 3장, 5장, 9장 참고) 일부 도시에서는 내부 및 외부 이주에 의해 유발된 비계획 도시화가 임시 거주지를 팽창시키는 등 계획 및 비계획 도시화를 비롯한 다양한 이유로 최근에 녹색지대가 감소하는 추세이다 (Boentje and Blinnikov, 2007; Sanli 등, 2008; Rafiee 등, 2009). 녹색 공간의 그러한 변화는 도시 지역에서 유출수(runoff) 개선 감소, 도시열섬 완화효과, 생물다양성 변화 등을 통해 극한기후 현상에 대한 노출을 증가시킬 수 있다(Wilby and Perry, 2006).

메가시티는 한동안 위험 증가와 연관 있었지만 (Mitchell, 1999a), 소도시와 농촌 지역사회(다음 절 참고)는 대도시나 메가시티보다 잠재적으로 위험에 더 취약할 수 있다. 메가시티는 위험과 재해를 다룰 상당한 자원을 가지고 있지만(Cross, 2001) 규모가 보다 작은 거주지들은 종종 정부의 예산지출에서 우선순위가 낮기 때문이다.

도시화 자체가 언제나 취약성 증가의 동인인 것은 아니며, 그보다는 도시화의 유형과 도시화가 일어나는 정황이 사람들의 취약성 증가 또는 저감에 도

시화가 기여하는지 여부를 결정한다.

2.5.1.3.2. 농촌 환경

대다수의 농촌 생계는 환경과 자연자원 기반에 매우 의존하고 있으며 (Scoones, 1998), 이에 극한기후 현상은 농업분야에 심각하게 영향을 줄 수 있다(Saldafia-Zorrilla, 2007). 그러나 도시와 농촌이 지역적으로 구분되어 있음에도 불구하고 서로 밀접한 관계에 있다. 농촌지역 거주자들은 종종 최종 이주 목표지로서 고용, 보건, 응급 서비스 측면에서 도시에 의존한다. 도시는 식량, 물, 노동력, 생태계 서비스, 기타 자원을 농촌에 의존한다. 이들 모두(그리고 그 외의 것도) 기후 관련 변동성과, 기후변화에 관련된 것들의 변화를 비롯한 극한현상에 의해 영향 받을 수 있다. 어느 경우든 가계의 생계 안정에 영향을 주는 외인성 요인들을 파악할 필요가 있다.

Eakin(2005)의 멕시코 시골 지역 대상의 실험은 위험한 결과를 증폭 또는 완화하는 상호작용들(예: 신자유주의와 농업시장 개방 간의 상호작용, 극한기후의 농업 영향)에 대한 경험적 견해를 제공한다. 이에 따르면 농가의 의사결정에 가장 영향을 주는 환경위험에 대한 경제적 불확실성을 지적하고 있다. 그러나 재해 영향과 농촌인구의 궁핍함의 증가 사이에 직접적이고 불가피한 연관성은 없다. Jakobsen(2009)은 니카라과에서 허리케인 미치(Mitch)가 지나간 후에 가구들이 가난할 확률은 피해 지역에 사는지 여부가 아니라 농사 이외의 소득, 가구 규모, 신용거래 접근성 같은 요인들에 의해 영향 받았다는 것을 알게 되었다. 허리케인 미치 사후대응에 성공함으로써 가난한 가구들은 자산을 대부분 회복하였고 극한 빈곤상태로 빠져드는 것을 막을 수 있었다. 그러나 장기 적응전략들은 그들을 빈곤층의 범주로부터 벗어나게 해주었을지 모르지만 대다수를 피해갔고 허리케인 미치를 경험한 것과 무관하였다. 따라서 빈곤한(농촌) 가구들은 재해의 영향을 상대적으로 단기간에 대처할 수 있지만 환경, 사회, 경제, 정치적 요인들에서 기인하는 그들의 취약성 수준은 빈곤의 늪에서 빠져나올 수 없는 또는 발전 목표를 완전히 회복할 수 없는 수준이다.

도시 환경과 농촌 환경에서 극한기후에 대한 노출과 취약성에 대한 자료를 평가할 때 간단하고 결정론적인 관계는 없다는 것은 분명하다. 농촌과 도시 중 어디가 더 취약한지(또는 더 복원력 있는지) 보여주는 것은 불가능하다.

두 배경에는 긍정적 또는 부정적 적응 프로세스와 결과에 의해 기후위험이 완화 또는 악화될 수 있다는 잠재력이 있다.

2.5.2. 사회적 측면

사회적 측면은 다각적이며 분야를 가리지 않는데, 이는 사회 조직의 측면 그리고 측면보다는 집단 측면에 초점을 맞춘다. 그러나 '개인'의 측면을 다룬 서술자를 통해 분석 규모 및 단위의 문제를 규명하는 평가들도 있다(Adger and Kelly, 1999; K. O'Brien 등, 2008). 개인의 관점은 가족 붕괴 및 사망에 관련된 재해를 포함해 재해 도중 및 이후의 심리적 트라우마를 고려하는 데도 유용하다(예: Few, 2007). 사회 차원으로는 인구통계, 이주(migration), 이동(displacement), 사회집단, 교육, 보건과 행복, 문화, 제도, 거버넌스의 측면이 포함된다.

2.5.2.1. 인구통계학

어떠한 인구집단은 기후변동성과 극한기후에 다른 집단보다 더 취약할 수도 있다. 예를 들어, 아동과 노인들은 극한 더위에 다른 인구집단보다 더 취약하다(Staffogia 등, 2006; Gosling 등, 2009). 국가 규모에서 급속히 노령화되는 지역사회 인구는 취약성의 사회적 결정요인인 보건, 사회적 고립, 경제성장, 가족 구성, 이동성에 영향을 끼친다. 그러나 아래에서 (사회집단 절에서) 고찰하듯이, 고정적인 측면에서 취약집단 체크리스트는 사람들의 변화 요인에 대한 다양성이나 역동성을 반영하지 않는다.

2.5.2.1.1. 이주와 이동

인구변화 추세의 구성요소 중 하나인 이주 추세는 극한기후 현상 빈도의 변화 때문에 상승할 잠재력이 있다. UN 인도지원 조정국(United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs)과 이동모니터링 센터(Internal Displacement Monitoring Centre)는 기후 관련 재해의 급속한 진행 때문에 2008년에 약 2,000만 명이 강제이동(displace) 또는 대피하였다고 추정하였다(OCHA/IDM(, 2009). 지난 30년 동안, 가뭄(이전에는 포함하지 않았던 느린 진행 현상) 피해인구는 폭풍 피해인구의 2배 이상이었다(각각 16억 명과 7억 1,800만 명) (10M, 2009). 그러나 이주의 다중원인적 특성 때문에 기후변동성과 이주 변화 사이의 관계는 환경 피난민과 기후 피난민이라는 용어들처럼 논박 중이다(Myers, 1993; Castles 2002; IOM, 2009). 1990년과 2009년 사이에 수문기상 재해 건수의 증가에도 불구하고 국제 이주 기구(International Organization on Migration)는 그것이 국제 이주흐름에 중대한 영향을 끼친다고 보고한 바가 없다. 이동(displacement)은 일시적이고 종종 한 지역 내로 국한되며 이동한 개인들은 이주할 재정 자원을 보유하지 않기 때문이다(IOM, 2009).

극한기후 현상과 이주의 체계적인 추세가 있다는 분명한 증거는 없지만 극한 수문기상 현상이 이동에 미치는 영향에 대한 분명한 예는 존재한다. 예를 들면 모잠비크에서는 홍수 때문에 2001년에 200,000명, 2007년에 163,000명, 2008년에 102,000명이 이동했다(INGC, 2009; IOM, 2009). 니제르에서는 가뭄과 사막화 추세와 관련한 곳곳의 변화로 인해 사람들이 국내에서 대거 이주하였다(Afifi, 2011). 메콩강 삼각주 지역에서는 홍수 패턴의 변화가 이주에 영향을 미친 것으로 나타났다(White, 2002; IOM, 2009). 허리케인 카트리나 때는 사회적 취약성, 인종 및 계층이 해외 이주(outward migration)와 귀환 이주(return migration)에서 중요한 역할을 하였고 (Elliott and Pais, 2006; Landry 등, 2007; Myers 등, 2008), 1백만 명 이상이 이동하였다. 이동 효과 외에도, 집단 이주자들은 언어 문제로 극한현상 관련 정보를 이해할 수 없고 일자리와 주택의 양극화, 당국에 대한 불신 때문에 극한현상에 대한 취약성이 증가한다는 증거가 있다(Enarson and Morrow, 2000; Donner and Rodriguez, 2008).

이주는 취약성의 조건이자 취약성에 대한 대응일 수 있다. 특히 갈등을 통해

생긴 정치적 취약성은 사람들을 모국에서 떠나게 만들 수 있다. 이주는 경제상 환경상의 이유로 이동한 사람들과 점점 더 관련이 깊어지고 있으며, 선진국은 물론 개발도상국에서도 극한현상의 결과로 외국 이주가 아니라 국내에서 다른 곳으로 이사간 사람들도 가리킬 수 있다(예: Myers 등, 2008).

기후변화로 인한 강제 이동에 대한 자료는 불완전하지만 기후변화로 인한 많은 결과는 영향 받은 사람들에게는 재해로 보이고 그렇게 느껴질 것이다(Oliver-Smith, 2009). 재해에 영향 받은 사람들에게 재해 이후의 이동과 재정착은 그들의 삶에서 종종 2차 재해로 나타날 수 있다. 빈곤화 위기와 재건(Impoverishment Risks and Reconstruction) 모델의 일부로서, Cernea(1996)는 사람들이 이동으로 인해 처하게 되는 다음 8가지 기본 위험을 설명하였다. 토지의 무소유(landlessness), 무직(joblessness), 무주택(homelessness), 소외(marginalization), 식량 불안(food insecurity), 발병률 증가(increased morbidity), 공통 재산자원에 대한 접근 상실(loss of access to common property resources), 사회적 단절(social disarticulation). 사람들은 기존 환경을 어쩔 수 없이 떠나야 할 때 개인 그리고 지역사회로서 평생 의존해온 물질적 문화적 자원 기반과 멀어지게 된다(Altman and Low, 1992). 이동 및 재정착과 가장 연관 있는 물질적 상실은 주택과 자원에 대한 접근 상실이다. 이동한 사람들은 종종 토지, 공통 재산(물, 산림 등), 또는 도시 시장과 고객 등 그들의 생계원으로부터 멀어진다(Koenig, 2009). 재해와 이동은 한 때는 문화적 정체성의 주요 특징이었을지도 모르는 환경적 특징을 단절시킬 수 있다(Oliver-Smith, 2006). 어떠한 집단에게나 이동은 이주자에게 슬픔을 안겨주며, 특히 토착민들에게는 심각한 영향을 줄 수 있다. 환경과 토지 애착은 토착 사회의 생존과 뚜렷한 문화적 정체성에서 필수적인 요소로 간주된다(Colchester, 2000). 이동하여 재정착 하는 과정은 가난한 사람들이 특히 힘든 시기에 자원에 접근하는 데 의존하는 사회적 관계망을 교란하고 파괴하는 것으로 보인다(Cernea, 1996; Scudder, 2005).

이주는 환경 (및 기타) 변화에 대응하는 오래된 대응 메커니즘이며, 이주자들이나 그들을 받아들이는 지역사회에게 불가피하게 부정적인 결과를 낳지는 않는다(Barnett and Webber, 2009). 기후변동성은 스트레스 받은 사람들에게 이동을 초래할 것이다. 하지만 영향에 또는 영향 받은 사람들의 수에 직접적 인과관계를 부여할 능력에 대한 신뢰수준은 낮다.

2.5.2.1.2. 사회 집단

사회 집단들의 차등적 취약성에 대한 연구의 증거는 광범위하며, 구분이 가능한 소외된 인구에 대한 기후변화의 불균형적 효과에 대한 우려를 높인다(Bohle 등, 1994; Kasperson and Kasperson, 2001; Thomalla 등, 2006). 극한 현상에 대한 노출과 취약성은 집단과 조건에 따라, 예를 들면 사회적 취약성의 가장 일반적인 특징인(Cutter and Finch, 2008) 인종/민족(Fothergill 등, 1999; Elliott and Pais, 2006; Cutter and Finch, 2008), 사회경제적 계층 및 계급 (O'Keefe 등, 1976; Peacock 등, 1997; Ray-Bennett, 2009), 성별 (Sen, 1981), 나이 (노인과 아동 모두; Jabry, 2003; Wisner, 2006b; Bartlett, 2008), 이주, 주택 보유(세입자이든 소유자이든)에 따라 차등적이라고 확인되었다. Morrow (1999)는 이 목록을 확장하고 정리하여 집단거주 시설 거주자; 소수 민족 (언어상으로); 최근 이주자 (이민자 포함); 관광객과 단기 여행객; 신체적 또는 정신적 장애인 (McGuire 등, 2007; Peek and Stough, 2010 참고); 대가족; 세입자; 아동과 청소년 비율이 높은 가구; 빈곤 가정; 무주택자 (Wisner, 1998 참고); 여성가장 가구를 포함시킨다. 일반적으로 취약성 상태는 특정 규모에서 특정 인구로 정의한다; 이러한 종합적(일반적) 정의에 대해 학자간 의견이 일치하지 않는 경우도 있고, 신중한 해석을 요한다(Adger and Kelly, 1999).

연구에서 가장 큰 증거 중 하나이며 여타 무수한 소외집단이 극한현상에 차등적으로 영향 받는 방식의 한 전형일 수 있는 증거는 성별과 재해에 관한 것과 특히 여성에 대한 것이었다(예: Neal and Phillips, 1990; Enarson and Morrow, 1998; Neumayer and Plumper, 2007). 개발 분야의 성별 우려사항을 더 오래 인정해왔다는 점을 고려했을 때 이러한 문헌체계는 특히 선진국의 맥락에서 비교적 최근 것이다(Fordham, 1998). 자체 정의한 성별 집단을 포함해 특정 성별 및 기후변화 관련성은 더 최근에 밝혀졌다(예: Masika, 2002; Pincha and Krishna, 2009). 연구 증거는 성별에 따른 취약성(gendered vulnerability)의 사회 구조에서 여성과 소녀들이 종종(항상은 아니더라도) 재해에서 사망할 위험이 더 높으며 전형적으로 의사결정 포럼에서 소외되고 재해 사후 복구 및 복구 노력에서 차별되고 불리하다는 것을 강조한다(Houghton, 2009; Sultana, 2010).

여성 또는 그 밖에 사회적으로 소외되거나 배제된 집단은 생물학적인 측면 때문에 취약한 것이 아니라(특별 상황은 예외) 사회적 구조 및 역할에 의해서 취약해진다. 예를 들어, 2004년 인도양 쓰나미 때 남성들은 배를 타고 바다에 나가 어부 역할을 하고 있었고 해안가에서 어획물을 손질하고 판매를 하고 있던 여성들보다 덜 노출되었다. 그러나 여성들은 그저 사는 곳와 역할에 의해 취약해지는 것이 아니라 소녀들에게 생존 훈련(예: 수영이나 나무 타기)을 장려하지 않고 육아 및 부모 수발 부담의 대부분을 맡기는 사회 규범에 의해 취약해진다. 따라서 아이를 데리고 타인을 돌보는 여성들에게 탈출은 더욱 어려운 일이었다(Doocy 등, 2007).

성별 및 재해/기후변화 관련 문헌에서도 복원력/능력/역량을 취약성과 나란히 인식해 왔다. 취약성 접근법의 이러한 정교함은 이 확인된 집단들의 취약성은 변경될 수 없는, 또는 종합적인 조건이 아니라는 것을 명확히 해준다. 취약성의 '꼬리표'는 수동성과 무기력(helplessness)함을 강화할 수 있는데 이것들은 극한현상 대응 및 적응에 있어서 사회적 소외 집단들의 중요하고 적극적인 기여를 어렵게 만든다. 이에 관한 예가 Box 2-2에 나와 있다.

2.5.2.2. 교육

교육 차원은 교육건물 구조의 취약성, 교육 접근성 관련 문제, 재해 위험 교육 및 기후 적응 정보 및 지식의 공유와 접근성까지 다양하다(Wisner, 2006b). 효고 행동 계획 2005-2015(Hyogo Framework for Action 2005-2015)의 우선사항 3(Priority 3)은 모든 수준에서 '안전과 복원력을 위한 문화'를 구축하기 위해 지식, 혁신, 교육을 사용하기를 권고한다(UNISDR, 2007a). 관련 정보를 잘 숙지했고 동기가 부여된 인구는 재해 위험 저감에 이를 수 있으나 그러자면 위험, 취약성 및 능력에 대한 지식과 정보의 수집 및 보급이 필요하다. 그러나 "이행을 결정하는 것은 정보 그 자체가 아니라 사람들이 그것

Box 2-2 | 재해 위험 저감, 기후 적응 및 복원력 구축의 통합 ; 온두라스의 가리푸나족(Garifuna) 여성들

온두라스의 가리푸나족 여성들은 다양한 취약성의 특징을 보인다(Brondo, 2007). 그들은 전세계적으로 가부장제 구조에 의해 종종 취약해지는 성별인 여성이었고, 많은 위험에 노출된 개발도상국 온두라스 출신이다. 그들의 아프리카 노예 출신의 민족에 속한다. 그리고 그들은 대부분의 경제활동은 생계만 유지할 정도이며, 교육, 보건, 기타 자원이 부족하다. 그러나 이러한 취약성 요인에도 불구하고, 가리푸나족 여성들은 그들의 생계 기회의 보호와 개발을 통해 그들 지역사회의 위험 노출과 재해 취약성을 줄이도록 구조화 하였다(Fordham 등, 2011).

이 여성들은 온두라스 가리푸나 비상 위원회(Cornite de Emergencia Garifuna de Honduras; Garifuna Emergency Committee of Honduras)를 이끄는데, 이 위원회는 아프리카 토착 가리푸나족(Afro-Indigenous Garifuna)의 풀뿌리 지역사회 기반의 단체이며 1998년 허리케인 '미치' 이후에 개발되었다. 미치가 지나간 후에 외부 지원이 없어서 비상 위원회의 여성들은 스스로 조직을 구성하여 수백 채의 집, 사업체, 공공건물을 수리했고, 그 과정에서 여성들은 여성의 전통적인 업무가 아닌 일에 있어서의 역할이 강화되었고 훈련도 받았다. 그들은 주택들을 더 안전한 지역으로 이전하기 위해 토지를 사자는 캠페인을 벌였고, 그 과정에서 가장 가난한 가구들이 재건 과정에 참여하였다. 자마이카의 일반 여성들에게서 취약성과 능력에 대해 훈련을 받은 후 그들은 차례로 가리푸나 5개 지역에서 훈련을 실시할 교관 60명을 배출하였다.

가리푸나족 여성들은 전통 뿌리작물의 생산을 부활 및 개선하고, 전통적 토양보존 방법을 확립하고, 유기성 퇴비화 및 살충제 사용에 대한 훈련을 실시하고, 최초의 가리푸나 농부들의 시장을 조성함으로써 식량 보안을 보장하기 위한 생계 기반의 활동에 초점을 맞추었다. 이러한 공동의 노력의 결과 오늘날 16 개 마을이 농기구 은행을 설립하였고 5개 마을은 종자 은행을 설립하였다. 그들은 재조림, 약초 및 원예식물 재배, 해안을 따라 야생 과일나무 식목을 통해 침식을 방지하고, 위험과 예측할 수 없을 정도로 변동하는 기후에 대한 취약성을 저감시키고 있다.

가리푸나족 여성들의 접근법은 생계에 기반한 복구, 재해 위험 저감, 기후변화 적응을 결합한 것이며 폭넓은 이득을 주고 있다. 그들은 그들의 자산 기반 (인적, 사회적, 물리적, 자연적, 재정적, 정치적)을 강화하였고, 그들 지역사회의 영양, 소득, 자연자원, 위험관리를 개선하였다. 그들은 지지와 지식 교환을 위해 지방, 지역, 국제 네트워크와 계속 협력한다. 이 여성들과 지역사회들은 여전히 위험에 처해 있지만 (Drusine, 2005), 이 전략들은 그들의 사회경제적 취약성과 외부원조에 대한 의존을 줄여준다(Fordham 등, 2011).

을 그들의 경험, 신념, 기대치 속에서 어떻게 해석하는가 이다. 위험과 위험에 대한 인식은 문화적, 사회적으로 건설되고 사회 집단은 잠재적으로 위험한 상황에 대하여 서로 다른 의미를 구축한다" (McIvor and Paton, 2007). 지식과 정보 외에, 아동과 성인을 위한 명료한 환경교육 프로그램도 극한현상의 위험, 취약성 및 노출에 대한 대중의 이해에 득이 될 수 있다(UNISDR, 2004; Kobori, 2009; Nomura, 2009; Patterson 등, 2009; Kuhar 등, 2010), 왜냐하면 그러한 교육 프로그램은 생물학적 다양성과 생태계 서비스를 감시하는 데 있어 그들의 역할을 통해 복원력 구축을 촉진하고, 자원관리에서 다양한 형태의 지식과 참여 프로세스를 통합할 기회를 제공하며 (Krasny and Tidball, 2009), 지속 가능한 개발을 향한 이행을 촉진하기 때문이다(Waktola, 2009; Breiting and Wikenberg, 2010).

교육 기반시설이 극한현상을 이겨내지 못함으로 인해 많은 인명 피해가 있었다. 홍수가 자주 재발하는 곳에 있는 학교는 홍수에 노출되거나 취약할 수 있다. 예를 들어, 케냐 서부의 니안도 강(Nyando River) 유역에 있는 초등학교들의 홍수 취약성에 대한 조사에 의하면 40%는 취약하고, 48%는 약간 취약하고, 12%는 취약하지 않은 것으로 나타났다. 취약성은 자금 부재, 부실한 건물 표준, 지역의 지형, 토양 유형, 부적절한 배수 때문이었다(Ochola 등, 2010). 교육 기반시설의 안전성 개선은 여러 가지 이득을 줄 수 있다. 예를 들어, 마다가스카르 정부(Malagasy Government)는 열대저기압의 위험을 저감하기 위해 더 안전한 학교 건설 및 개보수를 포함한 개발 기금 IV (Development Intervention Fund IV) 프로젝트를 시작하였다 그렇게 하면서 지역사회 내에서 재해 문제에 대한 인식과 이해가 증가하였다(Madagascar Development Intervention Fund, 2007).

극한현상의 영향으로 부모는 자녀에게 교육을 제공할 여력이 제한될 수 있고 또는 기본적인 필요성을 충족하기 위해 자녀가(특히 딸들에 해당. 딸의 교육 기회는 전형적으로 아들의 교육 기회보다 우선순위가 낮다) 노동을 해야 할 수도 있다(UNDP, 2004; UNICEF, 2009).

조기 경보, 대응 전략, 대응 및 적응 메커니즘, 과학기술 및 인간적, 사회적, 재정적 자본에 관한 정보 접근성은 취약성 저감과 복원력 증대에 결정적이다. 다양한 요인들이 경제적 지위, 인종 (Spence 등, 2007), 신뢰도 (Longstaff and Yang, 2008), 소셜 네트워크에 소속되는 것 (Peguero, 2006) 등을 포함한 정보에 대한 접근성을 통제하거나 좌우할 수 있다. 그러나 점점 증가하는 극한현상 대비 및 대응에 대한 정보가 자주 인터넷을 통해 제공됨에 따라 (9장 참고) 취약성의 발생 추세에 영향을 줄 수 있는 디지털 불평등이 증가한다는 증거가 나타나고 있으므로 (Rideout, 2003) 정보 전달 또는 교환 방식

을 고려해야 한다. 자연 위험을 경험한(그래서 그 경험을 통해 직접적으로 얻은 정보와 경험을 가졌을지도 모르는) 사람은 그렇지 않은 이보다 일반적으로 더 잘 대비되어 있다는 증거가 한동안 존재하였다(Kates, 1971). 그러나 '경험의 감옥'(prison of experience – Kates, 1962)이라는 것이 있으니 이것이 꼭 보호 행동으로 해석되는 것은 아니다. 경험의 감옥에 있는 사람들의 대응 행동은 현재의 위험에 대한 객관적 평가에 기초하지 않고 과거 경험에 의해 결정된다. 기후 관련 극한현상의 불확실한 정황에서, 이것은 사람들이 위험에 관하여 적절히 교육되지 않았다는 것을 의미할 수도 있다.

2.5.2.3. 보건과 복지

보건 차원의 취약성은 극한현상이 상이한 지역의 상이한 사회집단에게 끼치는 차등적인 신체적, 심리적, 정신적 보건 효과를 포함한다(McMichael 등, 2003; van Lieshout 등, 2004; Haines 등, 2006; Few, 2007; Costello 등, 2009).

또한 제도적 측면과의 관계에서, 보건 서비스 제공 (예: 환경 보건 및 공중 보건 문제, 기반시설과 조건; Street 등, 2005)도 포함하는데 이것은 극한현상 (예: 병원/보건센터 의 부재; 폭우와 홍수 때문에 보건서비스 접근 불능)에 의해 영향 받을 수 있다. 취약성은 소통, 의료, 독립성 유지, 감독, 및 교통과 관련된 기능성 측면에서도 이해될 수 있다. 아동, 고령자, 임신부, 그리고 장애인을 비롯해 추가적 대응 지원이 필요할 수 있는 사람들 외에도, 요양시설에 입소한 사람, 다양한 문화권 출신의 사람, 영어 능력이 부족하거나 영어 이외 언어를 사용하는 사람, 교통 접근 수단이 없는 사람, 만성 질환이 있는 사람, 약 의존도가 있는 사람 등도 보건 정황에서 취약하다고 간주될 수 있다.

2차적 효과 때문에 보건 상태 (사망률 포함)의 원인을 바로 극한현상으로 보기는 어렵기 때문에 불행히도 보건 차원에서 재해는 측정하기가 어렵다. 또한 일부 효과는 지연되어 나타나기도 하는데 이것 역시 원인규명을 어렵게 만든다(Bennet, 1970; Hales 등, 2003). 위기 상황에서 역학 데이터를 수집하기 어려운 것도 그 요인 중 하나인데 특히 저소득 국가에서 더 잘 드러난다. 극한기후현상의 외상 후 스트레스 장애와 기후변화의 심리적 측면을 이해하는 데도 많은 문제가 있다(Amstadter 등, 2009; Kar, 2009; Mohay and Forbes, 2009; Furr 등, 2010; Doherty and Clayton, 2011).

보건 취약성은 개인이나 지역사회가 극한 기상현상에서 어느 정도로 악영향을 경험할 수 있는가를 결정하는 각종 위험 및 보호 요인들의 집합체이다(Balbus and Malina, 2009). 취약성은 공간과 시간에 따라 다를 수 있는 다양한 제도적, 지리적, 환경적, 사회경제적, 생물학적 민감성, 및 기타 요인들로부터 발생할 수 있다. 생물학적 민감성은 개발 단계 (예: 아동이 설사병으로 사망할 위험이 점점 높아짐); 기존 의료 조건 (예: 열파 기간에는 당뇨병 위험이 높아짐); 획득된 조건 (예: 말라리아 면역); 유전적 요인과 연관 있을 수 있다(Balbus and Malina, 2009). 취약성은 불리한 보건의 결과를 더 경험하기 쉬운 인구집단의 관점에서 그리고 극한현상이 일어나는 동안 및 일어난 이후에 보건 악영향을 방지하는 데 필요한 공중보건 개입의 관점에서 조명할 수 있다.

일부 극한기상 현상의 경우, 어떠한 인구집단이 취약한가는 보건에의 악영향이 무엇인가에 달렸다. 예를 들어 열파의 경우, 사회적으로 고립되고 기존 질환이 있는 노령자는 열 관련한 영향에 취약하다(9장 참고). 홍수의 경우, 아동은 대변-경구에 의한 질환(fecal-oral disease)에 걸릴 위험이 높아지고, 거동과 인지에 장애가 있는 사람들은 부상 및 사망 위험이 높아질 수 있다(Ahern 등, 2005). 동시에 저소득층 사람들은 폭풍과 홍수 피해 같은 홍수 관련 위험에 대한 보험에 가입할 여력이 적을 수 있다(Marmot, 2010). 홍수는 성인과 아동 모두에서 현상 전□후 정신건강의 문제 위험을 증가시킨다고 밝혀졌다(Ginexi 등, 2000; Reacher 등, 2004; Ahern 등, 2005; Carroll 등, 2006; Tunstall 등, 2006; UK Department of Health, 2009). 홍수에 의한 영향을 입은 1200 가구를 대상으로 하는 영국 연구에 의하면 취약한 집단과 빈곤한 가구 및 빈곤한 지역사회일수록 물리적, 정신적 건강에 크게 영향을 받았다(Werritty 등, 2007). 그러나 확인된 재해유형에서 특정 사회집단에게 영향이 있다는 증거는 존재하지만 재해유형에 상관없이 보다 취약하기 쉬운 사회집단이 있다. 이러한 집단에는 유아 및 노령층, 기저질환을 앓는 사람들, 사회경제적 지위가 낮아 스트레스를 받는 사람들 등이 있다. 사회경제 요인의 역할은 대응과 적응의 의학적 모델이 아닌 사회적 모델의 필요성을 뒷받침 한다.

호우, 홍수, 산사태, 더위, 가뭄, 산불 같은 기후 관련 재해에서 보건 영향은 악화될 것으로 예상된다. 이것은 정황에 매우 의존하지만 공기, 물, 또는 음식을 통한 독성 노출로 인한 기존 만성 질환(널리 퍼질 수 있는)의 악화부터 사망까지 다양하다(사망은 거의 없거나 중등도일 것으로 예상되지만 저소득 국가에서는 많을 수 있다) (Keim, 2008). 극한 기상현상으로 인한 보건의 악영향을 방지하는 데 필요한 공중 보건 및 보건 서비스에는 전염병 감시와 통제, 안전한 물의 제공과 위생 개선, 식량 안보, 고형폐기물 관리와 기타 중요 기반시설의 유지관리, 병원 및 기타 보건 기반시설의 유지관리, 정신건강 서비스 제공, 이동의 예방 또는 완화를 위한 충분하고 안전한 대피처, 효과적인 경고 및 정보 시스템 등이 있다(Keim, 2008). 아울러, 단 하나의 단순한 재해현상만을 대비한다면 영향이 클 수 있는 자연적 기술 재해(NaTech 재해) (기술재해를 유발하는 자연 재해)의 시너지 효과를 고려하는 것이 중요하다. 점점 더 도시화 되는 세계에서는 자연 재해와 동시적 기술적 사고(accident) 간의 상호작용을 고려해야 한다(Cruz 등, 2004). 2011년 3월에 일본 후쿠시마 원전에서 지진, 쓰나미, 방사선 방출이 복합적으로 발생한 것이 가장 최근의 예이다. 이러한 서비스의 제공이 부족하면 사람들의 취약성, 특히 보건 악영향에 대한 생물학적 민감성이 큰 사람들에서 취약성이 증가한다. 공중보건 기반시설의 노출 또는 취약성 추세에 대한 증거는 거의 없지만 복원력 있는 보건 기반시설이 긴요하다는 것이 극한기후 현상 맥락에서 널리 인정되고 있다(Burkle and Greenough, 2008; Keim, 2008).

극한현상의 결과로 악화되는 환경 조건(토지 개간, 염류화, 먼지 생성, 생태계 변화 등; Renaud, 2006; Middleton 등, 2008; Ellis and Wilcox, 2009; Hong 등, 2009; Ljung 등, 2009; Johnson 등, 2010; Tong 등, 2010)은 핵심 생태계 서비스에 영향을 줄 수 있고, 특히 수질과 수량을 악화시켜 기후에 민감한 질병의 발생을 악화시킬 수 있다(예: 설사병; Clasen 등, 2007). 극한기후 현상에 대한 취약성을 직간접적으로 암시하는 일부 보건 영향에 관하여 추세를 보여주는 증거가 존재한다.

예를 들어, 심혈관 질환 위험인자인 비만은 더위 위험인자(Bouchama 등, 2007)이기도 한데 다수의 선진국들에서 증가 추세를 보이는 중이라고 보고되었다(Skelton 등, 2009; Stamatakis 등, 2010). 감염병 또는 전염병

HIV/AIDS, 결핵, 말라리아 같은 주요 공중보건 위협에서 관측된 추세는 비록 일부 인구의 장기적 복원력의 감소와 직접적 연관은 없지만 그렇게 될 잠재력이 있다고 확인되었다(IFRC, 2008) 그러한 질병들 외에도, 일부 국가에서 관측된 부적절한 인적 자원과 부실한 병원 및 실험실 기반시설 (Vitoria 등, 2009) 같은 보건시스템 확대 또는 강화를 집요하게 방해하는 장애물은 예를 들면 말라리아와 HIV/AIDS가 가끔 유행병 수준으로 발생하는 경우에 취약성 및 노출이 증가하는 것에 간접적으로 기여할 수 있다.

그러나 복지 및 보건의 추세는 평가하기가 어렵다. 예를 들어 복지의 부재 및 고도 민감성의 특징이 되는 지표들은 영양부족과 영양실조의 지표들이다. 새천년 개발 목표(Millennium Development Goals)의 데이터베이스와 유엔 식량농업기구(Food and Agriculture Organization; FAO)의 개별 통계에 의하면 영양부족의 추세는 공간, 시간적으로 차등적이다. 그러나 한 예로, 브룬디에서는 영양부족 인구가 1991년부터 2005년까지 상당히 증가하는 추세인데 반해 앙골라에서는 영양부족 인구의 비율이 반대로 감소 추세이다 (UN Statistics Division, 2011; FAOSTAT, 2011 참고). 따라서 취약성의 추세는 복지 및 영양부족 측면에서 시간이 지나면서 변하고 공간 패턴 측면에서 매우 차등적이라는 증거가 존재한다.

극한현상에 대한 보건 관련 노출과 취약성을 고려할 때, (공간이 없어 발생하지 못하는 위험 유형들의) 과거 기후/기상 관련 재해 현상에서 나온 증거는 신체적 정신적 보건 및 보건 기반시설에 대한 부정적 결과와의 연관성을 명확히 보여준다. 더욱이 기후변화로 인한 현재 및 예상되는 보건에 대한 영향은 다양하고, 저소득층과 저소득 국가들에게 더 심각한 영향을 끼칠 것이며, 고소득 국가들도 예외는 아니라는 명확한 증거가 있다(Haines 등, 2006; Confalonieri 등, 2007).

2.5.2.4. 문화 측면

광의적 용어인 '문화'는 특정 사회가 영향 받거나 생산하거나 공유하는 생활방식, 행동, 취향, 인종, 민족, 가치관, 신념, 관습, 개념, 제도, 예술, 및 지적 성취와 관련될 수 있는 복잡한 요소들을 아우른다. 본질적으로 이 모든 특징들은 문화를 '사회 내 인간들의 표현 활동'이라고 묘사한다(Aysan and Oliver, 1987).

문화는 자연재해 또는 기후변화로 인한 극한위험의 여러 측면을 묘사하는 데 다양하게 사용된다.

- 위험인지의 문화적 측면
- 위험/취약성/공포라는 부정적 문화
- 인도주의적 우려 문화
- 조직/제도 및 그것들의 대응 문화
- 극한기후에 저항할 수 있는 건물의 건설을 포함해 위험을 저감하기 위한 예방조치의 문화
- '위험관리 문화', '안전한 문화', 또는 '적응 문화'를 창조 및 유지하는 방식

위험에 대한 우리의 이해에 관하여, 문화적 쟁점 몇 가지를 짚어볼 필요가 있다. 전형적인 예를 아래에 인용한다.

- 민족과 문화. 뿌리 깊은 문화적 가치들은 지역사회가 기후변화에 적응하는지 여부의 결정요인이다. 예를 들어, 북부 부르키나 파소(Burkina Faso)에서 수행된 최근 연구에 의하면, 이곳의 두 민족은 물리적 환경이 동일하고 기후변화를 함께 경험했음에도 불구하고 문화적 가치와 역사적 관계로 인해 매우 상이한 전략을 채택하였다(Nielsen and Reenberg, 2010).
- 국지적 위험 관리 문화. Wisner (2003)는 '예방 문화' 발전의 관건은 미세하게 지속적으로 위험을 평가 및 저감할 수 있는 근거리 수준의 네트워크를 건설하는 것이라고 주장하였다. 그는 멕시코시티 지진과 노스리지(Northridge) 지진 후에 복구를 지원하기 위해 지역사회 기반의 NGO들이 등장하였지만 이들은 위험 저감 활동을 촉진할 수 있는 시점까지 지속되지 않았다고 보고하였다. 이 증거는 지역사회에 기반한 조직들의 의제를 기후위험을 저감하고 기후변화 적응을 촉진할 효과적인 조치로 확대할 방안을 찾을 필요가 여전히 남아 있다는 것을 제시한다.
- 문화적 충돌: 위험이 저감될 때 누가 이득을 보고 누가 손실을 보는가? 재해 위험 저감과 기후변화 적응을 위한 한쪽의 개인적 조치가 다른 쪽에게 부정적 영향을 주는 경우, 중요한 문화 갈등이 발생할 수 있다. 이러한 일은 위험을 저감하기 위한 하천 상류의 대책이 사람 및 재산에 대한 하류에서의 위협을 크게 증가시키는 강 홍수 위험 관리에서 흔하게 나타난다. Adger는 충분한 위험 저감을 위한 이행을 취해야 한다면 핵심 행동주체들이 모든 비용을 떠안고 이행으로부터 발생하는 모든 이득을 받아야 한다고 주장하였다(Adger, 2009). 그러나 이것은 적응이 특정 지역의 이익에만 국한되는 경우에는 문제가 될 수 있다.

지역(그리고 더 넓은) 전통과 문화 관습에 얽매인 전통적 행동은 취약성 증가시킬 수 있고 – 예를 들어 여성과 소녀에게 더 큰 위험을 가하는 불평등한 성별 규범 – 또는 주변환경 변화에 적응되지 않은(또는 적응할 수 없는) 환경의 전통적 사용을 증가시킬 수 있다. 반면에 지역 또는 토착 지식은 취약성을 저감할 수 있다(Gaillard 등, 2007, 2010). 더욱이 문화적 관습은 종종 미묘하며 외부인에게 애매모호할 수도 있다. 초기의 위험 패러다임 문헌들 (White, 1974; Burton 등, 1978)은 문화적으로 깊숙이 박힌 운명론적 태도를 종종 언급하였는데 운명론적 태도는 재해 위험 앞에서 속수무책이 될 수 있다. 그러나Schmuck-Widmann (2000)은 방글라데시의 화전(char) 거주자들에 대한 사회적 인문학적 연구에서, 어떻게 재해 발생과 결과가 신의 손에 달렸다는 믿음이 예방활동을 불가능하게 만들었는지 보여주었다. 위험 인지 (그리고 해석)은 문화 및 사회적 배경에 달렸다(Slovic, 2000; Oppenheimer and Todorov, 2006; Schneider 등, 2007).

연구 소견들은 재해 측면에서 종교와 신앙의 역할 –및 문화–를 고려하는 것이 중요하다고 강조한다. 이러한 연구로는 재해 후 복구 과정에서 신앙의 역할 (예: Davis and Wall, 1992; Massey and Sutton, 2007); 자연에 대한 종교적 설명 (예: Orr, 2003; Peterson, 2005); 환경 및 기후변화 정책에 대한 입장을 좌우하는 데 있어 종교의 역할 (예: Kintisch, 2006; Hulme, 2009); 그리고 종교와 취약성 (Guth 등, 1995; Chester, 2005; Elliott 등,

2006; Schipper, 2010) 등이 있다.

문화적인 면은 극한기후의 맥락에서 원주민과 토착민들의 잠재적 취약성도 포함한다. 전지구적으로 토착민은 일차 생산과 자연자원 기반에 의존하고, 상대적으로 부실한 사회경제 조건(부실한 보건, 높은 실업률, 낮은 교육수준, 매우 열악한 빈곤 등)에 처한다. 캐나다 토착민 (Turner and Clifton, 2009), 호주 토착민 (Campbell 등, 2008), 태평양 토착민 (Mimura 등, 2007) 등이 그렇다. 군소 도서국들은 뚜렷한 문화를 가진 경우가 많은데 이들은 대체로 기후변화에 대한 높은 취약성과 낮은 적응능력을 보인다(Nurse and Sem, 2001). 그러나 역사적으로 토착민은 많은 위험과 싸워야 했기에 결과적으로 대응능력, 이를 테면 전통지식 체계의 사용, 지역에 적합하게 현지의 재료로 지은 건물, 기타 관습 등을 발달시켰다(Campbell, 2006).

현재 확인된 문화적 다양성 정도를 고려하면, 문화 정황에서 차등적 위험인지를 이해하는 것이 더욱 중요해진다(Marris 등, 1998). 문화 이론은 사람들이 그들의 세계관에 따라 즉 계급주의, 운명주의, 개인주의 및 평등주의에 따라 세계를 어떻게 해석하고 위험을 어떻게 정의하는지를 이해하는 데 기여하였다(Douglas and Wildavsky, 1982). 정책과 연구는 지나치게 '대중'에게 초점을 맞추고, 각기 다른 사회집단과 문화집단의 필요, 이해관계, 및 태도에는 소홀하다(2.5.2.1.2절과 2.5.4절 참고).

2.5.2.5. 제도 및 거버넌스(governance)의 측면

제도적 측면은 극한현상에 대한 취약성의 핵심 결정요인이다(Adger, 1999). 제도는 단지 전형적으로 이해되는 공식적 제도가 아니라 넓은 의미로 "사회를 다스리는 습관화된 행동과 규칙, 규범"을 포함한다고 정의되어 왔다(Adger, 2000). 이러한 견해에서 자연자원 사용 및 관리를 다스리는, 재산권과 토지소유 문제 같은 제도적 구조가 고찰되었다(Toni and Holanda, 2008). 이것은 사회 차원과 환경/생태 차원을 이어주며, 지속 가능하거나 지속 불가능한 이용을 유도할 수 있다(Adger, 2000). 제도 영역을 확대해 정치적 경제 (Adger, 1999)와 각기 다른 생산 방식 – 봉건주의, 자본주의, 사회주의 (Wisner, 1978)–를 포함시키면 제도의 취약성과 제도(정부를 포함해)에 의해 야기되는 취약성에 대한 문제가 제기된다. 제도 요인은 취약성의 사회적 분포에 영향을 끼치고 적응능력을 형성하므로 (Neess 등, 2005) 적응에서 중요한 역할을 한다(Adger, 2000).

제도적 측면을 이렇듯 보다 넓게 이해하면 사회 네트워크의 역할, 지연성 (community bond), 조직 구조, 그리고 부분적으로 사회적 화합을 증가시키고 모호하거나 부정적인 형태를 인식하여 극한현상의 영향을 완충시킬 수 있는 프로세스(Nakagawa and Shaw, 2004)를 인식하게 된다(UNISDR, 2004). 예를 들어, 사회적 자본/자산 (Portes, 1998; Putnam, 2000) – "사람들의 집단행동을 가능케 하는 규범과 네트워크" (Woolcock and Narayan, 2000) – 는 취약성 저감에 기여한다(Pelling, 1998). 사회적 자본 (또는 이것의 결여)는 취약성의 원인이자 효과이므로 긍정적 이득 또는 부정적 영향을 초래할 수 있다. 사회집단의 일부가 되어 사회적 자산을 누적한다는 것은 종종 다른 것들의 배제를 의미한다. 또한 이것은 인권 담론과 인권에 기반한 재해 위험 저감 접근법을 진행하는 인간 보호에 다양한 영향을 미칠 가능성을 인식함으로써 기후 논쟁의 틀을 다시 짜려는 시도도 포함한다 (Kuwali, 2008; Mearns and Norton, 2010).

제도적 측면에는 위험 및 재해 관리의 정책 배경과 정책 이행 간의 관계가 포함된다. 하향식 접근법은 정책을 현장에서 곧바로 이행으로 전환되는 것으로 여기고, 상향식 접근법은 정책 이행을 형성하는 데 있어 다른 행동주체의 중요성을 인정한다(Urwin and Jordan, 2008). Twigg (2007)의 이상적인 재해 복원력에 대한 지역사회의 특징 분류는 후자의 접근법을 채택한 것이다. NGO들에 의해 현장검증 된 본 가이드라인은 복원력을 생성하고 취약성을 저감하는 데 있어 지역사회와 다양한 규모의 거버넌스 환경 간의 중요한 관계를 규명한다. 다섯 주제로 나뉜 이 167가지 특징들은 위험평가, 위험관리, 그리고 위험과 취약성을 다루는 제도적 형태와 그것들을 다루는 과정도 가리킨다. 이것들은 재해 위험 및 취약성의 저감을 목표로 효고 행동 계획 (Hyogo Framework for Action (UNISDR, 2007a))과 관련 도구를 만들기 위해 다양한 규모에서 작동하는 제도들에 의해 지지되어 왔다. 그러나 규모에 걸친 관련성과 지역 지식체계의 포함은 여전히 공식적인 제도에 통합되지 않았다(Næss 등, 2005).

재해 위험 저감, 기후변화, 개발 간의 제도적 상호작용과 통합의 부재는 정책 대응이 중복되고 있거나 충돌한다는 것을 의미할 수 있다(Schipper and Pelling, 2006; Mitchell and van Aalst, 2008; Mitchell 등, 2010). 따라서 (다소 참여적이고 신중하고 민주적인; 통합된; 또는 일관성 없는) 어떠한 장소와 시간에 작동하는 제도 모델은 취약성 발생이나 저감에 있어서 중요한 요인일 수 있다(Comfort 등, 1999). 더욱이 위험 정책들은 통합되어야 한다 (영국의 열파 및 한파에 대비한 정책의 실패사례를 참고. Wolf 등, 2012a). 그러나 취약성에 영향을 미치는 데 있어 제도가 어떠한 역할을 하는지에 대한 추가 연구가 필요하다(O'Brien 등, 2004b).

거버넌스(governance)도 취약성과 노출의 핵심 주제이다. 거버넌스 방식은 정부의 이행(governmental actions)보다 더욱 광범위하다. 거버넌스는 운영(steering)하고 조율(coordination)하는 합의 및 과정의 구조로 이해할 수 있다(Pierre and Peters, 2000). 사회를 다스리고 행동주체를 이끄는 제도화된 규칙 시스템과 습관화된 행동 및 규범은 거버넌스의 구조를 나타낸다 (Adger, 2000; Biermann 등, 2009). 이러한 공식 및 비공식적인 거버넌스 구조도 취약성을 결정하므로 그것들은 권력 관계와 위험인지에 영향을 주며, 취약성, 위험저감 및 적응이 관리되는 배경을 구성한다.

공식 및 비공식적인 거버넌스 간의 갈등 또는 정부의 전략 및 규범과 비정부적인 그것들 간의 갈등은 환경변화에 노출된 지역사회에게 추가로 취약성을 일으킬 수 있다. 공식 전략과 비공식 전략 간 이러한 갈등의 한 예는 수방 대책과 관련 있다. 현지 사람들은 증가하는 홍수현상에 대처하기 위해 자원을 투입할지도 모르는 반면에(예를 들면 생계 및 생산 패턴을 홍수체제 변화에 적응시킴), 공식 적응 전략은 특히 개발도상국에서 어업 또는 농업 체계 같은 현지 생태계 서비스에 의존하는 지역사회의 취약성에 지대한 영향을 주는 구조적 대책 (예: 제방시스템 또는 재배치 전략)에 우선순위를 둔다 (Birkmann, 2011 a.b 참고). 공식적이거나 비공식적인 관리시스템 및 규범 사이에 그리고 정부적이거나 비정부적인 그것들 사이에 나타나는 이러한 갈등은 전체 시스템의 취약성을 높이고 적응능력을 저하시키는 주요한 요인이다(Birkmann 등, 2010b). 제도와 거버넌스가 불안정한 나라는 위험을 식별 및 저감할 능력과 비상상태와 재해에 효과적으로 대처할 능력이 없는 경우가 많다. 최근에 아이티(Haiti)에서 지진 발생 후에 대처 및 복구 과정에서 나타난 재해와 문제들 또는 파키스탄에서 홍수 발생 후에 나타난 복구 관리 및 비상사태 관리 측면의 문제들은 복원력과 취약성의 주제로서 거버넌스 방식의 중요성을 보여주는 예들이다.

일부 선진국들에서는 최근 30년간 환경에 대한 거버넌스 방식이 보다 통합적인 접근법 쪽으로 변화하였다. 세기가 바뀌면서, 기술적 해법을 넘어설 필요가 있고 지속 불가능한 수요 및 소비의 패턴과 동인을 다룰 필요가 있다는 인식이 확산되었다. 이에 따라 보다 통합된 환경관리 접근법이 사용되고, 예방에 초점을 맞추며 (UNEP, 2007), 국지적 지식부터 전지구적 지식까지 지식을 환경정책에 결합하고 (Karlsson, 2007), 자연자원 관리에서 모든 부문의 이해관계자들을 공동 관리하고 참여시키게 되었다(Plummer, 2006; McConnell, 2008). 하지만 일각에서는 이러한 새로운 패러다임의 효과에 의문을 제기하기도 하였다(Armitage 등, 2007; Sandstrom, 2009).

2.5.3. 경제적 측면

경제적 취약성은 잠재적 (직접적) 재해 피해 및 손실에 대한 공공분야와 민간분야를 비롯한 생태계의 민감성이라고 이해할 수 있으며 (Rose, 2004; Mechler 등, 2010), 영향 받은 개인, 지역사회, 사업체 및 정부가 피해를 흡수 또는 완화하지 못하는 것을 말한다(Rose, 2004).

경제적 취약성의 정도는 현상 후에 간접적 후속 영향의 규모와 지속기간에 의해 드러난다. 그러한 영향에는 공급자에게서 공급 받을 수 없거나 고객에게 서비스할 수 없는 회사의 사업중단 비용, 일하러 갈 수 없는 가구의 소득 감소, 또는 세금납부 감소와 공공 지원 및 복구에 필요한 상당한 비용으로 인한 재정상태 악화 등이 포함될 수 있다. 거시경제 수준의 악영향으로는 국민총생산(GDP), 소비, 및 재정 위치에 대한 영향이 포함된다(Mechler 등, 2010). 경제적 취약성의 주요 동인은 낮은 수준의 소득과 GDP, 강제적인 세금부과, 낮은 국내저축율, 활발하지 않은 금융시장, 그리고 외부금융 이용이 어려운 상황에서 높은 부채 등이 있다(OAS, 1991; Benson and Clay, 2000; Mechler, 2004).

자연적 위험을 비롯한 외부 충격에 대한 경제적 취약성은 문헌 상에서 부정확하게 정의되어 왔고, 그에 대한 개념은 종종 위험, 복원력 또는 노출과 중복되곤 하였다. 경제적 취약성의 부분집합인 재정 취약성에 초점을 맞춘 연구체계 중 하나는 이 문제를 경제학자들에게 보다 흔한 개념인 위험 선호와 회피(risk preference and aversion) 측면에서 조명하였다. 이러한 배경에서 위험 회피는 경제기관이 위험을 재정적으로 흡수하는 능력을 의미한다 (Arrow and Lind, 1970). 재해의 재정 부담을 흡수하는 길은 많다. 비록 선진국에서 보다 특별한 방법이기는 하나 시장 기반의 보험도 그 중 하나로 뛰어난 옵션이다. 경제 주체로서 가구는 종종 재해지역 밖에 사는 가족과 친지들에 의존하는 임시적인 방법을 이용한다. 정부는 그저 세금기반 또는 국제 지원에 의존할 수도 있다. 하지만 대규모 동시 위험 앞에서는 그러한 임시적인 방법은, 특히 개발도상국에서는 종종 실패하는 경우가 있다(Linnerooth-Bayer and Mechler, 2007 참고).

재해에 대한 재정적 취약성에 대한 연구는 지금까지 개발도상국의 재정 취약성, 즉 상당한 음성적인 파급효과를 신속히 만회하고 피하기 위해 재해 후 구호 및 복구에 재정적 지원을 하고자 국내 및 해외 예금에 접근할 국가의 능력에 초점을 맞춰 왔다(Mechler 등, 2006; Marulanda 등, 2008a; Cardona, 2009; Cummins and Mahul, 2009). 위험에 노출된 많은 국가들에서 보고 및 추정된 상당한 재정 취약성 및 위험 회피뿐 아니라 전지구적인 참사 위험성(catastrophe risks)을 대비할 경제적 비용 책정과 그것을 전이할 새로운 공공-민간 파트너십 기구의 등장은 개발도상국 정부는 물론이고 개발기구, NGO, 기타 원조 기구들에게 재해 위험 관리의 중요한 구성요소로서 재해 발생전 재정 제도를 고려하도록 자극하였다(Linnerooth-Bayer 등, 2005).

노출과 취약성의 경제적 차원에는 뚜렷한 규모 측면이 있다. 알려진 재해들의 경제 비용에 대한 증거는 영향이 GDP의 10% 미만일 수 있다고 암시하지만 (Wilbanks 등, 2007), 그보다 작고 보다 국지적 규모에서는 비용이 그보다 상당히 클 수 있다.

양질의 데이터가 부족해 의미있고 특정한 평가는 제공하기 어렵지만, 적응 및 복원력 강화 방안에 대한 투자가 없으면 극한기상 현상의 심화 또는 빈도 증가는 향후 GDP 성장에 영향을 준다는 것을 알 수 있다(Wilbanks 등, 2007).

근로와 생계

개인 및 지역사회 수준에서, 근로와 생계는 경제 차원의 중요한 단면이다. 상호작용, 공통의 주제(crosscutting theme), 통합은 종종 극한현상과 극한현상 대응에 의해 영향 받는다. 극한현상에 대응한 인도주의/재해 구호는 의존을 유발하고 지역 경제 및 사회 시스템을 약화시킬 수 있지만(Dudasik, 1982) 생계 위주의 구호는 점차 더 중요해지고 있다(Pantuliano and Wekesa, 2008). 아울러 재해와 극한현상은 생계 개발 과정에서 스트레스이자 충격이라는 인식이 증가하고 있다(Cannon 등, 2003; 화산현상에 적용되는 사례의 고찰은 Kelman and Mather, 2008 참고).

탄자니아 모로고로(Morogoro)의 생계, 취약성 및 기후변화 적응에 대한 Paavola(2008)의 분석은 극한현상이 특정 방식으로 생계에 영향을 준다는 것을 보여준다. 이곳의 시골 가구들은 도시 가구들보다 기후 변동성과 기후변화에 더 취약한 것으로 나타났다(2.5.1.3절 참고). 이는 시골의 소득 및 소비 수준이 상당히 더 낮고 시장과 기타 서비스에 대한 접근성이 더 제한되어 있기 때문이다. 다시 말해, 기후에 민감한 농업 외에는 생계 수단이 없기 때문에 여성이 남성보다 더 취약해진다는 것이다. 주민들은 기후변동성을 관리하기 위해 다양한 전략(확장, 강화, 다각화, 이주)을 활용하였지만 이 전략들은 간혹 불리한 환경 결과를 가져와 그들의 취약성을 증가시켰다. 생계 옵션을 근본적으로 바꿀 기회가 없는 이곳에서 장기적 기후적응보다는 단기적 대응의 사례를 볼 수있다(Paavola, 2008).

자연 위험에 대한 인간의 취약성과 소득 빈곤은 대체로 상호의존적이지만 (Adger, 1999; UNISDR, 2004) 빈곤이 단순하게 취약성과 동등한 것으로 간주될 수는 없다(dP: Blaikie 등, 1994). 빈곤의 결정요인과 측면은 복잡

하며 빈곤과 기후변화와의 관계도 또한 그러하다(Khandlhela and May, 2006; Demetriades and Esplen, 2008; Hope, 2009). 모든 빈곤감소 대책이 극한기후 취약성을 저감하지는 않으며 그 반대의 경우도 마찬가지이기 때문에, 적응대책이 특정하게 극한기후와 빈곤의 연관성에 초점을 맞출 필요가 있음을 인식하는 것이 중요하다. 빈곤의 동인은 비록 국지적으로라도 보다 큰 규모에서 정치 경제 문제들의 해소를 필요로 할 수 있으므로 모든 규모를 아우르는 대책이 필요하다(Eriksen and O'Brien, 2007; K. O'Brien 등, 2008).

빈곤과 취약성 간의 관계를 생각하면, 경제성장은 취약성을(제한적으로) 저감할 수 있는 것으로 간주할 수 있다(Tol 등, 2004). 그러나 경제성장의 증가 추세가 반드시 기후영향을 감소하지는 않을 것이다. 경제성장은 동시에 온실가스 배출을 증가시킬 잠재력도 있기 때문이다. 또한 성장은 그 자체로 극한현상에 영향 받을 수 있는 중요 기반시설에 의존하는 경우가 많다. 빈약한 개발정책의 추구, 이것이 취약성에 미칠 영향 등을 비롯해 다양한 경제정책의 변화에 대하여 연구를 통해 설명되어야 할 문제들이 존재한다(Tol 등, 2004; UNDP, 2004; UNISDR, 2004)

2.5.4. 상호작용, 공통의 주제(crosscutting theme), 통합

본 절은 취약성 개념을 각 차원으로 세분하여 (예: 재해 위험 저감; 기후변화 적응; 환경 관리; 빈곤감소) 독립적인 연구 및 정책 공동체 에서 나온 증거를 함께 제시하는 방식으로 설명한다(Thomalla 등, 2006). McLaughlin and Dietz (2008)는 사회구조, 인력, 상호관련된 환경적 역학에 대한 통합된 관점의 부재를 비판적으로 분석한 바 있지만, 적절한 정책 의제를 설정하고 관심주제를 보다 잘 이해하기 위해서는 협력과 통합이 필요하다는 인식이 확산되고 있다(K. O'Brien 등, 2008).

취약성의 한쪽 측면만을 검토하는 것으로는 적정 수준의 종합적인 내용을 제공할 수 없다. 소위 말하는 자연 재해는 전혀 '자연적'이지 않고(O'Keefe 등, 1976) 정치 경제에 뿌리 내린 구조적 불평등의 결과라는 초기의 인식으로부터 상당한 개념적 진전이 이루어졌다. 이러한 비평은 위험 구성요소 이상의 분석을 필요로 했다(Blaikie 등, 1994). 더욱이 이 비평은 분야와 경계 (예: 재해와 개발을 분리하거나 선진과 개발도상국을 분리하는 것)를 아우르는 것이 어떻게 보다 다양한 종류의 극한현상을 이해하는 데 유용할 수 있음을 보여주었다(Hewitt, 1983 참고). 일례로 식량 안보/취약성을 고려한다면, 식량체계 취약성의 포괄적 분석은 관련 측면들, 그중에서도 특히 민감한 지역에 위치; 정치 경제(political economy) (Watts and Bohle, 1993); 자원 접근권한 부여 (Sen, 1981); 사회 자본 및 네트워크 (Eriksen 등, 2005); 지형 생태 (landscape ecology) (Fraser, 2006); 인간 생태(human ecology) (Bohle 등, 1994); 그리고 정치 생태 (political ecology) (Pulwarty and Riebsame, 1997; Holling, 2001)을 고려해야 한다(식량체계와 식량안보에 대한 자세한 고찰은 4장 참고). 보다 일반적으로 위험, 재해 위험 저감, 극한기후에 관련하여, 종종 분리되어 있는 영역들을 통합하는 것의 중요성을 인정하여 인간 시스템/사회-환경계를 결합하는 접근법을 채택한 연구에서 생산적인 발전이 이루어졌다(Holling, 2001; Turner 등, 2003b). 예를 들어, 노르웨이의 기후변화 영향, 취약성, 및 적응을 분석하면서 O'Brien 등 (2006)은 직접적인 기후변화 영향을 단순히 조사하면 더 심각하고 방대한 시너지 효과가 간과될 수 있다고 주장한다. 저자들은 핵심 어종에 직접적으로 영향을 줄 수 있는, 바렌츠 해(Barents Sea)에서 예상되는 기후변화 효과의 예를 사용한다. 기후변화는 수송 부분에 영향을 줄 수 있으며 (빙하면적 감소에 의해); 오염현상 발생 건수를 증가시킬 수 있고 (오일 및 기타 물품의 해양수송 증가에 의해); 선박평형수(water ballast)에 들어간 어종들로 인한 생태계의 경쟁이 발생하여 생태계 피해와 기타 피해가 발생할 위험이 있을 수 있으며; 이것은 또 다시 해수온 증가에 의해 악화된다.

잠재적 영향 수준과 적응 과정은 특정 부분에만 초점을 맞춘다면 가장 적절하게 표현될 수 없으며, 부문들과 제도, 경제, 사회, 문화 조건들 간의 상호작용을 고려해야 한다(O'Brien 등, 2006).

2.5.4.1. 공통부분(Intersectionality)과 기타 차원

앞에서 살펴본 차원들은 차등 효과를 만든다. 하지만 단일 범주들 사이의 차이 (예: 여성과 남성 간 차이)가 아니라 어떠한 범주 안에서의 차이 (여성들 내부의 차이)를 고려하는 것이 중요하다. 이것을 공통부문(intersectionality)이라고 하는데 예를 들면 성별은 인종/민족 또는 다른 변수와 연합될 때만 유의미한 변수일 수 있다. 허리케인 카트리나에서 흑인인지 백인인지, 상류층인지 노동계층인지, 주택소유자인지 세입자인지, 노령인지 젊은 연령인지, 여성인지 남성인지 여부는 상대적 노출 및 취약성 요인 측면에서 중요하였으며, 지금도 여전히 중요하다(Cutter 등, 2006; Elliott and Pais, 2006).

일부 요인들은 노출, 취약성 및 위험 내에서 역동적인 변화를 이해하는 데 특히 중요한 공통의 주제(cross-cutting themes)라고 밝혀졌다. 인도주의 대응, 아동, 노령자, 장애자, 성별, 심리사회적(psychosocial) 문제, HIV와 AIDS, 및 환경에 대한 스피어(Sphere) 프로젝트의 최소 표준에서, 기후변화와 재해 위험 저감은 교차주제로 확인되었고, 사람들이 관심대상으로 선택할 수도 선택하지 않을 수도 있는 개별 분야로서 고려해서는 안되고 각 분야 내에서 통합되어야 한다(Sphere Project, 2011). 정확히 어떠한 주제가 교차주제로 선택되어 활동 전반에 결합되어야 하는가는 정황에 따라 상이하다. 아래에서는 다음 두 가지, 각기 다른 시기(단 하루 이내 또는 보다 긴 기간 동안의 통시적(diachronic) 측면)와 각기 다른 공간 및 기능 규모만을 고찰해 보고자 한다.

2.5.4.2. 시기, 공간 및 기능적 규모

노출, 취약성 및 위험 내 역학적 변화를 이해하는 데 특히 중요한 교차주제는 서로 다른 시기(하루 이내 또는 보다 긴 기간의 통시적 측면)와 서로 다른 공간 규모 및 기능 규모다.

2.5.4.2.1. 시기(timing)와 시간규모(timescale)

시기와 시간규모는 극한기후기상 현상, 재해, 및 적응 전략의 식별 및 관리를 다룰 때 보다 주의해야 하는 공통의 주제들이다. 시기와 시간규모를 다룰 때 첫째 핵심 문제는 서로 다른 위험과 그것들의 재현 기간이 시간적인 면에서 근본적으로 변할지도 모른다는 사실이다. 이것은 위험, 노출, 취약성의 식별

과 평가 역시 서로 다른 기간을 다루어야 하고 어떠한 경우에는 서로 다른 기간을 고려해야 할지도 모른다는 의미를 함축한다. 현재의 기후변화 시나리오는 대부분 다음 100년 또는 200년 내 기후변화에 초점을 맞추는데 취약성 예측은 종종 현재의 사회경제 데이터를 사용한다. 그러나 위험의 주요 결정요인인 노출과 취약성에 대한 지식을 강화하는 데 있어서의 핵심 문제는 물리적-생화학적 예측에 관련된 기후시스템의 변화와 동일한 시계를 가지고 취약성의 잠재적 증가 또는 저감을 충분히 보여줄 수 있는 인구, 사회경제 및 정치 추세의 방향과 각기 다른 개발경로를 예측하고 식별할, 보다 개선된 데이터와 방법이 필요하다(see Birkmann 등, 2010b).

또한 위험분석을 특정 시기에 수행하는 경우, 위험 분석의 시간 의존성이 매우 결정적인 것으로 나타났다. 보다 최근의 연구는 노출(특히 서로 다른 사회 집단들의 노출)은 계절적으로 변할 뿐 아니라 하루, 또는 수일 동안에도 변동하는 매우 역동적인 요소라는 것을 강조한다(예: Setiadi, 2011). 재해는 취약성의 재해전 추세를 악화시키기도 한다(Colten 등, 2008).

결과적으로, 기후변화 정황에서 극한현상과 서서히 일어나는 변화에 대한 노출 및 취약성 평가를 수행할 때는 기간과 시간경과에 따른 역학적 변화를 신중히 고려해야 한다. 또한, 한 해 동안의 위험 빈도 및 위험발생 시기의 변화는 사회와 생태계가 그러한 변화에 대응하고 적응하는 능력에 큰 영향을 끼칠 것이다.

현상의 발생시기로 인해 '취약성의 창'(window of vlunerability)이 조성될 수 있는데, 이는 상황의 결합 때문에 위험이 더 큰 기간을 말한다(Dow, 1992). 시간은 언제나 고려 대상에 속하지만 향후 몇 년 안에 예상할 수 있는 인위적 기후변화의 경우에 특히 더 고려해야 하는 공통의 차원(cross-cutting dimension)이다(Fussel, 2005). 사실 이러한 시간차원은 재해관리 공동체와 기후변화 공동체 사이의 핵심 차이로 간주된다(Thomalla 등, 2006). 일반화 시켜서 말하자면 재해관리 공동체는 전형적으로 (가뭄 또는 사막화 등의 진행 속도가 느린 위험은 제외) 급속하게 진행되고, 광범위할지라도 서로 떨어진 장소에서 일어나며 즉각적인 조치를 요하는 현상들을 다루고 기후변화 공동체는 전형적으로 긴 기간 동안 산발적으로 발생하고 식별과 관리가 훨씬 까다로운 조건들에 초점을 맞춘다(Thomalla 등, 2006). 일부 기후변화 영향처럼 시간 또는 공간적으로 먼 현상들에 대해서는 위험인지가 저감될 수 있다(Leiserowitz, 2006) 따라서 이 개념에서, 재해 위험 저감과 기후변화 적응 사이의 연관성을 다룰 때 서로 다른 시간규모는 중요한 제약요인이다(Thomalla 등, 2006; Birkmann and von Teichman, 2010 참고).

그러나 재해 위험 저감은 서로 다른 시간틀 내에서의 위험저감을 고려한다는 것을 인지해야 한다. 그것은 단기적 비상상태 관리/대응 전략과 장기적 위험 저감 전략, 예를 들어 10,000년 빈도의 지진을 이겨내는 건물구조 또는 1,000년 빈도의 해일을 이겨내는 홍수 제방 등을 아우른다.

현대의 전향적 위험관리 논쟁은 생산, 기반시설, 주택, 병원 등에 대하여 수십년 앞선 보안 고려사항을 포함한다.

2.5.4.2.2. 공간 규모와 기능에 따른 규모

공간 규모와 기능 규모는 극한현상 및 기후변화에 대한 노출과 취약성을 식별하는 데 있어 특히 중요한 또 다른 공통의 주제에 속한다. Leichenko와 O'Brien (2002)는, 다양한 지역의 기후변화 및 자연위험에 있어서 사회는 역동적 취약성에 직면하는데, 이것은 취약성을 유발하는 과정과 요인들이 다양한 규모에서 동시에 작동하기 때문에 전통적 지표들로는 불충분해진다는 것을 의미한다고 결론 짓는다. Leichenko와 O'Brien (2002)는 남부 아프리카 농부들이 기후변동성에 대처할 때의 취약성, 대응능력, 및 적응능력에 미치는 복잡한 혼합 영향 (긍정적 영향과 부정적 영향)을 분석한다. 이것은 글로벌화가 국가 수준의 정책과 지역 수준의 경험에 미치는 영향을 포함한다(예: 한편으로는 구조조정 프로그램이 지역수준의 농업 보조금을 줄이고, 한편으로는 무역자유화 대책이 가뭄에 대응한 생산 다각화를 통해 새로운 기회를 창출한다). 또한 Turner 등 (2003a,b)은 취약성 및 복원력 평가는 여러 규모에서 취약성에 대한 영향을 고려할 필요가 있으나 서로 다른 공간규모에서 취약성에 대해 상호작용하는 영향들의 실제 적용과 분석은 중요한 문제이며 대부분 충분히 이해되지 않았다고 강조한다. 특히 제도적 취약성의 식별에 연관된 취약성 분석도 기후변화, 자연위험, 취약성, 및 행정시스템이 작용하는 다양한 기능규모를 고려해야 한다. 대부분의 경우, 도시 또는 공간 계획뿐 아니라 물 관리 도구(특정 계획, 지대설정, 규범)의 현재 재해관리 수단 및 대책들은 기후변화에 비해 상이한 기능규모에서 작용한다. 기후변화가 바꾸어 놓을 수 있는 다양한 위험은 단일 접근법으로는 포착하기 힘든 상이한 기능 규모를 아우른다. 예를 들어, 기후변화 및 재해 위험 저감에 관한 정책 설정과 관리는 대개 각기 다른 제도 또는 부서의 책임이기 때문에 일관되고 통합된 전략을 개발하는 것이 중요하다(Birkmann and von Teichman, 2010). 결과적으로, 기능 규모와 공간 규모의 매칭은 기후변화로 인한 위험과 변화에 충분히 대응할 거버넌스 체계의 능력을 제한하는 제도적 취약성의 일부일지 모른다.

2.5.4.3. 과학과 기술

과학과 기술은 극한기후현상 적응을 도울 잠재력이 있지만 기술의 궁극적 효용을 결정하는 데는 많은 요인들이 존재한다. 이러한 요인에는 이용 가능한 기술의 범위에 대한 이해, 기술의 적절한 역할의 식별, 기술이전 과정, 기술 선정 기준 등이 있다(Klein 등, 2006). 물, 농업, 보건 같은 중요한 부문을 위한 농업 분야의 관개와 윤작 패턴(Klein 등, 2006) 또는 가뭄에 강한 작물의 개발(IAASTD, 2009)과 같은, 소위 '하드(hard)' 기술과 '소프트(soft)' 기술이라고 불리는 가능성있는 기술들이 존재한다.

취약성 저감을 위해 순수과학 기술 기반의 접근법의 대안으로 서양 과학기술과 토착 지식의 혼합(Mercer 등, 2010), 생태 보호와 친자연, 친빈곤층, 친여성적 생태기술(Kesavan and Swaminathan, 2006) 같은 대안 접근법이 제안되어 왔지만 (Haque and Etkin, 2007; Marshall and Picou, 2008), 위험 및 취약성 저감의 맥락에서 이들의 효과는 아직 불확실하다.

새로운 기상 및 기후 예측제품들이 조기 경보시스템에 점점 더 결합되자 (Glantz, 2003) 다양한 시간규모의 예측기술이 향상되어 극한기후 현상에 대한 노출 감소에 도움이 되었다(Goddard 등, 2009; Stockdale 등, 2009; van Aalst, 2009; Barnston 등, 201 0; Hellmuth 등, 2011). 더욱이 사업 (Changnon and Changnon, 2010), 식량 안보 (Verdin 등, 2005), 보건

(Ceccato 등, 2007; Degallier 등, 2010)에서 기획 및 기후위험 관리에 기상 및 기후 정보가 점점 더 많이 사용되고 있으며, 기후 관련 재해관리를 위한 의사결정 지원 도구를 개발하기 위한 기술사용도 증가하고 있다(van de Walle and Turoff, 2007).

2.6. 위험 식별과 평가

위험과 취약성, 위험저감 대책, 적응전략을 식별하고 평가하기 위한 복잡한 환경은 위험 축적, 취약성의 역동적인 변화, 위기 및 재해 상황 별 상이한 단계로 구성된다. 극한현상과 재해에 대한 이해는 기후변화 정황에서의 적응전략과 재해 위험 관리 배경에서 위험 저감을 개발하는 데 필요한 전제조건이다.

현재의 재해 위험 관리 접근법은 대체로 4가지 공공정책 또는 성분(목적)을 수반한다(IDEA, 2005; Carreno, 2006; IDB, 2007; Carreno 등, 2007b):

1) 위험 식별(개별 인지, 위험평가, 사회적 해석을 수반)
2) 위험 저감 (위험 또는 취약성의 예방과 완화를 수반)
3) 위험 전이(재정적 보호와 관련 있으며 공공투자에서의 위험 전이를 뜻함)
4) 재해 관리(대비, 경고, 대응, 재활, 재해 후 재건 단계 포함).

처음 세 조치는 주로 사전조치에 속한다. 즉, 재해 전에 취해진다. 네 번째 조치는 주로 사후조치를 뜻하지만 대비와 조기경고는 사전기획이 필요하다(Cardona, 2004; IDB, 2007). 취약성 및 위험 평가를 통한 위험 식별은 이해관계자들과 행동주체에게 공통 이해를 제공할 수 있다. 이는 극한현상 정황에서 위험 저감, 예방, 전이, 그리고 기후적응의 첫 단계에 속한다.

2.6.1. 위험 식별

오늘날, 위험요인을 이해하고 기후변화로 인한 위험을 의사결정자와 일반대중에게 알리는 것이 핵심 사안으로 대두되었다. 이 문제는 근본 취약성, 사회적 대응 및 대처 능력에 대한 향상된 이해를 개발하는 것을 포함한다.

취약성과 위험을 평가할 적절한 접근법의 선택은 의사결정 상황에 따라 다르다(높은 신뢰수준). 기후변화로 인한 위험 및 변화에 관하여 위험인지 수준을 높이기 위해서는 신념, 가치, 규범과 같이 위험인지를 결정하고 영향을 주는 요인들을 포함해 각기 다른 사회집단 및 개인들의 특정 위험인지에 대한 이해를 향상시킬 필요가 있다. 또한 불확실성과 복잡성을 특징 짓는 적절한 소통 양식에도 관심을 가질 필요가 있다(Patt 등, 2005; Bohle and Glade, 2008; Renn, 2008, pp. 289; Birkmann 등, 2009; ICSU-LAC, 2011 a.b, p. 15 참고).

위험을 인지한 뒤 행동하고 의사결정을 하기 위해서는 적절한 정보와 지식이 필수 전제조건이다. 노출된, 취약한 요소들의 역동적 상호작용에 대한 정보와 지식에는 생계, 중요 기반시설, 피해를 줄 가능성이 있는 현상(예: 극한기상 현상, 잠재적인 비가역적 변화(예: 해수면 상승)) 등이 있다. 기후변화 및 기후변화 적응 공동체의 재해 위험 연구 및 결과의 전문지식에 의하면, 기후변화 및 극한현상에 관한 위험을 이해하기 위한 요건은 특히 다음을 비롯한 다양한 요소에 대한 지식을 아우른다(Kasperson 등, 2005; Patt 등, 2005; Renn and Graham, 2006; Biermann, 2007; Fussel 2007; Bohle and Glade, 2008; Cutter and Finch, 2008; Renn, 2008; Biermann 등, 2009, Birkmann 등, 2009, 2010b; Cardona, 2010; Birkmann, 2011 a; ICSU-LAC, 2011 a.b):

- 사람, 재산, 기반시설, 물품, 환경 등이 피해 잠재력이 있는 현상에 노출되는 과정, 예를 들면 시·공간차원에서 노출에 대한 이해.
- 사람, 그리고 그들의 생계적 취약성 또는 사회생태계의 취약성을 결정하거나 기여하는 요인과 과정. 이에는 사람들을 더 취약하게 만들거나 그들의 복원력 수준을 증가시키는 사회 및 경제 자원의 분포를 포함해 민감성 및 대응능력의 증가 또는 감소에 대한 이해가 포함된다.
- 특히 자연환경에서 인간의 활동 또는 사회생태계의 변화가 새로운 위험의 생성(예: NaTech 위험), 비가역적 변화, 또는 위험현상 발생확률 증가를 초래하는 과정에 관하여 기후변화가 위험에 영향을 주는 방식.
- 새로운 위험(hazard), 위험(risk), 취약성 프로파일 및 위험 인지를 포착할 수 있게 하는 다른 도구, 방법, 지식 원천(예: 전문/과학지식, 현지 또는 토착 지식). 이 정황에서는 새로운 위험(해수면 상승)과 현재의 적응전략을 평가할 수 있는 새로운 도구와 방법도 필요하다.
- 공식 및 비공식 규칙체계와 다양한 수준의 행동주체 네트워크를 아우르는 거버넌스 형태, 특히 위험거버넌스 형태를 통해 위험과 취약성을 변경 및 재구성할 수 있는 방식. 아울러 위험평가 및 위험관리 구조 내에서 적응적 거버넌스 방식을 촉진하는 방식에 대한 지식을 개선하는 것도 필수이다.
- 적응능력 상태와 적응의 한계. 이에는 미래의 위험에 대한 잠재 능력과 불확실성을 다루는 잠재 능력을 평가할 필요성도 포함된다. 또한 다양하고 사회적으로 분화된 적응한계에 대한 더 많은 지식도 필요하다. 이 문제들은 상이한 적응대책들이 복원력과 적응능력에 어떻게 영향을 주는가에 대한 향상된 이해를 함축한다.

2.6.2. 취약성과 위험 평가

현대 위험 분석 및 평가의 발전은 보건에 대한 악영향과 여러 유형의 위험현상 간의 인과관계를 밝히는 과학적 방법과 수학적 확률 이론의 확립과 밀접한 관계가 있다(Covello and Mumpower, 1985). 오늘날 위험 및 취약성 평가는 방대한 여러 학문의 연구분야를 아우른다. 이에 관하여 취약성 및 위험 평가는 여러 기능과 목표를 가질 수 있다.

위험 및 취약성 평가는 용어에 대한 기본적인 이해에 의존한다. 이 정황에서 두 가지 학설을 구분할 수 있다. 첫 번째 학설은 위험을 개인 또는 집단이 해로운 결과가 나올 수 있는 방식으로 행동하도록 내린 결정이라고 정의한다(Luhmann, 2003; Dikau and Pohl, 2007). 이와는 달리 재해 위험 연구 공동체는 위험을 잠재적으로 해로운 현상과 노출된 사회 또는 요소의 취약한 조건이 상호작용한 산물이라고 본다(UNISDR, 2004; IPCC, 2007).

취약성 및 위험 평가는 지표에 기반한 전지구적 또는 국가적 평가부터 지역 수준의 정성적 참여적 취약성 및 위험 평가 접근법까지 다양한 접근법과 기법을 아우른다. 이들은 서로 다른 기능과 목표에 기여한다(IDEA, 2005; Birkmann, 2006a; Cardona, 2006; Dilley, 2006; Wisner, 2006a; IFRC, 2008; Peduzzi 등, 2009 참고).

지역 수준의 위험평가는 예를 들어 충분한 해상도의 기후자료 및 최저의 수준으로 취합된 사회경제 자료 같은 것을 포함하는 자료의 부족뿐 아니라, 지역사회의 능력 (및 구성원들의 분포방식과 구성원들의 권력관계), 그들이 처한 문제(지속적 취약성과 급성 취약성 포함) 간의 복잡하고 동적인 상호작용에 관련된 특정 문제를 드러낸다.

위험관리에 정보를 제공하기 위해서는 위험평가를 현지 상황에 기반해서 수행하고, 위험을 다루는 데 활용될 수 있는 과정과 옵션에 대한 인식 및 현지 주인의식을 높이는 것이 바람직하다. 참여적인 농촌 평가 방법에 기초한 몇몇 참여적 위험평가 방법들은 기후변화로 인한 위험을 명확히 다루도록 조정되어 왔다. 지역사회 수준의 기후변동성 평가방법에 관한 가이드의 예는 다양한 문헌에서 확인할 수 있다(Willows and Connell, 2003; Moench and Dixit, 2007; van Aalst 등, 2007; CARE, 2009; IISD 등, 2009; Tearfund, 2009). 기후변화에 대한 통합적 분석에서는 고급의 과학정보 및 엄격한 분석결과를 포함하는 복잡한 평가에 대한 갈망과 그 과정을 단순하고 참여적이며 이행 가능한 지속의 필요성 간의 균형을 유지할 필요가 있다. 지역 수준의 위험관리 이행에 관해서는 5장에서 상세하게 다룬다.

국제표준기구(ISO)는 위험평가를 위험의 성격을 포괄적으로 이해하고 위험수준을 결정하는 과정이라고 정의한다(ISO, 2009a,b). 또한 위험 평가 및 관리 내 소통은 그 과정의 핵심 요소로 간주된다(Renn, 2008). 구체적으로, 취약성 및 위험 평가는 위험에 처한 사회 –사회집단과 기반시설–의 또는 사회경제 시스템의 상이한 취약성 및 위험 수준을 식별하고 평가할 수 있도록 데이터와 정보를 수집 및 체계화 함으로써 취약성 및 위험의 상이한 측면과 요인들의 식별을 다룬다. 취약성 및 위험 평가 접근법들의 공통 목표는 우선순위 결정, 대체전략 선택, 또는 새로운 대응전략 수립을 위해 위험 및 취약성의 프로파일, 패턴, 변화에 대한 정보를 제공하는 것이다(IDEA, 2005; Birkmann, 2006a; Cardona, 2008; IFR(, 2008 참고). 이 정황에서, 효고 행동 계획은 "재해 위험을 줄이고 재해복원력 문화를 촉진하기 위한 출발점은 위험에 대한 지식, 대부분의 사회가 처한 재해에 대한 물리적, 사회적, 경제적, 환경적 취약성에 대한 지식, 그리고 위험과 취약성이 장·단기적으로 변하는 방식에 대한 지식에 있고 그 후 그 지식에 기초해 이행을 취하는 데 있다"고 강조한다(UN, 2005).

취약성 및 위험 평가는 재해 위험 관리와 기후변화 적응에 정보를 제공하는 핵심 전략적 활동이다. 이를 위해서는 주어진 노출 시간에 인간 시스템에 대한 잠재적 손실과 결과를 적절히 추정 및 정량화 할 수 있는 신뢰성 있는 방법을 사용해야 한다.

따라서 위험 추정은 미래에 일어날 수 있는 과학적으로 가능한 위험 현상을 전향적으로 예기하기 위한 것이다. 대개 기술적 위험분석은 확률과 연관되어 왔다.

인식론적 불확실성(epistemic uncertainties)과 물리적 불확실성(aleatory uncertainties)을 고려했을 때 확률론적 위험추정은 분석하려는 위험과 시스템에 대한 데이터가 충분치 않은 경우에도 피해 또는 손실을 예측하려 한다(UNDRO, 1980; Fournier d'Albe, 1985; Spence and Coburn, 1987; Blockley, 1992; Coburn and Spence, 1992; Sheldon and Golding, 1992; Woo, 1999; Grossi and Kunreuther, 2005; Cardona 등, 2008a,b; Cardona 2011). 대부분의 경우, 데이터 부족 또는 본질적으로 낮은 정보의 해상도로 인해 상이한 정보 유형 및 출처를 단순화하고 총합하기 위한 접근법과 기준이 사용된다. 이것은 위험평가가 목표일 때의 바람직한 특징인 과학적 또는 기술적 및 계량경제적 특징, 정확도 및 완전성을 가져올 수 있다(Cardona 등, 2003b). 현상 재현기간에 대한 손실 초과 곡선(loss exceedance curve)과 최대 추정 손실(probable maximum loss) 같은 대책들은 위험의 계층화(stratification of risk)와 위험 저감, 예방 및 이전을 고려하는 재해 위험 중재전략의 설계에 특히 중요하다(Woo, 1999; Grossi and Kunreuther, 2005; Cardona 등, 2008a,b; ERN-AL, 2011; UNISDR, 2011). 그러나 보다 정성적인 위험평가를 위한 접근법들은 결정론적 접근법과 참여형 방법을 사용하는 취약성 프로파일링에 초점을 맞춘다(Garret, 1999).

취약성 및 위험 지표 또는 지수는 위험 모니터링에 적합한 기법이며, 위험의 더욱 거친 측면뿐 아니라 더 부드러운 측면도 고려할 수 있다. 지표의 유용성은 그것들이 위험관리 목적 및 목표에 대한 의사결정에 어떻게 이용되는가에 달렸다(Cardona 등, 2003a; IDEA, 2005; Cardona, 2006, 2008, 2010; Carreno 등, 2007b).

그러나 취약성의 평가에 대한 정량적 접근법들은 취약성의 각 차원에서 취약성의 복잡성과 유·무형의 다양한 측면들을 포착하기 위해 정성적 접근법으로 보완될 필요가 있다. 복잡한 시스템은 동일 방법으로는 측정될 수 없는 다중 변수들(물리적, 사회적, 문화적, 경제적, 환경적 변수들)을 포함한다는 것을 인정하는 것이 중요하다. 물리적 또는 물질적 현실은 정량적 대책을 사용할 수 있는 보다 단단한 위상을 갖고 있지만 집단적이고 역사적인 현실은 속성(attribute)의 대부분이 정성적 용어로 기술되는 보다 부드러운 위상을 갖고 있다(Munda, 2000). 이러한 측면들은 위험의 측량 또는 측정에 다양한 학문적 관점에서의 통합이 필요하다는 것을 암시한다. 여러 학문에 걸친 통합된 초점은 사회 시스템 및 환경 시스템의 매개변수, 배경, 복잡성, 역학의 비선형 관계를 보다 일관되게 고려할 수 있고, 위험 저감 또는 적응 의사결정에 관여하는 이해관계자들의 보다 효과적인 위험관리에 기여할 수 있다. 결과는 검증될 수 있고 위험 관리/적응 우선순위는 정립될 수 있다(Carreno 등, 2007a, 2009).

위험 및 취약성 평가가 이해되도록 보장하기 위하여, 미래의 취약성 및 위험평가의 핵심 문제는 보다 통합적이고 전체론적인 접근법의 촉진; 취약성, 노출, 및 위험의 동적 변화도 고려하는 평가방법의 개선; 의사결정자와 일반대중의 요구사항을 다룰 필요성이 있다.

Box 2–3 | 아메리카에서 다양한 종류의 의사결정자를 위한 취약성의 지역적 공통 운영 그림 개발하기

미주개발은행의 아메리카 재해 위험 지표 및 위험관리 지표 프로그램 (Program of Indicators of Disaster Risk and Risk Management for the Americas of the Inter-American Development Bank (IDEA, 2005; Cardona, 2008, 2010)은 사회적, 경제적, 환경적 지표를 사용한 상대적 취약성 평가에 대한 전체론적 접근법과, 극한영향이 영향 받은 인벤토리 또는 자본금을 회복하기 위해 급하게 자원 수요를 증대시켜 재정적자를 일으킬 수 있음을 고려하는 국가 재정 취약성 평가의 척도를 제공한다.

우세 취약성 지수(Prevalent Vulnerability Index, PVI)는 전진과 퇴보를 식별하기 위해 시간이 경과함에 따른 국가의 지배적 취약성 조건을 보여준다. 이것은(노출과 민감성의 결과로) 직접적 효과뿐 아니라(사회경제적 취약성과 복원력 결여의 결과로) 위험 현상의 간접적 무형 효과도 예측한다. 사용된 지표는 연구 중인 국가에 영향을 주는 상황, 원인, 민감성, 약점, 또는 상대적 개발 부재를 반영하는 인구, 사회경제, 환경 국가지표들로 구성된다. 지표들은 신뢰성 있는 범세계 데이터베이스 또는 각 국가가 제공한 데이터에서 구할 수 있는 기존 지수, 수치, 또는 속도에 기초해서 선택된다. 이 취약성 조건들은 위험과 개발 간 관계를 강조한다. 그림 2-1은 2007년 총 PVI (노출, 사회적 취약성, 복원력 결여)를 보여준다.

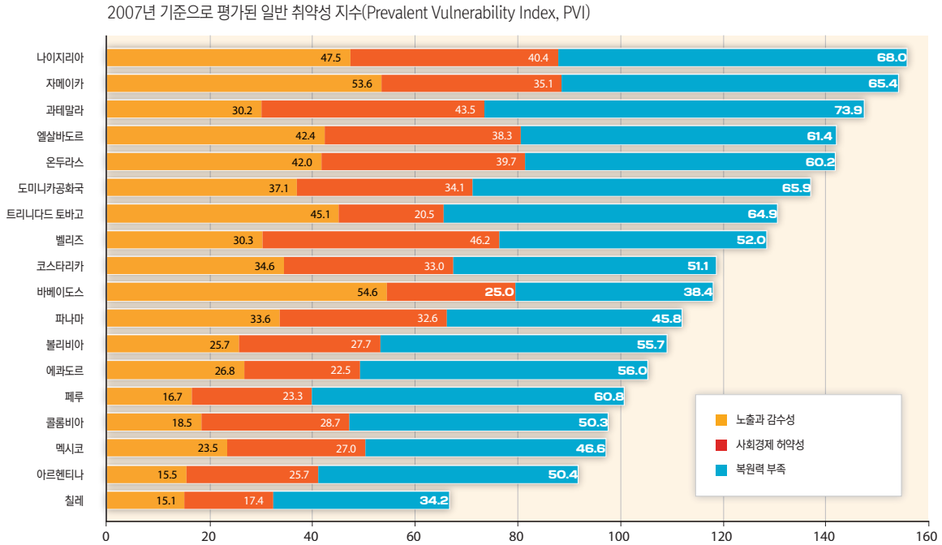


그림 2-1 | 아메리카 대륙 19개국의 2007년 총 PVI 출처: Cardona, 2010.

취약성과 위험은 적절한 개발 프로세스, 노출된 자산의 민감성 감소, 사회경제적 취약성 저감, 사회의 능력 및 복원력 향상을 통해 시정될 수 있는 지속 불가능한 경제 성장 및 결핍의 결과이다(I DB, 2007). PVI 같은 지수가 제공하는 정보는 주택 및 도시개발부, 환경부, 농업부, 보건복지부, 경제부, 기획부 같은 부처에 유용할 수 있다. PVI의 주요 장점은 결과를 분해할 수 있고 시정 대책과 전향적 대책 또는 개발관점에 따른 취약성의 중재로서 위험관리 조치에서 우선사항이 될 수 있는 요인들을 식별할 수 있다는 데 있다. PVI는 여러 다른 영토 수준에서 사용될 수 있지만 PVI에 사용되는 지표들은 국가 수준에서만 이용 가능한 경우가 많다. 이 때문에 PVI는 준국가 규모에 응용하는 데 한계가 있다.

반면에 미래의 재해는 우발 채무(contingency liabilities)으로 확인되었고 각 국가의 예산(balance)에 포함될 것이다. 정부가 영토주체의 신용

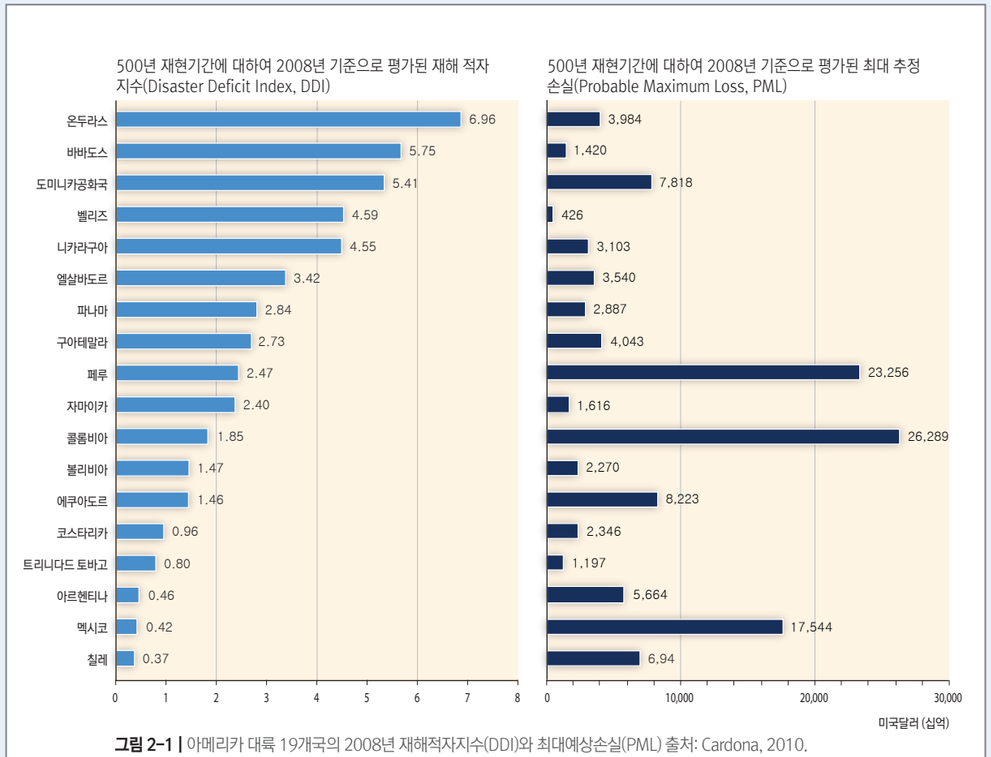


그림 2-1 | 아메리카 대륙 19개국의 2008년 재해적자지수(DDI)와 최대예상손실(PML) 출처: Cardona, 2010.

을 위해 또는 보조금으로 인해 져야 하는 연금 책무 또는 보증으로, 재해를 대비한 비용은 위험 현상이 발생할 때 실현되는 책무이다.

재해적자지수(DDI)는 주어진 노출기간 동안(허리케인, 홍수, 쓰나미, 지진 등으로 인한) 극한영향과 그러한 상황에 대처할 재정능력의 추정치를 제공한다. DDI는 극한영향이 발생할 때 국가가 경험할 수 있는 손실(우발자원의 수요)과 공공부문의 경제 복원력, 즉 그 상황을 처리할(영향 받은 인벤토리를 회복시킬) 수 있는 자금의 가용성 간의 관계를 포착한다. 이 거시경제 위험 도량형은 극한영향과 정부의 대응능력 간 관계를 강조한다. 그림 2-2는 2008년의 DDI를 보여준다.

1.0보다 큰 DDI는 국가가 최대한 많은 빚을 낸다 해도 극한 재해에 대처할 수 없음을 의미한다. DDI가 클수록 잠재적 손실과 국가의 대처능력 간의 격차는 커진다. 위의 재해 위험 수치는 흥미롭고, 재정경제부처에서 유용하게 쓰일 수 있다. 이것은 잠재적 재해에 관하여 국가의 잠재적 재정 지속가능성 문제와 관련 있다. 한편 DDI는 극한영향으로 인한 국가의 재정취약성을 압축적으로 보여준다. DDI는 경제 위험 관리에 대한 지침 역할을 했다. 국가 및 준국가에의 결과는 경제, 재정, 기획 분석가들에 의해 연구될 수 있는데, 이들은 잠재적 예산 문제 및 재정계획에서 그 수치들을 고려할 필요성에 대해 평가할 수 있다.

많은 평가들이 아직도 경제적 위험과 취약성 같은 하나의 차원에만 초점을 맞춘다. 따라서 그들은 매우 한정된 세트의 취약성 요인 및 차원을 고려한다. 지구적 수준의 일부 접근법은 취약성을 주로 생명손실 및 경제피해의 정도와 연관지어 이해한다(see Dilley 등, 2005; Dilley 2006). 보다 통합적이고 전체론적인 관점은 취약성과 재해 위험의 보다 광범위한 측면과 요인에 대해 다룬다. 성공적인 기후변화 적응은 사회적, 경제적, 환경적, 제도적 측면을 아우르는 다차원 관점에 기초해왔다. 따라서 적응전략에 정보를 주기 위한 위험 및 취약성 평가 역시 다측면적인 관점이 필요하다.

통합적이고 전체론적인 관점을 가진 평가 기틀은 Turner 등 (2003a), Birkmann (2006b), and Cardona (2001)에 의해 개발되어 왔다. 이러한 전체론적 관점의 핵심 요소는 취약성 및 위험 요인들과, 국가, 사회, 지역사회, 또는 개인이 위험 취약성 또는 노출을 줄이기 위해 취하는 (구조적, 비구조적) 중재 사이의 인과관계의 식별이다. Turner 등 (2003a)은 서로 다른 규모 (지방, 국가, 지역 등) 사이의 관계를 포착하기 위하여 서로 다른 규모에 동시에 초점을 맞출 필요성을 강조한다. 서로 다른 규모 사이의 영향력과 관계는 재해 중과 재해 후에 그것들의 동적인 성격 때문에 외부 재해원조의 투입을 통해 포착하기는 어려울 수 있다(Cardona, 1999a,b; Cardona and Barbat, 2000; Turner 등, 2003a; Carreno 등, 2005, 2007a, 2009; IDEA, 2005; Birkmann, 2006b; ICSU-LAC, 2011 a.b).

포괄적이고 다양한 학문에 걸친 관점에서 취약성을 측정하는 몇 가지 방법이 제안되었다. 일부 경우에 복합 지수 또는 지표는 위험 현상의 직접적인 물리적 영향 (예: 노출과 민감성)뿐 아니라 간접적인 또는 무형의 영향 (예: 사회생태적 취약성 또는 복원력 결여)에 유리한 조건을 포착하는 경향이 있다(IDEA, 2005; Cardona, 2006; Carreno 등, 2007a). 이 전체론적 접근법에서, 노출과 물리적 민감성은 취약성의 '하드(hard)'하고 위험 의존적인 조건들을 나타낸다. 반면에, 미래 재해를 적절히 대응, 예기하지 못하고 사회생태적 취약성의 결과로 부정적 영향을 겪기 쉬운 성향은 '소프트(soft)'하고 대체로 위험에 의존적이지 않으며 영향을 악화시키는 조건으로 간주될 수 있다. Box 2-3은 이러한 접근법들 중 상대 지표에 기초하고, 국가의 취약성을 모니터링하고 국가의 개발 및 재정 당국에게 그들의 언어로 소통하는 데 유용한 두 가지를 설명한다.

재해 위험 관리와 기후변화 적응을 강화하기 위하여, 위험 식별 및 취약성 평가는 서로 다른 단계에서, 즉 재해 발생 이전, 도중, 및 이후에 착수될 수 있다. 이것은 예를 들면 착수된 대책의 지속적 실행가능성에 대한 평가, 그리고 추가적인 적응/위험 관리대책의 필요성을 포함한다. 위험 및 취약성의 저감은 재해 발생 전에 수행되어야 하는 일차적 조치이지만, 재해의 사후 및 법의학적 연구는 위험, 재해 및 취약성이 드러났음에 대해 분석한다(Birkmann and Fernando, 2008; ICSU-LAC, 2011 a.b 참고). 재해는 사회적 과정과 사회생태 과정이 위기와 비상재해 상황에서 특히 자원 접근성의 재구성에 또는 사회적 네트워크와 공식 조직들의 역할에 관하여 어떻게 변하고 행동하는가에 대한 주의를 환기시킨다(Bohle, 2008 참고). 현재까지 많은 재해의 사후 과정들과 전략들은 기후변화 적응 측면과 장기 위험 저감 측면들을 통합하는 데 실패한 실정이다(Birkmann 등, 2009, 2010a 참고).

평가의 보다 광범위한 맥락에서, 위험(hazard), 취약성 및 위험(risk)을 측량하고 평가할 방법을 개발하는 것도 중요하다. 재해 위험 연구는 주로 홍수, 폭우, 쓰나미와 같이 급작스럽게 진행되는 위험과 재해에 주목한다. 반면 서서히 일어나는 변화를 측정하는 일, 또는 이러한 평가에 극적인 전환(tipping point)에 대한 사안을 통합하는 데는 덜 주목하는 경향이 있다(3.1.7절 참고). 따라서 취약성과 위험을 측정하는 문제는 정량적 측정과 정성적 측정 면에서 여전히 풀어야 할 과제로 남아 있다. 마지막으로, 해안, 산간, 건조 환경 같은 특정 지역의 취약성 저감과 기후변화 적응을 위한 통합적이고 일관된 목표가 정의될 수 있다면 적절한 평가 지표와 평가 기준의 개발도 강화될 것이다. 현재까지 대부분의 평가에서 판단과 평가는 서로 다른 사회 집단 또는 지역 간 취약성 수준 상대비교에 기초하였다. 적응과 위험관리 정책 및 실무는 불확실성과 복잡성의 명료한 특성화를 포함해 취약성과 노출의 역동적 성격을 고려한다면 더욱 성공적일 것이라는 증거수준은 보통 수준이지만(적응 및 위험관리 중재의 영향과 그러한 평가에 관련된 문제들에 대한 장기간 평가의 한정된 양을 고려했을 때) 동의수준은 높다(Cardona 2001, 2011; Hilhorst, 2004, ICSU-LAC, 201 0, Pelling, 2010). 기후변화 영향 예측은 상이한 개발 경로 하에 취약성과 노출이 변화하는 과정을 포함함으로써 강화될 수 있다. 적응 및 위험관리 전략과 정책의 설계와 이행은 단기적으로 위험을 저감할 수 있으나 장기적으로는 취약성과 노출을 증가시킬 수 있다는 점을 생각하면 취약성과 노출의 역학성에 주목하는 것이 특히 중요하다. 예를 들어 제방 시스템은 즉각적 보호를 제공함으로써 위험 노출(hazard exposure)을 저감할 수 있지만 장기적으로 위험을 증가시킬 수 있는 정착 패턴을 조성할 수 있다. 예를 들어, 허리케인 베치(Betsy)와 카트리나 사이의 40년 간격 동안, 방호 공사들 (새롭고 개선된 제방, 배수 펌프, 운하 등)은 뉴올리언즈와 주변 지역을 1985년, 1997년, 1998년 세 번의 허리케인으로부터 성공적으로 보호하였다. 이 공사들은 과거에 보호되지 않던 지역의 대량 개발을 가능케 함으로서 카트리나 참사의 기초원인의 역할을 하였다.. 이 지역의 홍수는 그 공사들이 불충분한 것으로 보일 때 발생하였다(Colten 등, 2008). 이와 관련한 보다 자세한 예시는 Decamps (2010)를 참고한다.

재해 위험 관리에 관한 공공정책의 설계는 정책수립 방향 설정에 사용된 평가방법과 관련이 있다. 진단이 이행을 수반한다면 약점이나 실패의 단순 존재를 규명하는 데 그치는 것보다 훨씬 효과적이다. 위험 모델의 주요 품질 속성은 적용성(applicability), 투명성(transparency), 제시성(presentation), 및 적법성(legitimacy)으로 나타난다(Corral, 2000). 자세한 사항은 Cardona (2004, 2011) 참고.

개발 기관을 위한 일부 포트폴리오 수준의 기후위험 평가방법들은 취약성과 노출의 위험에 주목하였다(예: Burton and van Aalst, 1999,2004; Klein, 2001; van Aalst, 2006b; Klein 등, 2007; Agrawala and van Aalst, 2008; Tanner, 2009). 개발 프로젝트 대부분의 계획 기간(보통 약 20년)을 고려하면, 투자의 물리적 수명이 더욱 길고 현 시점 및 미래의 위험을 주목할 필요가 있더라도, 이 도구들은 현재의 위험 측면에서도 기후변화 적응과 강화된 재해 위험 관리 사이에 연관성을 제공한다.

국가 수준에서 위험관리 이행에 관한 보다 자세한 사항은 6장을 참고한다.

2.6.3. 위험 소통

대응은 위험 인지에 의해 형성되기 때문에(Grothmann and Patt, 2005;Wolf 등, 2010b; Morton 등, 2011). 사람들이 특정 위험을 어떻게 인지하는가는 위험관리와 기후변화 적응 효과에 있어 핵심적인 사안이다(예: Burton 등, 1993; Alexander, 2000; Kasperson and Palmlund, 2005; van Sluis and van Aalst, 2006; ICSU-LAC, 2011 a,b).

위험 소통은 여러 청중에게 전달하여 위험을 이해시키고, 청중의 가치관을 이해, 존중하고, 소통에 대한 청중의 반응을 예측하고, 인식과 집단적, 개인적 의사결정을 개선하는 과정을 포함하며, 복잡하고 다양한 분야를 아우른다(예: Cardona, 1996c; Mileti, 1996; Greiving, 2002; Renn, 2008). 2005년 허리케인 카트리나, 또는 2010년 파키스탄 홍수와 같은 과거 재해에서는 위험소통이 실패하였다(DKKV, 2011). 특히, 조기 경보와 재해 관리를 책임지는 공공기관에 대한 신뢰 상실은 재해 위험 증가에 기여한 핵심 요인이었다. 그러므로 극한현상에서 특히 사람 중심의 조기 경보에서 취약성 및 위험 저감을 개선하는 핵심은 사람 중심의 효과적인 위험 소통이다(DKKV, 2011). 조기 경보 또는 기후변화 적응에서 약하고 불충분한 위험 소통과 정부기관에 대한 신뢰상실은 제도적 취약성의 핵심 성분이라고 볼 수 있다.

위험평가와 위험식별은 위험소통의 다양한 유형과 전략에 연계되어야 한다. 위험소통 또는 사람 중심의 효과적인 위험소통의 실패는 취약성 및 재해 위험의 증가에 기여할 수 있다. 사람들이 특정 위험 또는 다중 위험을 어떻게 인지하고 대응하는가를 결정하는 요인들에 대한 지식은 위험관리와 기후변화 적응에 있어 핵심 요소이다(Grothmann and Patt 2005; van Aalst 등, 2008 참고).

재해를 조명하는 방식을 이해하기 위해서는 취약성 요인, 취약성의 역동적인 시□공간적 변화, 위험에 처한 사회시스템 또는 사회생태 시스템의 대응 및 대처 능력에 대한 더 많은 정보와 소통이 필요하다(Turner 등, 2003a; Birkmann, 2006a,b, c; Cardona, 2008; Cutter and Finch, 2008; ICSU-LAC, 2011 a.b 참고). '조명(framing)'이란 특정 문제를 보는 방식을 말한다. 틀(frame)은 세계에 대한 지식과 근본적인 견해에 의해 형성된다(Schon and Rein, 1994). 이것은 사람들이 주요 사회적 가치 (예: 자유, 평화, 자유)에 대한 기본 태도, 당국과 책임에 대한 생각 (예: 개인적 자율, 기업의 책임), 경쟁하는 지식체계의 신뢰성, 관련성, 무게에 대한 판단에 비추어 세계에 대한 지식을 편성하는 것이다 Jasanoff and Wynne, 1997). '조기 경보'는 취약성의 대부분이 가정되는 환경 속에서의 지식 중재를 암시한다. 이에 관하여, 위험 소통에는 하향식 소통만 있는 것이 아니다. 오히려 효과적인 위험 소통을 하려면 위험 소통을 국지적 위험 인지와 국지적 위험 조명도 다루는 사회적 과정으로서 인식할 필요가 있다. 그래서 위험 소통은 국지적 지식과 필요성을 상향시키는 도구 역할도 한다(상향식 접근법). 효과적인 위험 소통은 위험에 처한 사람들에게 그들이 처한 위험과 임박한 재해 위험의 주요 결정요인에 대한 정보를 제공하고 (조기 경보), 서로 다른 이해관계자들을 문제의 정의와 개별 해법의 식별에 참여시킨다(van Aalst 등, 2008 참조).

기후변화 적응전략은 물론 재해 위험 저감을 위한 접근법은 대중의 관심, 리더십, 수용이 필요하다. 위험정보의 생성과 수용은 다양한 채널을 통해 이루어진다. 5장과 다른 장들에서는 매스 미디어와 기타 출처의 중요 역할을 고찰한다(Sampei and Aoyagi-Usui, 2009에 제시된 일본 사례를 참고). 위험소통 정황 내에서, 특히 기후변화와 재해 측면에서 의사결정자, 과학자, NGO는 뉴스 생산에 신경 쓰는 미디어의 요구사항, 공공 담론, 미디어 소비에 따라 행동해야 한다(Carvalho and Burgess, 2005 참고). Carvalho (2005)와 Olausson (2009)는 언론이 정치 인식과 밀접한 관계가 있고 자체의 저널리즘 규범 및 우선순위에 따라 표현하며; 그것은 언론이 기후변화 소통의 다른 틀에는 공간을 제공하지 않음을 의미한다고 강조한다(Carvalho, 2005; Olausson, 2009). Boykoff and Boykoff (2007)는 이 과정은 정보 편향, 특히 문제의 포괄적 분석 대신에 현상 제시 쪽으로 편향될 수 있다고 결론내린다. 따라서 위험소통 및 개별 지식기반의 향상에서 중요한 것은 미래에 대한 지식의 한계를 수용하고 인정하는 것이다(see Birkmann and von Teichman, 2010).

2.7. 위험 축적과 재해의 성질

위험 축적의 개념은 특정 장소에서, 일부는 지속적이며 점진적이고, 일부는 다소 유동적인 과정들이 불평등, 주변화(marginalization) 및 재해 위험이 악화되는 식으로 결합되어 재해 위험이 점진적으로 증가하는 것을 말한다(Maskrey, 1993b; Lavell, 1994). 또한 이것은 한 가지 위험 -그리고 이에 대한 대응- 의 영향이 그 다음 위험의 작용에 어떠한 영향을 줄 수 있는지도 반영하는데, 이것은 엘살바도르의 사례를 통해 이해할 수 있다. 엘살바도르 사례에서 1998년 허리케인 '미치' 후에 임시 주거지에 사는 사람들은 주거지의 부실 구조로 인해 2001년 지진 때는 더 큰 위험에 처하였다(Wisner, 2001 b). 위험축적 개념은 개발 패턴과 위험을 연관 지을 뿐 아니라 재해와 그 다음 재해 사이의 관계도 연관 지음으로써 위험의 다중 원인인자들을 수용한다.

위험 축적은 생태계의 조절체계 감소, 부적절한 물 관리, 토지이용 변화, 농촌-도시 이주, 무계획적 도시 개발, 저지대에 임시 거주지 확대, 배수 기반시설의 투자부족과 같은 근본적인 요인에 의해 좌우될 수 있다. 보건서비스 접근성의 감소 또는 정보와 권력으로부터의 배제 등을 통해 특정 집단의 주변화를 증가시키는 개발 및 거버넌스 과정도 그 집단들의 민감성을 심각하게 증가시키고 사회적 대응능력을 침식할 수 있다. 급격히 성장 중인 개발도상국 도시들의 도시 지역에서의 재해 위험이 그 전형적인 예이다(Pelling and Wisner, 2009b). 이러한 지역에서 재해 위험은 종종 매우 불균등하게 분포하고 빈곤층이 가장 높은 위험에 직면한다. 빈곤층은 도시에서 가장 위험성이 높은 지역, 예를 들어 공공서비스가 없는 무계획적 밀집 거주지; 폐기물 처분시설 부재로 배수로가 막히고 홍수 발생 시 질병 위험이 증가하는 곳; 위험을 저감할 정부 거버넌스를 보장하는 정치적 영향력이 제한된 곳에 살기 때문이다. 시간이 지나면서 재해 위험 축적은 부분적으로는 도시 지역에서 날마다 작은 위험에 지속적으로 노출됨으로써 지속적인 작은 재해에 의해 유발될 수 있고 (예: Pelling and Wisner, 2009a), 재해 발생 시 대응 및 복구할 자원이 부족하여 악화될 수 있어 빈곤과 재해 위험의 악순환이 반복된다. 재해손실 데이터의 분석은 빈번한 저강도 손실이 위험을 축적시킬 수 있으며 이것은 극한 위험 현상 발생 시 실현된다는 것을 시사한다(UNISDR, 2009a). 위험 발생 성향이 있는 국가들에서는 특히 갈등과 이동 정황에서는 더 큰 규모에서 위험축적이 발생할 수 있다(예: UNDP, 2004).

정황에 기초한 이러한 위험의 이해는 적절한 위험관리 전략 개발에 있어 필수적이다. 이것은 국지적 위험의 복잡한 패턴뿐 아니라 위험 식별 및 저감의 지역소유 과정들을 시각화 할 수 있는 준국가 재해 데이터의 수집도 포함한다(UNDP, 2004). Bull-Kamanga 등 (2003)은 아프리카에서 도시

재해 위험을 처리할 가장 효과적인 방법 중 하나는 가장 취약한 집단이 위험을 식별하고 지역사회의 조치와 외부기관(지역정부 포함)의 조치에서 우선순위를 정할 수 있도록 지역사회 프로세스를 지원하는 것이라고 주장한다. 그러한 국지적 위험평가 프로세스는 대규모 물리적 건설과 시설을 계획 및 개발하는 데 사용되는 구시대 맵에 기초한 계획의 함정도 모면해 준다.

재해 위험은 사회가 자연현상의 경우처럼 반응, 적응, 또는 대응하는 자율적 또는 외생적 환경이 아니고, 오히려 사회와 자연 또는 건설된 환경의 상호작용의 결과이다. 재해는 간혹 티핑 포인트에 도달하는 병행 개발들의 산물이며 그러한 경우, 그 병행 과정들의 누적 효과가 재해를 초래한다(Dikau and Pohl, 2007; Birkmann, 2011 b). 그 시점 후에 복구는 재건 과정과 목표의 충돌로 인해 느려질 수 있다(Colten 등, 2008). 또한 재해 발생 후에 가급적 조속히 현상태로 복구하라고 강하게 압박되기도 한다. 그 현상태가 지속적으로 높은 수준의 재해 위험을 의미하더라도 말이다. 그러나 때때로 재해는 재해 위험의 결정요인들을 다룰 기회의 창일 수 있다. 전향적 위험평가와 재건계획이 있으면, 재해 중과 재해 이후에 필수 자산과 서비스를 복구하면서 보다 적절한 해법을 실현할 수 있다(Susman 등, 1983, Renn, 1992; Comfort 등, 1999; Vogel and O'Brien, 2004).

참고문헌

본장에인용된, 일반인이쉽게열람하기어려운비-저널문헌의디지털라이브러리는 IPCC 검토및초고과정의일부로서취합되었고, IPCC 사무국또는 IPCC 실무그룹 II 웹사이트를통해접근할수있다.

Abel, N., D. Cumming, and J. Anderies, 2006: Collapse and reorganization in socialecological systems: Questions, some ideas, and policy implications. Ecology and Society, 11(1), 17-42.

Adam, B. and J. van Loon, 2000: Repositioning risk; the challenge for social theory. In: The Risk Society and Beyond [Adam, B., U. Beck, and J. van Loon (eds.)]. SAGE Publications, London, UK, pp. 1-31.

Adelekan, I.O., 2010: Vulnerability of poor urban coastal communities to flooding in Lagos, Nigeria. Environment and Urbanization, 22, 433, doi:10.1177/0956247810380141.

Adger, W.N., 1999: Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. World Development, 27(3), 249-269.

Adger, W.N., 2000: Social and ecological resilience: are they related? Progress in Human Geography, 24(3), 347-364.

Adger, W.N., 2003: Social capital, collective action, and adaptation to climate change. Economic Geography, 79(4), 387-404.

Adger, W.N., 2006: Vulnerability. Global Environmental Change, 16, 268-281.

Adger, W.N. (ed.), 2009: Adapting to Climate Change, Thresholds, Values, Governance. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Adger, W.N. and N. Brooks, 2003: Does global environmental change cause vulnerability to disaster? In: Natural Disasters and Development in a Globalizing World [Pelling, M. (ed.)]. Routledge, London, UK, pp. 19-42.

Adger, W.N., and P.M. Kelly, 1999: Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 4, 253-266.

Adger, W.N., N. Brooks, M. Kelly, S. Bentham, and S. Eriksen, 2004: New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity. Tyndall Centre for Climate Change Research, Technical Report 7, University of East Anglia, Norwich, UK.

Adger, W.N., N.W. Arnell, and E.L. Tompkins, 2005: Successful adaptation to climate change across scales. Global Environmental Change, 15(2), 77-86.

Afifi, T., 2011: Economic or environmental migration? The push factors in Niger. International Migration, 49(S1), e95-e124.

Agrawala, S. and M.K. van Aalst, 2008: Adapting development co-operation to adapt to climate change. Climate Policy, 8, 183-193.

Ahern, M., R.S. Kovats, P. Wilkinson, R. Few, and F. Matthies, 2005: Global health impacts of floods: epidemiologic evidence. Epidemiologic Reviews, 27, doi:10.1093/epirev/mxi004.

Alexander, D.E., 1993: Natural Disasters, UCL Press Limited, London, UK.

Alexander, D.E., 2000: Confronting Catastrophe. Terra Publishing, Harpenden, UK.

Altman, I. and S. Low, 1992: Place Attachment. Plenum Press, New York, NY.

Alwang, J., P.B. Siegel, and S.L. Jorgensen, 2001: Vulnerability: A View From Different Disciplines. Social Protection Discussion Paper Series, No. 115, World Bank, Washington, DC.

Amstadter, A.B., R. Acierno, L.K. Richardson, D.G. Kilpatrick, D.F. Gros, R.J. Johnson, M.T. Gaboury, L.T. Trinh, T.T. Lam, T.T. Nguyen, T. Tran, T.B. La, T.H. Tran, D.C. Tran, and G. Sandro, 2009: Post typhoon prevalence of posttraumatic stress disorder, major depressive disorder, panic disorder, and generalized anxiety disorder in a Vietnamese sample. Journal of Traumatic Stress, 22(3), 180-188.

Anderson, M.B. and P.J. Woodrow, 1989: Rising from the Ashes, Development Strategies in Times of Disaster. 1998 ed. Lynne Rienner, London, UK, 338 pp.

Anderson, M.B. and P.J. Woodrow, 1991: Reducing vulnerability to drought and famine: Developmental approaches to relief. Disasters, 15(1), 43-54.

Aragon-Durand, F., 2007: Urbanisation and flood vulnerability in the peri-urban interface of Mexico City. Disasters, 31(4), 477-494 .

Armitage, D., B. Fikret, and N. Doubleday (eds.), 2007: Adaptive Co-Management: Collaboration, Learning, and Multi-Level Governance. UBC Press, Vancouver, Canada, 160 pp.

Arrow, K. and R. Lind, 1970: Uncertainty and the evaluation of public investment decisions. The American Economic Review, 60, 364-378.

Auld, H. and D. MacIver, 2007: Changing Weather Patterns, Uncertainty And Infrastructure Risks: Emerging Adaptation Requirements. Occasional Paper 9, Environment Canada, Toronto, Canada.

Aysan, Y., 1993: Vulnerability assessment. In: Natural Disasters: Protecting Vulnerable Communities [Merriman, P.A. and C.W.A. Browitt (eds.)]. IDNDR-Thomas Telford, London, UK.

Aysan, Y. and P. Oliver, 1987: Housing and Culture after Earthquakes. A guide for future policy making on housing in seismic areas. Oxford Polytechnic for the Overseas Development Administration (ODA) of the UK Government, Oxford, UK.

Balbus, J.M. and C. Malina, 2009: Identifying vulnerable subpopulations for climate change health effects in the United States. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 51, 33-37.

Bankoff, G., 2004: The Historical Geography of Disaster: 'Vulnerability' and 'Local Knowledge' in Western Discourse. Earthscan, London, UK.

Barnett, J., 2001: Adapting to climate change in Pacific Island countries: The problem of uncertainty. World Development, 29(6), 977-993.

Barnett, J., 2005: Titanic states? Impacts and responses to climate change in the Pacific Islands. Journal of International Affairs, 59, 203-219. Barnett, J. and M. Webber, 2009: Accommodating Migration to Promote Adaptation to Climate Change. A policy brief prepared for the Secretariat of the Swedish Commission on Climate Change and Development and the World Bank World Development Report 2010 team, Commission on Climate Change and Development, Stockholm, Sweden.

Barnston, A.G., S. Li, S.L. Mason, D.G. DeWitt, L. Goddard, and X. Gong, 2010: Verification of the first 11 years of iri's seasonal climate forecasts. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49, 493-520.

Bartlett, S., 2008: Climate change and urban children: impacts and implications for adaptation in low- and middle income countries. Environment & Urbanization, 20(2), 501-519.

Batterbury, S., 2001: Landscapes of diversity: A local political ecology of livelihood diversification in south-western Niger. Ecumene, 8(4), 437-464.

Beck, U., 2000: Risk society revisited: Theory, politics and research programmes. In: The Risk Society and Beyond [Adam, B., U. Beck, and J. van Loon (eds.)]. SAGE Publications, London, UK, 211-229.

Beck, U., 2008: La Sociedad del Riesgo Mundial. Paidós, Barcelona, Spain.

Beg, N., J.C. Morlot, O. Davidson, Y. Afrane-Okesse, L. Tyani, F. Denton, Y. Sokona, J.P. Thomas, E.L. La Rovere, J.K. Parikh, K. Parikh, and A.A. Rahman, 2002: Linkages between climate change and sustainable development. Climate Policy, 2, 129-144.

Benioff, R., S. Guill, and J. Lee (eds.), 1996: Vulnerability and Adaptation Assessments: An International Handbook. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Bennet, G., 1970: Bristol floods 1968: controlled survey of effects on health of local community disaster. British Medical Journal, 3, 454-458.

Benson, C. and E. Clay, 2000: Developing countries and the economic impacts of natural disasters. In Managing disaster risk in emerging economies [Kreimer, A. and M. Arnold (eds.)]. World Bank, Washington, DC, pp. 11-21.

Bertoni, J.C., 2006: Urban floods in Latin America: reflections on the role of risk factors. In: Frontiers in Flood Research [Tchiguirinskaia, I., K.N.N. Thein, and P. Hubert (eds.)]. IAHS publication 305, International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, UK, pp. 123-141.

Bettencourt, S., R. Croad, P. Freeman, J. Hay, R. Jones, P. King, P. Lal, A. Mearns, G. Miller, I. Pswarayi-Riddihough, A. Simpson, N. Teuatabo, U. Trotz, and M.K. van Aalst, 2006: Not If, But When. Adapting To Natural Hazards in the Pacific Islands Region. World Bank, Washington, DC.

Biermann, F., 2007: 'Earth system governance' as a crosscutting theme of global change research. Global Environmental Change, 17(3-4), 326-337.

Biermann, F., M. Betsill, J. Gupta, N. Kanie, L. Lebel, D. Livermann, H. Schroeder, and B. Siebenhüner, 2009: Earth System Governance - People, Places, and the Planet. Report No. 1, Science and Implementation Plan of the Earth System Governance Project, Bonn, Germany.

Birkmann, J., 2006a: Measuring Vulnerability to Natural Hazards - Towards Disaster Resilient Societies. United Nations University Press, Tokyo, Japan, 450 pp.

Birkmann, J., 2006b: Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: conceptual frameworks and definitions. In: Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies [Birkmann, J. (ed.)]. United Nations University Press, Tokyo, Japan, pp. 9-54.

Birkmann, J., 2006c: Conclusions and recommendations. In: Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies [Birkmann, J. (ed.)]. United Nations University Press, Tokyo, Japan, pp. 432-447.

Birkmann, J., 2011a: First and second-order adaptation to natural hazards and extreme events in the context of climate change. Natural Hazards, 58(2), 811-840, doi:10.1007/s11069-011-9806-8.

Birkmann, J., 2011b: Regulation and coupling of society and nature in the context of natural hazards. In: Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, J. Birkmann (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 1103-1127.

Birkmann, J. and N. Fernando, 2008: Measuring revealed and emergent vulnerabilities of coastal communities to tsunami in Sri Lanka. Disasters, 32(1), 82-104.

Birkmann, J. and K. von Teichman, 2010: Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: key challenges – scales, knowledge, and norms. Sustainability Science, 5(2), 171-184.

Birkmann, J., K. von Teichman, P. Aldunce, C. Bach, N.T. Binh, M. Garschagen, S. Kanwar, N. Setiadi, and L.N. Thach, 2009: Addressing the Challenge: Recommendations and Quality Criteria for Linking Disaster Risk Reduction and Adaptation to Climate Change [Birkmann, J., G. Tetzlaff, and K-O. Zentel (eds.)]. DKKV Publication Series No. 38, German Committee for Disaster Reduction, Bonn, Germany.

Birkmann, J., P. Buckle, J. Jaeger, M. Pelling, N. Setiadi, M. Garschagen, N. Fernando, and J. Kropp, 2010a: Extreme events and disasters: A window of opportunity for change? Analysis of changes, formal and informal responses after megadisasters. Natural Hazards, 55(3), 637-669.

Birkmann, J., M. Garschagen, F. Kraas, and N. Quang, 2010b: Adaptive urban governance: new challenges for the second generation of urban adaptation strategies to climate change. Sustainability Science, 5(2), 185-206.

Black, R., 2001: Environmental Refugees: Myth or Reality? UNHCR Working Paper 34, UN High Commissioner for Refugees, Geneva, Switzerland, 19 pp.

Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis, and B. Wisner, 1994: At Risk: Natural Hazards, People, Vulnerability, and Disasters. Routledge, London, UK.

Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis, and B. Wisner, 1996: Vulnerabilidad, el entorno social de los desastres. La RED-ITDG, Bogota, Colombia.

Blockley, D. (ed.), 1992: Engineering Safety. McGraw-Hill International Series in Civil Engineering, London, UK.

Boentje, J.P. and M.S. Blinnikov, 2007: Post-Soviet forest fragmentation and loss in the Green Belt around Moscow, Russia (1991-2001): a remote sensing perspective. Landscape and Urban Planning, 82(4), 208-221.

Bogardi, J. and J. Birkmann, 2004: Vulnerability assessment: the first step towards sustainable risk reduction. In: Disasters and Society – From Hazard Assessment to Risk Reduction [Malzahn, D. and T. Plapp (eds.)]. Logos Verlag, Berlin, Germany, pp. 75-82.

Bohle, H-G., 2001: Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography. IHDP Update, 2/2001, 1-7.

Bohle, H-G., 2008: Krisen, katastrophen, kollaps – Geographien von verwundbarkeit in der risikogesellschaft. In: Umgang mit Risiken. Katastrophen – Destabilisierung – Sicherheit [Kulke, E. and H. Popp (eds.)]. Deutscher Geographentag 2007, Bautzen, Lausitzer Druck- und Verlagshaus GmbH, Bayreuth, Germany, pp. 69-82.

Bohle, H-G., and T. Glade, 2008: Vulnerabilitätskonzepte in Sozial- und Naturwissenschaften. In: Naturrisiken und Sozialkatastrophen [Felgentreff, C. and T. Glade (eds.)]. Spektrum Verlag, Berlin, Germany, pp. 99-119. Bohle, H.G., T.E. Downing, and M.J. Watts, 1994: Climate change and social vulnerability: Toward a sociology and geography of food insecurity. Global Environmental Change, 4(1), 37-48.

Bouchama, A., M. Dehbi, G. Mohamed, F. Matthies, M. Shoukri, and B. Menne, 2007: Prognostic factors in heat wave related deaths: a meta-analysis. Archives of Internal Medicine, 167, 2170-2176.

Bouwer, L.M., R.P. Crompton, E. Faust, P. Hoppe, and R.A. Pielke Jr., 2007: Disaster management: Confronting disaster losses. Science, 318 (5851), 753.

Boykoff, M.T. and J. Boykoff, 2007: Climate change and journalistic norms: a case-study of US mass-media coverage. Geoforum, 38, 1190-1204.

Breiting, S. and P. Wickenberg, 2010: The progressive development of environmental education in Sweden and Denmark. Environmental Education Research, 16(1), 9-37.

Brenkert, A.L. and E.L. Malone, 2005: Modeling vulnerability and resilience to climate change: A case study of India and Indian States. Climatic Change, 72(1-2), 57-102.

Brklacich, M. and H.-G. Bohle, 2006: Assessing human vulnerability to global climatic change. In: Earth System Science in the Anthropocene [Ehlers, E. and T. Krafft (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 51-61.

Brondo, K.V., 2007: Land loss and Garifuna women's activism on Honduras' North Coast. Journal of International Women's Studies, 9(1), 99-116.

Brooks, N., 2003: Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. Tyndall Centre for Climate Change Working Paper 38, University of East Anglia, Norwich, UK.

Brooks, N. and W.N. Adger, 2004: Assessing and enhancing adaptive capacity, Technical Paper 7. In: Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures [Lim, B. and E. Spanger-Siegfried (eds.)]. United Nations Development Programme and Cambridge University Press, New York, NY, pp. 165-182.

Brooks, N., W.N. Adger, and M. Kelly, 2005: The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, 15, 151-163.

Bull-Kamanga, L., K. Diagne, A. Lavell, E. Leon, F. Lerise, H. MacGregor, A. Maskrey, M. Meshack, M. Pelling, H. Reid, D. Satterthwaite, J. Songsore, K. Westgate, and A.

Yitambe, 2003: From everyday hazards to disasters: the accumulation of risk in urban areas. Environment & Urbanization, 15(1), 193-203.

Burby, R.J., 2006: Hurricane Katrina and the paradoxes of government disaster policy: Bringing about wise governmental decisions for hazardous areas. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604, 171-191.

Burkle, F.M. and P.G. Greenough, 2008: Impact of public health emergencies on modern disaster taxonomy, planning, and response. Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 2(4), e2-e9.

Burton, I. and M.K. van Aalst, 1999: Come Hell or High Water: Integrating Climate Change Vulnerability and Adaptation into Bank Work. World Bank Environment Department Papers 72, World Bank, Washington, DC.

Burton, I. and M.K. van Aalst, 2004: Look Before You Leap. A Risk Management Approach for Climate Change Adaptation in World Bank Operations. World Bank, Washington, DC.

Burton, I., R.W. Kates, and G.F. White, 1978: The Environment as Hazard. Oxford University Press, New York, NY.

Burton, I., J. Wilson, and R.E. Munn, 1983: Environmental impact assessment: national approaches and international needs. Environmental Monitoring and Assessment, 3, 133-150.

Burton, I., R.W. Kates, and G.F. White, 1993: The Environment as Hazard – Second Edition. Oxford University Press, New York, NY.

Campbell, D., M. Stafford Smith, J. Davies, P. Kuipers, J. Wakerman, and M.J. McGregor, 2008: Responding to health impacts of climate change in the Australian desert. Rural and Remote Health, 8, 1008.

Campbell, J.R. 2006. Traditional Disaster Reduction in Pacific Island Communities. GNS Science Report 2006/38. Institute of Geological and Nuclear Sciences, Avalon, NZ, ISBN 0-478-09961-4.

Cannon, T., 1994: Vulnerability analysis and the explanation of 'natural' disasters. In: Disasters, Development and Environment [Varley, A. (ed.)]. John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 13-29.

Cannon, T., 2006: Vulnerability analysis, livelihoods and disasters. In: Risk 21: Coping with Risks Due to Natural Hazards in the 21st Century [Ammann, W.J., S. Dannenmann, and L. Vulliet (eds.)]. Taylor and Francis Group, London, UK, pp.41-49.

Cannon, T. and D. Müller-Mahn, 2010: Vulnerability, resilience and development discourses in the context of climate change. Natural Hazards, 55(3), 621-635.

Cannon, T., J. Twigg, and J. Rowell, 2003: Social Vulnerability, Sustainable Livelihoods and Disasters. Conflict and Humanitarian Assistance Department and Sustainable Livelihoods Support Office, Department for International Development, London, UK, 63 pp.

Cardona, O.D., 1986: Estudios de vulnerabilidad y evaluación del riesgo sísmico: Pla nificación física y urbana en áreas propensas. Boletín Técnico de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 33(2), 32-65.

Cardona, O.D., 1990: Terminología de Uso Común en Manejo de Riesgos. AGID Reporte No. 13, Escuela de Administración, Finanzas, y Tecnología, Medellín, Colombia.

Cardona, O.D., 1993: Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo. In: Los Desastres No son Naturales [Maskrey, A. (ed.)]. La RED/Tercer Mundo Editores, Bogotá, Colombia.

Cardona, O.D., 1996a: Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados. In: Ciudades en Riesgo [Fernandez, M.A. (ed.)]. La RED-USAID, Lima, Peru, pp. 79-101.

Cardona, O.D., 1996b: El Manejo de riesgos y los preparativos para Desastres: Compromiso Institucional para mejorar la calidad de vida. In: Desastres: modelo para armar [Mansilla, E. (ed.)]. La RED, Lima, Peru, pp. 128-147.

Cardona, O.D., 1996c: Variables involucradas en el manejo de riesgos. In: Desastres y Sociedad, Especial: Predicciones, Pronósticos, Alertas y Respuestas Sociales [Cardona, O.D. (ed.)]. 4, La RED, Tarea Gráfica, Lima, Peru, pp. 7-35.

Cardona, O.D., 1999a: Environmental management and disaster prevention: Two related topics: A holistic risk assessment and management approach. In: Natural Disaster Management [Ingleton, J. (ed.)]. IDNDR-Tudor Rose, London, UK, pp. 151-153.

Cardona, O.D., 1999b: Environmental management and disaster prevention: Two related topics. In: Cities at Risk: Environmental Degradation, Urban Risks and Disasters in Latin America [Fernandez, M.A. (ed.)]. A/H Editorial, La RED, US AID, Quito, Peru, pp. 79-102.

Cardona, O.D., 2001: Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos. Doctoral dissertation, Department of Terrain Engineering, Technical University of Catalonia, Spain.

Cardona, O.D., 2004: The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: A necessary review and criticism for effective risk management. In: Mapping Vulnerability: Disa sters, Development and People [Bankoff, G., G. Frerks, and D. Hilhorst (eds.)]. Earthscan Publishers, London, UK, pp. 37-51.

Cardona, O.D., 2006: A system of indicators for disaster risk management in the Americas. In: Measuring Vulnerability to Hazards of Natural Origin: Towards Disaster Resilient Societies [Birkmann, J. (ed.)]. UNU Press, Tokyo, Japan, pp. 189-209.

Cardona, O.D., 2008: Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean – Summary Report – Second Edition. INE-08-002, Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Cardona, O.D., 2009: La Gestión Financiera del Riesgo de Desastres: Instrumentos Financieros de Retención y Transferencia para la Comunidad Andina. PREDECAN, Comunidad Andina, Lima, Peru.

Cardona, O.D., 2010: Indicators of Disaster Risk and Risk Management – Program for Latin America and the Caribbean: Summary Report. Evaluación de Riesgos Naturales - Latino America, ERN-AL, Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Cardona, O.D., 2011: Disaster risk and vulnerability: Notions and measurement of human and environmental insecurity. In: Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security – Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, J. Birkmann]. Springer Verlag, Berlin, Germany, pp. 107-122.

Cardona, O.D. and A.H. Barbat, 2000: El Riesgo Sísmico y su Prevención. Cuaderno Técnico 5, Calidad Siderúrgica, Madrid, Spain, 190 pp.

Cardona, O.D. and J.E. Hurtado, 2000a: Holistic seismic risk estimation of a metropolitan center. In: Proceedings of the 12th World Conference of Earthquake Engineering, January 30 – February 4, 2000, paper 2643. New Zealand Society for Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.

Cardona, O.D. and J.E. Hurtado, 2000b: Modelación numérica para la estimación holística del riesgo sísmico urbano, considerando variables técnicas, sociales y económicas. In: Métodos Numéricos en Ciencias Sociales (MENCIS 2000) [Oñate, E., F. García-Sicilia, and L. Ramallo (eds.)]. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería - Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Spain, pp. 452-466.

Cardona, O.D., J.E. Hurtado, G. Duque, A. Moreno, A.C. Chardon, L.S. Velásquez, and S.D. Prieto, 2003a: The Notion of Disaster Risk: Conceptual Framework for Integrated Management. National University of Colombia / Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Cardona, O.D., J.E. Hurtado, G. Duque, A. Moreno, A.C. Chardon, L.S. Velásquez, and S.D. Prieto, 2003b: Indicators for Risk Measurement: Methodological Fundamentals. National University of Colombia / Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Cardona, O.D., M.G. Ordaz, M.C. Marulanda, and A.H. Barbat, 2008a: Estimation of probabilistic seismic losses and the public economic resilience – An approach for a macroeconomic impact evaluation. Journal of Earthquake Engineering, 12(S2), 60-70.

Cardona, O.D., M.G. Ordaz, L.E. Yamín, M.C. Marulanda, and A. H. Barbat, 2008b: Earthquake loss assessment for integrated disaster risk management. Journal of Earthquake Engineering, 12(S2), 48-59.

CARE, 2009: Climate Vulnerability and Capacity Analysis Handbook. CARE International, Chatelaine, Switzerland.

Carreño, M.L., 2006: Técnicas innovadoras para la evaluación del riego sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post. Doctoral dissertation, Department of Terrain Engineering, Technical University of Catalonia, Spain.

Carreño, M.L., O.D. Cardona, and A.H. Barbat, 2005: Sistema de Indicadores para la Evaluación de Riesgos. Monografía CIMNE IS-52, Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain, 160 pp.

Carreño, M.L., O.D. Cardona, and A.H. Barbat, 2007a: Urban seismic risk evaluation: A holistic approach. Journal of Natural Hazards, 40(1), 137-172.

Carreño, M.L., O.D. Cardona, and A.H. Barbat, 2007b: A disaster risk management performance index. Journal of Natural Hazards, 41(1), 1-20.

Carreño, M.L., O.D. Cardona, M.C. Marulanda, and A.H. Barbat, 2009: Holistic urban seismic risk evaluation of megacities: Application and robustness. In: The 1755 Lisbon Earthquake: Revisited [Mendes-Victor, L.A., C.S. Sousa Oliveira, J. Azevedo, and A. Ribeiro (eds.)]. Springer, Berlin, Germany.

Carroll, B., H. Morbey, R. Balogh, and G. Araoz, 2006: Living in Fear: Health and Social Impacts of the Floods in Carlisle 2005. Research Report, Centre for Health Research and Practice Development, St. Martins College, Carlisle, UK.

Carter, T.R., M.L. Parry, H. Harasawa, and S. Nishioka, 1994: IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations. Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan.

Carvalho, A., 2005: Representing the politics of the greenhouse effect: discursive strategies in the British media. Critical Discourse Studies, 2(1), 1-29.

Carvalho, A. and J. Burgess, 2005: Cultural circuits of climate change in U.K. broadsheet newspapers, 1985-2003. Society for Risk Analysis, 25(6), 1457-1469.

Castles, S., 2002: Environmental Change and Forced Migration: Making Sense of the Debate. UNHCR Issues in Refugee Research, Working Paper No. 70, UN High Commissioner for Refugees, Geneva, Switzerland.

Ceccato, P., T. Ghebremeskel, M. Jaiteh, P.M. Graves, M. Levy, S. Ghebreselassie, A. Ogbamariam, A.G. Barnston, M. Bell, J. del Corral, S.J. Connor, I. Fesseha, E.P. Brantly, and M.C. Thomson, 2007: Malaria stratification, climate, and epidemic early warning in Eritrea. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 77, 61-68.

Cernea, M., 1996: Eight Main Risks: Impoverishment and Social Justice in Resettlement. World Bank Environment Department, Washington, DC.

Chambers, R., 1983: Rural Development – Putting the Last First. Longmans Scientific and Technical Publishers, Essex, UK, 246 pp.

Chambers, R., 1989: Vulnerability, coping and policy. Institute of Development Studies Bulletin, 20(2), 1-7.

Changnon, D. and S.A. Changnon, 2010: Major growth in some business related uses of climate information. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49, 325-331.

Chatterjee, M., 2010: Slum dwellers response to flooding events in the megacities of India. Adaptation and Mitigation Strategies for Global Change, 15, 337-353.

Chester, D.K., 2005: Theology and disaster studies: the need for dialogue. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 146 (4), 319-328.

Christoplos, I., 2006: The elusive 'window of opportunity' for risk reduction in postdisaster recovery. Discussion Paper, ProVention Consortium Forum, 2-3 February 2006, Bangkok, Thailand.

Clasen, T., W.P Schmidt, T. Rabie, I. Roberts, and S. Cairncross, 2007: Interventions to improve water quality for preventing diarrhoea: systematic review and metaanalysis. British Medical Journal, 334(7597), 782-785.

Coburn, A. and R. Spence, 1992: Earthquake Protection. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

Colchester, M., 2000: Dams, Indigenous People and Vulnerable Ethnic Minorities. Thematic Review 1.2. World Commission on Dams, Cape Town, South Africa.

Colten, C.E., 2006: Vulnerability and place: Flat land and uneven risk in New Orleans. American Anthropologist, 108(4), 731-734.

Colten, C., R. Kates, and S. Laska, 2008: Community Resilience: Lessons for New Orleans and Hurricane Katrina. CARRI Research Report 3, Community and Regional Resilience Institute, Oak Ridge, TN, 47 pp.

Comfort, L., B. Wisner, S. Cutter, R. Pulwarty, K. Hewitt, A. Oliver-Smith, J. Wiener, M. Fordham, W. Peacock, and F. Krimgold, 1999: Reframing disaster policy: the global evolution of vulnerable communities. Environmental Hazards, 1, 39-44.

Confalonieri, U., B. Menne, R. Akhtar, K.L. Ebi, M. Hauengue, R.S. Kovats, B. Revich, and A. Woodward, 2007: Human health. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 391-431.

Cooper, P.J.M., J. Dimes, K.P.C. Rao, B. Shapiro, B. Shiferaw, and S. Twomlow, 2008: Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-Saharan Africa: An essential first step in adapting to future climate change? Agriculture, Ecosystems and Environment, 126, 24-35.

Corral, S., 2000: Explorando la calidad de los procesos de elaboración de políticas ambientales. In: Métodos Numéricos en Ciencias Sociales (MENCIS 2000) [Oñate, E., F. García-Sicilia, and L. Ramallo (eds.)]. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería - Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Spain, pp. 391-401.

Costello, A., M. Abbas, A. Allen, S. Ball, S. Bell, R. Bellamy, S. Friel, N. Groce, A. Johnson, M. Kett, M. Lee, C. Levy, M. Maslin, D. McCoy, B. McGuire, H. Montgomery, D. Napier, C. Pagel, J. Patel, C. Patterson, J.A. Puppim de Oliveira, N. Redclift, H. Rees, D. Rogger, J. Scott, J. Stephenson, J. Twigg, and J. Wolff, 2009: Managing the health effects of climate change. The Lancet, 373(16), 1693-1733.

Covello, V. and J. Mumpower, 1985: Risk analysis and risk management: An historical perspective. Risk Analysis, 5(2), 103-120.

Cross, J.A., 2001: Megacities and small towns: Different perspectives on hazard vulnerability. Environmental Hazards, 3(2), 63-80.

Cruz, A.M., L.J. Steinberg, A.L.V. Arellano, J.-P. Nordvik, and F. Pisano, 2004: State of the Art in Natech Risk Management (NATECH: Natural Hazard Triggering a Technological Disaster). EUR 21292, European Communities, European Commission, Brussels, Belgium.

Cummins, J. and O. Mahul, 2009: Catastrophe Risk Financing in Developing Countries: Principles for Public Intervention. The World Bank, Washington, DC, 268 pp.

Cuny, F.C., 1984: Disaster and Development. Oxford University Press, New York, NY.

Cutter, S.L. (ed.), 1994: Environmental Risks and Hazards. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Cutter, S.L., 1996: Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, 20, 529-539.

Cutter, S.L. and C. Finch, 2008: Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(7), 2301-2306.

Cutter, S.L., C.T. Emrich, J.T. Mitchell, B.J. Boruff, M. Gall, M.C. Schmidtlein, C.G. Burton, and G. Melton, 2006: The long road home: Race, class, and recovery from Hurricane Katrina. Environment, 48(2), 8-20.

Cutter, S.L., L. Barnes, M. Berry, C. Burton, E. Evans, E. Tate, and J. Webb, 2008: A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Global Environmental Change, 18, 598-606.

Davis, I. and M. Wall (eds.), 1992: Christian Perspectives on Disaster Management: A Training Manual. International Relief and Development Association, Middlesex, UK.

Davis, I., B. Haghebaert, and D. Peppiatt, 2004: Social Vulnerability and Capacity Analysis Workshop Discussion paper and workshop report. ProVention Consortium, Geneva, Switzerland.

Dawson, T.P., S.T. Jackson, J.I. House, C.I. Prentice, and G.M. Mace, 2011: Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate. Science, 332, 53.

Dayton-Johnson, J., 2004: Natural Disasters and Adaptive Capacity. OECD Working Paper No. 237, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France.

Décamps, H. (ed.), 2010: Événements Climatiques Extrêmes: Réduire les Vulnérabilités des Systèmes Écologiques et Sociaux. Institut de France, Académie des Sciences, Paris, France, 194 pp.

Degallier, N., C. Favier, C. Menkes, M. Lengaigne, W.M. Ramalho, R. Souza, J. Servain, J.-P. Boulanger, 2010: Toward an early warning system for dengue prevention: modeling climate impact on dengue transmission. Climatic Change, 98, 581-592.

Demetriades, J. and E. Esplen, 2008: The gender dimensions of poverty and climate change adaptation. IDS Bulletin, 39(4), 24.

Di Baldassarre, G., A. Montanari, H. Lins, D. Koutsoyiannis, L. Brandimarte, and G. Bloeschl, 2010: Flood fatalities in Africa: From diagnosis to mitigation. Geo-

physical Research Letters, 37, L22402.

Dikau, R. and J. Pohl, 2007: "Hazards" Naturgefahren und Naturrisiken. In: Geographie, Physische Geographie und Humangeographie [Gebhardt, H., R. Glaser, U. Radtke, and P. Reuber (eds.)]. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, Germany, pp. 1029-1076.

Dilley, M., 2006: Disaster risk hotspots: A project summary. In: Measuring Vulnerability to Natural Hazards – Towards Disaster Resilient Societies [Birkmann, J. (ed.)]. United Nations University Press, Tokyo, Japan, pp. 182-188.

Dilley, M., R. Chen, U. Deichmann, A. Lerner-Lam, and M. Arnold, 2005: Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. Columbia University and World Bank, New York, NY and Washington, DC.

DKKV, 2011: Adaptive Disaster Risk Reduction – Enhancing Methods and Tools of Disaster Risk Reduction in the light of Climate Change. DKKV Publication Series no. 43, German Committee for Disaster Reduction, Bonn, Germany, www.dkkv.org/de/publications/schriftenreihe.asp?h=5.

Doherty, T.J. and S. Clayton, 2011: The psychological impacts of global climate change. American Psychologist, 66(4), 265-276.

Donner, W. and H. Rodriguez, 2008: Population composition, migration and inequality: The influence of demographic changes on disaster risk and vulnerability. Social Forces, 87(2), 1089-1114.

Doocy, S., Y. Gorokhovich, G. Burnham, D. Balk, and C. Robinson, 2007: Tsunami mortality estimates and vulnerability mapping in Aceh, Indonesia. American Journal of Public Health, 97(S1), 146-151.

Dore, M.H.I. and D. Etkin, 2003: Natural disasters, adaptive capacity and development in the twenty-first century. In: Natural Disasters and Development in A Globalizing World [Pelling, M. (ed.)]. Routledge, London, UK, pp. 75-91.

Douglas, I., K. Alam, M. Maghenda, Y. McDonnell, L. McLean, and J. Campbell, 2008: Unjust waters: climate change, flooding and the urban poor in Africa. Environment And Urbanization, 20(1), 187-205.

Douglas, M. and A. Wildavsky, 1982: Risk and culture: An essay on the selection of technological and environmental dangers. University of California Press, Berkeley, CA.

Dow, K., 1992: Exploring differences in our common future(s): the meaning of vulnerability to global environmental change. Geoforum, 23 (3), 417-436.

Downing, T.E. and A. Patwardhan, 2004: Assessing vulnerability for climate adaptation, Technical Paper 3. In: Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures [Lim, B. and E. Spanger-Siegfried (eds.)]. United Nations Development Programme and Cambridge University Press, New York, NY, pp. 67-89.

Drusine, H., 2005: The Garifuna fight back. Third Text, 19(2), 197-202.

Dudasik, S., 1982: Unanticipated repercussions of international disaster relief. Disasters, 6, 31-37.

Duneier, M., 2004: Scrutinizing the heat: On ethnic myths and the importance of shoe leather. Contemporary Sociology, 33 (2), 139-150.

Eakin, H., 2005: Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. World Development, 33(11), 1923-1938.

Elliot, L., M. Beeson, S. Akbarzadeh, G. Fealy, and S. Harris, 2006: Religion, Faith and Global Politics. Department of International Relations, Canberra, Australia.

Elliott, J.R. and Pais, J. 2006: Race, class, and Hurricane Katrina: Social differences in human responses to disaster. Social Science Research, 35, 295-321.

Ellis, B.R. and B.A. Wilcox, 2009: The ecological dimensions of vector-borne disease research and control. Cadernos De Saude Publica, 25, S155-S167.

Enarson, E. and B.H. Morrow (eds.), 1998: The Gendered Terrain of Disaster: Through Women's Eyes. Praeger Publishers, Westport, CT.

Enarson, E. and B.H. Morrow, 2000: A gendered perspective: The voices of women. In: Hurricane Andrew: Ethnicity, Gender and the Sociology of Disasters [Peacock, W.G., B.H. Morrow, and H. Gladwin (eds)]. International Hurricane Centre, Laboratory for Social and Behavioural Research, Miami, FL, pp. 116-137.

Eriksen, S.H., and K. O'Brien, 2007: Vulnerability, poverty and the need for sustainable adaptation measures. Climate Policy, 7(4), 337-352.

Eriksen, S. and J.A. Silva, 2009: The vulnerability context of a savanna area in Mozambique: household drought strategies and responses to economic change. Environmental Science and Policy, 12, 33-52.

Eriksen, S., H.K. Brown, and P.M. Kelly, 2005: The dynamics of vulnerability: locating coping strategies in Kenya and Tanzania. Geographical Journal, 171 (4), 287-305.

ERN-AL, 2011: Probabilistic Modelling of Natural Risk at Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve – Development of a Methodology and Implementation of Case Studies, Phase 1A: Colombia, Mexico, Nepal. Report for the GAR 2011, Consortium Evaluación de Riesgos Naturales – América Latina, Bogotá.

FAOSTAT, 2011: FAOSTAT Statistical database on agricultural employment. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, faostat.fao.org.

Feenstra, J.F., I. Burton, J.B. Smith, and R.S.J. Tol, 1998: Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. Version 2.0, United Nations Environment Programme and Dutch National Institute for Public Health and the Environment (UNEP/RIVM), Nairobi, Kenya and Amsterdam, The Netherlands.

Few, R., 2007: Health and climatic hazards: framing social research on vulnerability, response and adaptation. Global Environmental Change, 17, 281-295.

Folke, C., 2006: Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. Global Environmental Change, 16(3), 253-267.

Folke, c. S. Carpenter, 1 Elmqvist, L. Gunderson, e.s. Holling, and B. Walker, 2002: Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. AMBIO: A Journal of the Human Environment, 31(5),437-440.

Fordham, M., 1998: Making women visible in disasters: problematising the private domain. Disasters, 22(2), 126-143.

Fordham, M. and S. Gupta with S. Akerkar and M. Scharf, 2011: Leading Resilient Development: Grassroots Women's Priorities, Practices and Innovations. Grassroots Organizations Operating Together in Sisterhood and the UN Development Programme, New York, NY.

Fothergill, A., E.G.M. Maestas, and J.D. Darlington, 1999: Race, ethnicity and disasters in the United States: A review of the literature. Disasters, 23(2), 156-173.

Fournier d'Albe, M., 1985: The quantification of seismic hazard for the purposes of risk assessment. In: International Conference on Reconstruction, Restoration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas, 5-9 November 1985. Skopje, Yugoslavia, pp. 77-84.

Fraser, E.D.G., 2006: Food system vulnerability: using past famines to help understand how food systems may adapt to climate change. Ecological Complexity, 3, 328-335.

Freeman, P. and K. Warner, 2001: Vulnerability of Infrastructure to Climate Variability: How Does This Affect Infrastructure Lending Policies? Disaster Management Facility of The World Bank and the ProVention Consortium, Washington, DC, 40 pp.

Freudenberg, W, R. Gramling, S. Laska, and K. Erickson, 2008: Organising hazards, engineering disasters? Improving the recognition of politico-economic factors in the creation of disasters. Social Factors, 78(2), 1015-1038.

Furr, J.M., J.S. Comer, J.M. Edmunds, and P.e. Kendall, 2010: Disasters and youth: A meta-analytic examination of posttraumatic stress. Journal of Consulting and Clinical Psychology, 78, 765-780.

Fiissel, H.-M., 2005: Vulnerability to climate change: a comprehensive conceptual framework. University of California International and Area Studies Breslauer Symposium Paper 6, Berkeley, CA, 36 pp.

Fiissel, H.-M., 2007: Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. Global Environmental Change, 17, 155-167.

Fiissel, H.-M. and R.n Klein, 2006: Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. Climatic Change, 75, 301-329.

Gaillard, J.e., 2007: Resilience of traditional societies in facing natural hazard. Disaster Prevention and Management, 16,522-544.

Gaillard, J.e., 2010: Vulnerability, capacity and resilience: Perspectives for climate and development policy, Journal of International Development, 22,218-232, doi:1 0.1 002/jid.1675.

Gallopin, G.e., 2006: Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Global Environmental Change, 16(3),293-303.

Gallopin, G.e., S. Funtowicz, M. O'Connor, and J. Ravetz, 2001: Science for the twenty¬first century: from social contract to the scientific core. International Social Science Journal, 53(168),219-229

Garret, M.J., 1999: Health Futures: A Handbook for Health Professionals. World Health Organization, Geneva. Switzerland, ISBN 92-4-154521-6.

Ginexi, E.M., K. Weihs, S.J. Simmens, and D. R. Hoyt, 2000: Natural disaster and depression: a prospective investigation of reactions to the 1993 midwest floods. American Journal of Community Psychology, 28, 495-518.

Glantz, M., 2003: Early warning systems: Dos and don'ts. Report of Workshop on Early Warning Systems, Shanghai, China, 20-24 October 2003, ISBN 978-0756744953.

Goddard, L., Y. Aitchellouche, W Baethgen, M. Dettinger, R. Graham, P. Hayman, M.

Kadi, R. Martinez, and H. Meinke, 2009: Providing Seasonal-to-Interannual Climate Information for Risk Management and Decision Making. White Paper presented at the World Climate Conference 3 in Report of the World Climate Conference 3, Report No.1 048, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Gosling, S., G. McGregor, and J. Lowe, 2009: Climate change and heat-related mortality in six cities - part 2: climate model evaluation and projected impacts from changes in the mean and variability of temperature with climate change. International Journal of Biometeorology, 53(1),31-51.

Greiving, S., 2002: Riiumliche Planung und Risiko. Gerling Akademischer Verlag, Munchen, Germany, 320 pp.

Grossi, P. and H. Kunreuther (eds.), 2005: Catastrophe Modeling: A new approach to managing risk. Springer, New York, NY, 245 pp.

Grothmann, 1 and A. Patt, 2005: Adaptive capacity and human cognition: the process of individual adaptation to climate change. Global Environmental Change, 15, 199-213

Guha-Sapir, D., D. Hargitt, and P. Hoyois, 2004: Thirty Years Of Natural Disasters 1974-2003: The Numbers. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Presses Universitaires de Louvain, Brussels, Belgium, ISBN 2930344717.

Gunderson, L.H., 2000: Resilience in theory and practice. Annual Review of Ecology and Systematics, 31,425-439.

Guth, J.L., J.e. Green, L.A. Kellstedt, and e.E. Smith, 1995: Faith and the environment: Religious beliefs and attitudes on environmental policy. American Journal of Political Science, 39(2), 364-382.

Haddad, B.M., 2005: Ranking the adaptive capacity of nations to climate change when socio-political goals are explicit. Global Environmental Change, 15, 165-176.

Haines, A., R.S. Kovats, D. Campbell-Lendrum, and e. Corvalan, 2006: Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health. Public Health, 120, 585-596

Hales, S., S. Edwards, and R.S. Kovats, 2003: Impacts on health of climate extremes. In: Climate Change and Human Health: Risks and Responses [McMichael, A.J., D. Campbell-Lendrum, K. Ebi, and C. Corvalan (eds.)]. World Health Organisation, Geneva, Switzerland, pp. 79-96.

Handmer, J.W, S. Dovers, and lE. Downing, 1999: Societal vulnerability to climate change and variability. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 4, 267-281.

Haque, e.E. and D. Etkin, 2007: People and community as constituent parts of hazards: the significance of societal dimensions in hazards analysis. Natural Hazards, 41 (2),271-282.

Harding, lW, F. Romerio, J. Rossiaud, J.J. Wagner, S. Bertrand, e. Frischknecht, and J.D. Laporte, 2001 : Management des risques majeurs: des disciplines a t'interdisciptinsrite: Document de travail No 1 du Groupe de recherche Management des risques majeurs, universite de Geneve, Programme plurifacultaire du Rectorat, Geneva, Switzerland.

Hardoy, J. and G. Pandiella, 2009: Urban poverty and vulnerability to climate change in Latin America. Environment & Urbanization, 21(1),203-224.

Hellmuth, M.E., S.J. Mason, e. Vaughan, M.K. van Aalst, and R. Choularton (eds.), 2011: A Better Climate for Disaster Risk Management. International Research Institute for Climate and Society, Columbia University, New York, NY.

Hewitt, K., 1997: Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters. Addison Wesley Longman, Harlow, UK, 408 pp.

Hewitt, K. (ed.), 1983: Interpretations of Calamity, Allen & Unwin, London, UK. Hewitt, K. and I. Burton, 1971: The Hazardousness of a Place; a Regional Ecology of Damaging Events. University ofToronto Press, Toronto, Canada.

Hilhorst, D. 2004: Complexity and diversity: Unlocking social domains of disaster response. In: Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People [Bankoff, G., G. Frerks, and D. Hilhorst (eds.)]. Earthscan Publishers, London, UK, pp. 52-66.

Holling, e.S., 1973: Resilience and stability of ecological systems. Annual Reviews of Ecology and Systematics, 4, 1-23.

Holling, e.S., 2001: Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. Ecosystems, 4, 390-405.

Hong, Y.e., X.e. Pan, S.Y. Kim, K. Park, E.J. Park, X. Jin, S.M. Yi, K.S. Kim, Y.H. Kim, e.H. Park, S. Song, and H. Kim, 2009: Asian dust storms and pulmonary function of school children. Epidemiology, 20(6), S121-S121.

Hope, K.R. Sr., 2009: Climate change and poverty in Africa. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 16(6), 451-461.

Houghton, R., 2009: Domestic violence reporting and disasters in New Zealand. Regional Development Dialogue, 30(1), 79-90.

Hulme, M., 2009: Why We Disagree About Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Hutton, D. and e.E. Haque, 2003: Patterns of coping and adaptation among erosion¬induced displacees in Bangladesh: Implications for hazard analysis and mitigation. Natural Hazards, 29,405-421.

IAASTD, 2009: Agriculture at a Crossroads: International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development. Internationa I Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development, Island Press, Washington, De.

ICSU-LAC, 201 Oa: Science for a better life: Developing regional scientific programs in priority areas for Latin America and the Caribbean. Vol 2, Understanding and Managing Risk Associated with Natural Hazards: An Integrated Scientific Approach in Latin America and the Caribbean [Cardona, O.D., J.e. Bertoni, A. Gibbs, M. Hermelin, and A Lavell (eds.)]. ICSU Regional Office for Latin America and the Caribbean, Rio de Janeiro, Brazil.

ICSU-LAC, 2010b: Entendimiento y gestiõn del riesgo asociado a las amenazas naturales: Un enfoque cientffico integral para America Latina y el Caribe. Ciencia para una vida mejor: Desarrollando programas cientffficos regionales en areas prioritarias para America Latina y el Caribe. Vol 2 [Cardona, O.D., J.e. Bertoni, A Gibbs, M. Hermelin, and A Lavell (eds.)]. ICSU Regional Office for Latin America and the Caribbean, Rio de Janeiro, Brazil.

IOB, 2007: Disaster Risk Management Policy. GN-2354-5, Inter-American Development Bank, Washington, De.

IDEA, 2005: Indicators of Disaster Risk and Risk Management - Main Technical Report. English and Spanish edition, National University of Colombial Manizales, Institute of Environmental Studies/IDEA, Inter-American Development Bank, Washington, DC, 223 pp.

IFRC, 2008: Vulnerability and Capacity Assessment - Guidelines. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland.

IFRC, 2009: World Disasters Report 2009 - Focus on Early Warning, Early Action. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland.

IISD, Intercooperation, IUCN, and SEI, 2009: CRiSTAL:Community-based Risk Screening Tool-Adaptation & Livelihoods, User's Manual, v 4.0. IISD, Geneva, Switzerland.

INGC, 2009. Synthesis report. INGC Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique [van Logchem, B. and R. Brito R (eds.)]. National Institute for Disaster Management, Mozambique.

Ingham, B., 1993: The meaning of development: interactions between 'new' and 'old' ideas. World Development, 21,1803-1821.

IOM, 2009: Migration, Environment and Climate Change: Assessing the Evidence. International Organization for Migration, Geneva, Switzerland, 441 pp.

IPCC, 2001: !PCC Third Assessment Report. Synthesis Report, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC, 2007: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and e.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 7-22.

ISO, 2009a: Risk Management - Principles and guidelines. ISO 31000, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO, 2009b: Risk Management - Vocabulary. ISO Guide 73, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jabry, A, 2003: Children in Disasters: After the Cameras Have Gone. Plan UK, Plan International, Woking, UK, 54 pp.

Jakobsen, K.l, 2009, Views on vulnerability following hurricane Mitch in Nicaragua, lOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 6, pp. 1-2.

Janssen, M.A., M.L. Schoon, W. Ke, and K. Borner, 2006: Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. Global Environmental Change, 16(3), 240-252.

Jasanoff, S. and B. Wynne, 1997: Handbook of Science and Technology Studies. Sage Publications, London, UK, 828 pp., ISBN 0803940211.

Johnson, P.lJ., AR. Townsend, e.e. Cleveland, P.M. Glibert, R.w. Howarth, V.J. McKenzie, E. Rejmankova, and M.H. Ward, 2010: Linking environmental nutrient enrichment and disease emergence in humans and wildlife. Ecological Applications, 20(1), 16-29.

Kantor, P. and P. Nair, 2005: Vulnerability among slum dwellers in Lucknow, India - Implications for urban livelihood security. International Development Planning Review, 27(3), 333-358.

Kar, N. 2009: Psychological impact of disasters on children: review of assessment and interventions. World Journal of Pediatrics, 5(1), 5-11.

Karlsson, S., 2007: Allocating responsibilities in multi-level governance for sustainable development. Journal of Social Economics, 34(1-2),103-126.

Kasperson, R.E. and J.X. Kasperson, 2001: Climate Change, Vulnerability, and Social Justice. Risk and Vulnerability Programme, Stockholm Environment Institute, Stockholm, Sweden, pp. 18.

Kasperson, R. and I. Palmund, 2005: Evaluating risk communication. In: The Social Contours of Risk. Volume I: Publics, Risk Communication & the Social Amplification of Risk [Kasperson, J. and R. Kasperson (eds.)]. Earthscan, London, UK, pp. 51-67.

Kasperson, R.E., O. Renn, P. Siovic, H.S. Brown, J. Emel, R. Goble, J.X. Kasperson, and S. Ratick, 1988: The social amplification of risk: a conceptual framework. Risk Analysis, 8(2), 177-187.

Kasperson, J., R. Kasperson, B.L. Turner, W. Hsieh, and A. Schiller, 2005: Vulnerability to global environmental change. In: The Social Contours of Risk. Volume II: Risk Analysis, Corporations & the Globalization of Risk [Kasperson, J. and R. Kasperson (eds.)]. Earthscan, London, UK, pp. 245-285.

Kates, R.W., 1962: Hazard and Choice Perception in Flood Plain Management. Dept. of Geography Research Paper No. 78, University of Chicago, Chicago, IL.

Kates, R.W., 1971: Natural hazard in human ecological perspective: Hypotheses and models. Economic Geography, 47(3), pp. 438-451.

Kates, R.w., 1985: The interaction of climate and society. In: Climate Impact Assessment [Kates, R.W., J.H. Ausubel, and M. Berberian (eds.)]. SCOPE 27, Wiley, Chichester, UK.

Keim, M.E., 2008: Building human resilience: the role of public health preparedness and response as an adaptation to climate change. American Journal of Preventive Medicine, 35, 508-516.

Kelman, I. and IA Mather, 2008: Living with volcanoes: the sustainable livelihoods approach for volcano-related opportunities. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 172(3-4), 189-198.

Kesavan, P.e. and M.S. Swaminathan, 2006: Managing extreme natural disasters in coastal areas. Philosophical Transactions of The Royal Society A, 364 (1845), 2191-2216.

Khandlhela, M. and J. May, 2006: Poverty, vulnerability and the impact of flooding in the Limpopo Province, South Africa. Natural Hazards, 39(2), 275-287.

Kintisch, E., 2006: Evangelicals, scientists reach common ground on climate change. Science, 311 (5764), 1082-1083.

Klein, R.n, 2001: Adaptation to Climate Change in German Official Development Assistance: An Inventory of Activities and Opportunities, with a Special Focus on Africa. GTZ, Eschborn, Germany.

Klein, s.rr, M.Alam, I. Burton, w.w. Dougherty, K.L. Ebi, M. Fernandes,A Huber-Lee, A.A. Rahman, and e. Swartz, 2006: Application of Environmentally Sound Technologies For Adaptation To Climate Change. Technical Paper FCCCITP/2006/2, United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat, Bonn, Germany.

Klein, R., S. Eriksen, L.O. Naess, A Hammill, e. Robledo, IM. Tanner, and K. O'Brien, 2007: Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance. Climatic Change, 84, 23-44.

Kobori, H., 2009: Current trends in conservation education in Japan. Biological Conservation, 142(9), 1950-1957.

Koenig, D., 2009: Urban relocation and resettlement: Distinctive problems, distinctive opportunities. In: Development and Dispossession: The Crisis of Development Forced Displacement and Resettlement [Oliver-Smith, A (ed.)]. SAR Press, Santa Fe, NM, pp. 119-139.

Krasny, M.E. and K.G. Tidball, 2009: Applying a resilience systems framework to urban environmental education. Environmental Education Research, 15(4), 465-482.

Kuhar, e.w., T.L. Bettinger, K. l.ehnhardt, O. Tracy, and D. Cox, 2010: Evaluating for long-term impact of an environmental education program at the Kalinzu Forest Reserve, Uganda. American Journal Of Primatology, 72(5), 407-413.

Kuwali, D., 2008, From the West to the rest: Climate change as a challenge to human security in Africa. African Security Review, 17 (3), 18-38.

Lamond, H., D.G. Proverbs, and F.N. Hammond, 2009: Accessibility of flood risk insurance in the UK: confusion, competition and complacency. Journal of Risk Research, 12(6), 825-841.

Landry, e.E., o. Bin, P. Hindsley, J.e. Whitehead, and K. Wilson, 2007: Going Home: Evacuation-Migration decisions of Hurricane Katrina Survivors. Center for Natural Hazards Research Working Paper, Natural Hazards Center, University of Colorado at Boulder, Boulder, co.

Lavell, A (ed.), 1994: Viviendo en riesgo: comunidades vulnerables y prevencion de desastres en America Latina. LA RED, Tercer Mundo Editores, Bogota, Colombia.

Lavell, A, 1996: Deqradacion ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definicion de una agenda de investiqacion, In: Ciudades en Riesgo [Fernandez, MA (ed.)]. La RED-USAID, Lima, Peru, pp. 21-59.

Lavell, A, 1999a: Environmental degradation, risks and urban disasters. issues and concepts: Towards the definition of a research agenda. In: Cities at Risk: Environmental Degradation, Urban Risks and Disasters in Latin America [Fernandez, MA (ed.)]. A1H Editorial, La RED, US AID, Quito, Ecuador, pp. 19-58.

Lavell, A., 1999b: Natural and Technological Disasters: Capacity Building and Human Resource Development for Disaster Management. Concept Paper commissioned by Emergency Response Division, United Nations Development Program, Geneva Switzerland.

Lavell, A, 2003: Local Level Risk Management: Concept and Practices. CEPRE¬DENAC-UNDP, Quito, Ecuador.

Lavell, A and E. Franco (eds.), 1996: Estado, Sociedad y Gestion de los Desastres en America Latina. Red de Estudios Sociales en Prevencion de Desastres en America Latina, La RED, Tercer Mundo Editores, Bogota, Colombia.

Leichenko, R.M. and K.L. O'Brien, 2002: The dynamics of rural vulnerability to global change: the case of southern Africa. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 7, 1-18.

Leichenko, R.M. and K.L. O'Brien, 2008: Environmental Change and Globalization, Double Exposures. Oxford University Press, New York, NY.

Leiserowitz, A, 2006: Climate change risk perception and policy preferences: the role of affect, imagery, and values. Climatic Change, 77,45-72

Levina, E. and D. Tirpak, 2006: Adaptation to Climate Change: Key Terms. COM/ENV/EPOCIIEA/SLT(2006)1, OECD, Paris, France.

Linnerooth-Bayer, J. and R. Mechler, 2007: Disaster safety nets for developing countries: Extending public-private partnerships. Environmental Hazards, 7, 54-61.

Linnerooth-Bayer, J., R, Mechler, and G. Pflug, 2005: Refocusing disaster aid. Science, 309, 1044-1046.

Liverman, D.M., 1990: Vulnerability to global environmental change. In: Understanding Global Environmental Change: The Contributions of Risk Analysis and Management [Kasperson, R.E., K. Dow, D. Golding, and J.X. Kasperson (eds.)]. Clark University, Worcester, MA, pp. 27-44.

Longstaff, P.H. and S.-U. Yang, 2008: Communication management and trust: Their role in building resilience to "surprises" such as natural disasters, pandemic flu, and terrorism. Ecology and Society, 13 (1),3.

Lopez-Calva, L.F. and E. Ortiz, 2008: Evidence and Policy Lessons on the Link between Disaster Risk and Poverty in Latin America: Summary of Regional Studies. RPP LAC - MDGs and Poverty -1 0/2008, RBLAC-UNDP, New York, NY, USA

Luers, A.L., D.B. Lobell, L.S. Sklar, C], Addams, and PA Matson, 2003: A method for quantifying vulnerability, applied to the Yaqui Valley, Mexico. Global Environmental Change, 13,255-267.

Luhmann, N., 2003: Soziologie des Risikos. Walter De Gruyterl, Berlin, Germany. Ljung, K., F. Maley, A Cook, and P. Weinstein, 2009: Acid sulfate soils and human health - A Millennium Ecosystem Assessment. Environment International, 35(8), 1234-1242.

Madagascar Development Intervention Fund, 2007: Disaster-Resistant Schools, a Tool for Universal Primary Education. UNISDR, Geneva, Switzerland.

Magnan, A, 2010: For a better understanding of adaptive capacity to climate change: a research framework.IDDRI Analysis, 2/10, IDDRI, Paris, France.

Mansilla, E. (ed.), 1996: Desastres: modelo para armar. La RED, Lima, Peru.

Manyena, S.B. 2006: The concept of resilience revisited. Disasters, 30(4), 433-450. Marmot, M., 2010: Marmot Review final report, Fair Society, Healthy Lives. University College London, London, UK.

Marris, e., I. Langford, T. Saunderson, and T. O'Riordan, 1998, A quantitative test of the cultural theory of risk perceptions: Comparison with the psychometric paradigm. Risk Analysis, 18(5), 635-647.

Marshall B.K. and J.S. Picou, 2008: Postnormal science, precautionary principle, and worst cases: The challenge of twenty-first century catastrophes. Sociological Enquiry, 78(2), 230-247.

Marulanda, M.e., O.D. Cardona, M.G. Ordaz, and AH. Barbat, 2008a: La qestion financiera del riesgo desde la perspectiva de los desastres: Eveluecion de la exposicion fiscal de los Estados y alternativas de instrumentos financieros de retention y transferencia del riesgo. Monograffa CIMNE IS-61, Universidad Politecnica de Cataluria, Barcelona, Spain.

Marulanda, M.e., O.D. Cardona, and A.H. Barbat, 2008b: The economic and social effects of small disasters: Revision of the Local Disaster Index and the case study of Colombia. In: Megacities: Resilience and Social Vulnerability [Bohle, H.G. and K. Warner (eds.)]. SOURCE No.1 0, United Nations University (EHS), Munich Re Foundation, Bonn, Germany.

Marulanda, M.e., O.D. Cardona, and AH. Barbat, 201 0: Revealing the socioeconomic impact of small disasters in Colombia using the DesInventar database. Disasters, 34(2), 552-570.

Marulanda, M.e., O.D. Cardona, and AH. Barbat, 2011: Revealing the impact of small disasters to the economic and social development. In: Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security - Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, e. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Masika, R., 2002: Editorial. Gender & Development, 10(2),2-9.

Maskrey, A, 1989: Disaster Mitigation: A Community Based Approach. Oxfam, Oxford, UK.

Maskrey, A (Cornp.), 1993a: Los Desastres No son Naturales. Red de Estudios Sociales en Prevencion de Desastres en America Latina, LA RED, Tercer Mundo Editores, La RED, Bogota, Colombia.

Maskrey, A, 1993b: Vulnerability accumulation in peripheral regions in Latin America: The challenge for disaster prevention and management. In: Natural Disasters: Protecting Vulnerable Communities [Merriman, PA and e.w. Browitt (eds.)]. IDNDR, Telford, London, UK, pp. 461-472.

Maskrey, A, 1994: Disaster mitigation as a crisis paradigm: Reconstructing after the Alto Mayo Earthquake, Peru. In: Disaster, Development and Environment [Varley, A (ed.)]. John Wiley & Sons, Chichester, UK, pp. 109-123.

Maskrey, A (ed.), 1998: Navegando entre Brumas: La Aplicecion de los Sistemas de Informacion Geografica al Analisis de Riesgo en America Latina. LA RED, ITDG, Lima, Peru.

Massey, K. and J. Sutton, 2007: Faith community's role in responding to disasters. Southern Medical Journal, 100(9), 944-945, doi:1 0.1 097/ SMJ. Ob013e318145a847.

McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, and K.S. White (eds.), 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

McConnell, w.J., 2008: Comanagement of natural resources: Local learning for poverty reduction. Society & Natural Resources, 21 (3),273-275.

McGranahan, G., D. Balk, and B. Anderson, 2007: The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. Environment and Urbanization, 19(1), 17-37, doi:1 0.1177/0956247807076960.

McGuire, L.e., E.S. Ford, and e.A Okoro, 2007: Natural disasters and older US adults with disabilities: implications for evacuation. Disasters, 31 (1),49-56.

Mcivor, D. and D. Paton, 2007: Preparing for natural hazards: normative and attitudinal influences. Disaster Prevention and Management, 16(1), 79-88.

McLaughlin, P., and T. Dietz, 2008: Structure, agency and environment: toward an integrated perspective on vulnerability. Global Environmental Change, 18, 99- 111.

McLeman, R. and B. Srnit, 2006: Vulnerability to climate change hazards and risks: crop and flood insurance. Canadian Geographer, 50(2), 217-226.

McMichael, D.H., C.F. Campbell-Lendrum, K. Corvalan, L. Ebi, A. Githeki, J.D.Scheraga, and A Woodward, 2003: Climate Change and Human Health: Risks And Responses. WMO, Geneva, Switzerland.

MEA, 2005: Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Mearns, R. and A Norton, 2010: The Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World. New Frontiers of Social Policy Series, World Bank, Washington, DC, ISBN 978-0-8213-7887-8.

Mechler, R., 2004: Natural Disaster Risk Management and Financing Disaster Losses in Developing Countries. Verlag fur Versicherunqswirtschaft, Karlsruhe, Germany.

Mechler, R., J. Linnerooth-Bayer, S. Hochrainer, and G. Pflug, 2006:Assessing financial vulnerability and coping capacity: The IIASA CATSIM Model. In: Measuring Vulnerability and Coping Capacity to Hazards of Natural Origin. Concepts and Methods [Birkmann, J. (ed.)]. United Nations University Press, Tokyo, Japan.

Mechler, R., S. Hochrainer, A Aaheim, H. Salen and A. Wreford, 2010: Modelling economic impacts and adaptation to extreme events: Insights from European case studies. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 15(7). 737-762.

Mercer J., I. Kelman, L. Taranis, and S. Suchet-Pearson, 2010: Framework for integrating indigenous and scientific knowledge for disaster risk reduction. Disasters, 34(1),214-239.

Metzger, M.J., M.D.A. Rounsevell, L. Acosta-Michlik, R. Leemans, and D. Schriiter, 2006: The vulnerability of ecosystem services to land use change. Agriculture, Ecosystems and Environment, 114, 69-85.

Mileti, D.S., 1996: Psicologfa social de las alertas publicas efectivas de desastres. In: Desastres y Sociedad, Especial: Predicciones, Ptonosticos, Alertas y Respuestas Sociales [Cardona, O.D. (ed.)]. 4, La RED, Tarea Grafica, Lima, Peru.

Mimura, N.L., L. Nurse, R.F. McLean, J. Agard, L. Briguglio, P. Lefale, R. Payet, and G. Sem, 2007: Small islands. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 687-716.

Mitchell, J.K. (ed.), 1999a: Crucibles of Hazards: Megacities and Disasters in Transition. United Nations University Press, Tokyo, Japan.

Mitchell, J.K., 1999b: Megacities and natural disasters: A comparative analysis. GeoJournal, 49(2), 137-142.

Mitchell, I. and M.K. van Aalst, 2008: Convergence of Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation: A Review for DFID. Department for International Development (DFID), London, UK.

Mitchell, I, M. van Aalst, and P.S. Villanueva, 201 0: Assessing Progress on Integrating

Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Development Processes. Strengthening Climate Resilience Discussion Papers, 2, Strengthening Climate Resilience, Institute of Development Studies, Brighton, UK.

Moench, M. and A Dixit (eds.), 2007: Working with the Winds of Change: Towards Strategies for Responding to the Risks Associated with Climate Change and Other Hazards. ISET, Kathmandu, Nepal, 285 pp.

Mohay, H. and N. Forbes, 2009: Reducing the risk of posttraumatic stress disorder in children following natural disasters. Australian Journal of Guidance and Counselling, 19(2), 179-195.

Morrow, B.H., 1999: Identifying and mapping community vulnerability. Disasters, 23(1),1-18.

Morton, lA, A Rabinovich, D. Marshall, and P. Bretschneider, 2011: The future that may (or may not) come: How framing changes responses to uncertainty in climate change communications. Global Environmental Change, 21,103-109.

Moss, R.H., AL. Brenkert, and E.L. Malone, 2001: Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach. Technical Report PNNL-SA-33642, Pacific Northwest National Laboratories, Richland, WA

MOVE, 2010: Generic Conceptual Framework for Vulnerability Measurement. Seven Framework Programme, Methods for the Improvement of Vulnerability Assessment in Europe, European Commission, Brussels, Belgium.

Munda, G., 2000: Multicriteria Methods and Process for Integrated Environmental Assessment. In: Metodos Numericos en Ciencias Sociales (MENCIS 2000) [Onate, E., F. Garcia-Sicilia, and L. Ramallo (eds.)]. Centro Internacional de Metodos Nurnericos en Ingenierfa - Universidad Politecnica de Cataluria, Barcelona, Spain, pp. 364-375, ISBN 84-89925-71-2.

Munich Re, 2011: TOPICS GEO, Natural Catastrophes 2010, Analyses, Assessments, Positions. Munich Re, Munich, Germany.

Myers, C.A, 1 Slack, and J. Singelmann, 2008: Social vulnerability and migration in the wake of disaster: the case of Hurricanes Katrina and Rita. Population & Environment, 29(6), 271-291.

Myers, N., 1993: Environmental refugees in a globally warmed world. Bioscience, 43(11),752-761.

Ncess, L., O. Bang, S. Eriksen, and J. Vevatne, 2005, Institutional adaptation to climate change: Flood responses at the municipal level in Norway. Global Environmental Change, 15, 125-138, doi:1 0.1 016/j.gloenvcha.2004.1 0.003.

Nakagawa, Y. and R. Shaw, 2004: Social capital: A missing link to disaster recovery. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 22, 5-34.

Nathan, F., 2008: Risk perception, risk management and vulnerability to landslides in the hill slopes in the city of La Paz, Bolivia. Disasters, 32 (3), 337-357.

Neal, D.M. and B.D. Phillips, 1990: Female-dominated local movement organizations in disaster-threat situations. In: Women and Social Protest [West, G. and R.L. Blumberg (eds.)]. Oxford University Press, New York, NY, pp. 243-255.

Nelson, D.R. and IJ. Finan, 2009: Praying for drought: Persistent vulnerability and the politics of patronage in Ceara, Northeast Brazi I. American Anthropologist, 111, 302-316, doi:1 0.1111/j.1548-1433.2009.01134.x.

Nelson, R., P. Kokic, S. Crimp, H. Meinke, and S.M. Howden, 201 Oa: The vulnerability of Australian rural communities to climate variability and change, Pt. I: Conceptual ising and measuring vulnerability. Environmental Science & Policy, 13, 8-17.

Nelson, R., P. Kokic, S. Crimp, P. Martin, H. Meinke, S.M. Howden, P. de Voil, and U.

Nidumolu, 201 Ob: The vulnerability of Australian rural communities to climate variability and change, Part II: Integrating impacts with adaptive capacity. Environmental Science & Policy, 13, 18-27.

Neumayer, E. and 1 Pluemper, 2007: The gendered nature of natural disasters: The impact of catastrophic events on the gender gap in life expectancy, 1981-2002. Annals of the Association of American Geographers, 97(3), 551-566

Nicholls, R.J., 2004: Coastal flooding and wetland loss in the 21 st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. Global Environmental Change, 14(1), 69-86.

Nicholls, R.J., N. Marinova, J. Lowe, S. Brown, P. Vellinga, D. De Gusmao, J. Hinkel, and R.S. To I, 2011: Sea-level rise and its possible impacts given a 'beyond 4 degrees C world' in the twenty-first century. Philosophical Transactions of The Royal Society A, 369(1934), 161-181.

Nielsen. J.O. and A Reenberg, 201 0: Cultural barriers to climate change adaptation: A case study from Northern Burkina Faso. Global Environmental Change, 20, 142-152.

Nomura, K., 2009: A perspective on education for sustainable development: Historical development of environmental education in Indonesia. International Journal of Educational Development, 29(6), 621-627.

Nurse, L. and G. Sem, 2001: Small island states. In: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability [McCarthy, J., O. Canziani, N. Leary, D. Dokken, and K. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 842-875.

O'Brien, G., P. O'Keefe, H. Meena, J. Rose, and L. Wilson, 2008: Climate adaptation from a poverty perspective. Climate Policy, 8(2), 194-201.

O'Brien, K., S. Eriksen, A. Schjolen, and L. Nygaard, 2004a: What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research. CICEROWorking Paper 2004:04, CICERO, Oslo University, Oslo, Norway.

O'Brien, K, R. Leichenko, U. Kelkar, H. Venema, G. Aandahl, H. Tompkins, A Javed, S. Bhadwal, S. Barg, L. Nygaard, and J. West, 2004b: Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. Global Environmental Change, 14, 303-313.

O'Brien, K., S. Eriksen, L. Sygna, and L.a. Naess, 2006: Questioning complacency: Climate change impacts, vulnerability, and adaptation in Norway. Ambio, 35(2),50-56.

O'Brien, K., L. Sygna, R. Leinchenko, W.N. Adger, J. Barnett, T. Mitchell, L. Schipper, T. Tanner, e. Vogel, and e. Mortreux, 2008: Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation and Human Security. GECHS Report 2008:3, Global Environmental Change and Human Security, Oslo, Norway.

O'Keefe, P., K. Westgate, and B. Wisner, 1976: Taking the naturalness out of natural disasters. Nature, 260, 566-567.

OAS, 1991: Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning. Organization of American States, Washington, De.

OCHA/IDMC, 2009: Monitoring Disaster Displacement in the Context of Climate Change. Findings of a study by the United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs and the Internal Displacement Monitoring Centre, Geneva, Switzerland.

Ochola, S.O., B. Eitel, and D.O. Olago, 2010: Vulnerability of schools to floods in Nyando River catchment, Kenya. Disasters, 34(3), 732-754.

Olausson, U., 2009: Global warming - global responsibility? Media frames of collective action and scientific certainty. Public Understanding of Science, 18, 421-436

Oliver-Smith, A, 2006: Communities after catastrophe: Reconstructing the material, reconstituting the social. In: Community Building in the 21st Century [Hyland, S. (ed.)]. School of American Research Press, Santa Fe, NM, pp. 45-70.

Oliver-Smith, A, 2009: Disasters and diasporas: Global climate change and population displacement in the 21 st century. In: Anthropology and Climate Change: From Encounters to Actions [Crate, SA and M. Nuttall (eds.)]. Left Coast Press, Walnut Creek, CA, pp. 116-138.

Oppenheimer, M. and A Todorov (eds.), 2006: Global warming: the psychology of long term risk. Climatic Change, 77(1-6).

Orr, M., 2003: Environmental decline and the rise of religion.lygon, 38(4), 895-910. Paavola, J., 2008: Livelihoods, vulnerability and adaptation to climate change in Morogoro, Tanzania. Environmental Science & Policy, 11, 642-654.

PAHOlWorid Bank, 2004: Guidelines for Vulnerability Reduction in the Design of New Health Facilities. Prepared by Ruben Boroschek Krauskopf and Rodrigo Retamales Saavedra, PAHOlWorid Bank in collaboration with the World Health Organization, Washington, DC, 106 pp.

Pantuliano, S. and M. Wekesa, 2008: Improving drought response in pastoral areas of Ethiopia: Somali and Afar Regions and Borena lone of Oromiya Region. Prepared for the CORE group (CARE, FAO, Save the Children UK and Save the Children US), Overseas Development Institute, Humanitarian Policy Group, London, UK.

Parker, D.J., 1995: Floodplain development policy in England and Wales. Applied Geography, 15(4), 341-363.

Patt, A, R. Klein, and A Vega-Leinert, 2005: Taking the uncertainty in cl imate-change vulnerability seriously. Geoscience, 337, 411-424.

Patt, AG., D. Schriiter, R.L.T. Klein, and A.e. Vega-Leinert, 2009: Assessing Vulnerability to Global Environmental Change. Earthscan Publications, London, UK.

Patterson, J., E. Linden, J.K.P. Edward, D. Wilhelmsson, and I. Lofgren, 2009: Community-based environmental education in the fishing villages ofTuticorin and its role in conservation of the environment. Australian Journal of Adult Learning, 49(2), 382-393.

Peacock, w.G., B.H. Morrow, and H. Gladwin (eds.), 1997: Hurricane Andrew: Ethnicity, Gender and the Sociology of Disasters. Routledge, London, UK.

Peduzzi, P., 2006: The Disaster Risk Index: Overview of a quantitative approach. In: Measuring Vulnerability to Natural Hazards - Towards Disaster Resilient Societies [Birkmann, J. (ed.)]. United Nations University Press, Tokyo, Japan, pp.171-181.

Peduzzi, P., H. Dao, e. Herold, and F. Mouton, 2009: Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. Natural Hazards and the Earth System Science, 9, 1149-1159.

Peek, L. and L.M. Stough, 2010: Children with disabilities in the context of disaster: A social vulnerability perspective. Child Development, 81 (4), 1260-1270.

Peguero, AA, 2006: Latino disaster vulnerability - The dissemination of hurricane mitigation information among Florida's homeowners. Hispanic Journal of Behavioral Sciences, 28 (1), 5-22.

Pelling, M., 1997: What determines vulnerability to floods: a case study in Georgetown, Guyana. Environment and Urbanization, 9, 203-226.

Pelling, M., 1998: Participation, social capital and vulnerability to urban flooding in Guyana. Journal of International Development, 10,469-486.

Pelling, M., 2003: The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience. Earthscan Publications, London, UK.

Pelling, M., 201 0: Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation. Routledge, London, UK.

Pelling, M. and J.I. Uitto, 2001: Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change. Environmental Hazards, 3, 49-62.

Pelling, M. and B. Wisner (eds.), 2009a: Disaster Risk Reduction, Cases From Urban Africa. Earthscan, London, UK.

Pelling, M. and B. Wisner, 2009b: Introduction: Urbanization, human security and disaster risk in Africa. In: Disaster Risk Reduction, cases from urban Africa [Pel ling, M. and B. Wisner (eds.)]. Earthscan, London, UK, pp. 1-16.

Pielke, Jr., RA and e.w. Landsea, 1998: Normalized hurricane damages in the United States: 1925-1995. Weather and Forecasting, 13, 621-631.

Pierre, J. and B.G. Peters, 2000: Governance, Politics, and the State. st. Martin's Press, New York, NY.

Pincha, e. and N.H. Krishna, 2009: Post-disaster death ex gratia payments and their gendered impact. Regional Development Dialogue, 30(1), 95-105.

Plummer, R., 2006: Sharing the management of a river corridor: A case study of the comanagement process. Society & Natural Resources, 19(8), 709-721.

Portes, A, 1998: Social capital: its origins and applications in modern sociology. Annual Review of Sociology, 24, 1-24.

Pulwarty, R.S. and W.E. Riebsame, 1997: The political ecology of vulnerability to hurricane-related hazards. In: Hurricanes: Climate and Socio-Economic Impacts [Diaz, H.F. and R.S. Pulwarty (eds.)]. Springer, Heidelberg, Germany, pp. 185-214.

Putnam, R.D., 2000: Bowling Alone: The Col/apse and Revival of American Community. Simon & Schuster, New York, NY.

Quarantelli, E.L., 1998: What is a Disaster? Routledge, New York, NY.

Rafiee, R., AS. Mahiny, and N. Khorasani, 2009: Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11(6), 431-438.

Rahman, M.M., G. Graham Haughton, and AE.G. Jonas, 2010: The challenges of local environmental problems facing the urban poor in Chitta gong, Bangladesh: a scale-sensitive analysis. Environment and Urbanization, 22(2), 561-578, doi:1 0.11771095624781 0377560.

Ray-Bennett, N.S., 2009: The influence of caste, class and gender in surviving multiple disasters: A case study from Orissa, India. Environmental Hazards¬Human and Policy Dimensions, 8(1),5-22.

Reacher, M., K. McKenzie, e. Lane, T. Nichols, I. Kedge, A Iversen, P. Hepple, T. Walter, e. Laxton, and J. Simpson, on behalf of the Lewes Flood Action Recovery Team, 2004: Health impacts of flooding in Lewes: a comparison of reported gastrointestinal and other illness and mental health in flooded and non-flooded households. Communicable Disease and Public Health, 7(1),39-46.

Renaud, F.G., 2006: Environmental components of vulnerability. In: Measuring Vulnerability to Natural Hazards. Towards Disaster Resilient societies [Birkmann, J. (ed.)]. United Nations University Press, Tokyo, Japan, pp. 117-127.

Renn, 0., 1992: Concepts of risk: A classification. In: Social Theories of Risk [Krimsky, S. and D. Golding (eds.)]. Praeger, Westport, CT, pp. 53-79.

Renn, 0., 2008: Risk Governance - Coping with Uncertainty in a Complex World. Earthscan, London, UK.

Renn, O. and P. Graham, 2006: Risk Governance - Towards an integrative approach. White paper no. 1, International Risk Governance Council, Geneva, Switzerland.

Ribot, J., 1995: The causal structure of vulnerability and its application to climate impact analysis. GeoJournal, 35(2), 119-122.

Ribot, J.e., 1996: Introduction: Climate variability, climate change and vulnerability: Moving forward by looking back. In: Climate Variability: Climate Change and Social Vulnerability in the Semi-Arid Tropics [Ribot, J.e.,AR. Magalhaes, and S.S. Panagides (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Rideout V., 2003: Digital inequalities in eastern Canada. Canadian Journal of Information and Library Science, 27(2),3-31.

Rose, A, 2004: Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation. In: Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters [Okuyama, Y. and S.E. Chang (eds.)]. Springer, New York, NY.

Ruth, M. and D. Coelho, 2007: Understanding and managing the complexity of urban systems under climate change. Climate Policy, 7(4),317-336.

Saldaiia-Zorrilla, S.R., 2007: Socioeconomic vulnerability to natural disasters in Mexico: rural poor, trade and public response. CEPAL Report 92, UN-ECLAC, Disaster Evaluation Unit, Mexico, ISB N 978-92-1-121661-5.

Sampei, Y. and M. Aoyagi-Usui, 2008: Mass-media coverage, its influence on public awareness of climate-change issues, and implications for Japan's national campaign to reduce greenhouse gas emissions. Global Environmental Change, 19,203-212.

Sanchez-Rodriguez, R., K.C. Seto, D. Simon, W.D. Solecki, F. Kraas, and G. Laumann, 2005: Science Plan Urbanization and Global Environmental Change. IHDP Report 15, International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, Bonn, Germany.

Sandstrom, c., 2009: institutional dimensions of comanagement: Participation, power, and process. Society & Natural Resources, 22(3), 230-244.

Sanli, F.B., F.B. Balcik, and C. Goksel, 2008: Defining temporal spatial patterns of mega city Istanbul to see the impacts of increasing population. Environmental Monitoring and Assessment, 146(1-3), 267-275.

Schipper, E.L.F, 2010: Religion as an integral part of determining and reducing climate change and disaster risk: an agenda for research. In: Climate Change: The Social Science Perspective [Voss, M. (ed.)]. VS-Verlag, Wiesbaden, Germany, pp.377-393.

Schipper, L. and M. Pelling, 2006: Disaster risk, climate change and international development: Scope for, and challenges to, integration. Disasters, 30(1),19-38.

Schmuck-Widmann, H., 2000: Wissenskulturen im Vergleich. Biiuerliche und ingenieurwissenschaftliche Wahrnehmungen und Strategien zur Bewiiltigung der Flut in Bangladesh. PhD Thesis, Free University Berlin, Germany. (also published in English as Schmuck-Widmann, H., 2001: Facing the Jamuna River. Indigenous and engineering knowledge in Bangladesh. Bangladesh Resource Centre for Indigenous Knowledge in Dhaka, Bangladesh, 242 pp.).

Schneider, S.H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C.H.D. Magadza, M. Oppenheimer,A.B. Pittock,A Rahman, J.B. Smith,A Suarez, and F. Yamin, 2007: Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and CE. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 779-810.

Schon, DA and M. Rein, 1994: Frame Reflection: Toward the Resolution of Intractable Policy Controversies. BasicBooks, New York, NY, USA, 247 pp. ISBN 0465025064.

Schriiter, D., C. Polsky, and AG. Patt, 2005: Assessing vulnerabilities to the effects of global change: an eight step approach. Mitigation andAdaptation Strategies for Global Change, 10,573-595.

Sclar, E.D., P. Garau, and G. Carolini, 2005: The 21 st Century health challenge of slums and cities. Lancet, 365, 901-903.

Scoones, I., 1998: Sustainable Rural Livelihoods: A Framework For Analysis. IDS Working Paper 72, Brighton, UK, ISBN 1-85964-224-8.

Scudder, I. 2005: The Future of Large Dams: Dealing with Social, Environmental, Institutional and Political Costs. Earthscan, London, UK, 408 pp.

Sen, A, 1981: Poverty and Famines: An Essay on Entitlements and Deprivation. Clarendon Press, Oxford, UK.

Setiadi, N., 2011: Daily mobility - excursus Padang, Indonesia. In: Early Warning in the Context of Environmental Shocks: Demographic Change, Dynamic Exposure to Hazards, and the Role of EWS in Migration Flows and Human Displacement [Chang Seng, D. and J. Birkmann (eds.)]. Migration and Global Environmental Change, Foresight SR4b, Vulnerability Assessment, Risk Management and Adaptive Planning Section, United Nations University for Environment and Human Security, Government Office for Science, pp. 41-45.

Shah, H.C., 1995: The increasing nature of global earthquake risk. Global Environmental Change, 5(1), 65-67.

Sharma, U. and A Patwardhan, 2008: An empirical approach to assessing generic adaptive capacity to tropical cyclone risk in coastal districts of India. Mitigation and Adaptation Strategies to Global Change, 13,819-831.

Sheldon, K. and D. Golding (eds.), 1992: Social Theories of Risk. Praeger, Westport, Cl

Skelton, JA, S.R. Cook, P. Auinger, J.D. Klein, and S.E. Barlow, 2009: Prevalence and trends of severe obesity among U.S. children and adolescents. Academic Pediatrics, 9(5), 322-329.

Siovic, P., 2000: The Perception of Risk. Earthscan, London, UK.

Smit, B. and J. Wandel, 2006: Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change, 16,282-292.

Smithers, J. and B. Smit, 1997: Human adaptation to climatic variability and change. Global Environmental Change, 7, 129-146.

Spence, P.R., KA Lachlan, and D.R. Griffin, 2007: Crisis communication, race, and natural disasters. Journal of Black Studies, 37(4), 539-554.

Spence, R.J.S. and AW. Coburn, 1987: Earthquake Protection: An Task for the 1990s. The Structural Engineer, 6SA(8), 290-296

Sphere Project, 2011: The Sphere Project, Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response. Distributed for the Sphere Project by Practical Action Publishing, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, USA, ISBN 978-1-908176-00-4.

Stafoggia M., F. Forastiere, P. Michelozzi, and C.A. Perucci, 2006: Vulnerability to heat-related mortality: a multicity, population-based, case-crossover analysis. Epidemiology, 17,315-323.

Stamatakis, E., J. Wardle, and IJ. Cole, 2010: Childhood obesity and overweight prevalence trends in England: evidence for growing socioeconomic disparities. International Journal of Obesity, 34(1), 41-47.

Stockdale, IN., O. Alves, G. Boer, M. Deque, Y. Ding, K. Kumar, W. Landman, S.J. Mason, P. Nobre, A Scaife, O. Tomoaki, and w.- 1 Yun, 2009: Understanding and predicting seasonal to interannual climate variabi lity - the producer perspective. White Paper presented at the World Climate Conference 3 in Report of the World Climate Conference 3, World Meteorological Organization Report No. 1048, Geneva, Switzerland.

Street, R., A Maarouf, and H. Jones-Otazo, 2005: Extreme weather and climate events: implications for public health. In: Integration of Public Health with Adaptation to Climate Change: Lessons Learned and New Directions [Ebi, K.L., J.B. Smith, and I. Burton (eds.)]. Taylor & Francis, London, UK, pp. 161-190.

Sultana, F. 2010: Living in hazardous waterscapes: Gendered vulnerabilities and experiences of floods and disasters. Environmental Hazards-Human and Policy Dimensions, 9(1), 43-53.

Susman, P., P. O'Keefe, and B. Wisner, 1983: Global disasters: A radical interpretation. In: Interpretations of Calamity [Hewitt, K. (ed.)].Allen & Unwin, Winchester, MA, pp. 264-283.

Tanner, I. 2009: Screening climate risks to development cooperation. Focus, 2.5, IDS, Brighton, UK.

Tearfund, 2009: Climate change and Environmental Degradation Risk and Adaptation assessment. Tearfund, London, UK.

Thomalla, F. and R.K. Larsen, 2010: Resilience in the context of tsunami early warning systems and community disaster preparedness in the Indian Ocean region. Environmental Hazards, 9(3), 249-265.

Thomalla, F., 1 Downing, E. Spanger-Siegfried, G. Han, and J. Rockstriim, 2006: Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. Disasters, 30(1), 39-48.

Thomalla, F., R.K. Larsen, F. Kanji, S. Naruchaikusol, C. Tepa, B. Ravesloot, and AK. Ahmed, 2009: From Knowledge to Action: Learning to Go the Last Mile. A Participatory Assessment of the Conditions for Strengthening the Technology¬community Linkages of Tsunami Early Warning Systems in the Indian Ocean, Project Report, Stockholm Environment Institute, Macquarie University, Asian Disaster Preparedness Centre, and Raks Thai Foundation, Bangkok and Sydney, Australia.

Thywissen, K., 2006: Core terminology of disaster risk reduction: A comparative glossary. In: Measuring Vulnerability to Natural Hazards [Birkmann, J. (ed.)]. UN U Press, Tokyo, Japan, pp. 448-496.

Tol, R.S.J., IE. Downing, O.J. Kuik, and J.B. Smith, 2004: Distributional aspects of climate change impacts. Global Environmental Change, 14,259-272.

Tong, S.M., P. Mather, G. Fitzgerald, D. McRae, K. Verrall, and D. Walker, 2010: Assessing the vulnerability of eco-environmental health to climate change. International Journal Of Environmental Research And Public Health, 7(2), 546-564.

Toni, F. and E. Holanda, 2008: The effects of land tenure on vulnerability to droughts in Northeastern Brazil. Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions, 18(4), 575-582.

Tunstall, S., S. Tapsell, e. Green, and P. Floyd, 2006: The health effects of flooding: social research results from England and Wales. Journal of Water Health, 4, 365-380.

Turner, B.L., R.E. Kasperson, PA Matson, J.J. McCarthy, R.W. Corell, L. Christensen, N. Eckley, J.X. Kasperson, A. Luers, M.L. Martello, e. Polsky, A. Pulsipher, and A. Schiller, 2003a: A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100(14), 8074-8079.

Turner, B.L. II, PA Matson, J.J. McCarthy, R.W. Corell, L. Christensen, N. Eckley, G. K. Hovelsrud-Broda, J.X. Kasperson, R.E. Kasperson, A. Luers, M.L. Martello, S. Mathiesen, R. Naylor, e. Polsky, A. Pulsipher, A. Schiller, H. Selin, and N. Tyler, 2003b: Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100(14),8080-8085.

Turner, N.J. and H. Clifton, 2009: "It's so different today": Climate change and indigenous lifeways in British Columbia, Canada. Global Environmental Change, 19, 180-190.

Twigg, J., 2001: Sustainable Livelihoods and Vulnerability to Disasters. Benfield Greig Hazard Research Centre, Disaster ManagementWorking Paper 2/2001, BGHRC, UCL, London UK.

Twigg, J., 2007: Characteristics of a Disaster-resilient Community. A Guidance Note. Version 1 (for field testing). DFID, Disaster Risk Reduction Interagency Coordination Group, Benfield, UK.

Uitto, J.I., 1998: The geography of disaster vulnerability in mega cities: a theoretical framework. Applied Geography, 18(1), 7-16.

UK Department of Health, 2009: NHS Emergency Planning Guidance: Planning for the psychosocial and mental health care of people affected by major incidents and disasters: Interim national strategic guidance. UK DoH, London, UK.

UN, 2005: Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters, World Conference on Disaster Reduction, 18-22 January 2005, Kobe, Japan, www.unisdr.org/wcdr/intergover/ offi ci a l-doc/L -docs/Hyog 0- framework- for-actio n-eng I ish. pdf.

UN Statistics Division, 2011, Millennium Development Goals Data Base. UN Statistics Division, New York, NY, mdgs.un.org/unsd/mdg/Metadata.aspx.

UNIDESA, 2010: Trends in Sustainable Development in Small Island Development States. United Nations, New York, NY, USA, 40 pp. ISBN 978-92-1-104610-6.

UN-HABITAT, 2003: Slums of the World: The Face of Urban Poverty in the New Millennium? Monitoring the Millennium Development Goal, Target 11 - World¬Wide Slum Dweller Estimation. UN-Habitat, Nairobi, Kenya.

UN-HABITAT, 2009: Global Report on Human Settlements 2011: Planning Sustainable Cities, United Nations Human Settlements Program, Earthscan, London, UK, ISBN 978-1-84407-898-1.

UN-HABITAT, 2011: Global Report on Human Settlements 2011: Cities and Climate Change. United Nations Human Settlements Program, Earthscan, London, UK.

UNCED, 1992: The Global Partnership for Environment and Development: A Guide to Agenda 21. United Nations Commission on Environment and Development (UNCED), Geneva, Switzerland.

UNDHA, 1992: Internationally agreed glossary of basic terms relating to disaster management. UN DHA, Geneva, Switzerland.

UNDP, 2004: Reducing Disaster Risk:A Challenge for Development, A Global Report.

UNDP, New York, NY.

UNDRO, 1980: Natural Disasters and Vulnerability Analysis. Report of Experts Group Meeting of 9-12 July 1979, UNDRO, Geneva, Switzerland.

UNEP, 2007: Global Environment Outlook 4. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNEP/UNISDR, 2008: Environment and Disaster Risk Emerging Perspectives. UNISDRI UNEP, Geneva, Switzerland.

UNICEF, 2009: Education in Emergencies and Post-Crisis Transition Consolidated 2009. Progress Report to the Government ofThe Netherlands and The European Commission, UNICEF, New York, NY.

UNISDR, 2004: Living With Risk. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2007a: Words Into Action: A Guide for Implementing the Hyogo Framework. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2007b: Towards a Culture of Prevention: Disaster Risk Reduction Begins at School Good Practices and Lessons Learned. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2009a: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction - Risk and Poverty in a Changing Climate: Invest Today for a Safer Tomorrow. Un ited Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 207 pp.

UNISDR, 2009b: Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland. un isd r. org/eng/l ibra ry/l ib- term ino logy-eng. htm.

UNISDR, 2011: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, 178 pp., www.preventionweb.netigar.

Urwin, K. and A. Jordan, 2008: Does public policy support or undermine climate change adaptation? Exploring policy interplay across different scales of governance. Global Environmental Change, 18, 180-191.

Utzinger, J. and J. Keiser, 2006: Urbanization and tropical health - then and now. Annals of Tropical Medicine and Parasitology, 100(5-6), 517-533.

van Aalst, M.K., 2006a: The impacts of climate change on the risk of natural disasters. Disasters, 30, 5-18.

van Aalst, M.K., 2006b: Managing Climate Risk: Integrating Climate Change Adaptation into World Bank Operations. World Bank, Washington, DC, USA.

van Aalst, M.K., 2009: Bridging timescales. In: World Disasters Report 2009. Focus on Early Warning, Early Action. IFRC, Geneva, Switzerland, pp. 68-93.

van Aalst, M.K. and I. Burton, 2002: The Last Straw. Integrating Natural Disaster Mitigation with Environmental Management. World Bank Disaster Risk Management Working Paper Series,S, World Bank, Washington, De.

van Aalst, M.K., M. Helmer, e. de Jong, F. Monasso, E. van Sluis, and P. Suarez, 2007: Red Cross/Red Crescent Climate Guide. Red Cross/Red Crescent Climate Centre, The Hague, The Netherlands, 144 pp.

van Aalst, M.K., 1 Cannon, and I. Burton, 2008: Community level adaptation to climate change: The potential role of participatory community risk assessment. Global Environmental Change, 18, 165-179.

Van de Walle, B. and M. Turoff, 2007: Emergency response information systems: Emerging trends and technologies. Communications of the ACM, 50(3), 29-31.

Van Lieshout, M., R.S. Kovats, M.IJ. Livermore, and P. Martens, 2004: Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. Global Environmental Change, 14, 87-99.

Van Sluis, E. and M.K. van Aalst, 2006: Climate change and disaster risk in urban environments. Humanitarian Exchange, 35.

Verdin, J., e. Funk, G. Senay, and R. Choularton, 2005: Climate science and famine early warning. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 360(1463), 2155-2168.

Villagran de Leon, J.e., 2006: Vulnerability: A conceptual and methodological review. SOURCE Publication Series of UNU-EHS, 4, United Nations University Institute for Environment and Human Security (UN U-EHS), Bonn, Germany.

Vincent, K., 2007: Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. Global Environmental Change, 17(1), 12-24.

Vitoria, M., R. Granich, e.F. Gilks, e. Gunneberg, M. Hosseini, W. Were, M. Ravigli-one, and K.M. Cock, 2009: The global fight against HIV/AIDS, tuberculosis, and malaria: Current status and future perspectives. American Journal of Clinical Pathology, 131(6), 844-848.

Vogel, C. and K. O'Brien, 2004: Vulnerability and Global Environmental Change: Rhetoric and Reality. AVISO 13, Global Environmental Change and Human Security Project, Ottawa, Canada.

Waktola, D.K., 2009: Challenges and opportunities in mainstreaming environmental education into the curricula of teachers' colleges in Ethiopia. Environmental Education Research, 15(5), 589-605.

Walker, B., c.s. Holling, S.R. Carpenter, and A Kinzig, 2004: Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. Ecology and Society, 9(2), 5.

Watts, M.J. and H.G. Bohle, 1993: The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. Progress in Human Geography, 17(1), 43-67.

Weichselgartner, J., 2001: Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited. Disaster Prevention and Management, 10(2), 85-94.

Werritty, A, D. Houston, 1 Ball, A Tavendale, and A Black, 2007: Exploring The Social Impacts Of Flood RiskAnd Flooding In Scotland. Scottish Executive Social Research, Edinburgh, Scotland.

Westgate, K.N., P. O'Keefe, 1976: Some Definitions of Disaster. Disaster Research Unit Occasional Paper 4, Department of Geography, University of Bradford, UK.

White, G.F., 1973: Natural hazards research. In: Directions in Geography [Chorley, R.J. (ed.)]. Methuen and Co., London, UK, pp. 193-216.

White, G.F. (ed.), 1974: Natural Hazards: Local, National, Global Oxford University Press, New York, NY.

White, I., 2002: Water Management in the Mekong Delta: Changes, Conflicts and Opportunities.IHP-VI Technical Papers in Hydrology No. 61, UNESCO, Paris, France.

Wijkman, A and L. Timberlake, 1984: Natural Disasters: Act of God or Acts of Man. Earthscan, Washington, DC.

Wilbanks, 1J., 2003: Integrating climate change and sustainable development in a place-based context. Climate Policy, 3(S1), 5147-5154.

Wilbanks, 1J., P. Romero Lankao, M. Bao, F. Berkhout, S. Cairncross, J.-P. Ceron, M. Kapshe, R. Muir-Wood, and R. Zapata-Marti, 2007: Industry, settlement and society. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 357-390.

Wilby R.L. and G. L.W Perry, 2006: Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK. Progress in Physical Geography, 30(1), 73-98.

Wilches-Chaux, G., 1989: Desastres, ecologismo y formaci6n profesional. SENA, Popayan, Colombia.

Williams, S.E, L.P. Shoo, J.L. Isaac, AA Hoffmann, and G. Langham, 2008: Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate

change. PLoS Biology, 6(12), e325, doi:1 0.1371/journal. pbio.0060325.

Willows, R.I. and R.K. Connell (eds.), 2003: Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decision-Making. UKCIP Technical Report. UKCIP, Oxford, UK.

Wisner, B.G., 1978: An appeal for a significantly comparative method in disaster research. Disasters, 2, 80-82.

Wisner, B., 1993: Disaster vulnerability: Scale, power and daily life. GeoJournal, 30, 127-140.

Wisner, B., 1998: Marginality and vulnerability: why the homeless of Tokyo don't 'count' in disaster preparations. Applied Geography, 18(1),25-33.

Wisner, B., 2001 a: Capitalism and the shifting spatial and social distribution of hazard and vulnerability. Australian Journal of Emergency Management, Winter 2001,44-50.

Wisner, B., 2001 b: Risk and the Neoliberal State: Why post-Mitch lessons didn't reduce El Salvador's earthquake losses. Disasters, 25 (3), 251-268.

Wisner, B., 2003: Disaster risk reduction in megacities - Making the most of human and social capital. In: Building Safer Cities- The Future of Disaster Risk [Kreimer, A, M. Arnold, and C. Carlin (eds.)]. Disaster Management Facility, World Bank, Washington, DC. pp. 181-196.

Wisner, B., 2006a: Self-assessment of coping capacity: Participatory, proactive, and qualitative engagement of communities in their own risk management. In: Measuring Vulnerability to Natural Hazards - Towards Disaster Resilient Societies [Birkmann, J. (ed.)]. United Nations University Press, Tokyo, Japan, pp. 316-328.

Wisner, B., 2006b: Let Our Children Teach Us! A Review of the Role of Education and Knowledge in Disaster Risk Reduction. UNISDR System Thematic Cluster/Platform on Knowledge and Education, Geneva, Switzerland, 135 pp.

Wisner, B. and J. Adams (eds.), 2002: Environment and Health in Emergencies and Disasters: A Practical Guide. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Wisner, B., P. Blaikie, 1 Cannon, and I. Davis, 2004: At Risk, Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. Routledge, London, UK.

Wolf, J., N.W Adger, and I. Lorenzoni, 201 Oa: Heat waves and cold spells: an analysis of policy response and perceptions of vulnerable populations in the UK. Environment and Planning A, 42, 2721-2734, doi:1 0.1 068/a42503.

Wolf, J., WN. Adger, I. Lorenzoni, V. Abrahamson, and R. Raine, 201 Ob: Social capital, individual responses to heat waves and climate change adaptation: An empirical study of two UK cities. Global Environmental Change, 20, 44-52.

Woo, G., 1999: The Mathematics of Natural Catastrophes. Imperial College Press, London, UK.

Woolcock, M. and D. Narayan, 2000: Social capital: Implications for development theory, research and policy. World Bank Research Observer, 15, 225-249.

Yodmani, S. 2001; Disaster preparedness and management. In: Social Protection in Asia and the Pacific [Ortiz, I.D. (ed.)]. Asian Development Bank, Manila, pp. 481- 502.

Yohe, G. and R.S.J. Tel 2002: Indicators for social and economic coping capacity: moving toward a working definition of adaptive capacity, Global Environmental Change, 12, 25-40.

3 극한기후의 변화와 이들이 물리적 자연 환경에 미치는 영향

총괄 대표저자
Sonia I. Seneviratne (스위스), Neville Nicholls (오스트레일리아)

대표저자:
David Easterling (미국), Clare M. Goodess (영국), Shinjiro Kanae (일본), James Kossin (미국), Yali Luo (중국), Jose Marengo (브라질), Kathleen Mcinnes (오스트레일리아), Mohammad Rahimi (이란), Markus Reichstein (독일), Asgeir Sorteberg (노르웨이), Carolina Vera (아르헨티나), Xuebin Zhang (캐나다)

감수 편집자:
Matilde Rusticucci (아르헨티나), Vladimir Semenov (러시아)

기여 저자:
Lisa V. Alexander (오스트레일리아), Simon Allen (스위스), Gerardo Benito (스페인), Tereza Cavazos (멕시코), John Clague (캐나다), Declan Conway (영국), Paul M. Della-Marta (스위스), Markus Gerber (스위스), Sunling Gong (캐나다), B. N. Goswami (인도), Mark Hemer (오스트레일리아), Christian Huggel (스위스), Bart van den Hurk (네덜란드), Viatcheslav V. Kharin (캐나다), Akio Kitoh (일본), Albert M.G. Klein Tank (네덜란드), Guilong Li (캐나다), Simon Mason (미국), William McGuire (영국), Geert Jan van Oldenborgh (네덜란드), Boris Orlowsky (스위스), Sharon Smith (캐나다), Wassila Thiaw (미국), Adonis Velegrakis (그리스), Pascal Yiou (프랑스), Tingjun Zhang (미국), Tianjun Zhou (중국), Francis W. Zwiers (캐나다)

본 장을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

Seneviratne, S.I., N. Nicholls, D. Easterling, CM. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. Mcinnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C Vera, and X. Zhang, 2012: Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, CB., V Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109–230Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp.

목 차

본문 요약 105

3.1. 재해와 관련된 기상 및 기후 현상 109
3.1.1. 이 장에서 논의되는 기상 및 기후 현상의 범주 109
3.1.2. 재해와 관련된 기상 및 기후 현상의 특성 109
3.1.3. 복합(다중) 현상 112
3.1.4. 되먹임(feedback) 112
3.1.5. 극한 현상의 변화에 대한 평가의 신뢰수준 및 가능성 114
3.1.6. 극한 현상의 변화와 지역적 및 전지구적 평균 기후변화와의 관계 115
3.1.7. 기습적 / 돌발적 기후변화 116

3.2. 극한 현상의 변화에 대한 분석의 필요성 및 방법 116
3.2.1. 관측된 변화 116
3.2.2. 변화 이면의 원인 118
3.2.3. 전망된 장기 변화의 불확실성 122

3.3. 극한기상 및 극한기후 변화의 관측된 변화 경향 및 미래 전망 126
3.3.1. 기온 126
3.3.2. 강수 134
3.3.3. 바람 141

3.4. 극한기상 및 극한기후와 관련한 현상의 관측된 변화 경향 및 미래 전망 143
3.4.1. 몬순 143
3.4.2. 엘니뇨-남방진동(El Niño-Southern Oscillation) 146
3.4.3. 기타 변동성 모드 148
3.4.4. 열대저기압 149
3.4.5. 온대저기압 152

3.5. 물리적 자연 환경에 미치는 영향의 관측 및 전망 156
3.5.1. 가뭄 156
3.5.2. 홍수 163
3.5.3. 해수면 고도 극값 166
3.5.4. 파랑 168
3.5.5. 해안에 미치는 영향 169
3.5.6. 빙하, 지형 및 지질에 미치는 영향 173
3.5.7. 영구동토를 비롯한 고위도 지역의 변화 175
3.5.8. 모래 및 먼지 폭풍 176

참고문헌 189

Box 및 자주 하는 질문

Box 3-1. 과학 문헌에서 극한기후의 정의와 분석법 110
FAQ 3.1. 오늘날 기후가 더욱 극한으로 치닫고 있는가? 118
FAQ 3.2. 기후변화가 개별적인 극한 현상에 영향을 미쳤는가? 121
Box 3-2. 기후변화 전망에 대한 신뢰수준의 변동: 평균 대 극한, 요소, 규모 125
Box 3-3. 가뭄의 정의 156
Box 3-4. 도서국가 171

보충 자료

부록 3.A: 3장 그림들에 대한 정보 및 기술적 상세 설명 ..... 온라인에서 이용 가능

본문 요약

이 장은 심각한 영향과 재해를 가져올 수 있는 극한기상 및 기후 현상의 변화를 다룬다. 극한(기상 또는 기후) 현상은 일반적으로 기상 또는 기후 요소에 대하여 관측된 변동 범위의 상한 혹은 하한 기준값보다 높거나 또는 낮은 상태가 나타나는 것(확률 분포에서의 양 극단 부분)으로서 정의된다. 어떤 극한기후(예: 가뭄, 홍수)의 경우에는 개별적으로는 극한 현상이 아닐 수 있지만, 시간에 따를 누적값이 극한 현상이 되는 결과로 발생할 수도 있다. 또한, 통계적 의미에서는 극한 현상이 아니라 할지라도, 사회시스템, 생태계 또는 물리시스템에 미치는 영향도가 치명적이거나 다른 현상들과 동시 복합적으로 발생함으로써 큰 영향을 미치는 기상·기후 현상 또한 극한 현상으로 정의될 수 있다. 예를 들어, 열대저기압의 경우 강도가 다른 열대저기압에 비해 약할지라도 언제 어디에 상륙하는 가에 따라 심각한 피해와 영향을 미칠 수 있다. 역으로, 모든 극한 현상이 반드시 심각한 영향을 야기하는 것도 아니다. [3.1]

(엘니뇨와 같은 현상을 비롯한) 많은 극한기상 및 극한기후가 기후의 자연적 변동성의 결과이며, 기후의 자연적인 십년 또는 수십 년 주기의 변동은 인위적 기후변화의 배경이 된다. 기후의 인위적 변화가 없다 할지라도, 다양한 형태의 극한기상 및 극한기후는 자연적으로 계속 나타날 것이다. [3.1절]

변화하는 기후는 극한기상 및 극한기후 현상의 빈도, 강도, 공간 범위, 지속기간과 시기의 변화를 초래하면서, 전례 없는 극한기상 및 극한기후 현상을 야기할 수 있다. 특정한 기상 혹은 기후 요소의 평균적인 미래 상태는 현재 변동 범위 밖(확률 분포의 양 극단)에 존재할 것으로 전망되기 때문에, 극한 현상의 변화는 평균 기후의 변화와도 직접적인 관련이 있을 수 있다. 그럼에도 불구하고, 기상 또는 기후 요소의 극한 변화가 그 요소의 평균 변화와 항상 단순한 방식으로 관련되어 있는 것은 아니며, 어떤 경우에는 요소의 평균 변화와 반대의 결과를 나타낼 수 있다. 엘니뇨-남방진동이나 몬순과 같은 현상의 변화가 동시에 여러 지역에서 극한기후의 빈도 및 강도에 영향을 미칠 수 있다. [3.1절]

무수한 인자들이 극한기후 변화의 과거 관측된 변화 경향 및 미래 전망에 대한 추정값의 신뢰수준에 영향을 미친다. 극한기후의 관측된 변화에 대한 신뢰수준은 이용할 수 있는 자료의 질과 양, 그리고 이들 자료를 분석하는 연구의 유용성에 따라 좌우된다. 따라서 극한기후의 관측된 변화에 대한 신뢰수준은 지역과 극한 현상의 유형에 따라 달라진다. 유사하게, (극한 변화의 방향과 크기를 포함한) 변화 전망에 대한 신뢰수준 역시 극한 현상의 유형과 고려된 지역 및 계절에 따라 달라지고, 관련 관측 자료 및 모델 자료의 양과 질, 기저 과정들에 대한 이해수준, 그리고(전문가 판단, 모델 검증 및 모델 간 일치성 등에 근거하여 평가된) 모델의 모의 신뢰성에 따라 좌우된다. 특정한 극한기후의 전지구적 규모의 변화 추세는 지리적 균일 정도에 따라, 지역적인 규모로 진행되는 변화의 추세보다 신뢰도가 더 높을 수도 있고(예: 극한기온의 경우) 더 낮을 수도 있다(예: 가뭄의 경우). 특정 극한기후 현상의 변화에 대한 관측 또는 미래 전망에 대한 "낮은 신뢰수준"이라는 것은 이 극한기후 현상이 변화할 수 있다는 것을 의미하는 것도, 변화의 가능성을 배제하는 것도 아니다. [3.1.5절, 3.1.6절, 3.2.3절; Box 3-2; 그림 3-3, 3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8, 3-10]

1950년 이래 수집된 관측결과로부터 일부 극한기후의 변화에 대한 증거가 도출되었다. 전지구 규모에서는, 즉 충분한 자료가 있는 대부분의 육지에 대해서는, 한랭일 및 한랭야 일수의 전반적 감소와 온난일 및 온난야 일수의 전반적 증가가 있었을 가능성이 매우 높다. 북아메리카, 유럽, 오스트레일리아의 경우 이러한 변화가 대륙 규모에서도 나타났을 가능성이 높다. 아시아의 많은 지역에서 일극한기온의 상승에 대한 신뢰수준은 보통이다. 아프리카와 남아메리카에서는 일극한기온의 관측된 추세에 대한 신뢰수준은 지역에 따라 대체로 낮음부터 보통까지 다양하다. 전지구적으로, 충분한 자료가 있는(모든 지역은 아니지만) 많은 지역에서, 20세기 중반 이래 온난기 또는 열파의 길이와 발생 횟수가 증가했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 호우의 발생 횟수(예: 95 퍼센타일)에서 통계적으로 유의한 증가가 나타난 지역이 감소가 나타난 지역보다 더 많았을 가능성이 높지만, 이러한 추세는 지역에 따라 변동이 크다. 장기간(즉, 40년 이상) 관측된 열대저기압 활동(즉, 강도, 빈도, 지속기간)의 증가는, 과거 관측 능력의 변화를 고려했을 때, 신뢰수준이 낮다. 북반구 및 남반구 온대 폭풍의 주 경로가 과거보다 더 극쪽으로 이동했을 가능성이 크다. 토네이도 및 우박과 같은 소규모 현상에 대해 관측된 변화 추세는 자료의 비동질성과 감시 체계의 부적절성으로 인해 신뢰수준이 낮다. 1950년대 이래 세계 일부 지역, 특히 남유럽과 서아프리카에서는 강도가 더 세고 지속기간이 더 긴 가뭄의 추세를 경험했으나, 다른 지역, 예를 들면, 북아메리카 중부와 오스트레일리아 북서부에서는 가뭄이 덜 빈번해졌거나, 덜 강해졌거나,

더 짧아졌다는 데 대한 관측 결과의 신뢰수준은 보통이다. 지역 규모에서 홍수의 크기와 빈도에 관한 관측된 기후변화의 경향은 관측소에서 측정된 홍수에 대한 계기관측 기록의 시□공간적 한계와 토지이용 변화 및 개발의 복합 효과로 인해, 그 변화에 대한 증거수준이 제한적이거나 보통이다. 더욱이, 이 증거에 대한 동의수준이 낮으며, 따라서 심지어 이들 변화의 부호에 관한 전 지구적 규모에서의 신뢰수준도 전반적으로 낮다. 20세기 말에 평균 해수면 고도의 상승에 따라 연안에서의 최고수위 극값의 증가가 있었을 가능성이 높다. [3.2.1절, 3.3.1절, 3.3.2절, 3.3.3절, 3.4.4절, 3.4.5절, 3.5.1절, 3.5.2절, 3.5.3절; 표 3-1, 3-2]

일부 극한기후가 대기 중 온실가스 농도 증가를 비롯한 인위적 영향의 결과로서 변화했다는 증거가 있다. 인위적 영향이 전지구 규모에서 일최저기온 및 일최고기온 극값의 상승을 유발했을 가능성이 높다. 인위적 영향이 전지구적으로 호우 증가를 유발했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 평균 해수면 고도 상승에 기인한 연안 최고수위 극값의 증가가 인위적 영향에 따른 것이었을 가능성이 높다. 과거 열대저기압 기록의 불확실성, 열대저기압을 기후변화와 연관시키는 물리적 메커니즘에 대한 충분하지 않은 이해, 그리고 열대저기압 변동성이 큰 것 등을 감안할 때 열대저기압 활동에서 관측 가능한 변화의 원인을 인위적 영향으로 보는 데 대한 신뢰수준은 낮다. 단일 극한 현상의 원인을 인위적 기후변화로 보기는 힘들다. [3.2.2절, 3.3.1절, 3.3.2절, 3.4.4절, 3.5.3절; 표 3-1]

미래 전망의 가능성 및/또는 신뢰수준에 대한 다음의 전망 결과들은 대부분 20세기 말 현재 기후와 비교한 21세기 말 경의 전망에 대한 것이다. 미래 전망의 불확실성을 야기하는 세 가지 주요 원인은: 기후의 자연적 변동성; 기후 모델의 모수 및 구조의 불확실성; 미래 온실가스 배출 전망 등을 들 수 있다. 다양한 배출 시나리오에 대한 전망은 대체로 향후 20-30년 동안에는 크게 차이나지 않지만, 이 기간 동안 기후변화 신호가 자연적 기후변동성에 비해 상대적으로 작을 것으로 전망되기 때문에 변화에 대한 부호의 불확실성이 비교적 크다. 어떤 극한기후(예: 강수 관련 극한 현상)의 경우에는, 21세기 말까지 전망된 변화의 불확실성이 미래 배출의 불확실성보다는 오히려 기후 모델의 불확실성에 더 많이 기인한다. 다른 극한기후(특히 전지구 규모 및 대부분 지역에서의 기온 극값)의 경우에는, 온실가스 배출 전망의 불확실성이 21세기 말 전망의 불확실성을 야기하는 주요 원인이다. 이 장에 제공된 평가 결과들은 기후모델들의 다중모델 앙상블 전망의 직접 평가에 근거한 전망의 불확실성은 극한기후를 모의함에 있어 모델의 과거 기후 재현 성능(예를 들면, 극한기후의 20세기말 변화의 모의는 관측 결과와 비교할 때 더 위와 관련한 극한 현상의 온난화를 과대평가하고 추위와 관련한 극한 현상의 온난화를 과소평가하는 경향이 있음), 극한기후와 관련된 몇몇 주요 과정들이 모델에서 재현되지 않거나 잘 모의되지 않았을 가능성, 그리고 극한기후에 전망에 사용되었던 제한된 수의 모델 전망 결과들과 이에 바탕한 한정된 수준의 분석 결과 등을 고려하여 수정된 것이다. 이러한 이유로, 평가된 불확실성은 대체로 단지 모델 전망에만 근거해 평가되었을 때의 불확실성보다 크다. 기후시스템의 복잡한 변화 특성을 고려할 때, 우리가 현재까지도 잘 이해하고 있지 못하는 기후 변동의 특정한 기준값을 넘어서는 낮은 발생확률의 심각한 변화의 가능성을 배제할 수 없다. 되먹임은 몇 가지 기후 요소의 극한을 감쇄 또는 강화시킴에 있어 중요한 역할을 한다. [3.1.4절, 3.1.7절, 3.2.3절, 3.3.1절, 3.3.2절; Box 3-2]

모델 결과에 따르면 21세기 말까지 극한기온이 상당히 상승할 것으로 전망된다.
21세기에는 전지구적 규모로 일기온의 극한 고온 빈도와 규모가 증가하고 극한 저온이 감소할 것이라는 것은 사실상 틀림없다. 온난기 또는 열파의 길이, 빈도 및/또는 강도가 대부분의 육지 지역에서 증가할 가능성이 매우 높다. SRES(배출 시나리오에 관한 특별 보고서) A2 및 A1B 배출 시나리오에 근거할 때, 20년 빈도로 출현한 일최고기온이 21세기 말까지는 북반구 고위도 지역을 제외한 대부분 지역에서 2년 빈도로 출현할 가능성이 높다. 북반구 고위도 지역에서는 5년 빈도로 출현할 가능성이 높다. 절대값에 관해서는, 20년 빈도로 출현할 수 있는 일 극한최고기온(즉, 재현값)이 지역 및(B1, A1B 및 A2 시나리오에 근거한) 배출 시나리오에 따라 다르지만, 21세기 중반까지는 약 1-3℃, 21세기 말까지는 약 2-5℃로 증가할 가능성이 높다. 극한기온의 지역적 변화는 전지구 평균기온 변화와 다를 것이다. [3.3.1절; 표 3-3; 그림 3-5]

21세기에는 전지구의 많은 지역에서 호우의 빈도 또는 총 강수량 대비 호우의 비율이 증가할 가능성이 높다. 특히 고위도 및 열대지역과 북부 중위도 지역의 겨울철이 여기에 해당된다. 온실가스 농도 증가에 의한 지속적인 온난화로 인해 열대저기압 발생에 따른 호우가 증가할 가능성이 높다. 일부 지역에서는 총 강수량의 감소가 전망됨에도 불구하고 호우가 증가할 것이라는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 다양한 배출 시나리오(SRES B1, A1B, A2)에 근거할 때, 20년 빈도로 출현한 연 최대 일 강수량이 21세기 말까지는 많은 지역에서 5-15년 빈도로 출현하게 될 가능성이 높다. 고배출 시나리오(A1B 및 A2)에 따르면, 대부분 지역에서 재현주기가 빠르게 감소할 것으로 전망된다. 그럼에도 불구하고, 일부 지역에서는 재현기간의 증가 또는 통계적으로 유의하지 않은 변화가 전망된다. [3.3.2절; 표 3-3; 그림 3-7]

극한바람의 미래 전망에 관한 연구가 상대적으로 거의 없고 모델들이 이 현상을 모의하는 데에 문제점이 있기 때문에, 극한바람의 미래 변화 전망에 대한 신뢰수준은 대체로 낮다. 하지만 예외적으로 열대저기압의 평균 최대 풍속은 증가할 가능성이 높다. 이러한 증가 경향은 모든 대양에서 공통적으로 일어나지 않을 수도 있다. 전지구적으로 열대저기압의 발생 빈도는 감소하거나 실질적으로 변하지 않을 가능성이 높다. 토네이도와 같은 소규모 현상의 미래 전망은, 서로 상반되는 물리적 과정들이 영향을 미칠 수도 있고 기후 모델들이 소규모 현상을 모의할 수 없기 때문에, 전망의 신뢰수준이 낮다. 미래의 인위적인 기후변화로 인해 각 반구의 중위도 저기압 발생 횟수는 평균적으로 감소할 것이라는 데 대한 전망의 신뢰수준은 보통이다. 중위도 온대저기압 활동의 상세한 지리적 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 미래 인위적 강제력으로 인한 저기압 태풍 경로가 극을 향해 이동할 것이라는 전망에 대한 신뢰수준은 보통이다. [3.3.3절, 3.4.4절, 3.4.5절]

자연적 기후변동성과 관련된 대규모 패턴들의 미래 변화 전망의 불확실성은 여전히 크다. 기후 모델들의 미래 몬순의 변화 경향에 대한 부호에 있어서 모델 간 일치성이 매우 적기 때문에 몬순(강수, 순환) 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 온실가스 농도 증가로 인한 엘니뇨 – 남방 진동의 변동성 및 엘니뇨 발생 빈도 변화에 대한 모델 전망들은 일치하지 않으며, 따라서 이 현상의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 하지만, 대부분의 모델에서 적도 중태평양에서 발생하는 엘니뇨 현상의 상대적인 빈도가 증가할 것으로 전망된다(적도 중태평양에서 발생하는 엘니뇨는 전형적인 동태평양에서 발생하는 엘니뇨에 비해 더욱 다양한 패턴의 기후변동을 보인다). 북대서양 진동 모드(North Atlantic Oscillation), 남반구 환상 모드(Southern Annular Mode), 인도양 쌍극자 모드(Indian Ocean Dipole)를 비롯한 다른 자연적 기후 모드의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. [3.4.1절, 3.4.2절, 3.4.3절]

평균 해수면의 상승이 미래에 연안 최고수위 극값의 상승 추세에 기여할 가능성이 매우 높다. 해안 침식 및 침수와 같은 악영향을 현재 겪고있는 지역들에서는 다른 기여 요인들이 현재 수준과 동일하다고 가정할 때 지속적인 해수면 상승이 나타날 것이라는 전망에 대한 신뢰수준은 높다. 연구가 부족하고, 파고에 영향을 주는 바람의 미래 변화 전망에 대한 모델 간 전망이 일치하지 않아 해양에서의 파고의 미래 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 미래 유의 파고의 음 또는 양의 변화가 폭풍우의 미래 변화와 그에 관련된 바람 변화 패턴을 보여줄 가능성이 높다. [3.5.3절, 3.5.4절, 3.5.5절]

하천 홍수의 미래 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮지만, 강수 및 기온 변화 전망은 홍수 변화의 가능성을 암시한다. 예외적인 부분도 있지만, 증거가 제한적이고 지역적 변화의 원인이 복잡하기 때문에, 홍수의 미래 변화 전망은 낮은 신뢰수준을 나타낸다. 미래 기후에서 전망되는 호우 발생 빈도의 증가가 일부 유역 또는 지역에서 국지적인 홍수 증가의 원인이 될 것이라는 데 대한 신뢰수준은(물리적 추론에 근거할 때) 보통이다. 융설과 빙하가 녹아 유입되는 하천에서는 봄철 최대 유량의 발생이 더욱 일찍 나타날 가능성이 매우 높다. [3.5.2절]

강수 감소 및/또는 증발산 증가로 인해, 일부 계절 및 지역에서 21세기에 가뭄이 강화될 것이라는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 남유럽 및 지중해 지역, 유럽 중부, 북아메리카 중부, 중앙아메리카 및 멕시코, 브라질 북서부, 남아프리카를 비롯한 지역들이 이에 해당된다. 가뭄의 정의, 관측 자료의 부족, 가뭄에 영향을 미치는 모든 요인을 모델에 포함시킬 수 없는 등의 이유로 가뭄 전망의 신뢰 수준은 보통 이상의 확실한 신뢰 수준을 유지하는 것이 어렵다. 기타 다른 지역에서는, (모델 및 건조 지수에 기반한) 가뭄 변화 전망의 불일치성이 커서 전반적으로 신뢰수준이 낮다. 건조화가 더욱 심화되는 곳에서는 먼지 폭풍의 증가가 전망될 수 있지만, 이러한 전망의 신뢰수준은 낮다. [3.5.1절, 3.5.8절; Box 3-3; 표 3-3; 그림 3-10]

열파, 빙하의 후퇴 및/또는 영구동토 감소 등의 변화가 사면의 불안정, 매스무브먼트, 빙하호 붕괴로 인한 홍수와 같은 고산지역의 현상에 영향을 미칠 것이라는 데 대한 신뢰수준은 높다. 또한, 호우의 변화가 일부 지역에서 산사태에 영향을 미칠 것이라는 데 대한 신뢰수준도 높다. 낙석 사태는 국지적 지질 상태와 기타 기후와 관련없는 인자들에 의해 좌우되기 때문에, 미래의 낙석 발생 가능 지역 및 시기에 대한 전망의 신뢰수준은 낮다. 온대 및 열대 지역의 산사태와 같은 현상은 토지이용 관행, 삼림벌채 및 과목(overgrazing)과 같은 인간 활동의 영향을 크게 받기 때문에, 이들 현상이 인위적 온실가스 증가에 의해 변화할 것이라는 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. [3.5.6절, 3.5.7절]

소도서 국가들은 국토 면적이 좁고 흔히 해발고도가 낮기 때문에 해수면 상승과 침수, 해안선 변경, 연안 대수층으로의 염수 침입

과 같은 영향에 특히 취약하다. 기록 기간이 짧고 소도서 국가를 모의하는 현재 기후 모델의 해상도가 충분하지 않기 때문에, 이들 지역에 대한 전망은 제약이 크다. 여기에서 고찰되는 소도서 지역의 강수량 변화에 대한 관측된 추세와 미래 전망을 평가하기에는 증거가 불충분하다. 카리브해에 연안 지역의 기온 증가에 대한 전망의 신뢰수준은 보통이다. 평균 해수면 고도의 상승이 연안 최고수위 극값의 상승에 기여할 가능성은 매우 높으며 열대저기압의 최대 풍속 증가 가능성과 더불어 열대 군소도서국이 당면할 수 있는 특수한 문제이다. [3.4.4절, 3.5.3절; Box 3-4]

이 장에서는 넓은 지역보다 작은 특정 규모에서의 극한 변화 전망에 대한 평가결과가 제공되지 않는다. 이러한 대규모 지역에 대한 전망은 국가 또는 국지적 전망에 대한 보다 폭넓은 배경을 제공하고, 국가 또는 국지적 전망이 존재하지 않는 경우에는, 예측되는 변화의 최초 징후와 그에 관련된 불확실성, 그리고 이용 가능한 증거를 제공한다. [3.2.3.1절]

3.1. 재해와 관련된 기상 및 기후 현상

변화하는 기후는 극한기상 및 극한기후 현상의 빈도, 강도, 공간 범위, 지속기간과 시기의 변화를 초래하면서, 전례 없는 극한기상 및 극한기후 현상을 야기할 수 있다(3.1.7절, 3.3절, 3.4절 및 3.5절). 또한, 기상 또는 기후 현상은, 통계적 의미에서는 극한 현상이 아니라 할지라도, 사회시스템, 생태계 또는 물리시스템의 주요한 기준값을 넘어섰거나 다른 현상들과 동시에 발생함으로써 극한 상태나 영향을 야기할 수 있다(3.1.2절, 3.1.3절, 3.1.4절, 3.3절, 3.4절 및 3.5절). 어떤 극한기후(예: 가뭄, 홍수)는 개별적으로는 극한 현상이 아닌(하지만 그것이 누적되면 극한 현상이 되는 예: 3.1.2절) 기상 또는 기후 현상이 누적되어 생긴 결과일 수도 있다. 열대저기압과 같은 기상 시스템은, 특정한 열대저기압이 다른 열대저기압과 비교하여 극한적이지 않다 할지라도, 언제 어디에 상륙하는 가에 따라 극한적인 영향을 미칠 수 있다. 역으로, 모든 극한 현상이 반드시 심각한 영향을 야기하는 것도 아니다. 어떤 요소들의 평균 미래 상태는 현재 상태의 확률 분포의 양 극단에 존재할 것으로 전망되기 때문에, 극한 현상의 변화가 평균 기후의 변화와도 직접 관련이 있을 수 있다(3.1.6절). 이러한 이유로, 극한기상 및 극한기후 현상의 정의는 복잡하며(3.1.2절 및 Box 3-1), 극한 영향 및 재해와 관련이 있는 기후변화의 평가에는 여러 측면을 고려할 필요가 있다. 취약성과 노출에 관한 측면은 이 보고서의 2장 및 4장에서 다루어지므로, 여기에서는 이 현상들의 물리적 차원을 중점적으로 다룬다.

(엘니뇨와 같은 현상을 비롯한) 많은 극한기상 및 극한기후가 자연적 기후변동성의 결과이며, 기후의 자연적 십년 또는 수십 년 단위의 자연적인 변동은 인위적 기후변화의 배경에 깔려있다. 기후의 인위적 변화가 없다 할지라도, 매우 다양한 자연적 극한기상 및 기후는 계속 나타날 것이다.

3.1.1. 이 장에서 논의되는 기상 및 기후 현상의 범주

본 장은 극한의 영향과 재해와 관련이 있는 기상 또는 기후 현상의 변화를 다룬다. 극한 영향 및 재해와 관련이 있는 기상 및 기후 현상은 다음 범주로 분류된다:

1) 기상 또는 기후 요소(기온, 강수, 바람)의 극값
2) 기상 또는 기후 요소의 극값 발생에 영향을 미치거나 그 자체가 극한인 기상 및 기후 현상(몬순, 엘니뇨 및 기타 변동성 모드, 열대 및 온대저기압)
3) 물리적 자연 환경에 대한 영향(가뭄, 홍수, 해수면의 극값, 파랑, 연안 영향, 그리고 빙권 관련 영향, 산사태, 먼지 폭풍 등의 기타 물리적 영향)

위의 세 범주의 구분은 다소 임의적이며 이들 역시 서로 관련되어 있다. 세 번째 범주 '물리적 자연 환경에 대한 영향'의 경우, 이 현상은 단일 기상 및 기후 요소의 변동에 의해서는 야기되지 않지만 여러 요소가 특정 상태에 있음으로써, 그리고 몇 가지 표면적 성질 또는 상태로 인해 야기되는 결과라는 점에서 '기상 및 기후 요소의 극값'으로 고찰되는 현상과 구별된다. 예를 들어, 홍수와 가뭄은 모두 극한강수와 관계가 있지만 대기 및 지표 상태의 영향도 받는다(따라서 흔히 복합 현상으로 간주되는 경우가 더 많다, 3.1.3절 참고). 세 번째 범주에서 논의되는 물리적 자연 환경에 대한 영향의 대부분이 극한 현상 그 자체이며, 흔히 극한기상 또는 기후에 의해 야기되거나 그 영향을 받는다. 또한, 여기에서는 임의로 몬순, 엘니뇨 및 기타 변동성 모드와 같이 극한기상 및 극한기후와 관계가 있는 현상(또는 기후 또는 기상 시스템)을 별도의 범주로 묶었다. 이 현상은 대규모 환경에 악영향을 미치고, 차례로 극한기후에 영향을 미친다. 예를 들어, 엘니뇨 발생은 전형적으로는 일부 지역에서 가뭄을 야기하지만, 그와 동시에 다른 지역에서 호우 및 홍수를 야기하기도 한다. 이것은 모든 엘니뇨 발생이 극한기후와 관련이 있을 뿐만 아니라 극단적인 엘니뇨 발생과도 관련이 있음을 의미한다. 엘니뇨 발생의 빈도 또는 성질(혹은 특정 지역에서의 엘니뇨 발생과 기후와의 관계) 변화는 동시에 많은 장소에서 극한기후에 영향을 미칠 수 있다. 유사하게, 몬순 패턴의 변화 역시 동시에 여러 국가에 영향을 미칠 수 있다. 여러 지역에서 동시에 재해에 대응하는 것은 어려울 수도 있으므로, 이것은 국제적 재해 대응 관점에서 특히 중요하다(3.1.3절, 7장 및 8장 참고).

본 절은 극한 현상의 특성 및 정의, 복합 현상의 정의 및 분석, 극한 현상과 되먹임과의 관련성, 이 장에서 신뢰수준과 가능성을 산정하기 위하여 사용된 접근법, 극한 현상의 미래 변화에 따른 돌발적 '기습' 발생 가능성에 관한 배경 자료를 제공한다. 극한기후 변화 분석의 필요성과 방법은 3.2절에서 다루어진다. 이 장에서 고찰된 기후 요소, 현상 및 영향의 변화에 관한 평가결과는 3.3-3.5절에서 제공된다. 표 3-1은 전지구 규모에서 변화에 대한 이들 평가결과를 요약해 보여준다. 표 3-2 및 3-3(191-202페이지에서 찾아볼 수 있다)은(그림 3-1에 정의된 것과 같은 지역에 관하여) 극한기온, 호우, 건조도의 관측 자료에서 나타나는 변화 경향과 미래 변화의 전망에 대해 좀 더 지역적으로 상세한 내용을 제공한다. 생태계에 대한 영향(예: 산불) 및 인간시스템에 대한 영향(예: 도시홍수)은 4장에서 다루어진다.

3.1.2. 재해와 관련된 기상 및 기후 현상의 특성

위험 관리 관점에서 관련이 있는 기상 및 기후 현상의 식별과 정의는 복잡하며 관련 이해당사자에 좌우된다(1장 및 2장). 이 장에서는 '극한기후 또는 기상 현상'(여기에서는 '극한기후'로도 칭한다. 아래 설명과 용어집 참고)의 변화에 대한 평가에 초점을 맞추는데, 그러한 변화는 대체로 1장에서 논의된 '위험'에 해당한다. 따라서, 이 장에서는 취약성 또는 노출의 차원을 직접 고찰하지 않는다.

취약성 또는 노출의 차원은 극한기후가 인간시스템과 생태계에 미치는 영향을 결정함에 있어 매우 중요하다(1, 2장 및 4장).

본 보고서에서는 '극한기후 또는 기상 현상' 혹은 '극한기후'를 기상 또는 기후 요소에 대한 관측된 값 범위의 상한(또는 하한) 기준값보다 높은(또는 낮은) 요소의 값이 출현하는 것으로서 정의한다(용어집 참고). 이 정의의 여러 측면을 명확히 설명하면 다음과 같다:

- 기준값의 정의는 다양하지만, 명시된 기준 기간(통상 1961-1990년) 동안 1년 중 주어진 시간(일, 월, 계절, 1년 전체)에 대한

Box 3-1 | 과학 문헌에서 극한기후의 정의 및 분석법

여기에는 과학 문헌에서의 극한기후의 정의와 극한기후의 조사에 적용되는 일반적인 접근법에 대한 몇 가지 세부 사항이 제공된다.

극한기후에 대하여 이용 가능한 과학 문헌의 대부분이 소위 '극한 지수'의 사용에 기초하고 있다: 극한 지수는 주어진 양의 발생 확률에 근거하거나 기준값의 초과량에 근거할 수 있다(3.1.2절) 과학 문헌에서 볼 수 있는 전형적인 극한 지수로는 1961–1990년 기준기간 대비 주어진 시간 범위(일, 월, 계절, 년)에 대하여 일반적으로 정의되는, 최고 기온(Tmax) 또는 최저 기온(Tmin)이 1, 5 또는 10 퍼센타일보다 낮거나 90, 95 또는 99 퍼센타일보다 높은 날의 수, 백분율 또는 분율이 있다. 흔히, Tmax/Tmin의 10 및 90 퍼센타일에 대한 지수를 '한랭일/한랭야' 및 '온난일/온난야'로 칭한다(그림 3-3 및 3-4; 표 3-1 ~ 3-3 및 3.3.1절; 용어집 참고). 다른 정의들은, 예를 들면, 기온 또는 강수가 특정 절대 기온 또는 강수 기준값보다 높은 날의 수를 관련시키거나 극한기후의 길이 또는 지속성에 관련된 보다 복잡한 정의들과 관련이 있다. 미리 정의된 극한 지수를 사용하면 모델링 및 관측 연구들 전체에 걸친, 그리고 지역들 전체에 걸친 몇 가지 비교가 가능하게 된다는 장점이 있다(하지만, 여기에는 아래 언급되는 제한이 존재한다). 더욱이, 관측결과의 경우에는 관측결과가 기상 정보 서비스에 의해 항상 배포되는 것은 아니기 때문에 일 기온 및 강수 자료가 있는 경우보다 더 쉽게 유도된 지수를 얻을 수도 있다. Peterson and Manton(2008)은 극한 지수를 적용함으로써 극한 현상을 감시하기 위한 국제적 협력에 대하여 논의한다. 전적으로는 아니지만 전형적으로, 과학 문헌에서 사용되는 극한 지수는 '보통의 극한(moderate extreme)'을 보여준다: 예를 들어, 시간의 5 또는 10%를 차지하는 빈도로 발생하는 현상. 보다 극단적인 "극한"은 추출의 문제(아래 참고)로 인해 흔히 극한값 이론(Extreme Value Theory: EVT)을 사용하여 조사된다. 극한 지수는 흔히 일 기온 및 강수 특성들에 대하여 정의되는데, 때로는 이 요소들의 계절적 특성에 적용되거나, 풍속, 습도와 같은 다른 기상 및 기후 요소에 적용되거나, 물리적 영향 및 현상에 적용되기도 한다. 기온 및 강수 지수에 대한 분석(3.3.1절 및 3.3.2절 참고; 표 3-2 및 3-3) 외에도 예를 들면, 바람-기반 지수(Della-Marta 등, 2009) 및 압력-기반(Beniston, 2009a) 지수, 기온과 상대습도의 특성을 결합하는 건강 관련 지수(예: '열 지수')(Diffenbaugh 등, 2007; Fischer and Schar, 2010; Sherwood and Huber, 2010), 다양한 건조 지수(Box 3-3 참고) 등을 사용한 선행 연구들이 있다.

극한값 이론은 극한값의 추정을 위해 사용되는 접근법으로(Coles, 2001), 확률 분포의 양 극단으로부터, 다시 말해 확률 분포의 상단 범위 또는 하단 범위의 가장 끝에서(일반적으로 1년 또는 대상 기간 동안 1회 미만의 빈도로, 즉 일반적으로 고찰되는 전체 표본의 1–5% 미만에서 발생하는) 현상의 확률 분포를 얻는 것을 목표로 한다. EVT는 위에 언급된 낮은 발생 확률 현상에 대한 완전한 확률 분포를 얻기 위해 사용되는데, 이것은(제한이 있기는 하지만) 관측된 자료 범위를 벗어난 현상들의 발생 확률을 분석하는 데에도 도움이 될 수 있다. 그러한 확률 분포에 대한 모수를 추정하는데 사용할 수 있는 접근법은 두 가지이다. 블록 최대값 접근법에서는, 시계열(예: 몇년)의 연속 블록들의 최대값에 대하여 확률 분포 모수를 추정한다. 두 번째 접근법에서는, 블록 최대값 대신 높은 기준값을 초과하는 현상들에 기초하여 확률 분포 모수를 추정한다(기준값 초과치 접근법) 두 접근법 모두 기후 연구에 사용된다.

다음 페이지에 계속 →

최근 간행물에서는 극한 현상의 특성이나 극한 현상의 변화를 평가하기 위하여 다른 접근법, 예를 들면, 기록적인 현상의 추세를 분석하거나 관측된 시계열을 분석하여 과거의 인위적 기후변화의 영향이 없었던 기후에서 나타날 수 있는 경우에 비해 더 혹은 덜 빈번하게 나타나고 있는지를 조사하는 방법이 사용되고 있다(Benestad, 2003, 2006; Zorita 등, 2008; Meehl 등, 2009c; Trewin and Vermont, 2010). 더욱이, (확률/재현 빈도 또는 절대 기준값에 근거하여 정량화된) 극한 현상의 실제 크기 외에도, 영향 관점에서 볼 때 극한기후의 정의에 대한 다른 관련 측면으로 현상의 지속기간, 영향이 미친 공간적 범위, 시기, 빈도, 발생 일자, 연속성(즉, 한 동안 지속되는 현상 내에 '단절'이 존재하는지의 여부), 전제조건(예를 들면, 천천히 진행되는 기상학적인 가뭄에서 농업적인 한발로의 빠른 전환, Box 3-3 참고)이 있다. 이러한 측면들은, 극한기후의 계절 변동과 함께, 기후 모델이나 관측 분석에서 많이 연구되지 않았으며, 따라서 본 장에서는 단지 제한적인 일부 결과만이 제시된다.

3.1.2절의 '극한기상 또는 기후 현상'의 논의에서 언급된 것과 같이, 극한기후를 정의하기 위하여 사용되는 기준값, 퍼센타일 또는 재현값은 일반적으로 주어진 기준 기간에 관하여 정의된다(통상적으로 1961–1990년이 사용되지만 기후 모델 자료에 근거하는 것도 가능하다). 어떠한 경우에는, 일시적인 기준 기간이 고려될 수 있다(즉, 기준 기간은 1961–1990년과 같은 표준 기간을 사용하기보다는, 조사 중인 기간으로부터 얻은 자료를 사용하고 고려된 기간이 변화함에 따라 변화한다). 기준 기간의 선택은, 예를 들면, Lorenz 등(2010)에서 강조된 것과 같이, 평가된 변화의 크기와 관련이 있을 수도 있다. 기준 기간(고정적 또는 일시적)의 선택 역시 3.1.6절에 논의된 극한 변화에 대한 평균 변화와 변동성 변화의 각 역할의 비교 평가에 영향을 미칠 수 있다. 극한 현상이 도출된 확률 분포에 근거한다면, 평균의 단순 변화가(그리고 동일한 분포를 유지하는 것이), 엄밀히 말해 결코 극한 현상의 상대적 변화를 야기하지 않을 것이다. 적절한 기준 기간의 선택 문제는 적응 개념과 결부되어 있다. 일부 지역에서 현재 극한으로 간주되는 현상들이 극한 현상에 대한 취약성 및 노출이 감소된다면 이에 대해 적응할 수 있을 것이다(1, 2장 및 4~7장). 하지만, 8장에 강조된 것과 같이 적응에는 몇 가지 한계가 있다. 고려되어야 할 필요가 있을 측면들(대부분이 물리적이지 않은 측면)로 인해 이들 고려사항을 기후 시나리오의 통계 분석에 포함시키기는 어렵다.

결론적으로, 극한 현상의 엄밀한 정의는 존재하지 않는다(D.B. Stephenson 등, 2008). 특히, 확률 기반 또는 기준값 기반 극한기후와 그러한 극한기후와 영향과의 관계를 정의함에 있어서의 한계들을 언급했는데, 이러한 한계들은 선택된 분석 방법과 무관하게 적용되는 것이다.

- 확률 분포의 양 극단에 속한 현상이 반드시 영향의 관점에서 극한인 것은 아니다.
- 영향에 관련된 기준값은 공간 및 시간에 따라 달라질 수 있다. 다시 말해, 단일 절대 기준값(예: 25mm가 넘는 일 강수 또는 서리일 수)이 모든 장소 및 기간(예: 계절, 10년)에서의 극한을 나타내지 않을 것이다.

일례로, 일 기온 변동성에 대한 큰 지리적 차이로 인해(Alexander 등, 2006) 전망되는 연간 열파 길이의 변화 패턴은 열파 또는 온난기 지속기간의 평가에 사용되는 지수(평균 및 최대 열파 지속기간 지수, HWDImean 및 HWDImax, 온난기 지속기간 지수, WSDI; Orlowsky and Seneviratne, 2011 참고)의 선택에 크게 좌우되는 것으로 나타났다. 정의에 대한 유사한 문제가 다른 유형의 극한 현상, 특히 건조도를 나타내는 극한 현상에도 적용된다(3.5.1절 및 Box 3-3 참고).

발생 확률이 10, 5, 1% 미만이거나 훨씬 더 낮은 값들이 흔히 사용된다. 어떤 상황에서는, 모델 전망과 같은, 관측결과 이외의 자료로부터 얻은 정보가 기준으로서 사용될 수 있다.

- 그리고(요소의 관측된 값 범위에 근거한 이러한 상대적인 기준값보다는) 절대적인 기준값이 극한 현상을 식별하기 위하여 사용될 수 있다(예: 건강에 영향을 미치는 특정 임계 기온).
- 소위 극한기상 또는 기후 현상은 절대적 의미에서 장소마다 다를 것이며(예: 열대에서 더운 날은 중위도에서 더운 날과 기온이 다를 것이다), 아마도 사회가 다소 적응한다는 점을 고려할 때 시간에 따라 다를 것이다(Box 3-1 참고).
- 어떤 극한기후(예: 가뭄, 홍수)는 일반적인 기상 또는 기후 현상이 누적되어 생긴 결과일 수도 있다(이러한 누적은 그 자체가 극한 현상이다). 복합 현상(3.1.3절 참고), 즉 동시에 발생하는 둘 이상의 현상은 두 가지 단일 현상이 그 자체로는 극한 현상이 아니라 하더라도 큰 영향을 미칠 수 있다(단일 현상들이 복합된 경우에만 극한 현상이 된다).

- 모든 극한기상 및 극한기후 현상이 반드시 극한 영향을 미치는 것은 아니다.
- 극한기상 현상과 극한기후 현상의 구분은 엄밀하지 않지만 현상 고유의 시간 규모와 관련이 있다:
  - 극한기상 현상은 전형적으로 변화하는 기상 패턴과 연관이 있다. 즉 극한기상 현상은 1일 미만–수 주일의 시간 범위 이내의 현상이다.
  - 극한기후 현상은 더 긴 시간 규모로 일어난다: 극한기후 현상은 여러 가지(극한적 또는 비극한적) 기상 현상이 누적되어 생기는 결과일 수 있다(예를 들어, 한 계절 동안의 평균보다 다소 적은 강수일이 누적됨으로써 평균보다 상당히 적은 누적 강수와 가뭄 상태가 야기된다).

단순하게, 이 장에서 극한기상 현상과 극한기후 현상을 '극한기후'라는 용어로 통칭한다. 이러한 정의로부터, 극한기후를 두 가지 방법에 의해 정량적으로 정의할 수 있음을 알 수 있다:

1) 발생 확률과 관련하여
2) 특정(아마도 영향과 관련한) 기준값과 관련하여

첫 번째 유형의 정의는 요소의 분포 함수에서 주어진 퍼센타일로 표현되거나 특정 재현 빈도(예: '100년 주기 현상')에 관하여 표현될 수 있다. 복합 현상을 극한기후의 특수한 한 범주로 볼 수 있다. 복합 현상은 둘 이상의 현상의 복합에 기인하며, 다시 통계적 관점에서 '극한'(기후 요소에 대한 분포 함수의 양 극단)이 되거나 특정 기준값에 연관된 '극한'이 된다(3.1.3절). 이러한 극한기후의 두 가지 정의, 즉 확률 기반 정의와 기준값 기반 정의가 반드시 상반되는 것은 아니다. 실제로, 사회와 생태계에 대한 위험은 흔히 확률적 관점과 기준값 관점 모두에서 극한이다(예: 중위도에서 정오 기온에 대한 40°C 기준값).

과학 문헌에서는, 극한기후의 정의 및 분석에 여러 측면을 고려하고 있다(Box 3-1).

3.1.3. 복합(다중) 현상

기후 과학에서는, (1) 동시적으로 또는 연속적으로 발생하는 둘 이상의 현상, (2) 극한 현상과 현상의 영향을 증폭시키는 배경 조건의 조합, 또는 (3) 그 자체는 극한 현상이 아니지만 결합될 때 극한 현상이나 영향을 초래하는 현상들의 조합이 복합 현상이 될 수 있다. 기여하는 현상들이 유사한 유형(들)의 것일 수도 있고(집단 다중 현상) 다른 유형(들)의 것일 수도 있다. 여기에서 여러 종류의 집단적으로 발생하는 다중 현상이 존재한다. 며칠 간격을 두고 동일 경로 및/또는 강도로 발생되는 열대저기압과 같은 집단적으로 발생하는 다중 현상은 대기 순환과 발생 조건이 지속되는 경향이 있는 경우에 발생할 수 있다. 다른 유형의 현상들에 기인한 복합 현상의 예는 다양하다 – 예를 들면, 열대저기압 상륙과 동시에 발생하는 높은 해수면(3.4.4절), 한랭하고 건조한 상태(예: 몽골의 조드(dzud), 사례 연구 9.2.4절 참고), 고온 현상과 가뭄이 산불에 미치는 영향(사례 연구 9.2.2절), 해일로 인한 홍수와 강수로 인한 하천 수위 상승의 결합된 위험(Svensson and Jones, 2002; Van den Brink 등, 2005). 복합 현상은 심지어 '대조적 현상들'에 의해 기인할 수도 있다. 예를 들어, 일부 지역에서는 미래 기후에서 가뭄과 호우 현상 발생이 모두 전망된다(표 3-3).

물리적 환경에 대한 영향(3.5절)은 흔히 복합 현상의 결과로 나타난다. 예를 들어, 홍수는 포화된 토양에서 발생할 가능성이 더 높을 것이다(3.5.2절). 이것은 토양 수분 상태와 강수 강도가 현상에 있어서 각각의 역할을 한다는 것을 의미한다. 습도는 강수량이 평균보다 많지만 반드시 극한이 아닌 강수 현상이 많이 발생한 결과일 수도 있고 어떠한 계절의 기온 편차와 연관된 융설 증가의 결과일 수도 있다. 유사하게, 가뭄은 이전부터 존재하던 토양 수분 부족의 결과일 수도 있고 강수 부족 및/또는 증발산 과다가 누적되어 생기는 결과일 수도 있는데(Box 3-3), 이러한 원인들 모두가 개별적으로 고찰했을 때 반드시 특정 가뭄 현상에 대한 극한인 것은 아니다. 또한, 인간시스템 또는 생태계에 대한 영향(4장)도 복합 현상의 결과일 수 있다. 예를 들어, 건강 관련 영향은 기온과 습도 상태의 결합에 기인한 것이다(Box 3-1).

복합 현상에는 인과관계상 무관한 현상들이 포함되어 있을 수 있지만, 다음의 원인들로 인해 극한들의 발생(또는 그 영향들) 간에 상관성이 발생할 수도 있다:

1) 두 현상의 확률을 변화시키는 하나의 공통 외부 강제력 인자(예: 어떤 지역의 온난화, 엘니뇨 현상의 빈도 또는 강도의 변화)
2) 시스템의 되먹임으로 인해 어느 현상이 다른 현상에 의해 강화되고 역으로 다른 현상이 어느 현상에 의해 강화되는 상호 강화(3.1.4절)
3) 어떠한 현상의 발생이나 영향이 다른 현상의 발생에 의존하는 조건부 의존 관계(예: 홍수, 가뭄에 대한 극한의 토양 수분 정도와 강수 상태, 위의 내용 참고).

변화하는 기후가 복합 현상 발생의 변화를 유발하려면 이러한 요인들 중 하나 이상의 변화가 필요할 것이다. 불행히도, 이 요인들에서 일어날 수 있는 변화에 대한 연구는 거의 주목을 받지 못했다. 또한, 현재까지는 극한 현상의 변화에 대한 분석들 중 상당수가 단일 요소의 개별적인 극한 현상을 중점적으로 다루었다. 하지만, 기후 연구에 관한 최근의 문헌에서는 복합 현상을 고찰하고 복합 현상의 분석에 적합한 방법을 탐색하고 있다(Coles, 2001; Beirlant 등, 2004; Benestad and Haugen, 2007; Renard and Lang, 2007; Schölzel and Friederichs, 2008; Beniston, 2009b; Tebaldi and Sanso, 2009; Durante and Salvadori, 2010).

3.1.4. 되먹임(feedback)

특수한 경우인 복합 현상은 기후시스템 내부의 되먹임의 존재, 다시 말해 여러 기후 과정들 간의 상호작용과 관련이 있다. 되먹임으로 인해 주어진 강제력에 대한 초기 반응이 감쇄(음의 되먹임)되거나 강화(양의 되먹임)될 수 있다(용어집에서 '기후 되먹임' 참고). 되먹임은 극한 현상의 전개에서 중요한 역할을 할 수 있으며, 어떤 경우에는 두 가지(또는 그 이상의) 극한기후가 서로를 상호 강화시킬 수 있다. 두 가지 극한 현상 간의 긍정적인 되먹임의 일례로 건조 기후와 습윤 기후 사이의 점이 지역에서 일어날 수 있는 가뭄과 열파의 상호 강화가 있다. 이 되먹임이 유럽 중부 및 동유럽과 지중해(Seneviratne 등, 2006a; Diffenbaugh 등, 2007), 그리고 영국, 북아메리카 동부, 아마존, 동아시아에서(Brabson 등, 2005; Clark 등, 2006) 전망되는 기후변동성 및 열파 발생 변화에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 추가적인 결과 역시 이 되먹임이 유럽과 미국에서 과거 열파와 극한기온의 관련 인자임을 시사한다(Durre 등, 2000; Fischer 등, 2007a,b; Hirschi 등, 2011). 이 되먹임의 근본적인 두 가지 주요 메커니즘은 다음과 같다: (1) (증기압 부족의 심화와 입사되는 복사량 증가의 결과로서) 증발산의 증가로 인해 열파 발생 시 토양의 건조화가 심해지고; (2) 토양 수분의 부족이 증발산/잠열 플럭스를 제한하기 시작할 때 현열 플럭스로부터 공기의 상대적 가열이 증가한다(Seneviratne 등, 2010). 또한, 순환 패턴이나 건조 공기 이류의 변화를 통해 건조가 열파에 간접적 및/또는 비국지적으로 영향을 미칠 수도 있다(Fischer 등, 2007a; Vautard 등, 2007; Haarsma 등, 2009). 하지만, 이들 되먹임의 강도는 현재 기후 모델들에서는 여전히 불확실하며(Clark 등, 2010), 이러한 불확실성은 강수에 관한 추가적인 되먹임(Koster 등, 2004b; Seneviratne 등, 2010)과 토지 이용과 토지 피복 상태 및 변화에 관한 추가적인 되먹임(Lobell 등, 2008; Pitman 등, 2009; Teuling 등, 2010)이 고려되는 경우에 특히 두드러진다. 또한, 적설량의 추세와 극한기온 변화 간의 되먹임이 전망과 관련이 있는 것으로서 주목이 되었다(Kharin 등, 2007; Orlowsky and Seneviratne, 2011). 토양 수분과 적설에 관한 되먹임은 특정 지역에서 극한 현상(점이 기후 지역에서는 극한 고온, 눈 덮인 지역에서는 극한 저온)에 영향을 미치는데, 이 경우 되먹임으로 인해 기후 평균의 변화 대비 극한 변화의 유의한 편차가 생길 수도 있다. 극한 현상을 수반하는 다른 관련 되먹임으로는 가뭄 발생 증가로 인한 지표

표 3-1 | 고찰된 극한 현상의 개요와 전지구 범위에서 관측 및 전망된 변화의 요약. 극한기온 및 극한강수에서 관측 및 전망된 변화에 대한 지역별 상세설명이 표 3-2와 3-3에 제시되었다. 극한 현상(예: 한랭일/한랭야 및 온난일/온난야, 열파, 호우 현상)은 20세기말 기후를 기준으로 하여 정의된다(기준 기간의 설명에 대해서는 Box 3-1 참고).

		관측된 변화(1950년 이래)	관측된 변화의 원인 규명	20세기말 대비 전망되는 변화(2100년까지)
기상 및 기후 요소	**기온**(3.3.1절)	전지구 범위에서 이상 한랭일 및 한랭야 발생일수가 감소했을 가능성이 매우 높다. 전지구 규모에서 이상 온난일 및 온난야 발생일수가 증가했을 가능성이 매우 높다(모든 지역은 아니지만) 많은 지역에서 온난기 또는 열파의 길이나 발생횟수가 증가했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 관측결과의 부족이나 지역들 내에서의 부호의 변동으로 인해 일부 지역의 극한기온 추세에 대한 신뢰수준은 낮음 또는 보통이다. [표 3-2의 지역별 상세 설명]	전지구 규모에서 온난일/온난야 및 한랭일/한랭야의 추세에 대한 인위적 영향의 가능성이 높다. 몇 가지 예외가 있지만, 지역 규모에서의 추세에 대한 원인은 규명되지 않았다.	전지구 규모에서 이상 한랭일 및 한랭야의 빈도 및 크기가 감소할 것이 사실상 틀림없다. 전지구 규모에서 이상 온난일 및 온난야의 빈도 및 크기가 증가할 것이 사실상 틀림없다. 육지 지역 대부분에 걸쳐 온난기 또는 열파의 길이, 빈도 및/또는 강도가 증가할 가능성이 매우 높다. [표 3-3의 지역별 상세 설명]
	강수(3.3.2절)	호우의 발생 횟수가 통계적으로 유의하게 증가한 지역이 통계적으로 유의하게 감소한 지역보다 더 많았을 가능성이 높지만, 추세에는 강한 지역 간 차이가 있다. [표 3-2의 지역별 상세 설명]	인위적 영향이 전지구 규모에서 극한강수의 강화에 기여했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다.	전지구상의 여러 지역에 걸쳐, 특히 고위도 및 열대 지역과 북부 고위도에서 겨울철에 호우 현상의 빈도가 증가하거나 호우에 기인한 총 강수 비율이 증가할 가능성이 있다. [표 3-3의 지역별 상세 설명]
	바람(3.3.3절)	충분하지 않은 증거로 인해 추세에 대한 신뢰수준이 낮다.	충분하지 않은 증거로 인해 추세의 원인에 대한 신뢰수준이 낮다.	극한바람의 전망에 대한 신뢰수준은 낮다(열대저기압에 연관된 극한바람은 예외).
극한기상 및 극한기후에 관련된 현상	**몬순**(3.4.1절)	충분하지 않은 증거로 인해 추세에 대한 신뢰수준이 낮다.	충분하지 않은 증거로 인해 신뢰수준이 낮다.	기후 모델간의 충분하지 않은 동의수준으로 인해 몬순의 변화 전망에 대한 신뢰수준이 낮다.
	엘니뇨 및 기타 변동성 모드(3.4.2절 및 3.4.3절)	적도 중부 태평양에서의 엘니뇨-남방진동(ENSO) 현상이 더 빈번해졌다는 과거 추세에 대한 신뢰수준은 보통이다. ENSO 추세에 대한 보다 구체적인 설명에 대한 증거는 불충분하다. 남반구 환상 모드(SAM) 추세의 가능성이 높다.	SAM에서 식별된 추세에 대한 인위적 영향의 가능성이 높다.[1] 북태평양 진동(NAO)의 추세에 대한 인위적 영향의 가능성은 절반이다. ENSO의 변화에 대한 원인은 규명되지 않았다.	모델 전망의 충분하지 않은 동의수준으로 인해 ENSO 및 기타 변동성 모드의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다.
	열대저기압(3.4.4절)	장기간(즉, 40년 이상) 관측된 열대저기압 활동(즉, 강도, 빈도, 지속기간)의 증가는, 과거 관측 능력의 변화를 고려했을 때, 신뢰수준이 낮다.	(과거 열대저기압에 대한 기록의 불확실성, 물리적 메커니즘에 대한 충분하지 않은 이해 및 열대저기압 변동성의 정도로 인해) 열대저기압 활동에서 어떤 탐지 가능한 변화의 원인을 인위적 영향으로 규명한 데 대한 신뢰수준은 낮다.	열대저기압의 빈도 변화가 감소하거나 변하지 않을 가능성이 높다. 평균 최대 풍속이 증가할 가능성이 높지만, 모든 유역에서 그렇지는 않을 것이다. 열대저기압에 연관된 호우가 증가할 가능성이 높다.
	온대저기압(3.4.5절)	온대저기압이 극쪽으로 이동했을 가능성이 높다.	극쪽으로 이동에 대한 인위적 영향에 대한 신뢰수준은 보통이다,	지역 규모에서 저기압 활동에 대한 영향 가능성이 높지만 현재 모델에서는 관련 과정들이 단지 부분적으로만 모의되기 때문에 상세한 지역 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 중위도 폭풍 발생횟수가 감소할 것이라는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 중위도 폭풍 경로의 극쪽으로 이동 전망에 대한 신뢰수준은 보통이다.
물리적 환경에 대한 영향	**가뭄**(3.5.1절)	세계 일부 지역, 특히 남유럽과 서아프리카에서 더 강하고 더 긴 가뭄을 경험했지만 그 반대 추세도 존재한다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. [표 3-2의 지역별 상세 설명]	인위적 영향이 가뭄 패턴에서 관측된 몇 가지 변화에 기여했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 일관성이 없거나 충분하지 않은 증거로 인해 단일 지역 수준에서의 가뭄 변화의 원인 규명에 대한 신뢰수준은 낮다.	남유럽 및 지중해 지역, 유럽 중부, 남아메리카 중부, 중앙아메리카 및 멕시코, 브라질 북동부, 그리고 남아프리카를 비롯한 세계 일부 지역에서 가뭄의 지속기간 및 강도가 증가할 것이라는 전망에 대한 신뢰수준은 보통이다. 그 밖의 지역은 전망에 대한 충분하지 않은 동의수준으로 인해 전반적으로 신뢰수준이 낮다. [표 3-3의 지역별 상세 설명]
	홍수(3.5.2절)	지역 규모에서 홍수의 규모 및 빈도에 있어서 기후로 인해 유발된 변화를 평가하는 데 이용할 수 있는 증거수준은 제한적-보통이다. 더욱이, 이러한 증거수준에 대한 동의수준은 낮으며, 따라서 이들 변화의 부호에 관한 전지구적 규모에서의 신뢰수준도 전반적으로 낮다. 융설 및 빙하가 유입되는 하천에서 봄철 최고 하천 유량이 일찍 발생하는 추세에 대한 신뢰수준은 높다.	인위적 온난화가 전지구 범위에서 홍수의 크기나 빈도에 영향을 미쳤다는 데 대한 신뢰수준은 낮다. 홍수에 영향을 미치는 몇 가지 물 순환 요소(강수, 융설)의 변화에 대한 인위적 영향에 대한 신뢰수준은 보통-높음이다.	충분하지 않은 증거로 인해 홍수 크기 및 빈도 변화의 전지구적 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 전망되는 호우의 증가가 일부 유역 또는 지역에서 비로 인해 발생한 국지적 홍수에 기여했을 것이라는 데 대한 신뢰수준은(물리적 추론에 근거할 때) 보통이다. 봄이 일찍 시작될 가능성이 매우 높다.

다음 페이지에 계속 →

표 3-1 | 계속

		관측된 변화(1950년 이래)	관측된 변화의 원인 규명	20세기말 대비 전망되는 변화(2100년까지)
물리적 환경에 대한 영향	**극한의 해수면 및 연안에 대한 영향** (3.5.3절, 3.5.4절 및 3.5.5절)	20세기말에 평균 해수면 상승과 관련하여 전지구적으로 극한적인 연안의 최고수위가 상승했을 가능성이 높다.	인위적 영향이 평균 해수면 상승에 기여했을 가능성이 높다.	평균 해수면의 상승이 극한적인 연안의 최고수위 상승 추세에 기여할 가능성이 매우 높다. 해안 침식과 침수를 현재 경험하고 있는 장소들은, 다른 기여 인자들이 변하지 않는다면, 해수면 상승으로 인해 계속 그럴 것이라는 데 대한 신뢰수준은 높다.
	기타 물리적 영향 (3.5. 6절, 3.5.7절 및 3.5.8절)	일부 지역에서의 대규모 산사태의 전지구적 추세에 대한 신뢰수준은 낮다. 영구동토의 융해에 대한 인위적 영향의 가능성이 높다. 한랭 지역에서 다른 물리적 영향의 추세에 대한 충분하지 않은 증거로 인해 다른 인위적 영향에 대한 신뢰수준은 낮다.	영구동토의 융해에 대한 인위적 영향의 가능성이 높다. 한랭 지역에서 다른 물리적 영향의 추세에 대한 충분하지 않은 증거로 인해 다른 인위적 영향에 대한 신뢰수준은 낮다.	열파, 빙하의 후퇴 및/또는 영구동토 붕괴의 변화가 사면의 불안정, 매스무브먼트, 빙하호의 붕괴로 인한 홍수와 같은 고산지역에서 발생하는 현상에 영향을 미칠 것이라는 데 대한 신뢰수준은 높다. 호우의 변화가 일부 지역에서 산사태에 영향을 미칠 것이라는 데 대한 신뢰수준은 높다. 황사의 미래 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다.

주: 1. 성층권 오존 농도의 추세에 기인

탄소 흡수 변화(Ciais 등, 2005; Friedlingstein 등, 2006; Reichstein 등, 2007) 또는 영구동토 붕괴로 인한 탄소 배출 변화와 같이, 전지구 기후에 영향을 미칠 수 있는 것들이 있다(3.5.7절 참고). 그렇지만, 이 장에서 특별히 이 측면들을 고찰하지는 않는다(단, 아마존 가뭄의 증가 가능성 전망과 이 지역에서의 삼림 고사에 대해서는 3.1.7절 참고). 4장에서는 가뭄, 화재 및 기후변화 간의 되먹임 순환도 다루어진다(4.2.2.1절).

3.1.5. 극한 현상의 변화에 대한 평가의 신뢰수준 및 가능성

이 장에서는 극한 현상의 과거 변화나 전망되는 변화에 관한 모든 평가결과를 새로운 IPCC 제5차 평가보고서 불확실성에 대한 지침(Fifth Assessment Report uncertainty guidance) (Mastrandrea 등, 2010)에 따라 표현한다. 새로운 불확실성에 대한 지침은 신뢰수준과 가능성을 보다 명확하게 구별한다(Box SPM.2 참고). 따라서 이 지침을 사용하면 용어 차이로 인해 이 장에서 논의하는 평가와 IPCC 제4차 평가보고서(AR4)의 평가를 직접 비교하는 것이 복잡해진다. 다음의 절차가 이 장에 채택되었다(요약 및 표 3-1, 3-2 및 3-3 참고).

- 각 평가에 대하여, 주어진 평가에 대한 신뢰수준을 다음 단락에 설명된 것과 같이 먼저 평가한다(낮음, 보통, 높음)
- 신뢰수준이 높은 평가에 대해서는, 변화 방향에 대한 가능성도 평가한다(99-100%의 경우 사실상 틀림없음, 90-100%의 경우 가능성 매우 높음, 66-100%의 경우 가능성 높음, 50-100%의 경우 가능성이 없지는 않음, 33-66%의 경우 가능성이 절반임, 0- 33%의 경우 가능성 낮음, 0-10%의 경우 가능성 매우 낮음, 0-1 %의 경우 사실상 가능성 없음). (예를 들어, 물리적 이해에 근거한) 신뢰수준은 높지만('가능성 높음'과 같은) 더 상세한 가능성 평가결과를 제공하기에는 모델 전망이 충분하지 않은 몇몇 경우에 대해서는, 신뢰수준 평가결과만을 제공한다.
- 신뢰수준이 보통인 평가에 대해서는, 변화 방향은 제공하지만 가능성 평가는 하지 않는다.
- 일반적으로신뢰수준이 낮은 평가에 대해서는, 변화 방향을 제시하지 않는다.

신뢰수준 평가는 특정 요소의 변화를 평가 또는 전망하는 데 사용된 도구 및 자료 기반(모델, 자료, 지시자)에 대한 신뢰수준과 관련 이해 수준을 고찰하는, 전문가 기반의 평가이다. 모델 전망에 대한 신뢰수준이 낮은 사례로는 모델이 현재 기후에서 특정 극한을 모의함에 있어 낮은 성과를 보이는 경우(Box 3-2 참고)나, 예를 들면, 관측 부족으로 인해 특정 극한 현상에 대하여 이용할 수 있는 모델 성능에 관한 문헌이 충분하지 않은 경우가 있다. 관측된 변화에 대한 것과 유사하게, 이용 가능한 증거가 대규모 지역에 대하여 확고한 평가 결과를 제공하기에 충분하지 않은 산재된 자료(또는 간행물)에만 근거한 경우나 관측 결과가 질적 수준이 낮거나 동질하지 않거나 간적접 특성의 것(지시자)인 경우에는 평가결과의 신뢰수준이 낮을 수도 있고 어떤 극한 현상의 과거 변화나 전망되는 변화에 대한 신뢰수준이 낮은 경우에는, 그러한 낮은 신뢰수준이 문헌 부족에 기인한 것인지, 증거(자료, 관측 결과) 부족에 기인한 것인지, 아니면 이해 부족에 기인한 것인지를 나타내어야만 한다. 예를 들어, 증거 부족은 문헌 및 이해 부족의 근원일 수 있기 때문에, 낮은 신뢰수준의 원인 범주 간에는 약간의 중첩이 존재함에 유의해야 한다. 모델 및 자료의 신뢰수준이 '보통'으로 평가된 극한 변화 사례들은 이용할 수 있는 도구 및 증거는 어느 정도 신뢰하지만 이들 도구의 몇몇 질적 측면에 대해서는 여전히 상당한 의심이 있는 경우들이다. 특정 극한 현상에서 관측 또는 전망된 변화나 추세에 대한 신뢰수준이 낮음으로 평가된 것은 이러한 극한 현상의 변화 가능성을 의미하는 것도 아니고 배제하는 것도 아님에 유의해야 한다. 오히려 평가결과는 그러한 변화를 탐지 또는 전망하는 능력에 대한 신뢰수준이 낮음을 표시하는 것이다.

일부 극한 현상의(관측 또는 전망된) 변화는, 근원적 과정들의 복잡성으로 인해 또는 그 변화를 이해하는 데 이용할 수 있는 증거의 양으로 인해, 다른 극한 현상의 변화에 비해 평가하기가 쉽다. 그 결과, 여러 극한에 대한 기후 모의 및 전망에서 불확실성의 수준 차이가 나타난다(Box 3-2). 이러한 문제들 때문에, 어떠한 극한 현상의 전망은 제공하기 어렵거나 심지어 불가능한 반면, 어떤 다른 극한 현상의 전망에 대한 신뢰수준은 높다. 또한, 기후변동성, 모델의 불확실성 및 배출 시나리오의 불확실성이 전반적인 불확실성에 기여하는 정도가 시간에 따라 변하기 때문에 전망에 대한 불확실성 역시 개별적인 극한 현상에 대한 시간 범위에 따라 달라진다(Box 3-2 및 3.2절). 전반적으로, 과거 및 미래 극한 현상의 변화에 대한 신뢰수준이 근원적인 물리적 과정의 모의에 대한 이해 및 신뢰성 수준과 더불어, 극한 현상의 유형, 가용 자료, 그리고 고찰되고 있는 지역, 계절 및 시간 범위에 따라 변한다고 추론할 수 있다. 이러한 다양한 측면들은 Box 3-2, 3.2절과 3.3-3.5절의 특정 극한 현상에 대한 부분에서 보다 상세하게 다루어진다.

3.1.6. 극한 현상의 변화와 지역적 및 전지구적 평균 기후변화와의 관계

극한 현상의 변화는 확률 분포의 평균, 분산 또는 형태 변화나 이들 모두의 변화와 관련이 있을 수 있다(그림 1-2 참고). 따라서 일평균 최고기온의 변화로부터 그리고/또는 일 최고기온의 도수 분포의 분산 및/또는 형태의 변화로부터 고온일(즉, 기온이 어떤 기준값보다 높은 날) 발생 빈도의 변화가 야기될 수 있다. 고온일 발생 빈도의 변화가 평균 일최고기온의 변화와 주로 관련이 있고, 일최고기온 분포의 형태 및 변동성 변화가 이차적으로 중요한 경우에는, 평균기온 변화의 전망을 사용하여 극한기온의 변화가 미래에 어떻게 변할 것인지를 추정하는 것이 합리적일 수도 있다. 하지만, 일최고기온의 도수 분포 형태 및 변동성의 변화가 중요한 경우에는, 그러한 단순 외삽은 그다지 적절하지 않을 것이며 심지어 잘못된 결과를 도출해 낼 가능성도 있을 것이다(Ballester 등, 2010). 경험적 연구와 모델 연구의 결과는 우리가 극한 현상의 미래 변화를 전망해야 하는 경우, 몇몇 상황에서는 극한 현상의 변화와 평균 변화의 규모가 거의 같다고 할지라도(예: Griffiths 등, 2005), 기상 및 기후 요소의 평균 변화는 물론 확률 분포의 변동성 및 형태 변화도 고려할 필요가 있는 충분한 예외성이 존재함을 보여준다(Hegerl 등, 2004; Schar 등, 2004; Caesar 등, 2006; Clark 등, 2006; Della-Marta 등, 2007a; Kharin 등, 2007; Brown 등, 2008; Ballester 등, 2010; Orlowsky and Seneviratne, 2011). 특히 짧은 시간에 내리는 강수의 경우와 중위도 및 고위도에서 기온의 경우가 여기에 해당한다(하지만 이들 지역의 모든 곳에서 해당되는 것은 아니다). 중위도 및 고위도에서 어떤 극한 현상이 더 강하게 증가(또는 감소)하는 것은 일반적으로 토양 수분이나 적설에 의한 되먹임과 관련이 있다(3.1.4절). 변동성의 변화와 평균의 변화 중 어느 것이 더 중요한가는 극한 현상을 정의하는 데 사용되는 기준 기간의 선택에 따라 달라짐에 유의해야 한다(Box 3-1).

추가적인 문제로는 지역적 극한 현상의 변화가 전지구 기후 평균의 변화에 비례하는 정도가 있다. 실제로 예를 들면, 최근 간행물과 공개적인 토론은 전지구적 평균기온 표적에 초점을 맞추고 있지만(Allen 등, 2009; Meinshausen 등, 2009), 이러한 전지구적 평균 변화(예를 들면, '2℃')가 지역 규모의 극한 현상에 미치는 정확한 영향이 광범위하게 평가된 적은 없었다(Clark 등, 2010). Orlowsky and Seneviratne(2011)는 CMIP3 앙상블에 근거하여, 전지구 평균 최고기온(Tmax)의 연평균 변화와 연 및 계절(6, 7, 8월: JJA, 12, 1, 2월: DJF) 시간 규모에 대한 Tmax의 10 및 90 퍼센타일의 변화 전망을 분석했다(CMIP3 앙상블에 대한 설명에 대해서는 3.2.3절 참고). 분석 결과, 겨울철 고위도 북부 지역에서 전망되는10 퍼센타일 Tmax와 여름철 남유럽에서 전망되는 90 퍼센타일 Tmax의 큰 변화가 특히 눈에 띄었다. 두 사례 모두에서 환산 계수는 약 2였다(즉, 전지구 평균 2℃ 상승 시 약 4℃ 상승) 하지만, 어떤 지역 및 계절에서는 환산 계수가 1 미만일 수도 있다(예: 고위도에서 JJA 기간 동안 10 퍼센타일의 변화). 이 내용이 그림 3-5a에도 제시되어 있다. 이 그림은 육지 전체와 특정 지역들에 대하여 연별 일최고기온 극한값의 재현값들에 대한 변화의 분석 결과를 비교하였고 이들 변화에 대한 지역 간의 큰 변동성을 보여준다. 전지구 규모('전지구(육지만 해당)')에서 재현값들의 변화는 전지구 평균 일최고기온의 변화와 거의 같은데, 이는 일최고기온 분포의 평균 대비 양 극단에서의 변화의 전반적인 차이보다는 지역적 효과와 관련이 있는 규모의 문제가 발생함을 시사한다. 강수의 경우에는 이와는 매우 다르다(그림 3-7a). 강수는 전지구 규모에서의 평균 강수의 변화와 극한강수의 변화가 확실히 구별되는데, 이를 통해 기후 요소가 규모에 의존함을 명확히 보여준다. 극한 현상의 지역적 및 계절적 변화와 평균의 변화 간에 규모에 대한 일관성의 결여는 연구들에서도 두드러지게 나타났다(Caesar 등, 2006). 지역적인 극한 현상이 반드시 전지구적인 평균의 변화와 비례하지 않을 뿐만 아니라 전지구적인 평균의 상승이 가까운 과거와 향후 수십 년 동안 일부 지역 및 계절에서 저온의 발생 가능성을 배제하는 것도 아님에 더욱 유의해야 한다: 예를 들어, 평균 기온의 상승으로 인한 해빙의 감소는 체계적이지는 않지만 대륙 북부에서 보다 빈번하게 겨울철 극한 저온을 야기했을 수 있음이 최근 시사된 바 있다(Petoukhov and Semenov, 2010). 또한 북아메리카 중부와 미국 동부 일부에서는 최근 수십 년간 봄과 여름철에 평균기온 및 일부 극한기온에서 저온화 추세가 나타났다(3.3.1절). 동일한 기후 요소의 평균과 극한 현상에 대하여 규모의 문제와는 상관없이, 상대습도의 전지구적 평균 변화와 호우의 지역적 변화가 서로 관련이 있는 것과 같이, 어떤 극한 현상은 다른 요소들의 기후 평균의 변화와 관련이 있을 수 있음에 유의해야 한다(3.2.2.1절 및 3.3.2절).

특정한 극한 현상에 대한 전지구 규모의 추세는, 특정한 극한 현상의 추세의 지리적 균질성에 따라, 일부 지역 규모에서의 추세보다 신뢰성이 더 클 수도 있고 작을 수도 있다. 특히, 어떠한 기후 요소에 대한 기후 전망은 전지구 곳곳에서, 심지어 전망되는 변화의 부호에 있어서도 일관성을 보이지 않는다(예: Christensen 등, 2007; Meehl 등, 2007b). 예를 들어, 전망에는 더 습한 상태로 진행되는 추세를 보이는 어떤 지역과 더 건조한 상태로 진행되는 추세를 보이는 지역이 포함되어 있고, 일부 지역은 기후 형태의 변화가 나타나기도 한다(예: 습윤 기후에서 점이 기후로, 또는 점이 기후에서 건조 기후로). 이러한 지역적 변화들 중 일부는 특히, 연안 지역과 대규모 산악 지역에서 강제력의 변화가 어떻게 지역 규모의 대기 순환을 변화시킬 수 있는가에 따라 달라질 것이다. 따라서, 홍수 및 가뭄과 같은 어떤 극한에 대해서는 지역 전망이(반대 부호의 변화를 보이는 지역 신호들을 평균한) 전지구 평균 전망보다 더 큰 변화를 보일 수도 있다. 이것은 또한 어떤 경우에는 지역 규모에서의 신호가 전지구 규모에서의 평가보다 더 신뢰할 수도 있음을(그리고 더 의미 있음을) 의미한다. 반면, 극한기온에 대한 전망은 대부분 지역에서 일관성을 보이므로, 지역 규모('가능성 매우 높음')보다 전지구 규모('사실상

틀림없음')에서 더 신뢰할 수 있다.

3.1.7. 기습적 / 돌발적 기후변화

본 보고서는 현 지식에 근거할 때 가장 발생 가능성이 높은 극한 현상의 변화에 중점을 둔다. 하지만 기후시스템의 일시적이고 복잡한 특성을 고려할 때, 잘 파악되지 않고 있는 기후 기준값을 넘어섰을 때 발생할 수 있는 낮은 발생확률과 큰 영향을 나타내는 시나리오의 미래 발생 가능성을 배제할 수 없다. 그러한 시나리오들은 8.5.1에 강조된 것과 같이 사회에 중요한 영향을 미친다. 그러므로, 특정한 극한 현상의 전망에 대한 신뢰수준이 낮거나 심지어 이 장에 포함된 범주에서의 기후변화(예: 대서양 자오면 순환의 정지)에 대한 고려가 미흡한 평가를 이러한 극한 현상 또는 기후 요소에서 변화가 예측되지 않는다는 것으로 해석해서는 안된다(3.1.5절 참고). 되먹임은 몇 가지 기후 요소의 극한을 감쇄 또는 강화시킴에 있어 중요한 역할을 하며(3.1.4절), '기습'적인 현상도 야기할 수 있다: 즉, 기후시스템의 점진적 온난화에 의해 예측될 수도 있는 것보다 큰(또는 작은) 극한의 변화. 마찬가지로, 3.1.3절에서 논의한 바와 같이, 대조적 또는 다중의 극한 현상들이 발생할 수 있지만 이들에 대한 이해는 그러한 조합과 연관된 위험에 대하여 신뢰할 수 있는 종합적인 전망을 제공하기에 불충분하다.

본 장에서 다루지 않는 한 가지 측면은, 기후시스템에 존재할 수 있는 극적 전환점(tipping point)의 존재(Meehl 등, 2007b; Lenton 등, 2008; Scheffer 등, 2009), 즉 기후시스템의 돌발적이고 비가역적인 변화로 인한 위험이다. 돌발적 기후변화는 용어집에서 다음과 같이 정의된다: "기후시스템의 비선형성은 돌발적 기후변화(또는 종종 급격한 기후변화로 지칭), 돌발적인 현상 또는 기습적인 변화를 야기한다. 돌발적이라는 용어는 원인이 되는 강제력의 일반적인 시간 범위보다 빠른 시간 범위를 칭한다. 그러나 모든 돌발적 기후변화에 외부 강제력이 필요한 것은 아니다. 비선형계의 급속하게 변화하는 강한 강제력으로 인해, 완전히 예측 밖의 변화가 나타날 수도 있다. 극적 전환점과 연관된 기준값을 '임계 기준값'으로 칭할 수도 있다: 기후시스템의 경우에는 '기후 기준값'으로 칭해질 수 있다. Scheffer 등(2009)은 강제력에 대한 시스템의 평형 반응 가능성을 보여준다. 선형 반응의 경우에는, 오직 큰 강제력만이 시스템의 중대한 상태 변화를 야기할 수 있다. 하지만, 임계 기준값이 존재하는 경우에는, 강제력의 작은 변화조차도 시스템의 중대한 변화를 야기할 수 있다. 평형 상태 함수의 임계 분기점이 있는 시스템의 경우에는, 두 가지의 가능한 안정 상태가 존재할 수도 있으며, 따라서 유도된 변화가 비가역적일 수도 있다. 기후시스템에서의 그러한 임계 전환은 전형적인 낮은 발생 확률과 큰 영향을 나타내는 시나리오에 해당하는데, 이러한 시나리오들은 AR4에서도 또한 언급된다(Meehl 등, 2007b). Lenton 등(2008)은 기후시스템의 잠재적 극적 요소들, 즉 최소한 소대륙 규모이고 극적 전환점을 수반할 수도 있는 지구시스템의 하위시스템에 대한 최근 검토된 결과를 제공했다. 이 요소들 중 일부는 어떤 극한 현상과 특별히 관련이 있거나[예: 엘니뇨-남방진동(ENSO), 인도 여름철 몬순 및 사하라/사바나 및 서아프리카 몬순은 가뭄 및 호우와, 그린란드 및 남극 서부 빙상은 해수면 고도 극값과 관련이 있다] 극한 현상의 변화에 의해 야기된다(예: 아마존 밀림 고사는 가뭄에 의해 야기된다). 이미 알려진 극적 요소들 중 일부에 대해서는, 고기후 기록으로부터 양립적인 안정성의 존재가 시사되었지만, 어떤 경우에서는 양립적인 안정성의 존재가 여전히 논쟁 대상이다(예: Brovkin 등, 2009). 이러한 낮은 발생 확률과 큰 영향을 나타내는 시나리오에 관한 모델들, 예를 들면, 가뭄 증가 가능성과 아마존 밀림 고사(Friedlingstein 등, 2006; Poulter 등, 2010; 이 지역의 건조 전망에 대해서는 표 3-3 참고), 대서양 열염 순환이 실제 중지될 수 있는 위험(Rahmstorf 등, 2005; Lenton 등, 2008), 또는 북극해 빙상 감소의 잠재적 비가역성(Tietsche 등, 2011)에 관한 모델들 간에는 흔히 합의가 결여되어 있다. 이러한 이유로, 이들 시나리오에 대한 신뢰수준은 낮음으로 평가된다.

3.2. 극한 현상의 변화에 대한 분석의 필요성 및 방법

3.2.1. 관측된 변화

본 장의 3.3-3.5절에는 주로 AR4 이후 간행되고 AR4 평가에 기초한, 관측된 기록에서 극한 현상의 변화에 관한 문헌의 평가 결과가 제공된다. 평가 결과는 표 3-1에 요약되어 있다. 극한기온 및 강수에서 지역 규모에서 관측된 변화의 개요가 표 3-2에 제공된다. 이 절에서는 극한에서 관측된 변화를 조사하기 위하여 사용한 자료 및 관측 결과에 관련된 문제들이 논의된다.

자료의 가용성에 관한 문제들은 기후 요소에 대한 극한 현상의 변화를 조사할 때 특히 중요하다(Nicholls, 1995). 실제로, 현상이 드물수록 장기적인 변화의 식별이 더 어려워지는데, 이것은 단순히 평가할 사례가 더 적어지는 데 따른 것이다(Frei and Schar, 2001; Klein Tank and Konnen, 2003). 극한 현상의 변화에 대한 식별은 분석 기법에도 의존한다(X. Zhang 등, 2004; Tramel and Schonwiese, 2005). 극한 현상의 분석을 위한 자료의 가용성을 제약하는 다른 중요한 기준으로 극한 현상이 발생하는 개별적인 시간 범위가 있다(3.1.2절), 이것은 시간 범위가 극한 현상의 평가에 필요한 시간 해상도를 결정하기 때문이다(예: 시간 또는 일규모의 호우 대 다년 간의 가뭄). 19세기말에서 20세기 초까지 세계 대부분 지역에서의 기온 및 강수에 대한 보다 긴 시간의 자료(예: 월, 계절 및 년)를 이용할 수 있다. 이 자료를 사용하면 기상학적 가뭄(Box 3-3 참고)과 약 1개월 또는 그 이상의 이상 습윤 기간을 분석할 수 있다. 짧은 시간 범위에서 발생하는 극한 현상의 변화, 특히 기온 및 강수(또는 바람)과 같은 기후 요소에 대한 극한 현상의 변화를 조사하기 위해서는, 통상 일 또는 일 단위 이하의 관측 결과와 같은 고해상도 자료를 사용해야 한다. 이러한 시간 자료는 대체로 이용하기 어렵거나 20세기 중반 이후에 대해서만, 그리고 많은 지역에서 1970년 이후인 최근의 경우에만 이용 가능하다. 심지어 충분한 자료가 이용 가능한 경우에도 다음과 같은 몇 가지 문제로 인해 그 분석이 제한될 수 있다. 첫째, 상황이 변화하고 있음에도 불구하고(특히 '극한 지수'에 관한 상황: Box 3-1), 많은 국가가 여전히 더 높은 해상도의 시간 자료를 배포하지 않는다.

둘째, 측정의 질에 관한 문제가 있을 수 있다. 세 번째 중요한 문제는 기후 자료의 동질성(homogeneity)이다(아래 참고). 이 문제들과 더불어 다른 문제들이 AR4에서 상세하게 논의된다(Trenberth 등, 2007). 예를 들어, Alexander 등(2006)에 의하면 일자료를 생산하는 기온 및 강수 관측소의 전지구 분포는 균일하지 않다. 전지구 대부분 지역에 대한 관측값을 이용할 수 있더라도, 남아메리카 북부, 아프리카 및 오스트레일리아 일부에서는 관측 결과가 부족하다. 극한 현상의 분석을 위해 다른 자료들이Caesar 등(2006)과 Brown 등(2008)에 의해서 널리 이용되었다. 이 자료 역시 남아메리카, 아프리카, 동유럽, 멕시코, 중동, 인도 및 동남아시아 대부분에서 자료 공백이 존재한다. Vose 등(2008)의 연구에서도 남아메리카, 아프리카, 인도에서 자료 공백이 존재한다. 자료가 있는 지역이라도 관측소의 공간 밀도가 모두 동일한 것은 아님에 더욱 유의해야 한다(Alexander 등, 2006; Caesar 등, 2006). 전지구를 대상으로 한 연구에서 다루어지지 않은 지역에 대하여 국가 또는 지역에 근거한 몇 몇의 연구를 이용할 수 있지만(표 3-2 및 3-3 참고), 전지구의 많은 지역에서 자료 부족은 많은 지역에 대하여 극한기후의 관측된 변화를 평가하는 능력을 제한한다.

기후 자료가 동질한지 여부의 문제는, 특히 보다 작은 공간 규모에서, 극한 현상의 분석과 명백하게 관련이 있다. 자료는 시계열에서 변동과 추세가 오직 기후시스템의 변동성과 변화에만 기인할 때 동질한 것으로 정의된다. 일부 기상 요소들은 심지어 측정 장비의 노출에서의 작은 변화에 의해서 야기되는 불확실성에 특히 취약하다. 예를 들어, 측정 장비 근처에서의 작은 건물의 건설이나 식생의 변화는 바람의 측정에서 편의를 야기할 수 있다(Wan 등, 2010). 변화가 발생할 때, 그러한 변화는 시계열(단계적 변화)의 불연속성이나 그 자체가 실제와 다른 추세로서 나타날 수 있는 보다 점진적인 변화를 야기할 수 있는데(Menne and Williams Jr., 2009), 이 두 가지 모두 특정 관측 결과가 기준값을 초과하는지의 여부에 영향을 미칠 수 있다. 시간 규모가 긴 기간(예: 월, 계절, 년)에 대해서는 동질성의 여부 탐지와 자료의 보정이 실시되어 왔다: 하지만, 더 짧은 관측 기간(예: 일) 자료에 적용할 수 있는 기법은 최근에 개발되었으며(Vincent 등, 2002; Della-Marta and Wanner, 2006), 따라서 널리 실시되지 않고 있다.

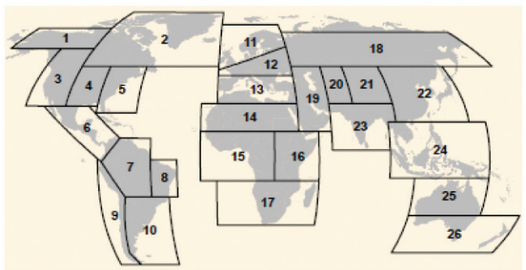


그림 3-1 | 표 3-2 및 3-3과 그림 3-5 및 3-7에 사용된 지역의 정의. 지역의 정확한 좌표는 온라인 보충판, 부록 3.A 에 제공된다. 평가 및 분석은 육지 지역에 대해서만 제공된다.

동질성에 대한 문제는 다른 기상 및 기후 요소들의 관측값에도 발생하는데, 이로 인해 추가로 더 심각한 제한이 존재하게 될 수도 있다. 특히 바람 및 상대습도의 측정 결과와 기상 및 기후 현상(토네이도, 온대 및 열대저기압; 3.3.3절, 3.4.4절 및 3.4.5절) 및 물리적 환경에 대한 영향(예: 가뭄, 홍수, 빙권 영향; 3.5절)의 분석에 필요한 자료가 이 경우에 해당한다.

폭풍, 토네이도 및 이와 관련된 현상들은 세계의 많은 지역에서 쉽게 관측되지 않는다. 예를 들어, 미국에서 1950년 이후 인구밀도의 증가와 교외의 인구 증가와 함께 토네이도의 발생은 증가 추세를 보인다(Trenberth 등, 2007; Kunkel 등, 2008). 그러한 추세는 토네이도의 관측 가능성을 증가시킨다. 폭풍에 관해서도 유사한 문제가 발생한다. 보고 방식의 변화와 인구밀도 증가, 그리고 심지어 관측소 주변 소음 수준의 변화로 인해 관측된 폭풍우에 대한 기록에서 관측소 간에 불일치가 발생하였다.

폭풍의 경로, 강도 및 빈도의 변화에 초점을 맞춰 온대저기압의 변화를 조사하는 연구는 1950년 이전에는 자료의 부족으로 인해 시간적인 제한이 있다. 이러한 연구는 대부분 관측 결과들을 하나의 혼합 모델-관측 자료로 통합하는 모델-기반 재분석자료에 의존하였다. 하지만, 재분석자료에는 1970년대말 위성 자료의 도입과 다른 관측 시스템상의 변화와 같은, 통합되고 있는 자료의 양 및 유형의 변화에 기인한 동질성의 문제가 존재할 수 있다(Trenberth 등, 2001; Bengtsson 등, 2004). 최근의 재분석자료 생산의 목표는 온대저기압 및 기타 기후 특징의 변화를 분석하는 데에 있어서 보다 동질한 재분석결과를 얻고자 하는 것이다(Compo 등, 2006). 하지만 결과는 사용된 재분석자료와 저기압 추적 기법에 따라 크게 달라진다(Ulbrich 등, 2009).

열대저기압에서 관측된 변화에 대한 분석결과의 신뢰성은 과거 기록과 관련한 다수의 문제들로 인해 제한된다. 주요한 문제 중 하나로 담당 기관에서 기법 및 보고 방식을 변경함으로써 개입되는 비동질성의 문제가 있다(Land-sea 등, 2004). 자료의 질과 보고 방식은 기관들 간에 상당한 차이가 있기 때문에, 전지구적 추세를 분석하기 위해 해양에서 수집한 다수의 기록들을 통합할 때 더 큰 비동질성이 개입된다(Knapp and Kruk, 2010). 다른 관측 결과들과 마찬가지로, 열대저기압의 관측 역시 단기 예보 생산을 뒷받침하기 위해 수행된다. 관측 기법의 향상을 통한 새로운 기법을 적용할 때 변화의 영향을 기록하기 위하여 기존 방법에 대한 중첩 및 보정 없이 실시된다. 또한 기술의 진보는 더 우수하고 더 완벽한 관측을 가능하게 했다. 예를 들어, 1940년대에 유역의 관측을 위한 항공기의 도입과 1960년대의 위성 자료의 이용은 열대저기압, 특히 육지나 배에서 접할 수 없었던 열대저기압을 정확하게 식별하고 측정하는 능력에 엄청난 영향을 미쳤다. 항공기를 이용한 기상관측 프로그램이 북대서양에서는 계속되고 있지만 서태평양에서는 1987년 중단되었다. 1970년대 정지궤도 위성 영상의 도입과(폭풍 강도를 추정하기 위한 Dvorak 기법과 같은) 새로운 열대저기압 분석법들의 도입(및 후속적 개선)으로 인해 열대저기압 활동의 역사적 기록의 균질성은 더욱 저해되었다.

물리적 환경에 대한 영향에 관해서는, 토양 수분이 주요 요소이지만 토양 수분 자료는 극히 드물다(Robock 등, 2000; Seneviratne 등, 2010). 토양 수분 자료의 부족은 기후, 지표면 및 수문학적 모델에서 토양 수분(농업적)과 수문학적 가뭄(Box 3-3)을 입증하고 정확히 모의함에 있어, 그리고 지역의 저수량의 변화를 감시함에 있어 극히 중요한 문제이다. 따라서, 토양 수분은 단순한 기후 지수나 모델-기반 접근법으로부터 추론되어야 한다(Box 3-3). 그러한 추정은 대부분 강수 관측에 의존하는데, 세계 많은 지역에서 추정

FAQ 3.1 | 오늘날 기후가 더욱 극한으로 치닫고 있는가?

온실가스 증가가 몇 가지 극한 유형의 변화를 야기할 가능성이 높음을 보여주는 증거가 있지만, 오늘날 기후가 더욱 극한으로 치닫고 있는지 여부에 관한 질문에 대한 답은 결코 간단하지 않다. '더욱 극한적' 및 '덜 극한적'이라는 용어는 다양한 방식으로 정의될 수 있기 때문에, 관측된 극한 현상 변화는 다양하게 특성화된다. 또한, 물리 기후 과학 관점에서 볼 때, 기후에서 극한 현상의 모든 측면을 포괄하는 하나의 종합적인 척도를 고안하는 것은 어렵다.

기후가 더 극한적으로 되고 있는지의 여부를 평가하기 위한 한 가지 접근법은 특정 기후 요소의 일반적인 변동 범위에서의 변화가 있었는지의 여부를 결정하는 것이 될 것이다. 예를 들어, 어떤 지역에서 기온의 변동성이 과거보다 유의하게 커졌다는 증거가 있다면 그 지역에서는 기온이 더 극한적으로 변하였다고 결론을 내리는 것이 합리적일 것이다. 간단히 말해, 1년 동안 관측된 최고기온과 최저기온의 차이가 증가하고 있는 경우에는 기온의 변동성이 더 극한적으로 되고 있다고 간주할 수 있다. 이러한 접근법에 따르면, 20세기 후반에 걸쳐 전세계적으로 일평균 최저기온의 상승이 일평균최고기온의 상승보다 대체로 컸기 때문에 전지구에서 일 기온이 덜 극한적으로 변화했을 것이다. 한편, 강력한 호우의 규모가 세계의 많은 지역에서 증가되었음이 관측 자료를 통해 조사됨에 따라 따라서 일 강수의 규모가 더 극한적으로 변화되었다는 결론을 내릴 수 있을 것이다. 또 다른 접근법은 기후 요소가 인간에 대한 영향이나 다른 영향과 관련이 있었던 고정된 기준값을 넘어섰던 빈도에서 유의한 변화가 있었는지의 여부를 묻는 것이 될 것이다. 예를 들어, 평균기온의 증가는 통상 극한 고온의 증가와 극한 저온의 감소를 야기한다. 그러한 기온 분포의 이동은 일 기온변동성의 '극한성'을 증가시키지 않을 것이다. 하지만, 더 극한적인 온난한 기후와 덜 극한적인 한랭한 기후를 초래하는 것으로 간주될 것이다. 따라서 여기에 제시된 질문에 대한 답은 관심 대상 요소에 따라, 그리고 그 요소의 극한성을 조사하는 특수한 척도의 유형에 따라 달라질 것이다. 또한, 위 질문에 대한 완벽한 답을 제공하기 위해서는, 단일 요소의 추세뿐만 아니라 개별 현상들의 연속적인 발생이나 다양한 유형의 극한 현상들의 동시 발생에 기인한 복합적인 극한 현상의 변화에 대한 지표도 수집하고 분석해야 할 것이다. 따라서 관심 대상의 현상 일체를 종합적으로 기술하거나 그러한 모든 지표를 기후가 물리적 관점에서 전체적으로 더 극한적으로 변화하였는지의 여부를 종합적으로 평가하는 데 사용될 수 있는 단일의 극한성을 측정하는 척도로 통합하는 방법을 찾기는 어려울 것이다. 그리고 특정한 한 지점 이상에서 유용한 척도를 만들기 위해서는, 무엇이 '극한'인지에 관한 관점이 각각 다른, 많은 지점에서의 결과들을 결합해야 할 것이다.

다음 페이지에 계속 →

을 하기에는 강수 관측이 제공되는 공간 영역이 불충분하다(Oki 등, 1999; Fekete 등, 2004; Koster 등, 2004a), 마찬가지로, 유출에 대한 관측값도 전지구적으로 이용하기 어려운데, 이것은 전지구적 및 일부 지역적인 물수지에 있어서 상당한 불확실성(Legates 등, 2005; Peel and McMahon, 2006; Dai 등, 2009; Teuling 등, 2009)과 홍수 발생 변화의 전지구적 분석에 대하여 상당한 불확실성(3.5.2절)을 야기한다. 또한, 눈에 대한 지상에서의 관측은 물리적 영향, 특히 전지구의 빙권 및 유출 발생에 관련된 물리적 영향의 분석에 중요하지만, 일부 지역에서는 이러한 관측결과가 부족하다(Essery 등, 2009; Rott 등, 2010).

위에 언급된 문제들은 모두 극한에서 관측된 추세의 불확실성을 야기한다. 많은 경우에서, 이러한 문제들이 자료에 미치는 복합적 영향을 줄이고 그럼으로써 불확실성을 낮추는 데 도움을 주기 위한 절차를 개발하기 위해 각별한 주의를 기울였으며 지난 15년간 이에 대한 진전이 있었다(Caesar 등, 2006; Brown 등, 2008). 그 결과, 최소한 일부 요소 및 지역에 대해서는 현재의 변화에 대해 보다 완벽하고 동질한 정보를 이용할 수 있게 되었다(Nicholls and Alexander, 2007; Peterson and Manton, 2008). 예를 들어, 전지구 육지 면적의 최대 70%까지를 포함하는 일 기온 및 강수의 전지구 규모의 데이터베이스 개발로 극한 현상의 활발한 분석이 가능해졌다(Alexander 등, 2006 참고). 게다가, 전지구 기후 네트워크(Global Historical Climatology Network)의 일 자료와 같은(Durre 등, 2008) 보다 고해상도의 시간 자료를 사용하는 기온 및 강수 극한 현상의 분석 결과도 전지구 규모(Alexander 등, 2006) 및 지역 규모(3.3.1절 및 3.3.2절) 모두에서 신뢰성이 높은 것으로 입증되었다. 그럼에도 불구하고, 앞에서 강조한 것과 같이, 많은 극한 현상에 대한 자료가 여전히 드물고 문제가 있기 때문에, 특히 전지구에서의 변화와 특정 지역에 대한 변화를 확정하는 능력은 낮아진다.

3.2.2. 변화 이면의 원인

본 장에서는 관측된 극한 현상의 변화 원인 규명을 위한 주요 요구사항, 접근법 및 고려사항이 논의된다. 3.3-3.5절에서는, 관측된 특정한 극한 변화의 원인이 평가된다. 이러한 평가 내용이 표 3-1에 전지구적 차원에서 요약된다. 기후 변동 및 변화는 기후시스템의 변동성과 외부 강제력의 변화에 의해 야기된다. 외부 강제력에는 태양 복사 및 화산활동의 변화와 같은 자연적 외부 강제력과 에어로졸 및 주로 화석 연료의 연소에 기인한 온실가스 배출, 그

이러한 문제를 방지하기 위하여 3가지 유형의 척도가 고려되었으며, 이로써 이 질문에 답을 할 수 있게 된다. 첫 번째 접근법은 하나의 요소에서 기록적인 현상의 수를 세고 그 수를 어떤 추세에 대하여 조사하는 방법이다. 하지만, 예를 들면, 극한 고온은 새로운 기록을 갱신했음에도 극한 저온이 과거만큼 빈번하게 발생하지 않고 있는 경우 무엇을 해야 하는가의 문제에 직면할 것이다. 그러한 경우에는, 기록의 수를 세는 것이 기후가 더 극한적으로 변화하고 있는지 아니면 덜 극한적으로 변화하고 있는지를 보여주는 것이 아니라, 단지 기후 평균의 이동이 있었는지의 여부만을 보여줄 수도 있다. 또한, 여러 극한(예: 일 강수와 고온)에서 기록적인 현상의 수를 어떻게 결합할 것인가의 문제도 고려할 필요가 있을 것이다. 두 번째 접근법은 주요한 극한 현상의 지표를 극한기후 지수(Climate Extremes Index: CEI)와 같은 하나의 단일 지수로 결합하는 것이다. CEI는 지역 또는 국가에서 월평균 지표 온도, 일 강수 및 가뭄의 극한 현상이 발생하는 면적의 비율을 측정한다 하지만, CEI에는 열대저기압 및 토네이도와 같이 주요한 많은 극한 현상이 빠져있기 때문에, '극한성'의 완벽한 지수로 간주될 수 없다. CEI는 복잡하거나 다중적인 극한 현상을 고려하지 않을 뿐만 아니라, 극한을 여러 부문에서의 영향과 관련시키는 다양한 기준값들도 고려하지 않는다.

이러한 딜레마를 해결하기 위한 세 번째 접근법은 흔히 극한 현상이 유해한 경제적 결과를 가져온다는 사실로부터 유래한 것이다. 따라서, 다양한 유형의 극한 현상의 발생이 경제에 미치는 영향들을 보험금 지급과 같은 하나의 공통적인 매개체로 통합하여 측정함으로써 그 매개체의 증가가 있었는지 아니면 감소가 있었는지의 여부를 결정하는 것이 가능할 수도 있다. 이러한 접근법은 경제적 결과를 야기하는 극한을 확실히 고려한다는 점에서 가치가 있을 것이다. 하지만 그러한 매개체의 추세는 취약성 및 노출 변화에 좌우될 것이며, 오직 극한기후의 변화만을 반영하는 분석을 수행하기 위하여 취약성 또는 노출에 대한 기후와 관련이 없는변화에 의해 야기된 매개체의 변화를 구분하는 것은 불가능하지는 않지만 어려울 것이다. 예를 들어, 연안의 개발은 허리케인에 대한 인구의 노출을 증가시킬 수 있다; 따라서, 허리케인 상륙으로 인한 연안 지역의 피해 증가는 대부분 노출의 변화를 반영할 것이며 허리케인 활동의 증가를 나타내는 것이 아닐 수도 있다. 더욱이, 극한기후로 인한 인명 손실이나 생태계 피해와 같은 영향을 하나의 측정 가능한 매개체와 연관시키는 것이 항상 가능하지 않을 수도 있다.

위의 매개체들 중 어느 것도 우리가 여기에 제기된 질문에 확실하게 답할 수 있기에 충분한 정도로 개발되어 있지 않다. 그러므로 질문은 특정 극한 현상의 빈도가 높아지는지 아니면 낮아지는지에 대한 것으로 한정되고, 특정한 극한 변화의 방향 및 크기를 포함하여, 그러한 질문의 답에 대한 신뢰수준은 근원적 과정들에 대한 이해 수준과 모델에서 그 모의의 신뢰성에 관련된 극한 현상의 유형과 지역 및 계절에 좌우된다.

리고 토지 이용 및 토지 피복의 변화와 같은 인위적 강제력이 있다. 평균 상태, 극한 및 변동성은 모두 기후에 관련된 측면들이며, 따라서 기후 평균에 영향을 미치는 외부 강제력은 일반적으로 극한 현상의 변화를 야기할 것이다. 이러한 이유로, 극한 변화의 원인을 직접 다루고 있는 문헌이 상당히 제한적일 때 극한 변화의 이해를 돕기 위하여 3.2.2.1절에 인간에 의한 기후 평균의 변화에 대한 간략한 개요를 제공한다.

3.2.2.1. 극한 현상에 영향을 미치는 인간에 의한 기후 평균의 변화

극한 현상의 발생은, 복합적인 인자들에서 기인하는데, 이 인자들은 광범위한 규모로 작용할 수도 있고 지역(및 국지적) 규모로 작용할 수도 있다(3.1.6절 참고). 극한에 영향을 미치는 외부 강제력과 관련된 일부 대규모의 영향으로는 복사의 변화에 의해 유도된 기온의 순증가, 대기 중 수분 함량의 증가 및 육지-해양 간 온도차의 증가가 있다. 이러한 영향은 예를 들면, 순환 패턴에 영향을 미치고 몬순에 어느 정도 영향을 미칠 수 있다. 지역 및 국지적 규모에서는, 예를 들면, 토양 수분 또는 눈과 육지-대기 간의 상호작용과 특히 관련이 있는 지역 규모의 되먹임을 비롯한 추가적인 과정이 극한 현상의 전체 변화를 바꿀 수 있다(예: 3.1.4절). 본 절에서는 극한 현상과 관련이 있는 대규모(및 일부 지역적) 기후 평균의 변화에 대한 원인(다시 말해, 외부 강제력이나 내부 기후변동성을 원인으로 규명하는 것에 관한)의 현재 이해수준을, 원인 탐지 및 규명 연구에서 고찰되었던 범위 내에서 간략하게 검토한다.

20세기 후반 관측된 연평균 지표 온도의 전지구 평균값의 상승에 관하여, 아래의 AR4 평가에 기초하여 분석을 실시한다(Hegerl 등, 2007): 관측된 전지구 평균기온의 상승은 대부분이 관측된 인위적 온실가스 농도 증가에 기인한 것일 가능성이 매우 높다. 에어로졸 및 다른 강제력에 의한 냉각의 상쇄 효과가 없었다면 아마도 온실가스 강제력만으로도 관측된 것보다 큰 온난화가 야기되었을 가능성이 높다. 지구온난화 패턴이 외부 강제력 없이 설명될 수 있는 가능성은 극히 낮으며(<5%), 지구온난화 패턴이 알려져 있는 자연적 외부 원인에만 기인한 것일 가능성은 매우 낮다. 20세기 후반에 걸쳐 인위적으로 강제된 온난화는 해양 잠열과 모든 대륙의 기온에서도 탐지되었다(Hegerl 등, 2007; Gillett 등, 2008b).

Hegerl 등(2007)은 약 500 km 정도의 소규모에서 기온 추세를 분석했다. 최근의 연구에서는 더욱 작은 공간 규모에서, 그리고 계절 평균에 대하

여, 인위적 영향이 탐지됨을 보여주는 더 많은 증거를 제공한다(Stott 등, 2010). 예를 들어, Min and Hense(2007)는 다중모델인 결합 모델 상호비교 프로젝트 3(Coupled Model Intercomparison Project 3, CMIP3) 앙상블(3.2.3.3절 참고)로부터 추정된 인위적 강제력에 대한 반응이 자연적 외부 강제력이나 내부 변동성 보다 관측된 대륙-규모의 계절 기온 변화를 더 잘 설명한다는 것을 발견하였다. 다른 연구에서는, 북아메리카 중부를 제외한 북반구 아대륙 지역의 20세기 여름철 기온에서 인위적인 시그널이 탐지되었다. 하지만 결과는 인위적 시그널과 자연적 시그널을 함께 고려했을 때 더욱 불확실해졌다(Jones 등, 2008). 미국에서 극한기후 지수의 수십 년 추세(Burkholder and Karoly, 2007), 미국 서부의 수문 순환(Barnett 등, 2008), 뉴질랜드 기온(Dean and Stott, 2009) 및 유럽 기온에서도(Christidis 등, 2011a) 인위적 시그널이 탐지되었다.

원인 규명은 관측 자료에서 하나의 외부 영향을 탐지하는 경우보다 더욱 엄격하게 진행될 것이 요구된다. 전체적으로, 대륙보다 작은 규모에서는, 주로 낮은 신호-대-잡음 비로 인해, 그리고 이 규모에서(외부 강제력이나 내부의 기후변동성에 기인한) 존재 가능한 광범위한 추진 과정들의 효과에 대한 개별적 원인 규명의 어려움으로 인해, 아직도 원인 규명이 이루어지지 않고 있다(Hegerl 등, 2007). 한 가지 이유는 보다 작은 지역에 대한 평균은 큰 지역의 평균만큼 내부 변동성을 줄이지 못하기 때문이다. 또한, 소규모에서의 상세한 외부 강제력과 모델에 의해 모의된 반응은 대규모에서의 특징보다 신뢰도가 떨어진다. 예를 들어, 일부 지역 및 계절에는 기온 변화가 모델에 의해 잘 모의되지 않는다(Dean and Stott, 2009; van Oldenborgh 등, 2009). 또한, 지역 규모에서 보다 중요할 수 있는 토지 이용 변화 및 에어로졸과 같은 추가 강제력 인자를 모의에 포함시키는 것은 여전히 어렵다(Lohmann and Feichter, 2007; Pitman 등, 2009; Rotstayn 등, 2009).

AR4 이래 유의한 진전들 중 하나는 전지구 대기 수분 함량 및 강수에 대한 인간의 영향에 대한 증거가 출현한 것이다. 클라우시우스-클라페이론(Clausius-Clapeyron) 관계에 따르면, 포화증기압은 기온에 따라 지수적으로 증가한다. 기후변화 하에서 상대습도가 거의 일정하게 유지되는 것은 물리적으로 타당하다(Hegerl 등, 2007). 이것은 현재 기후에서 기온이 1℃ 상승할 때 비습이 약 7% 상승함을 의미한다. 실제로, 관측 자료는 1973년과 2003년까지 지표면의 비습이 유의하게 증가했지만 상대습도는 그렇지 않았음을 보여주며(Willett 등, 2008), 최대 시공간 범위에서 습윤성은 포화 비습 상태의 클라우시우스-클라페이론 하의 규모와 비슷하지만(~7% K-1; Willett 등, 2010), 저위도 및 고위도의 육지에서는 상대습도가 2008년 이전의 10년 기간 동안 감소했는데, 이것은 육지보다 해양에서 온도가 더 천천히 상승하는 데 기인했을 것이다(Simmons 등, 2010). 관측 자료와 모델 모의의 비교 결과에 따르면, 1973-2003년 동안의 지표면 비습의 변화(Willett 등, 2007)와 1988-2006년의 하층 대류권 수분 함량 변화(Santer 등, 2007)의 원인을 인위적 영향으로 볼 수 있다.

대기 수분 함량의 증가는 다른 인자들이 변화하지 않을 때 극한강수의 증가를 야기할 것으로 예측될 것이다. Min 등(2011)은 북반구 육지에 대한 일 강수의 연중 최대값에서 인위적 영향을 탐지했다. 육지 강수 추세의 위도 패턴에서 인위적 강제력의 영향이 발견되었지만, 모델에 의해 모의된 변화의 크기는 관측된 것보다 작다(X. Zhang 등, 2007). 여러 모델에 의해 모의된 추세의 공간적 패턴이 완전히 같지 않기 때문에, 모델 모의에서의 변화가 더 작은 것은 여러 모델 모의로부터 얻은 강수 추세를 평균화한 데 일부 기인한 것일 수도 있다. 55° N 북쪽의 고위도 육지 지역에서 강수 변화에 대한 인위적 온실가스 및 에어로졸의 영향이 또한 탐지되었다(Min 등, 2008). 존재하는 자료가 제한적임에도 불구하고 이 지역에서 탐지가 가능한 것은 강제력에 대한 반응이 비교적 강하고 강수의 내부 변동성이 낮기 때문이다.

3.2.2.2. 어떻게 극한 현상의 변화 원인을 규명하는가

탐지와 원인 규명에 관한 실행 지침서(Hegerl 등, 2010)는 AR4에서 실무그룹 I 및 II가 사용한 탐지 및 원인 규명 용어를 똑같이 사용한다. 이 지침서에는 기후변화의 원인을 규명하기 위한 2가지 주요 접근법을 포함하고 있는 절차들에 관한 상세한 지침이 제공된다. 한 가지 절차는 단일 단계에서의 원인 규명으로, 여기에는 외부 강제력에 대한 변수 반응의 명백한 모델링에 근거하여 하나의 시스템 내에서 관측된 변화의 원인을 외부 강제력에서 찾는 평가들이 수반된다. 대안 절차는 다단계적인 원인 규명이다. 이 절차는 관심 대상 변수의 관측된 변화의 원인을 기후의 변화에서 찾는 평가와 변화의 원인을 외부 강제력에서 찾는 별도의 평가를 결합한 것이다. 극한기후 변화의 원인 규명에는 몇 가지 독특한 문제가 있다. 관측된 자료는 양과 질 모두에 있어서 제한적이며(3.2.1절), 이로 인해 과거 변화의 추정에서 불확실성이 야기된다; 신호-대-잡음 비가 많은 변수에 대하여 낮을 수도 있고 그러한 약한 신호를 탐지하기 위해 이용할 수 있는 자료가 불충분할 수도 있다. 또한 대기 대순환 모델(GCMs)은 극한을 모의함에 있어 몇 가지 문제점을 가지고 있고 상세화(downscaling) 기법은 이 문제들을 단지 부분적으로만 피할 수 있을 뿐이다(3.2.3절).

극한기후에는 원칙적으로 최적 탐지 및 원인 규명에 근거한 단일의 단계적 원인 규명(Hegerl 등, 2007)이 적용될 수 있다. 하지만, 평균값과 극한값 간의 통계적 성질의 차이가 신중하게 다루어져야 한다(Zwiers 등, 2011; 3.1.6절 참고). 경험적 방법이나 물리 기반 모델을 기후 모델로부터 얻은 결과에 적용함으로써, 모델에 의해 분명하게 모의되지 않는 관심 대상을 도출하는 기후 모델 모의의 후처리는 관측된 극한값을 기후 모델 결과와 직접 비교하는 것을 가능하게 만들 수도 있다. 예를 들면, 다중 GCM에 의해 모의된 해면 기압을 사용하여 폭풍을 나타내기 위한 지균풍을 도출하고 폭풍 및 북쪽 대양 파고의 추세에 대한 외부 영향을 탐지하기 위한 대양의 유의 파고를 도출하였다(X.L. Wang 등, 2009a). 또한, GCM-모의 강수 및 기온을 수문학 및 적설 모델에 대한 입력값으로 상세화함으로써 미국 서부에 해당하는 기온, 최대 유량 시점 및 눈 녹은 물의 과거 및 미래 변화를 추론하였다. 이것은 이러한 변수들의 인간에 의한 변화의 탐지 및 원인 규명에 대한 분석을 가능하게 했다(Barnett 등, 2008).

극한에 대한 효과 또는 극한 현상의 물리적 영향에 대하여 단일의 단계적인 원인 규명이 실현 가능하지 않은 경우에는, 다단계적인 원인 규명을 수행하는 것이 실현 가능할 수도 있다. 그 경우에는 평가가 모델 모의로부터 직접 도출되지 않은 증거, 즉 물리적 이해와 전문가 판단 또는 그 조합에 근거해야 할 것이다. 예를 들면, 고위도 북부 지역에서는 봄철 기온이 상승했고 융설이 유입되는 하천에서 봄철 최대 유량이 나타나는 시점이 더 앞당겨졌다

FAQ 3.2 | 기후변화가 개별적인 극한 현상에 영향을 미쳤는가?

기후변화가 극한기후 및 극한기상의 변화를 야기할 것으로 예측할 수 있다. 하지만, 변화가 없는 기후에서도 광범위한 극한 현상이 발생할 수 있고, 극한 현상은 통상 인자들의 조합에 의해 야기되기 때문에, 단일 극한 현상을 증가하는 온실가스와 같은 하나의 특정 원인과 결부시키기는 어렵다. 그럼에도 불구하고, 하나의 특정 기상 현상에 대하여, 그 발생 확률의 변화를 하나의 특정 원인에 기인한 것으로 봄으로써 원인을 규명하는 것이 가능할 수도 있다. 예를 들어, 인간의 영향으로 인해 2003년과 같은 유럽 여름철 폭염이 발생할 확률이 2배 이상 높아진 것으로 추정되었다.

최근 수년 간 다양한 극한 현상들이 나타났다. 유럽 일부에서는 2003년과 2010년 여름에 폭염이, 그리고 북대서양에서는 2004년과 2005년에 강한 허리케인이 나타났다. 증가된 대기 중 온실가스 농도를 그러한 극한 현상들의 '원인'으로 간주할 수 있을 것인가? 다시 말하면, 만약 CO2 농도가 산업화 이전 수준을 유지했다면 이러한 현상들이 발생하지 않았을 것이라고 말할 수 있을까? 예를 들어, 2009년 11월 동안 오스트레일리아 뉴사우스웨일즈 지역의 11월 평균기온은 1950-2008년 평균보다 약 3.5 표준편차만큼 따뜻했다. 이것은 1950-2008년 기후에서는(기후가 변하지 않는다고 가정할 때) 그러한 기온이 나타날 확률이 상당히 낮음을 시사한다. 그렇다면, 이러한 현상은 변화하는 기후를 보여주는 것인가? CRUTEM3V 전지구 지표 온도 자료에 따르면, 1900년과 1949년 사이에 관측된 월평균기온 중 약 1개월이 1950-2008년[1]의 월평균기온보다 3.5 표준편차 이상 높았다. 전지구 기온이 20세기 전반에 더 낮았기 때문에, 이것은 어떠한 특정 위치에서는 2009년 11월의 기온만큼 드문 극한의 온난 현상이 최근에 그 발생확률이 높아졌다 하더라도, 과거에도 발생했을 수 있음을 명백히 보여준다.

두 번째 복잡한 문제는 극한 현상은 통상 인자들의 조합에 의해 야기된다는 점이다. 이것은 어떤 극한을 단 하나의 요인에 의해서 발생한 것으로 간주하는 것을 어렵게 만들 것이다. 2003년 유럽의 더운 여름은 지속적인 고기압(이로 인해 하늘이 맑았고 그 결과 더 많은 태양 에너지가 지표면에 도달함) 및 매우 건조한 토양(이는 증발에 사용되는 태양 에너지가 줄어들기 때문에 더 많은 에너지가 토양을 가열하게 됨을 의미)과 관련이 있었다. 또 하나의 예는 허리케인 발생에는 매우 따뜻한 해수면 온도와 함께 약한 연직바람 시어(shear)가 필요하다는 것이다. 어떤 인자들은 증가하는 온실가스 농도와 같은 하나의 특정 원인의 영향을 받을 수 있지만 다른 인자들은 그렇지 않을 수도 있기 때문에, 단일한 특정 극한 현상에 대한 인간의 영향을 그 극한에 영향을 미치는 다른 인자들과 구별하기는 어렵다.

그럼에도 불구하고, 때때로 기후 모델을 사용하여 특정 인자들이 극한 현상의 발생 가능성을 변화시키고 있는지를 식별하는 것이 가능할 수 있다. 2003년 유럽 열파의 경우에는, AR4에서 논의된 것과 같이, 모델 실험은 인간의 영향으로 인해 유럽에서 2003년과 같은 여름이 나타날 가능성이 2배 이상으로 높아짐을 보여주었다. 그러한 확률-기반 접근법("인간의 영향이 어떤 현상의 가능성을 변화시키는가?")은 이 접근법이 온실가스 증가와 같은 외부 인자들이 열파나 저온 극한과 같은 특수한 유형의 현상의 빈도에 미치는 영향을 추정함에 있어 사용가능하다는 데 가치가 있다. 동일한 가능성-기반 접근법이 인위적 온실가스가 홍수 발생 확률에 미치는 영향을 조사하기 위하여 사용되었다.

위의 논의는 어떤 극한 현상(예: 열파)의 개별적이며 특정한 발생과 관련이 있다. 위에 개략된 이유들로 인해, (물리적 추론이나 모델 실험이 그러한 극한 현상이 변화된 기후에서 발생할 가능성이 더 높을 수도 있음을 시사한다 하더라도) 어떠한 개별 현상을 온난화를 야기하는 온실가스에 기인한 것으로 보기는 여전히 매우 어렵다. 한편, 어떤 극한 현상의 장기 추세(예: 열파 발생)는 또 다른 문제이다. 어떤 추세의 가능성 있는 원인을 결정하기 위하여 지구온난화 추세를 평가할 수 있는 것과 마찬가지로, 어떤 추세가 기후에 대한 인위적 영향으로부터 야기되었을 가능성이 높은지의 여부를 조사하는 것은 확실히 실현 가능하다.

1 CRUTEM3V 지표 온도 자료를 사용했다. 장기의 관측자료가 있는 격자 점들에 한하여 계산을 수행하였다. 계산에는 1950-2008년 동안 달력상의 1개월 및 하나의 격자 점에서 최소한 50개의 결측이 없는 값이 요구된다. 1950-2008년 기간에 대하여 표준 편차를 계산한다. 그 다음 1900-1949년 동안 1950-2008년 평균 대비 3.5 표준편차 이상 높은 기온이 나타난 횟수를 세고 그 횟수를 그 기간의 격자 및 월에 대한 관측자료의 총수와 비교한다. 이 두 수의 비는 0.00107이다.

(Regonda 등, 2005; Knowles 등, 2006). 하천 유량 변화의 원인을 봄철 기온 상승으로 볼 수 있다면, 그리고 봄철 기온 상승의 원인을 외부 강제력으로 볼 수 있다면, 하천 유량 변화의 원인을 외부 영향으로 볼 수도 있다(하지만 이들 변화가 반드시 홍수의 변화와 관련이 있지 않을 수도 있다; 3.5.2절). 연쇄적인 과정이 확립된다 할지라도(예를 들어, 이 경우에는 연쇄 과정이 봄철 기온이 상승함에 따라 눈이 더 일찍 녹기 시작한다는 물리적 이해에 의해 추가로 뒷받침된다), 전체 평가에 대한 신뢰수준은 아래에서 두 단계 정도의 신뢰수준과 비슷하거나 더 낮을 것이다. 열대저기압과 해수면 온도를 연계시

키는 메커니즘과 같은(3.4.4절 참고), 근원적인 물리적 메커니즘이 덜 확실한 경우에는, 다단계적인 원인 규명에 대한 신뢰수준이 심각한 정도로 낮아질 수 있다. 다단계적인 원인 규명의 필수 조건은 특정한 극한 현상의 원인이 되는 연쇄적인 메커니즘을 확립하는 것이다. 물리적 이해를 돕는 물리-기반 과정 연구와 민감도 실험(Findell and Delworth, 2005; Seneviratne 등, 2006a; Haarsma 등, 2009)이 그러한 다단계적인 원인 규명을 진행함에 있어 어떤 역할을 할 가능성이 있다. 극한 현상은 드물며, 이것은 또한 그 빈도나 강도의 변화를 평가하는 데 이용할 수 있는 자료가 거의 없음을 의미한다(3.2.1절). 드물지만 영향이 큰 기상학적 극한 현상이 발생할 때, 흔히 제기되는 질문은 그러한 현상이 인위적 영향에 기인한 것인가의 여부이다. 변화하지 않는 기후에서 낮은 확률의 현상 발생을 배제하기는 매우 어렵기 때문에, 그리고 그러한 현상의 발생에는 통상적으로 다수의 인자들이 관여하기 때문에, 하나의 개별 현상의 원인을 외부 강제력으로 보기는 매우 어렵다(Allen, 2003; Hegerl 등, 2007; Dole 등, 2011; FAQ 3.2 참조). 하지만, 이 경우에는, 그러한 현상의 발생 가능성에 외부 강제력이 미치는 영향을 추정하는 것이 가능할 수도 있다(Stott 등, 2004; Pall 등, 2011; Zwiers 등, 2011).

3.2.3. 전망된 장기 변화의 불확실성

본 절에서는 극한 현상의 전망과 관련된 불확실성을 중심으로 기후변화를 전망하는 데 사용되는 요건 및 방법에 대하여 논의할 것이다. 논의는 AR4(Christensen 등, 2007; Meehl 등, 2007b; Randall 등, 2007)에 근거한다. 위험 및 재해 관리 차원에서 극한 현상의 전망과 관련이 있는 몇 가지 추가 문제도 논의에 고려된다. 특정한 극한 현상의 전망에 대한 보다 상세한 평가가 3.3-3.5절에서 제공되고 이 평가는 표 3-1에 요약된다. 극한기온, 호우 및 건조에 관하여 전망되는 지역적 변화의 개요가 표 3-3에 제공된다(196-202 페이지 참고).

3.2.3.1. 기후변화 전망에 대한 정보의 원천

지역 전망을 포함한 기후변화 전망과 극한 현상의 해석, 평가 및 의견교환에 관한 업무는 다음 네 가지 원천에 의존한다: (1) GCM; (2) GCM 모의의 상세화; (3) 지역 규모에서의 대응을 관리하는 과정에 대한 물리적 이해; 및 (4) 최근의 기후변화(Christensen 등, 2007; Knutti 등, 2010b). AR4 당시에는, GCM이 극한을 비롯하여 가능성 있는 미래 기후의 범위에 대하여 세계적으로 이용 가능한 지역 정보의 주원천이었다(Christensen 등, 2007). 표 3-3에 나타나 있듯이 아직도 다수의 지역이 여기에 해당한다.

AR4는 현재 기후, 특히 기온에 대한 극한 현상의 통계량이 전지구 범위에서 현재 GCM에 의해 대체로 잘 모의된다고 결론을 내렸다(Randall 등, 2007). 하지만, 극한강수는 기온만큼 잘 모의되지 않는다(Randall 등, 2007; Box 3-2). GCM은 계속 개발 중이고 공간 해상도와 복잡성도 계속 개선되고 있기 때문에, GCM은 극한기상 현상의 변화를 비롯한 보다 소규모 특징을 분석함에 있어 점점 더 유용하게 사용될 수 있다. 하지만, 극한기후 및 기상을 전망하고자 할 때, 잠재적으로 관련이 있는 모든 대기 현상을 사실적으로 또는 명쾌하게 모의할 수 있는 것은 아니다. GCM은 기후 모델에서 충분히 해석될 수 없는(예: 구름 관련) 과정들에 대한 모수화, 즉 많은 근사값들을 포함하고 있다. 더욱이,(특정 극한에 대하여 3.3-3.5절에 요약된) 극한에 관한 기후 모델 성능의 평가는, 특히 지역 규모에서, 극한 현상의 드문 빈도로 인해 여전히 제한적이다. 그 결과 극한기후에 대한 모델 성능 평가는 기후 평균에 관한 모델의 성능 평가보다 신뢰성이 낮다. 평가는 극한, 특히 기온 및 강수 이외의 요소에 대한 극한과 특정 지역에 대한 극한 현상의 과거 빈도 및 심각성에 대한 불완전한 자료로 인해 더욱 제한된다(3.2.1절; 표 3-2).

극한 현상의 전망에 대한 요구는 지역화 또는 상세화 기법을 개발하려는 동기들 중 하나를 제공했다(Carter 등, 2007). 이 기법들은, GCM으로 가능한 것보다 더 우수한 공간 해상도로 기상 및 기후를 모의하기 위한, 지역 및 국지적 규모에서의 기후변화의 연구를 위해 특별히 개발된 것이었다 – 이것은 그 공간적 규모를 고려할 때 많은 극한 현상에 특히 적절한 것이었다. 그럼에도 불구하고, 이 기법들은 GCM으로부터 얻어지는 대규모 정보의 신뢰성으로 인해 제약을 받는다. 극한에 대한 상세화에서 최근의 진전이 아래 논의된다.

용어집에 따르면, 상세화(downscaling)는 "대규모 모델 또는 자료 분석으로부터 국지적에서 지역 규모(100km까지)까지의 정보를 얻는 방법이다". 상세화 기법의 핵심은 역학적 상세화와 경험적/통계적 상세화 두 가지로 구성된다(Christensen 등, 2007). 역학적 방법은 지역 기후 모델(RCM), 가변 공간 해상도를 가진 전지구 모델 또는 고해상도 전지구 모델의 결과를 사용한다. 경험적/통계적 방법은 대규모 대기 변수를 국지적/지역 기후 요소와 연결하는 통계적 관계를 구축한다. 모든 경우에서, 상세화된 결과의 품질은 유도하는 모델의 품질에 좌우된다. 역학적 및 통계적 상세화 기법이 이후 간략하게 소개된다. 전망의 평가에서 고려될 필요가 있는 특정 한계들 역시 3.2.3.2절에서 논의된다.

가장 흔히 사용되는 역학적 상세화 기법에서는 고해상도 RCM을 사용하여 현재 20-50km 규모로, 하지만 어떤 경우에는 10-15km까지 상세화된 규모로 지역의 하위 영역들을 모의하고 관측된(재분석) GCM 자료 또는 보다 낮은 해상도의 GCM 자료를 사용하여 그 경계조건을 제공한다. 비-정역학적 중규모 모델을 사용하면, 더 짧은 기간(전형적으로 수 개월, 최대 수 년)에 대하여 1-5km 해상도로 적용하는 것도 가능하다. 이것은 구름과 대류가 분명하게 분해될 수 있고 일변화가 더 잘 분해되는 경향이 있는 규모이다(Grell 등, 2000; Hay 등, 2006; Hohenegger 등, 2008; Kanada 등, 2010b). 그보다 덜 빈번하게 사용되는 역학적 상세화 기법으로 확장된 격자(가변 해상도) 모델과 고해상도 모델을 이용한 timeslice 적분 방법이 있다(Cubasch 등, 1995; Gibelin and Deque, 2003; Coppola and Giorgi, 2005). 후자는 전지구적으로 20km 해상도의 몇 가지 모의를 포함하고 있다(Kamiguchi 등, 2006; Kitoh 등, 2009; Kim 등, 2010). 역학적 상세화의 주요 장점은 중규모에서의 비선형적 효과를 포착하고, 아직 요구되는 정도로 높지는 않지만 비교적 높은 공간 해상도로 많은 기후 요소에 대한 정보를 제공할 수 있는 잠재력이다. 역학적 상세화는 점(즉, 기상관측소) 규모에서의 정보를 제공할 수 없다(이 규모에서는 RCM 및 GCM 모수화가 기능을 하지 못할 것이다). GCM과 마찬가지로, RCM도 하나의 격자 내에서 평균한 강수를 제공하는데, 결과는 점 값들과 비교했을 때 미우(light precipitation) 발생일의 증가 추세(Frei 등, 2003; Barring 등, 2006) 와 극한 현상 규모의 감소 추세(Chen and Knutson, 2008; Haylock 등, 2008)를 보여준다. 강수 및 다른 극한값을 모의하는 RCM 및 GCM 능력을 평가할 때에는 이러한

규모화의 문제가 고려되어야 한다.

통계적 상세화 기법은 대규모 순환장 변수(예측 인자)와 관측된 자료로부터 얻어진 지역 규모에서의 지표 변수(예측 변수) 간의 관계를 사용하고 이 관계를 기후 모델에 의해 모의된 동등한 대규모 순환장에 적용한다(Christensen 등, 2007). 이 방법에는 극한 현상의 변화를 평가하는 데 사용될 수 있는, 최근에 개발된 많은 사용자 도구의 기초를 이루는 날씨 발생기(weather generator)가 또한 포함될 수도 있다(Kilsby 등, 2007; Burton 등, 2008; Qian 등, 2008; Semenov, 2008). 통계적 상세화는 유럽(Schmidli 등, 2007), 아프리카(Hewitson and Crane, 2006), 오스트레일리아(Timbal 등, 2008, 2009), 남아메리카(D'Onofrio 등, 2010) 및 북아메리카(Vrac 등, 2007; Dibike 등, 2008)를 비롯한 많은 지역에서 가능성이 있는 것으로 입증되었다. 통계적 상세화 기법은 역학적 방법보다 더 자세한 공간 규모를 평가할 수 있으며 RCM으로부터 직접 얻어질 수 없는 모수에 적용 가능하다. 예를 들면, 먼저 일 시계열을 만들 필요 없이 직접 극한 현상의 계절 지수를 모의하거나(Haylock 등, 2006a) 극한 현상의 분포 함수를 모의할 수 있다(Benestad, 2007). 하지만, 통계적 상세화 기법은 모델이 잘 구축되고 검증될 수 있도록 하기에 충분히 긴 기간 동안 원하는 규모(예를 들면, 점 또는 관측소 규모)에서의 관측 자료를 필요로 하며, 어떤 방법에서는 다수의 기후 요소 및/또는 다수의 관측소 사이에서 일관성이 부족할 수도 있다. 유사성 접근법에 기초한 방법들 중 전부는 아니지만 일부가 가지고 있는 한 가지 단점은 그 방법이 이전에 관측된 적이 있는 것보다 크기가 큰 극한 현상을 만들어 낼 수 없다는 것이다(Timbal 등, 2009). 더욱이, 통계적 상세화는 예측 인자와 예측 변수 간의 관계에서 미래 과정에 기반한 변화의 가능성을 고려하지 않는다(3.2.3.2절 참고). 극한에 초점을 맞춘 역학적 상세화 기법과 통계적 상세화 기법의 체계적인 비교는 거의 수행된 적이 없다(Fowler 등, 2007b). 극한의 예측에 초점을 맞춘 두 가지 비교 사례는 각각 미국(Haylock 등, 2006a)과 알프스산맥(Schmidli 등, 2007)에 대한 것이 있다, 통계적 방법과 역학적 방법이 결합된 몇 가지 복합형 상세화 기법도 있다. 이에 대한 사례로는 프랑스 남부 호우 현상을 상세화하는 데 사용된 2 단계 접근법이 있다(Beaulant 등, 2011). 개념상 비슷한 다단적(cascading) 기법이 열대저기압을 상세화하는 데 사용된 바 있다(Bender 등, 2010; 3.4.4절 참고).

시간 해상도와 관련하여, GCM과 RCM은 일 규모 미만의 시간 단계로 수행되지만, 6시간 또는 그보다 짧은 시간 해상도의 모델 결과는 도시의 배수와 같은 일부 분야에는 적용할 수 있지만 일 규모의 결과물보다 널리 이용되지 않는다. 연구가 제한적으로만 수행된 경우에는, 사용된 전형적인 공간 해상도(즉, 비-구름/대류-분해 규모)에서는 RCM이 일 규모 미만의 강수와 대류의 일 변화를 적절히 모의하지 못한다는 증거가 있다(Gutowski 등, 2003; Brockhaus 등, 2008; Lenderink and Van Meijgaard, 2008). 일 규모 미만의 통계적 상세화 기법의 개발은 교정 및 검증을 위해 사용될 장기간의 관측 자료의 이용 가능성 여부에 달려있다. 이 기법은 현재 기후변화 분석에 널리 이용되지 않지만, 일부 날씨 발생기는 시간 단위의 정보를 제공하기도 한다(Maraun 등, 2010).

본 장에서 대규모 지역보다 작은 공간 규모에서 극한 현상의 변화 전망에 대한 평가 결과를 제공하는 것은 불가능하다(표 3-3). 이러한 대규모에 걸친 전망은 국가 또는 국지적 전망에 대한 보다 넓은 배경을 제공하고, 국가 또는 국지적 규모에서의 전망이 존재하지 않는 경우에는, 예측되는 변화의 최초 징후와 그와 관련된 불확실성, 그리고 이용 가능한 증거를 제공한다. 일부 국가, 예를 들면, 유럽, 북아메리카, 오스트레일리아와 일부 기타 지역에서는(일반적으로 역학적 및/또는 통계적 상세화에 근거한) 국가 또는 국가보다 작은 규모에서의 전망이 개발되어 있고, 사용자 및 의사결정자를 지원하기 위한 다양한 고해상도 전망 및 도구는 각 국가의 기상 및 수문 담당 기관과 학술 기관에서 이용할 수 있다.

3.2.3.2. 기후변화 전망에 대한 불확실성의 원천

기후변화 전망에 대한 불확실성은 전망에 필요한 다음 각 단계에서 발생한다: (사회경제적 발전으로부터 도출되고 다수의 배출 시나리오의 사용을 통해 모의된) 온실가스 및 에어로졸 전조물질 배출, 복사 활성종(radiatively active species) 농도, 복사 강제력 및 상세화를 포함한 기후 반응성. 또한, 지구시스템 과정에 대해 모델을 통한 모의에서의 오류와 내부 기후변동성으로 인해 기후변화의 실제 '시그널(signal)' 추정에서 불확실성이 유발된다.

3.2.3.1절에 언급된 것과 같이, GCM 및 RCM의 결점 대부분은 소규모에서의 중요한 다수의 과정들(예: 구름, 대류, 지표 과정)이 명쾌하게 모의되지 않는다는 사실에 기인한 것이다(Randall 등, 2007). 어떠한 과정(되먹임을 수반하는 과정(3.1.4절), 특히 극한기후와 이에 대한 영향이 해당)은 여전히 잘 모의되지 않거나 이해되지 않고 있지만(예: 지표-대기 상호작용, 해양-대기 상호작용, 성층권에서의 과정, 역학적 블로킹(blocking)), 다른 과정의 모의에서는 약간의 개선이 있었다(Box 3-2 및 아래 참고). 따라서, 컴퓨터의 계산 능력과 어떤 물리적 과정의 과학적 이해에 있어서의 한계가 전지구 및 지역 기후 모델의 개선을 현재 제약하고 있다. 또한, GCM의 구조 또는 모수 오차에 기인한 불확실성은 전지구 모델 모의로부터 입력자료로서 RCM에, 그리고 결과적으로 상세화된 정보에 직접 전달된다.

이러한 문제들은 전망되는 기후변화의 일부 양상의 규모 및 시기와 지역적 세부사항에 대한 정량적인 평가를 제한한다. 예를 들어, 약 20km 수평 해상도를 갖는 대기 모델조차도 가장 강한 허리케인의 높은 풍속과 저기압 중심을 모의하게 충분한 정도로 대기 과정을 세밀하게 분해하지 못한다(Knutson 등, 2010). 그러한 강한 허리케인 내부의 눈 주변 구름벽과 같은 세부사항을 실제로 포착하기 위해서는 1km 수평 해상도의 모델이 필요할 것이다. 하지만 이것은 현재 GCM과 대부분의 현재 RCM의 능력을(그리고 심지어 전지구 수치 기상 예측 모델의 능력도) 훨씬 벗어나는 것이다. 또한, 극한은 GCM과 심지어 현재 RCM으로도 분해될 수 없는, 하층 제트류 및 그에 결합된 호우와 같은 중규모 순환의 영향을 받을 수도 있다(Anderson 등, 2003; Menendez 등, 2010). 소규모 과정에 관한 또 다른 문제는 관련된 관측자료의 부족인데(3.2.1절), 토양 수분과 식생 모수가 이 경우에 해당한다(예: 토양 종류 및 관련된 특징을 나타낸 지도, Seneviratne 등, 2006b; Anders and Rockel, 2009 참고).

극한 강수와 같은 극한 현상이 시□공간적으로 소규모에서 다수 발생하기 때문에, 미래 기후에 대한 모의 기술이 현재 제한되거나 국지적 조건이 매우 가변적인 경우에는, 미래 변화가 항상 높은 신뢰수준으로 전망될 수 있는 것

은 아니다(Easterling 등, 2008). 극한 변화에 대한 전망의 확실성은 극한 현상의 유형, 계절 및 지역에 따라 달라진다(Box 3-2). 극한 변화에 대한 전망의 신뢰수준과 확실성은, 유럽중부에서 강한 현상으로 나타나는 여름철 강수 비율의 증가에 대한 전망의 경우에서 비습의 증가와 같이, 모델에서 극한을 만들어내는 물리적 메커니즘이 신뢰할 수 있는 것으로 간주될 때 증가한다(Kendon 등, 2010). 모델이 극한 현상의 장기적 추세와 함께 기후 요소의 평균뿐만 아니라 전체의 분포도 포착하는 능력은 미래 전지구의 온난화와 관련된 과정들 중 일부가 포착될 수도 있을 것임을 의미한다(Alexander and Arblaster, 2009; van Oldenborgh 등, 2009). 그럼에도 불구하고, 관측 결과와 모의 간의 물리적 일치성은 신뢰할 수 있는 전망에 필요한 증거를 제공하지만 그 양이 충분하지는 않다(Gutowski 등, 2008a).

상세화로 보다 많은 공간적 세부사항을 얻을 수 있지만(3.2.3.1절), 이 단계에서 부가된 가치와 전망의 신뢰성이 항상 평가되어야 한다(Benestad 등, 2007; Laprise 등, 2008). 상세화 방법들의 잠재적 한계와 불확실성의 원천은 통계 모델의 보정과 역학적 모델에 사용된 모수가(물리적 과정들에 대한 이해와 더불어) 반드시 현재(및 과거) 기후에 기초해야 한다는 것이다. 따라서, 상세화 방법이 지역(또는 전지구) 기후의 미래 변화에 의해 야기되는, 즉 그 방법이 설계된 범위를 벗어나서 사용되는 경우에는, 극한 현상의 변화를 포착하지 못할 수도 있다(Christensen 등, 2007). 토지 이용/토지 피복 및 에어로졸 강제력의 공간적 비동질성 역시 지역적 불확실성을 증가시킨다. 이것은 극한 전망에서 불확실성을 야기하는 인자들이 지역에 따라 상당히 달라질 수 있음을 의미한다. RCM 전망에서 불확실성을 야기하는 몇 가지 특수한 문제로는 특히 편의(bias)와 기후변화 시그널의 측면(de Elía 등, 2008; Laprise 등, 2008; Kjellström and Lind, 2009; Déqué 등, 2011)과 적분 지역의 선택(Wang 등, 2004; Laprise 등, 2008)에서 구동하는 GCM과의 상호작용이다. 통계적 상세화의 경우에는, 특히 예측 인자의 정의 및 선택(Benestad, 2001; Hewitson and Crane, 2006; Timbal 등, 2008)과 정상(stationarity)의 기본 가정(Raje and Mujumdar, 2010)에 의해 불확실성이 야기된다. 일반적으로, 두 가지 상세화 기법 모두 발전하고 있고 더 광범위하게 적용되고 있지만 지리적 범위에 관해서는 여전히 제약이 따른다(Maraun 등, 2010). 세계 많은 지역에서, 상세화된 자료가 전혀 존재하지 않거나 지역 전망이 오직 GCM들로부터 얻어진 정보에만 의존한다(표 3-3 참고).

사용자 중심의 적용에 있어서 영향 모델이 전망에 대한 추가 단계로서 포함되어야 한다(예: 수문 모델 또는 생태계 모델) 앞서 언급된 규모의 불일치성과 전반적인 편의로 인해, 어떤 영향 모델에 입력하기에 앞서 RCM 자료의 편의를 수정할 필요가 있다(다시 말해, 현재 모의의 통계적 성질을 관측자료와 일치하도록 만들고 이 정보를 사용하여 전망을 보정할 필요가 있다). 분위사상법(quantile mapping)과 감마(gamma) 변환을 비롯한 많은 편의 수정 방법들이 최근 개발되었는데, 이 방법들은 일극한강수에 대하여 긍정적 가능성을 보인다(Piani 등, 2010; Themeßl 등, 2011).

3.2.3.3. 불확실성을 탐구하고 정량화하는 방법

관측자료와 재분석, 과정에 대한 이해, 기후 모델 체계, 앙상블 모의를 결합해 사용함으로써 불확실성을 어느 정도까지 탐구하고 정량화할 수 있다. 모델 모의의 앙상블은 주어진 강제력에 대하여 나타날 수 있는 기후 반응의 범위를 연구하기 위한 기초 자료에 해당한다(Meehl 등, 2007b; Randall 등, 2007). 그러한 앙상블은 (i) 구조적 모델 차이의 영향을 포함시키기 위하여 여러 모델링 센터의 다양한 모델로부터 얻은 결과를 수집함으로써(다중모델 앙상블); (ii) 내부 기후변동성에 기인한 불확실성을 특성화하기 위하여 여러 초기 조건에 관하여 모의 결과를 생성함으로써(모델 내 앙상블); 또는 (iii) 가능한 범위 내에서 다중의 내부 모델 모수들을 변화시킴으로써(섭동 및 확률적인 물리적 앙상블) 만들어낼 수 있다. 여기서, (ii)와 (iii)은 단일 모델의 불확실성을 보다 체계적으로 추정하는 것을 목표로 한다(Knutti 등, 2010b).

AR4에 이용된 많은 전지구 모델이 앙상블로 통합되었으며, 그 결과 하나의 모델이 단일의 전망을 얻기 위해서 통합되는 경우에 얻을 수 있는 결과보다 신뢰성있는 통계적 분석이 가능해졌다. 따라서, CMIP3 다중모델 앙상블(MME) GCM 모의들은 모델 간 및 모델 내 변동성을 모두 반영한다. AR4에 앞서, 기후변화에 대하여 국제 공동으로 실험들이 수행되었으며, 그 결과 전 세계에서 23개 모델 정보가 제공되었다(Meehl 등, 2007a). 기후모델 진단 및 상호비교 프로그램(Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison)에서 CMIP3 모의 결과들을 이용할 수 있게 되었다(www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/aboutjpcc.php). 하지만, 단 4개 모델만이 3개 보다 큰 앙상블 멤버에 대해 일 평균 결과를 제공했고 많은 모델이 포함되지 않았기 때문에, 대부분의 극한 현상을 분석하는 데 필요한 더 상세한 시간 해상도(즉, 일 단위) 자료는 상당히 불완전했다. GCM을 실행하는 것은 비용이 많이 들기 때문에 모델 수, 모의 횟수, 모델 복잡성 간의 절충이 필요하다(Knutti, 2010).

정준 통계량의 정의인 임의성 그 자체에 기인한 불확실성 외에도, 모델 전망들 간의 불충분한 일치성에 기인한 불확실성, 불충분한 증거(모델 전망을 제약하는 불충분한 관측 자료 또는 여러 모델에 의한 불충분한 모의 횟수 또는 물리적 과정에 대한 불충분한 이해)에 기인한 불확실성, 전망의 분석결과에 대한 불충분한 문헌으로 인해 야기된 불확실성을 구별하는 것이 중요하다. 예를 들어, 모델들이 전망된 변화에 대하여 일치하는 결과를 도출해 낼 수 있지만, 이 변화가 현재 기후에서 잘 이해되지 않고 검증되지 않은 과정에 의해 제어된다면, 모델의 일치 수준이 아무리 우수하다 하더라도, 전망에는 고유한 불확실성이 존재한다. 이와 비슷하게, 이용 가능한 모델 전망들이 주어진 변화에 대하여 일치할 수도 있지만, 이용 가능한 모의의 갯수로 인해(예를 들면, 분석들이 모든 모델링 그룹들로부터 사용 가능하지 않을 지 모르는 일 자료에 근거해야 하기 때문에) 추론된 일치성의 신뢰성이 제약될 수도 있다. 이 보고서에서는 전망되는 극한 변화의 신뢰수준과 발생 가능성을 평가함에 있어 이 문제들이 모두 고려되었다(3.1.5절 참고).

AR4에서는 CMIP3 MME의 불확실성 분석에서 기본적으로 계절 평균과 모델 간 표준편차값을 집중적으로 다루었다(Christensen 등, 2007; Meehl 등, 2007b; Randall 등, 2007). 또한, AR4에서는 특정 기후변화의 부호(예: 극한 빈도 변화의 부호)에 있어서 일치를 보이는 모델 수를 – 일치를 보이는 모델의 수가 많으면 많을수록 강건성이 커진다고 가정하여 – 단순 정량화함으로써 신뢰수준을 평가했다. 하지만, 모델의 일치 수준에 대한 이러한 정의는 일치 수준이 모델 간에 존재할 수 있는 공통적인 편의을 고려하지 않는다는 결점을 가지고 있다. 실제로, 앙상블은 엄밀히 말해 추출하는 기준이

Box 3-2 | 기후변화 전망에 대한 신뢰수준의 변동: 평균 대 극한, 요소, 규모

관측된 기후와 모의된 기후를 비교한 결과, 특히 큰 수평 규모에서, 평균기온과 같은 일부 기후 요소에 대한 일치성이 우수한 것으로 나타났다. 예를 들어, AR4(Hegerl 등, 2007)의 그림 9.12에는 20세기 동안 평균기온의 시간적 변동을 모의하는 14개 기후 모델의 능력이 비교되어 있다. 자연적 강제력과 인위적 강제력이 모델에 모두 반영되었을 때, 모델은 전지구 평균기온의 10년 변동을 일관되게 재현했다. 인위적인 영향이 없는 경우, 모델은 수십 년 기온 변동을 재현하는 데 실패했다. 하지만, 동일 모델에 대하여 그 모델이 보다 작은 영역에 대하여 시간적 변동을 모의하는 능력을 평가했을 때에는, 앙상블에 의해 산출된 평균기온이 관측된 기온 변화를 따른다고 할 지라도 모델들 간에서의 일관성이 전지구 평균의 경우에서보다 부족했다(그림 9.12; Hegerl 등, 2007). 이것은 부분적으로는 전지구 규모에서의 평균화가 더 작은 범위에서의 평균보다 내부 변동성이나 '잡음'을 더 평활하게 만들기 때문이다(3.2.2.1절 참고). 모의 또는 전망의 대상이 되는 공간 범위가 작아지면 작아질수록 이들 수준에 대하여 우리가 갖게 되는 신뢰수준은 낮아진다는 결론을 내릴 수 있다(하지만, 한정된 일부 경우에서는, 대규모 전망보다 지역 규모 전망이 더 신뢰성이 높을 수 있다; 3.1.6절).

더 작은 규모에서의 이러한 불확실성의 증가는 더 작은 규모에서 더 큰 내부 변동성 또는 '잡음' (즉, 외부 강제력과 무관한 자연적 변동성)과 증가된 모델 불확실성에 기인한다. 이 두 가지 원인 모두 이 규모에서 모델의 일관성을 저하시킨다(Hawkins and Sutton, 2009). 모델 불확실성의 증가는 분해되지 않는 과정들(구름, 대류, 지표 과정의 모의; 3.2.3절 참고)의 역할에 주로 기인한다. Hawkins and Sutton(2009) 역시 이러한 측면에서 지역적 변동에 주목한다: 열대에서는, 모델의 불확실성 및 자연적 변동성과 관련하여 인위적 인자들로부터 예측되는 기온 시그널이 고위도와 비교할 때 크다. AR4(Hegerl 등, 2007)의 그림 9.12도 기온 추세의 규모는 고위도에서 더 크다 하더라도 모델들이 십년 기온 변동을 재현함에 있어서는 고위도보다 열대에서 더 일관성이 나타남을 보여준다.

전망의 불확실성은 고려되는 요소, 현상 또는 영향에도 좌우된다. 기온 이외의 요소, 예를 들면, 강수에 대해서는 더 많은 모델 불확실성이 존재한다(Raisanen, 2007; Hawkins and Sutton, 2011; 3.2.3절 참조). 그리고 극한 현상의 경우에는 상황이 더 어려워진다. 예를 들어, 기후 모델은 관측된 극한기온의 변화를 비교적 잘 모의하지만, 호우의 변화에서 관측된 것과 같이(Alexander and Arblaster, 2009) 호우의 빈도, 분포 및 강도는 잘 모의하지 못한다(Randall 등, 2007). 또한, 극한기온의 변화 전망은(습윤 및 건조) 극한강수에 대해서보다 기후 모델에서(부호에 관하여) 더 일관된 경향이 있다(Tebaldi 등, 2006; Orlowsky and Seneviratne, 2011; 그림 3-3에서 3-7 및 3-10 참고). 또한, 농업적(토양 수분) 가뭄의 전망에 대해서는 유의한 비일관성이 나타난다(Wang, 2005; Box 3-3; 그림 3-10 참고). 열대저기압과 같은 일부 다른 극한 현상의 경우에는, 모델들 간에 지역 규모 기후변화 전망의 차이가 존재하기 때문에 인위적 기후변화에 관하여 전망되는 열대저기압의 활동에 있어서 현저한 차이를 보일 수 있으며(Knutson 등, 2010), 그 결과 극한 현상의 변화 전망에 대한 신뢰수준이 낮아지게 된다.

전망에서 불확실성에 대한 여러 원인들의 상대적 중요성은 미래 초기 기간과 미래 후기 기간에서 다소 차이가 있다. 일부 요소(평균기온, 극한기온)의 경우에는, 배출 시나리오의 선택이 21세기 후반 동안 모델 불확실성보다 중요해지지만(Tebaldi 등, 2006; Hawkins and Sutton, 2009, 2011), 평균 강수와 일부 강수 관련 극한 현상의 경우에는 이 설명이 적용되지 않는다(Tebaldi 등, 2006; Hawkins and Sutton, 2009, 2011). 이 측면이 특별히 광범위한 극한에 대하여 상세하게 평가된 적은 없다. 사용자들은 특별한 위험 또는 영향 평가를 고려하기에 적절한 불확실성의 범위를 결정함에 있어 그러한 문제들을 알고 있어야 한다.

요약하면, 기후변화 전망의 신뢰수준은 고려되는(시공간) 규모와 요소, 그리고 극한을 고려하는지 아니면 양의 평균을 고려하는지에 좌우된다. 신뢰수준은 기온, 특히 전지구 규모에서의 기온에 대하여 가장 높고, 다른 요소들이 고려될 때, 그리고 더 작은 공간 영역에 초점을 맞출 때 감소한다(표 3-1 및 3-3). 극한값에 대한 전망의 신뢰수준은 장기 평균의 전망에 대한 신뢰수준보다 대체로 약하다.

없는 '기회의 앙상블'이었고, 여러 모델에서 존재할 수 있는(예를 들면, 공유된 모수화에 기인한) 상호 의존성은 평가되지 않았다(Knutti 등, 2010a). 더욱이, 이 특별한 척도는 단지 부호에 대한 일치만을 평가하기 때문에 예를 들면, 전망되는 변화가 거의 0에 가까운 경우에는 잘못된 결론을 이끌어 낼 수 있다. 이러한 이유로, 극한 지수 변화 전망에 대한 평가에서, 모델의 일치 수준을 가능성 설명에 대한 충분 조건이 아닌 필수 조건으로서 간주한다 [예를 들어, 여러 그림(그림 3-3, 3-4, 3-6, 3-8 및 3-10)에서 색칠된 부분에 대하여 제시된 모델 간의 66% 일치 수준은 '가능성이 높은' 것으로 간주되고 있는 변화에 대한 충분 조건이 아니라 최소 조건이다] .

AR4 이후의 연구들은 극한 현상의 불확실성을 포함하여, 기후변화 전망의

불확실성을 더 잘 특성화하기 위하여 MME 의 사용에 더 많이 집중해왔다(Kharin 등, 2007; Gutowski 등, 2008a; Perkins 등, 2009). 전체 앙상블 정보를 탐색하기 위한 새로운 기법들이 개발되고 있으며, 어떤 경우에는 확률 분포를 구축하기 위하여 관측 제한값을 사용하기도 한다(Tebaldi and Knutti, 2007; Tebaldi and Sanso, 2009). 하지만 모델들에 가중치를 부여하기 위한 적절한 척도를 결정하는 것과 같은 어려운 문제들이 있다(Knutti 등, 2010a). 또한 섭동 물리 앙상블도 이용 가능해졌다(Collins 등, 2006; Murphy 등, 2007). 섭동 물리 앙상블은 전망되는 극한 변화와 그 불확실성을 분석하는 데 사용되고 있다(Barnett 등, 2006; Clark 등, 2006, 2010; Burke and Brown, 2008). GCM 모의들로부터 지역 규모의 확률적 정보를 개발함에 있어 진전이 있었다. 하지만 이것을 확률적으로 상세화된 지역 정보와 극한으로 확장함에 있어서는 아직 진전이 덜 이루어졌다(Fowler 등, 2007a; Fowler and Ekstrom, 2009). 현재까지 지역 전망에서 연쇄적 불확실성의 영향을 정량화하기 위한 가장 광범위한 기법은 최근의 영국 기후 전망을 얻는 데 사용된 기법일 것이다(UKCP09; Murphy 등, 2009). 이 기법에서는 복잡한 베이지안 체계를 사용하여 대기 및 대양 과정들에서의 불확실성과 구조적 불확실성을 가지고 있는 탄소 및 황 순환에서의 불확실성을 탐색하는 섭동 물리 앙상블(12개 CMIP3 모델)과 11개 RCM 섭동 물리 앙상블과 결합한다. 간행된 전망은 영국에서 25km 격자에 대하여 각 계절의 가장 습한 날과 가장 더운 날을 비롯한 다양한 모수 변화의 확률 분포를 제공해 준다. 이 확률은 배출 시나리오(저, 중간, 고)를 조건으로 한 것이며 "각 기후 결과가 기후 과학과 관측 자료에 대한 이해를 고려하고 전문가의 판단을 사용했을 때 현재 이용 가능한 증거에 의해 뒷받침되는 상대적 정도"를 나타내는 것으로 묘사된다(Murphy 등, 2009).

통계적 상세화와 역학적 상세화 모두 전지구 모델에 영향을 미치는 불확실성의 영향을 받으므로, 상세화 단계와 관련하여 더 높아진 불확실성 수준을 고려해야 할 필요가 있다(3.2.3.1 및 3.2.3.2절 참고). 여러 지역에 대한 공동의 RCM 모의에 대한 이용이 증가함으로써, 역학적 상세화의 불확실성에 대한 보다 체계적인 탐색이 가능하게 된다. 이러한 모의들이 유럽(Christensen and Christensen, 2007; van der Linden and Mitchell, 2009)의 경우, 그리고 남아메리카(Mearns 등, 2009) 및 서아프리카(van der Linden and Mitchell, 2009; Hourdin 등, 2010)와 같은 몇몇 다른 지역의 경우에서 이용 가능하다. RCM 상호비교가 아시아(Fu 등, 2005), 남아메리카(Menendez 등, 2010), 북극(Inoue 등, 2006)을 비롯한 많은 지역에 대하여 실시되었다. 전지구를 다루는 새로운 공동의 모의가 계획되었다(Giorgi 등, 2009). 향후 공동의 모의로부터 얻어지는 RCM의 결과가 일 규모에서 이용 가능하게 되면 일부 극한 현상의 분석이 용이해질 것이다. 그럼에도 불구하고, RCM에 의한 앙상블 수행은 현재 제한된 수의 GCM만을 포함하고 있기 때문에 오직 하위 샘플의 불확실성만 구분되는 것에 주목하는 것이 중요하다. RCM 모의에서(고찰되는 RCM의 수와 고찰되는 GCM의 수에 관하여) 충분한 추출을 보증하는 것이 평균값의 변화보다 극한에 더 중요할 수도 있다(Frei 등, 2006; Fowler 등, 2007a). 예를 들어, 내부 변동성은 최소한 수 년에 걸친 시간 규모에서, 그리고 잠재적으로는 수십 년 시간 규모까지에서, 변동성 스펙트럼에 유의하게 기여하는 것으로 나타났다(Kendon 등, 2008; Hawkins and Sutton, 2009, 2011; Box 3-2).

3.3. 극한기상 및 극한기후 변화의 관측된 변화 경향 및 미래 전망

3.3.1. 기온

기온은 몇 가지 종류의 극한, 예를 들면, 열파 및 한랭기와 극한에 관련된 영향, 예를 들면, 인간 건강, 물리적 환경, 생태계 및 에너지 소비와 관련이 있다(4장, 3.5.6절 및 3.5.7절; 사례 연구 9.2.1절 및 9.2.10절 참고). 극한기온은 존재할 수 있는 변화를 정확히 측정하는 데 일 또는 그보다 높은 시간 규모 해상도 자료가 필요한 시간 규모에서 흔히 발생한다(3.2.1절). 각 극한 현상이 미치는 영향이 다르기 때문에, 극한 저온과 극한 고온을 구별하는 것뿐만 아니라 일평균기온, 일최고(주간)기온 및 일최저(야간)기온을 구별하는 것도 중요하다. 기간의 길이(예: 열파 지속기간)는 다수의 영향과 관련이 있다. 여기에서는 전형적인 '극한기후'가 아닌 일교차 또는 서리일수의 변화를 고찰하지 않음에 유의해야 한다. 극한기온 변화의 메커니즘에 대해서 많은 문헌이 존재한다(Christensen 등, 2007; Meehl 등, 2007b; Trenberth 등, 2007). 열파는 일반적으로 준정체 고기압 순환의 이상 또는 저지(atmospheric blocking)(Xoplaki 등, 2003; Meehl and Tebaldi, 2004; Cassou 등, 2005; Della-Marta 등, 2007b) 및/또는(점이 기후 지역에서의) 지표-대기의 되먹임에 의해 야기된다. 후자는 증발 냉각의 감소를 통해 메커니즘을 증폭시키는 역할을 할 수 있을뿐만 아니라(3.1.4절) 토양 수분 용량에 기인한 지속성의 증대도 야기할 수 있다(Lorenz 등, 2010). 또한, 적설의 되먹임(3.1.4절)과 에어로졸의 변화(Portmann 등, 2009)도 극한기온과 관련이 있다(관측된 또는 전망되는) 극한기온 추세는 때때로 가장 극한적인 기온(예: 연중 최대/최소 일최고/최저기온)에 대한 것과 덜 극한적인 현상[예: 한랭일/한랭야 및 온난일/온난야; Brown 등(2008) 대 Alexander 등(2006) 참고]에 대한 것이 다를 수 있다. 이에 대한 한 가지 이유는 한랭일/한랭야 및 온난일/온난야와 같은 '보통의 극한'은 일반적으로 해당일의 장기적인 통계값에 관하여 계산되며, 따라서, 예를 들면, 연분석에서 온난일수의 증가가 반드시 연중 최고 온난일에 대한 온난화를 의미하지는 않는다.

관측된 변화

지역규모에서 과거 또는 고기후에 대한 기온 복원은 최근에 계기관측을 통해 분석된 극한기온에 대하여 더 장기간에 걸쳐 알아보는 데 도움이 될 수도 있지만, 이 주제에 관한 문헌은 매우 드물고 지역 규모에서의 복원은 대부분 유럽에 대한 것이다. 예를 들어, Dobrovolny 등(2010)은 다양한 기온 지시자 기록을 활용하여 1500년 이후 중앙 유럽의 월 및 계절 기온을 복원했다. 그들은 2003년 여름의 열파와 2006년 7월 열파가 1500년 이후 과거 월 극한기온의(재구성 방법에 관련된) +2 표준편차를 초과했다고 결론을 내렸다. Barriopedro 등(2011)은 서유럽과 중부유럽에서 2003년의, 그리고 동유럽과 러시아에서의 2010년의 이례적으로 온난했던 여름이 유럽의 50% 이상에서 500년간 지속된 여름 평균기온 기록을 경신 했다는 것을 보여주었다. 지난 5세기 동안 가장 추웠던 기간은 1690년 겨울과 봄철에 나타났다. 최근에는 문서 자료와 계기 관측자료에 근거한 지중해 부근 유역에 대한 또 다른 500년 간의 기온 복원이 완료되었다(Camuffo 등, 2010). 복원된 기온은 유역에서 강한, 아마도 최근의 온난화보다 큰, 자연적 변동성을 시사하지만, 기록의 불연속성이 이 결과의 해석을 제한한다.

AR4(Trenberth 등, 2007, Alexander 등, 2006에 근거)는 자료가 있는 육상의 70-75%에 대하여 온난야 일수의 통계적으로 유의한 증가와 한랭야 일수의 통계적으로 유의한 감소를 보고했다(근거가 되는 자료의 공간 범위와 온난일/온난야 및 한랭일/한랭야의 정의에 대해서는, 각각 3.2.1절과 Box 3-1 참고). 온난일수와 한랭일수의 변화 역시 온난화를 보여주었지만, 온난야와 한랭야만큼 현저하지는 않았다. 자료가 있는 지역의 약 40-50%에서 온난화에 부합되는 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(Alexander 등, 2006). 자료가 있는 지역의 1% 미만에서 한랭화에 부합되는 온난일/온난야 및 한랭일/한랭야의 통계적으로 유의한 추세가 나타났다(Alexander 등, 2006). Trenberth 등(2007) 또한, Vose 등(2005)을 근거로, 1950-2004년 동안 자료가 있는 지역에 대하여 평균된 지표면의 최저 및 최고기온의 연 추세가 각각 10년당 0.20℃, 10년당 0.14℃였으며 1979-2004년 동안 자료가 있는 육상에 대한 선형 추세는 최고 및 최저기온에 대하여 모두 10년당 0.29℃였다고 보고했다. 이 증거에 근거하여, IPCC AR4(SPM; IPCC, 2007b)는 대부분의 육상에서 더 따뜻해지고 온난일과 온난야가 더 빈번해지는 추세와 더 따뜻해지고 한랭일과 한랭야가 덜 빈번해지는 추세가 있었을 가능성이 매우 높다고 평가했다.

Alexander 등(2006)에서 온난일 및 온난야의 증가와 한랭일 및 한랭야의 감소에 대한 이러한 전반적 결과에서 벗어난 것으로 밝혀진 지역은 대부분 북아메리카 중부, 미국 동부, 그린란드 남부(한랭일의 증가와 온난일의 감소), 남아메리카 남쪽의 절반(온난일의 감소; 남아메리카 대륙의 북쪽 절반 지역에서 이용 가능한 자료는 없다)에 해당한다. 북아메리카 중부와 미국 동부에서는, 극한 현상의 음의 추세에 대한 이러한 부분적 경향이 주로 봄부터 여름철에 기온에서 보고된 평균 음의 추세와도 또한 일치한다(이것을 '온난화 구멍(warming hole)'이라 부르기도 한다, Pan 등, 2004; Portmann 등, 2009). 이러한 결과에 대하여 몇 가지가 제안되었는데, 이는 토양 수분 및/또는 에어로졸 되먹임에 관련된 수문 순환의 변화와 부분적으로 관련이 있는 것으로 보인다(Pan 등, 2004; Portmann 등, 2009).

AR4 이후 최근에는 Caesar 등(2006)의 자료집에 근거한 Brown 등(2008)의(연 극한에 대한) 전지구 규모에서의 연구와 북아메리카(Peterson 등, 2008a; Meehl 등, 2009c), 서유럽 중부(1880년 이래; Della-Marta 등, 2007a), 유럽 중부 및 동부(Bartholy and Pongracz, 2007; Kurbis 등, 2009), 터키를 비롯한 지중해 동부 지역(Kuglitsch 등, 2010), 중앙아프리카 서부, 기니 코나크리 및 짐바브웨(Aguilar 등, 2009), 티벳 고원(You 등, 2008) 및 중국(You 등, 2011), 우루과이(Rusticucci and Renom, 2008) 그리고 오스트레일리아(Alexander and Arblaster, 2009)에 대한 지역 규모의 연구들이 수행되었다. 표 3-2에서 더 많은 참고문헌을 찾아볼 수 있다. 전체적으로, 이러한 연구들은 전지구적인 온난일 및 온난야의 증가와 한랭일 및 한랭야의 감소를 일관되게 보여주지만, 이 연구들이 반드시 위의 네 가지 변수의 추세를 모두 고찰한 것은 아니다. 일부 연구는 몇몇 극한 현상, 지역, 계절 또는 10년의 기간에서 통계적으로 유의하지 않은 추세나 심지어 전지구 경향에 반대되는 추세를 보고하고 있다. 예를 들어, Rusticucci and Renom(2008)은 우루과이에서 한랭야의 감소, 온난야의 통계적으로 유의하지 않은 양의 추세, 대부분의 관측소에서 한랭일의 통계적으로 유의하지 않은 감소, 그리고 온난일에 있어서의 일관되지 않은 추세를 발견했다. 남아메리카 남부에 대하여 Alexander 등(2006)로부터 얻은 이전의 결과(위 참고)와 더 많은 지역의 연구들(표 3-2)을 함께 고려할 때, 이것은 다른 대륙에 비해 남아메리카에서 온난화 경향이 덜 일관적임을 시사한다. 다른 주목할만한 특징은 유럽 중부 및 남동부에 대한 연구들이 1970년대 말/1980년대 초의 극한기온에 관한 추세에서 뚜렷한 변화 시점을 보인다는 것이다(표 3-2). 이로 인해 일부 극한 현상의 경우 1960년대 이래 매우 작은 및/또는 통계적으로 유의하지 않은 전반적 추세가 나타났을 수 있다(Bartholy and Pongracz, 2007).

한랭기와 온난기 또는 한파와 열파의 특성의 변화를 조사하는 데 이용할 수 있는 연구는 온난일과 한랭일 또는 온난야와 한랭야의 강도나 빈도에 대한 연구에 비해 적다. Alexander 등(2006)은 주로 북반구의 중위도 및 고위도에서의 [온난기 지속일수(Warm Spell Duration Index, WSDI)에 근거하여; 표 3-2 및 Box 3-1 참고] 온난기의 추세에 대한 분석 결과를 제공했다 분석 결과는 미국 남동부와 캐나다 동부를 제외한 대부분의 지역에서 온난기의 길이 또는 횟수가 높아지는(온난기에 속하는 일수의 증가하는) 방향의 경향성을 보여준다 온난기 또는 열파의 추세에 대한 지역 규모의 연구 역시 표 3-2에 제시되어 있다. Kunkel 등(2008)은 미국이 1980년대에 한파의 갑작스런 증가가 있었지만 20세기 동안 전반적으로 한파의 감소가 나타났음을 발견했다. 더욱이, 그들은 1960년대 이래 열파의 강한 증가를 보고했지만, 극한 가뭄 상태와 관련이 있었던 1930년대 열파가 여전히 1895-2005년 동안 가장 강력했다. Kuglitsch 등(2009)은 지중해 동부 지역에서 1960-2006년 기간 동안 여름철의 열파 강도, 발생 횟수 및 길이가 증가했음을 보고했다. Ding 등(2010)은 1961-2007 기간 동안 중국 대부분에서 열파의 횟수가 증가했음을 보고했다. 2003년 여름 유럽 서부 및 중부에서의 기록적인 열파는 최근 발생한 이례적인 극한 현상의 한 예이다(Beniston, 2004; Schar and Jendritzky, 2004). 그해 여름(6-8월)은 1780년 경부터 계기 관측에 의한 기록이 시작된 이래 가장 더웠으며 최소한 1500년 이래 가장 더웠을 것이다(Luterbacher 등, 2004). 최근 극한 열파의 다른 예로는 2006년 유럽에서의 열파(Rebetez 등, 2008), 2007년 유럽 남동부에서의 열파(Founda and Giannakopoulos, 2009), 2009년 오스트레일리아 남동부에서의 열파(National Climate Centre, 2009), 2010년 러시아에서의 열파(Barriopedro 등, 2011)가 있다. 2003년 유럽의 열파(Andersen 등, 2005; Ciais 등, 2005)와 2009년 오스트레일리아 남동부 지역에서 발생한 열파 역시 모두 가뭄 상태와 관련이 있었다. 가뭄 상태는 일부 지역에서 열파 동안 극한기온을 크게 상승시킬 수 있다(3.1.4절 참고).

최근의 몇몇 연구에서는 이전에 보고된 추세가 수정되었다. 예를 들어, Della-Marta 등(2007a)은 1880-2005년 동안 유럽에서의 여름철 평균 최고기온의 변화를 +1.6±0.4℃로 보고했는데, 이것은 이전 연구들에서 보고되었던 것 보다 다소 큰 증가이다. Kuglitsch 등(2009, 2010)은 1960년 이래 지중해 지역에서 250개 이상의 일최고기온 및 일최저기온의 시계열을 동질화하고 분석한 결과, 동질화 후, 지중해 동부 지역에서 고온일 및 열파 빈도에서의 양의 추세가 이전 연구들에서 보고된 것보다 높다는 것을 발견했다. 이것은 1960년대와 1970년대 동안 이 지역의 많은 상승 쪽으로 편의된 기온 자료를 보정한 데 기인한 것이었다.

요약하면, 육지에 대한 극한기온의 지역 및 전지구적 분석결과는 대체로 전지구 규모에서 온난해지는 기후에 일관된 최근 변화를 보여주는데, 이것은

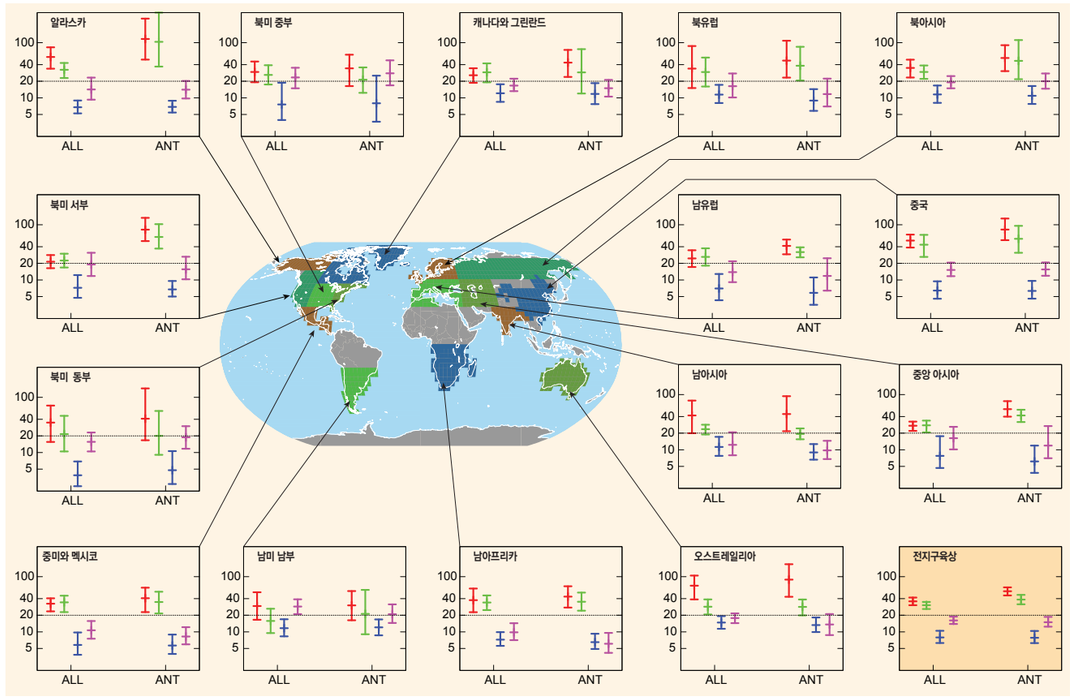


그림 3-2 | 1990년대의 연중 일극한기온에 대한 1960년대 20년 재현값들에 의해 추정된 재현기간(년) 및 그에 대한 5% 및 95% 불확실성(보다 상세한 설명에 대해서는 본문 참고). ANT는 인위적 강제력만 반영된 모델로 모의된 반응이고 ALL은 자연적 강제력과 인위적 강제력이 모두 반영된 모델로 모의된 반응이다. 오차 막대는 각각 연 최저 일최저기온(빨간색: TNn), 연 최저 일최고기온(초록색: TXn), 연 최고 일최저기온(파란색: TNx), 연 최고 일최고기온(분홍색: TXx)에 대한 것이다. 회색 지역은 자료가 충분하지 않은 곳이다. 출처: Zwiers 등(2011).

이전 AR4에서의 평가와 일치한다. 단지 몇몇 지역만이 한랭화와 일치하는 극한기온의 변화를 보인다. 한랭화는 북아메리카 중부, 미국 동부 및 남아메리카 일부에서 일부 극한에 대하여 가장 현저하게 나타난다. 나타난 증거에 근거하여, 대부분 지역에서, 다시 말해 자료가 있는 육지 지역(모든 육지 면적의 약 70-80%에 해당; 표 3-2 참고)에 대하여, 한랭일 및 한랭야 일수의 전반적 감소가 있었을 가능성이 매우 높고 온난일 및 온난야 일수의 전반적 증가가 있었을 가능성이 매우 높다는 결론을 내렸다. 이 주장은 북아메리카, 유럽, 오스트레일리아의 대륙 규모에 적용될 가능성이 높다(표 3-2) 하지만, 이들 대륙의 몇몇 지역에서는 작거나 통계적으로 유의하지 않은 극한기온의 온난화 추세가 있었고(예: 유럽 남동부) 몇몇 지역에서는 일부 극한기온에서 한랭화의 추세가 나타났다(예: 남아메리카 중부 및 미국 동부). 아시아 역시 대륙 대부분에서 온난화와의 추세를 보이지만, Alexander 등(2006)의 전지구 규모의 연구 외에는 여러 지역에 대한 문헌이 부족하기 때문에, 여기에서는 이 추세에 대한 신뢰수준이 보통으로 평가된다. 아프리카 대부분이 대륙 규모에서 전반적인 발생 가능성을 설명하기에 충분한 정도로 표본화가 잘 되어 있지 않다. 하지만, 이 대륙에서 자료가 이용 가능한 지역들은 대부분 극한기온의 온난화를 보였다(표 3-2). 남아메리카에서는 자료가 부족하고 보고된 추세들에서 다소의 비일관성이 존재하는데, 이는 대륙 규모에서의 전반적 추세에 대한 신뢰수준이 낮음을 의미한다(표 3-2). 충분한 자료가 있는 (모든 지역은 아니지만) 많은 지역에서, 20세기 중반 이래 온난기 또는 열파의 발생 횟수가 증가했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다.

관측된 변화의 원인

AR4(Hegerl 등, 2007)는 지표면의 극한기온이 인위적 강제력의 영향을 받았을 가능성이 높은 것으로 결론을 내렸다. 이 평가는 전지구 규모에서 보고된 극한 고온 발생횟수의 증가와 극한 저온 발생횟수의 감소를 비롯하여, 전지구 규모에서의 극한기온에 대한 다수의

증거에 근거했다(Alexander 등, 2006). Hegerl 등(2007) 역시 인위적 강제력이 극한기온(Christidis 등, 2005) 및 2003년 유럽 열파(Stott 등, 2004)의 위험을 실질적으로 증가시켰을 수도 있다고 설명했다.

극한기온 변화의 원인 규명에 관한 최근의 연구는 AR4에서 도달된 결론을 재확인시키는 경향이 있었다. Alexander and Arblaster(2009)는 오스트레일리아에서의 온난야 추세가 인위적 강제력이 반영된 결합 모델에 의해서만 재현될 수 있음을 발견했다. US Climate Change Science Program(CCSP, 2008)의 최근 보고서의 일부로서, Gutowski 등(2008a)은 미국에서 20세기 후반 동안 관측된 극한기온 변화의 대부분이 인간 활동에 기인한 것일 수 있다는 결론을 내렸다. 그들은 서리 발생일수, 생장 기간, 열대야 발생일수

및 열파 강도에서 관측된 변화를 9개 모델로 구성된 다중모델 앙상블 모의에서 모의된 변화와 비교하였다. 인위적 강제력과 자연적 강제력을 결합하는 20세기 실험들에서는 미국에서 서리일의 감소, 생장 기간의 증가 및 열파 강도의 증가가 모두 유사한 변화를 보여주지만, 각각의 상대적 기여의 여부는 불확실하다.

인위적 강제력과 자연적 강제력을 개별적으로 반영한 2개의 전지구 결합 기후 모델로부터 얻은 결과는 관측된 변화가(강제력의 세부사항에 다소 차이가 있다 하더라도) 자연적 강제력이 아닌 인위적 강제력을 반영함으로써 모의됨을 보여준다. Zwiers 등(2011)은 연 최고 일최고기온 및 일최저기온과 연 최저 일최고기온 및 일최저기온을 포함한 관측된 연극한기온을 인위적 강제력 또는 다중 GCM에 의해 결합된 인위적 및 자연적 외부 강제력에 대한 모의 반응 결과와 비교했다. 그들은 모델 모의로부터 얻은 것과 같은 위치 모수의 시간-진화(time-evolving) 패턴을 사용하여 관측된 극한기온에 대하여 확률 분포를 적합화한 결과, 인위적 영향과 인위적 강제력 및 자연적 강제력의 통합적인 영향을 육지에서 전지구 규모로, 그리고 많은 넓은 육지 지역에서, 4개 극한기온 변수 모두에서 탐지할 수 있음을 발견했다. 전지구적으로, 1960년대에 20년 빈도로 반복될것으로 예측된 현상들의 재현기간이 극한 현상의 연 최고 일최고기온의 경우에는 30년, 극한 현상의 연 최저 일최저기온의 경우에는 35년을 초과할 것으로 현재 추정된다. 하지만, 이 추정들은 상당한 불확실성을 수반한다. 또한, 연 최고 일최저기온과 일최고기온에 대한 재현기간은 각각 10 또는 15년 미만으로 감소했다.

하지만 극한 최고 및 최저기온에 대하여 이용 가능한 탐지 및 원인 규명 연구(Christidis 등, 2011b; Zwiers 등, 2011)는 모델들이 20세기 말 동안 최고기온의 변화를 과대평가하고 최저기온의 변화는 과소평가함을 보여주었다.

변화 전망 및 불확실성

극한기후의 전망과 관련하여, AR4(Meehl 등, 2007b)는 미래의 온난 기후에서는 한랭 기후 현상이 유의하게 감소할 것으로 전망된다고 언급하면서, 미래의 온난 기후에서는 열파가 더 강해지고, 더 빈번해지며, 더 오래 지속될 가능성이 매우 높은 것으로 간주했다. AR4 이후 극한기후 연구들은 더 큰 규모를 모의하는 모델 앙상블을 이용해 왔다(Kharin 등, 2007; Sterl 등, 2008; Orlowsky and Seneviratne, 2011). 연구들은 대체로 AR4의 결론을 확인시켜 주고 고찰되는 극한 현상의 범위와 지역 세부사항의 수준에 관하여 보다 명확한 평가를 제공해준다(표 3-2 참고).

다중모델에 의한 극한기후 전망의 전지구 분석결과는 거의 없다. AR4에 극한기후 전망의 기초를 제공했던Tebaldi 등(2006)의 연구(Meehl 등, 2007b의 그림 10.18 및 10.19)는 9개 GCM(일 자료가 있는 모든 모델링 그룹이 지수를 계산했던 것은 아님에 유의할 것)에 근거한 몇몇 극한 지수의 변화 전망(A1B 시나리오)에 대한 전지구 분석결과를 제공했다 극한기온에 대해서는, 열파의 길이(1개 지수만 사용, Box 3-1의 논의 참고)와 온난야에 대한 분석결과가 제공되었다. 점들로 표현된 부분은 9개 모델 중 5개가 동일한 부호의 통계적으로 유의한 변화를 보인 지역이다. Orlowsky and Seneviratne(2011)는 최근에, 많은 수의 극한 지수[여기에는 일 극한에 대한 여러 추가 분석결과(그림 3-3 및 3-4 참고)와 1개 대신 3개 열파 지수가 포함되었다]를 사용하고, 표시와 점표현을 위하여 다른 기준값을 사용하며(모델의 66% 미만이 변화의 부호에 대하여 일치한 경우에는 결과를 표시하지 않는다; 점들로 표현된 부분은 오직 90% 모델의 일치가 이루어진 경우에만 해당된다), 계절 분석 결과를 제공함으로써, Tebaldi 등(2006)이 수행한 A2 시나리오가 CMIP3에 기여하는 GCM의 전체 앙상블의 분석 결과를 갱신했다. 이 분석은 온난일 출현의 증가(그림 3-3)와 열파 길이의 증가, 그리고 극한 저온의 감소(그림 3-4)의 전망과 더불어, 기온 관련 극한에 대한 여러 GCM 전망들 간에(변화의 부호에 관하여) 강한 일치성이 존재함을 확인시켜 주었다. 육지에서의 극한기후는 많은 지역 및 계절의 전지구 연평균기온보다 빠르게 온난화될 것으로 전망되는데, 이것은 2℃ 또는 3℃의 지구온난화에도 불구하고 일부 장소에서는 극한값이 크게 변화할 것임을 보여준다(SRES A2 시나리오에 대한 환산 계수는 온화한 계절 극한에 대하여 0.5-2 사이 범위에 있다; Orlowsky and Seneviratne, 2011). Tebaldi 등(2006)과 Orlowsky and Seneviratne(2011)의 분석과 물리적 고려사항에 근거하여, 우리는(현재, 즉 1961-1990년 기준 기간의 지역 기후에 관하여 정의된, Box 3-1 참고) 온난일 및 온난야 발생일수의 증가와 한랭일 및 한랭야 발생일수의 감소가 전지구 규모에서 사실상 틀림없다고 평가한다. 또한, 두 연구에서 평가된 온난일/온난야 및 한랭일/한랭야 변화와 이용 가능한 전망되는 열파 길이 변화의 분석결과를 고려하여, 열파의 길이, 빈도 및/또는 강도가 대부분의 육지 지역에서 증가할 가능성이 매우 높은 것으로 평가한다.

CMIP3 앙상블에 근거한 극한 변화에 관한 전지구 연구가 Kharin 등(2007)에 제공되어 있는데, 이 연구는 SRES A2, A1B 및 B1 배출 시나리오를 적용하는, 극한기온에 대한 12개 GCM과 극한강수에 대한 14개 GCM에 근거한 연 극한(20년 극한값들)의 변화에 초점을 맞춘다. 이 분석은 21세기 말까지는 20년 빈도로 출현하는 연 극한 최고기온이(지역과 시나리오에 따라; 그림 3-5, Kharin 등, 2007로부터 수정 차용) 약 2-6℃ 증가하고 이 극한 현상의 재현 주기가 크게 감소할 것으로 전망한다. 하지만, 위에 언급된 것과 같이, 제한된 수의 관련 탐지 및 원인 규명 연구에서 모델이 극한기후의 일부 변화를 과대 평가할 수도 있음이 시사되며, 그림 3-5의 전망을 무비판적으로 수용함으로써 야기될 수 있는 평가의 확실성 수준을 낮춤으로 이를 고려할 수 있다. 또한 극한에 관련된 일부 중요 과정이 모델에서 빠지거나 잘 모의되지 않을 확률과 이 연구에서 고찰된 모델 전망이 전체 CMIP3 앙상블에 해당하는 것이 아니었다는 사실을 반영함으로써 평가결과를 약화시킬 수 있다. 그러므로, 절대값에 관해서는, 20년 빈도로 출현한 일극한 최고기온(재현값)이 지역 및(B1, A1B 및 A2 시나리오에 근거한) 배출 시나리오에 따라, 21세기 중반까지는 약 1-3℃, 21세기 말까지는 약 2-5℃ 증가할 가능성이 높은 것으로 분석되었다. 더욱이, A2 및 A1B 배출 시나리오에 근거할 때, 전지구적으로 20년 빈도로 출현한 연중 극한 최고기온이 21세기 말까지는 북반구 고위도 지역을 제외한 대부분 지역에서 2년 빈도로 출현할 가능성이 높고 북반구 고위도 지역에서는 5년 빈도로 출현할 가능성이 높은 것으로 분석되었다(그림 3-5b, Kharin 등, 2007로부터 얻은 자료에 근거) 또한, 보다 완화된 B1 시나리오 하에서도 현재 20년 빈도로 출현하는 극한값이 5년 빈도로(그리고 북반구 고위도에서는 10년 빈도로) 출현하게 될 가능성이 높은 것으로 나타났다.

다음으로는 전망되는 극한기후 변화의 지역별 평가가 제공된다. 보다 상세한 설명은 표 3-3에서 찾아볼 수 있다. 북아메리카에서 CCSP는 21세기말

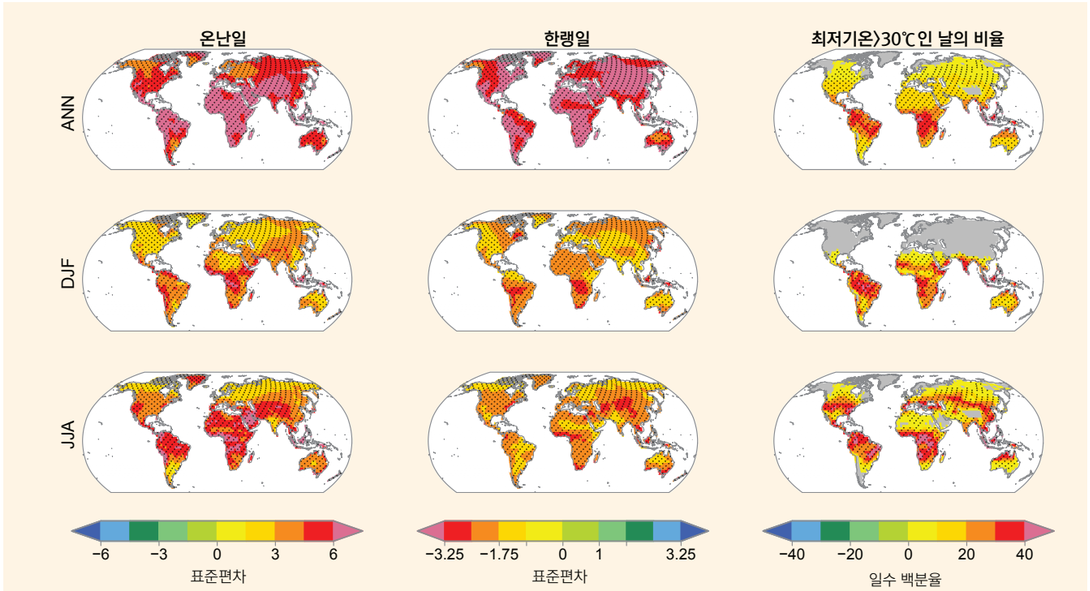


그림 3-3 | CMIP3에 기여하는 14개 GCM에 근거할 때, 1980–1999년 대비 2081–2100년에 전망되는 일 Tmax에 대한 3개 지수의 연 및 계절 변화. 오른쪽 열: 온난일(1961–1990년 기준 기간으로부터 계산된, 연중 Tmax가 90 퍼센타일보다 높은 날) 비율; 한랭일(1961–1990년 기준 기간으로부터 계산된, 연중 Tmax가 10 퍼센타일보다 낮은 날) 비율; 변화는 연규모(윗줄)와 두 계절(12–1–2월 DJF, 중간줄 및 6–7–8월 JJA, 아랫줄)에 대하여,(배출 시나리오 SRES A2 하에서의 모의에 근거한) 2081–2100년 기간의 비율/백분율에서(그에 대응하는 20세기에 대한 모의로부터 얻은) 1980–1999년 기간의 비율/백분율을 뺀 것으로서 계산된다. 온난일 및 한랭일 변화는 3개의 각기 다른 20년 기간, 즉 1980–1999년, 2046–2065년 및 2081–2100년으로부터 얻은 연 추세가 제거된 연 또는 계절 추정결과로부터 얻은 표준 편차로 표현된다. Tmax>30℃ 변화는 백분율의 차이로 나타낸다. 색상이 칠해진 부분은 GCM의 최소한 66%(즉 14개 중 10개)에서 변화의 부호가 일치하는 지역이다; 점들로 표현된 부분은 GCM의 최소한 90%(즉, 14개 중 13개)에서 변화의 부호가 일치하는 지역이다; Orlowsky and Seneviratne(2011)의 내용을 수정; 추가된 지수 및 CMIP3 모델의 수에 대하여 Tebaldi 등(2006)에 의한 것을 갱신하고 계절을 포함시킴. 보다 자세한 내용은 부록 3.A 참고.

까지 전망되는 극한기후의 변화에 관하여(IPCC AR4 발생 가능성 용어를 사용하여) 다음과 같이 결론 내렸다(Gutowski 등, 2008a):

1) 이상 고온일 및 온난야와 열파가 더 빈번해질 가능성이 매우 높다.
2) 한랭일 및 한랭야가 덜 빈번해질 가능성이 매우 높다.
3) 미래 온실가스 배출의 중간 규모의 시나리오(A1B)의 경우, 현재 단지 20년 빈도로 발생하는 매우 더운 날이 미국 대륙의 대부분에서는 금세기 중반까지 3년 빈도로, 그리고 캐나다 대부분에서는 5년 빈도로 출현하게 될 것이다; 금세기 말까지는, 2년에 1회 이상 출현하게 될 것이다

Meehl 등(2009c)은 미국의 일최고 및 최저기온의 변화를 분석했다. 분석 결과, 최저기온보다 최고기온에 있어서 더 많은 기록의 경신을 야기하는 강한 온난화 전망에도 불구하고, 종종 최저기온이 경신되었다. 오스트레일리아에 대하여, CMIP3 앙상블은 온난야의 증가(21세기말까지 15–40% 증가)와 열파 지속기간의 증가와 함께 서리일수의 감소를 전망했다(Alexander and Arblaster, 2009). 내륙 지역이 연안 지역과 비교했을 때 더 큰 온난화를 보이며(Suppiah 등, 2007; Alexander and Arblaster, 2009), 기온이 35℃ 또는 40℃보다 높은 날의 수가 크게 증가할 것으로 보인다(Suppiah 등, 2007). 남아메리카 전지역에 대해서는, 단일의 RCM에 의한 연구에서 온난야의 빈도 증가와 한랭야의 감소가 전망되었다(Marengo 등, 2009a). 극한 변화의 지역 및 전지구 모델 전망에 대한 여러 건의 연구는 유럽 대륙에 관련하여 이용 가능하다(표 3-3 참고). 전지구 및 지역 모델 에 의한 분석 결과는 지중해지역에서 고온일(Tmax>30℃) 및 열대야(Tmin>20℃)와 같은 현상을 포함하여, 극한 온난 기온의 큰 증가를 보여준다(Giannakopoulos 등, 2009; Tolika 등, 2009). 2007년에 대한 자료(계기 관측 기록상 그리스에서 가장 더웠던 여름. 일 Tmax 관측값 기록 44.8℃)와 함께 A1B 강제력 시나리오를 사용하여 RCM 전망을 비교한 결과는, 2007년에 대한 분포가 2021–2050년 기간보다 2071–2100년에 대한 분포에 더 가까우며, 따라서 2007년이 미래에는 '평균적인' 여름으로 간주될 수도 있음을 보여준다(Founda and Giannakopoulos, 2009; Tolika 등, 2009). Beniston 등(2007)은 RCM을 이용한 분석을 수행하여 프랑스와 헝가리 같은 지역에서 기온이 30℃가 넘는 날의 수가 현재 스페인과 시칠리아에서 경험하고 있는 것과 비슷하게 될 수도 있다는 결론을 내렸다. 이 RCM 앙상블에서, 온난화는 지중해 지역에서 최대였지만 여름철 일 기온의 최상위 퍼센타일에서 최대 온난화가 전망된 지역은 프랑스였다(Fischer and Schar, 2009). RCM

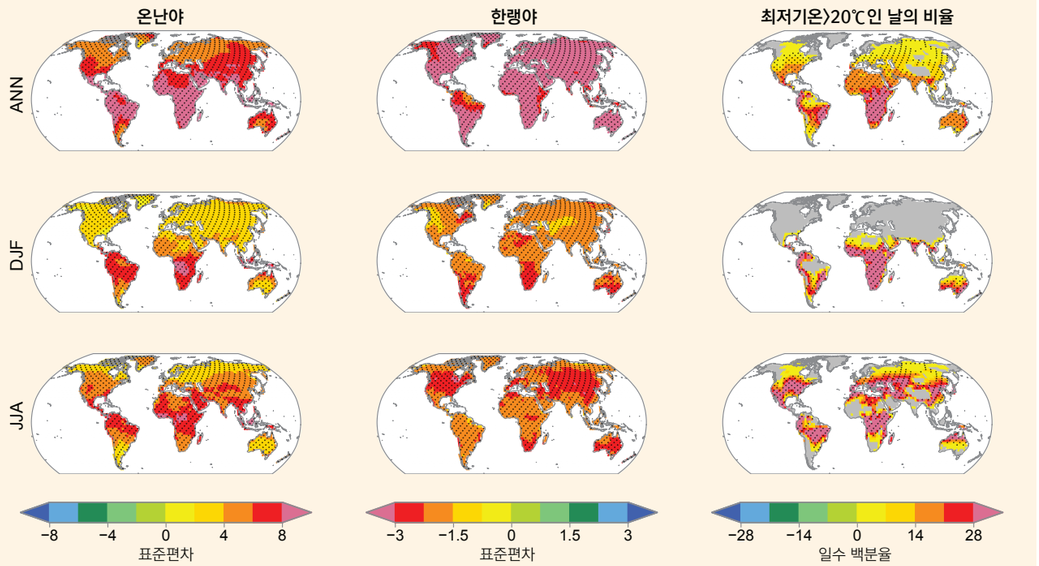


그림 3-4 | CMIP3에 기여하는 14개 GCM에 근거할 때, 1980–1999년 대비 2081–2100년에 전망되는 일 Tmin에 대한 3개 지수의 연 및 계절 변화 오른쪽 열: 온난야(1961–1990년 기준 기간으로부터 계산된, 연 Tmin이 90 퍼센타일보다 높은 날) 비율; 한랭야(1961–1990년 기준 기간으로부터 계산된, 연중 Tmin이 10 퍼센타일보다 낮은 날) 비율; 변화는 연 규모(윗줄)와 두 계절(12–1–2월 DJF, 중간줄 및 6–7–8월 JJA, 아랫줄)에 대하여,(배출 시나리오 SRES A2 하에서의 모의에 근거한) 2081–2100년 기간의 비율/백분율에서(그에 대응하는 20세기에 대한 모의로부터 얻은) 1980–1999년 기간의 비율/백분율을 뺀 것으로서 계산된다. 온난야 및 한랭야 변화는 3개의 각기 다른 20년 기간, 즉 1980–1999년, 2046–2065년 및 2081–2100년으로부터 얻은 연 추세가 제거된 연 또는 계절 추정 결과로부터 얻은 표준 편차로 표현된다. Tmin>20℃ 변화는 백분율의 차이로 나타낸다. 색상이 칠해진 부분은 GCM의 최소한 66%(즉 14개 중 10개)에서 변화의 부호가 일치하는 지역이다; 점들로 표현된 부분은 GCM의 최소한 90%(즉 14개 중 13개)에서 변화의 부호가 일치하는 지역이다; Orlowsky and Seneviratne(2011)의 내용을 수정; 추가된 지수 및 CMIP3 모델의 수에 대하여 Tebaldi 등(2006)에 의한 것을 갱신하고 계절을 포함시킴. 보다 자세한 내용은 부록 3.A 참고.

앙상블로부터 얻어진 새로운 결과는, 특히 남유럽에서, 건강에 영향을 미치는 열파의 규모, 빈도 및 지속기간의 증가를 전망하였다(Fischer and Schar, 2010). 전체적으로, 이러한 지역 규모에서의 평가들은 위에서 언급한 전지구 평가들과 일치한다. 하지만, 평가된 불확실성이 대륙 또는 전지구 규모보다는 지역 규모에서 더 크다는 점에 유의해야 한다(Box 3-2 참고). 특정 극한 현상에 대한 전지구 규모의 추세는, 특정 극한 현상의 추세에 대한 지리적 균질성에 따라, 지역 규모에서의 추세보다 신뢰도가 더 높을 수도 있고 더 낮을 수도 있다(3.1.6절).

극한기온의 변화는 AR4에서 가장 높은 신뢰수준으로 변화가 전망된 극한 유형이었다(IPCC, 2007a). 이것은 최근 분석에서 변화의 부호와 관련하여 확인된다(그림 3-3 및 3-4). 하지만 배출 시나리오 및 기후 모델 불확실성으로 인해 변화의 규모에 관해서는 큰 범위가 존재한다(그림 3-5a,b). 극한기온 변화가 평균기온 변화에 비례한다면(다시 말해, 확률 분포의 단순 이동), 1960–1990년 기후와 비교하여 21세기에 극한 고온이 증가하고 극한 저온이 감소할 것이 사실상 틀림없는 것으로 추론된다. 기온 분포의 양 극단의 변화가 어떤 지역에서는 평균 변화에 비례하지 않을 수도 있지만(3.1.6절), 그러한 보고된 사례 대부분에서 극한 고온은 평균기온보다 크게 증가하고 극한 저온은 평균기온보다 크게 감소하기 때문에 극한에 대한 위의 설명(사실상 틀림없는 극한 고온의 증가 및 극한 저온의 감소)은 여전히 적용된다. 유럽 중부와 동유럽은 극한기온에서 전망되는 변화가 평균 변화는 물론 확률 분포 형태 변화로부터도 야기됨을 보여주는 증거가 있는 지역이다(Schar 등, 2004). 분포가 넓어지게 되는 주요 메커니즘은 이 지역의 토양 건조와 관련이 있다(3.1.4절 및 3.1.6절). 더욱이, 원격 지표 가열이 기온 분포를 바꾸는 순환 변화를 야기할 수도 있다(Haarsma 등, 2009). 특히 지표 상태(토양 수분과 생식 및 눈; 3.1.4절)와 에어로졸 농도(Ruckstuhl and Norris, 2009)에 관한 다른 국지적, 중규모 및 지역 규모의 되먹임 메커니즘이 기온 전망의 불확실성을 증대시킬 수도 있다. 이 과정들 중 일부는 모델에 의해 분해되지 않는 소규모로 발생한다(3.2.3절). 또한,(예를 들면, 토양 수분 및 적설에 대한) 관측자료의 부족은 기후 모델을 평가할 수 있는 확률을 떨어뜨린다(Roesch, 2006; Boe and Terray, 2008; Hall 등, 2008; Brown and Mote, 2009). 이러한 다양한 과정과 관련 불확실성으로 인해, 지구온난화가 반드시 모든 지역 및 계절에서의 온난화를 의미하지는 않는다(3.1.6절 참고). 중규모 과정들에 관한 정보 부족 역시 전망의 신뢰수준에 영향을 미친다. 한 가지 예로, 상대 습도 증가가 건강에 영향을 미치기 때문에, 지중해 지역의 열파 변화는 연안 지역에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타난다

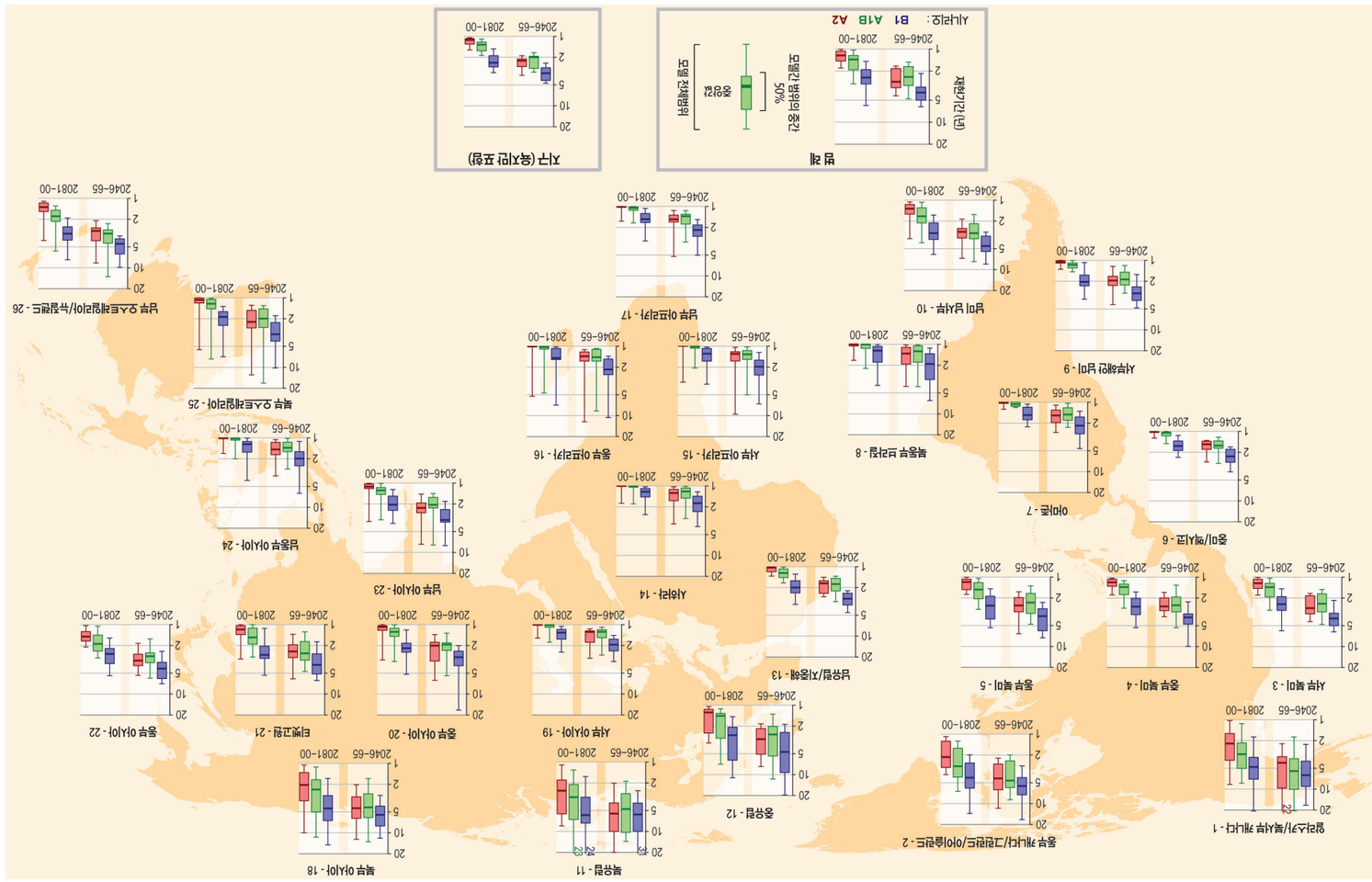


그림 3-5a | 일 최고기온 연 최대값의 20년 재현값들의 변화 전망(℃). 바 그래프(더 많은 정보에 대해서는 범례 참고) 37가지 SRES 배출 시나리오(B1, A1B, A2)에 대하여, 20세기 말과 비교했을 때 2046–2065년 두 개의 다른 시간 대에 대한 지역 평균 전망의 결과를 보여준다. 결과는 CMIP3에 포함된 12개 GCMoll 근거한 것이다 점의된 지역 범위에 대해서는 그림 3-1 참고 값은 육지의 점들에 대해서만 계산된다. '전지구' 분석(Box)은 모든 육지의 격자 점들을 사용하여 계산된 일 최고기온의 연 최대값의 20년 재현값들의 변화(왼쪽)와 모든 육지의 격자 점들을 사용하여 계산된 연평균 일최고기온의 변화(오른쪽)를 보여준다. Kharin 등의 분석의 내용을 수정(2007). 보다 자세한 내용은 부록 3.A 참고.

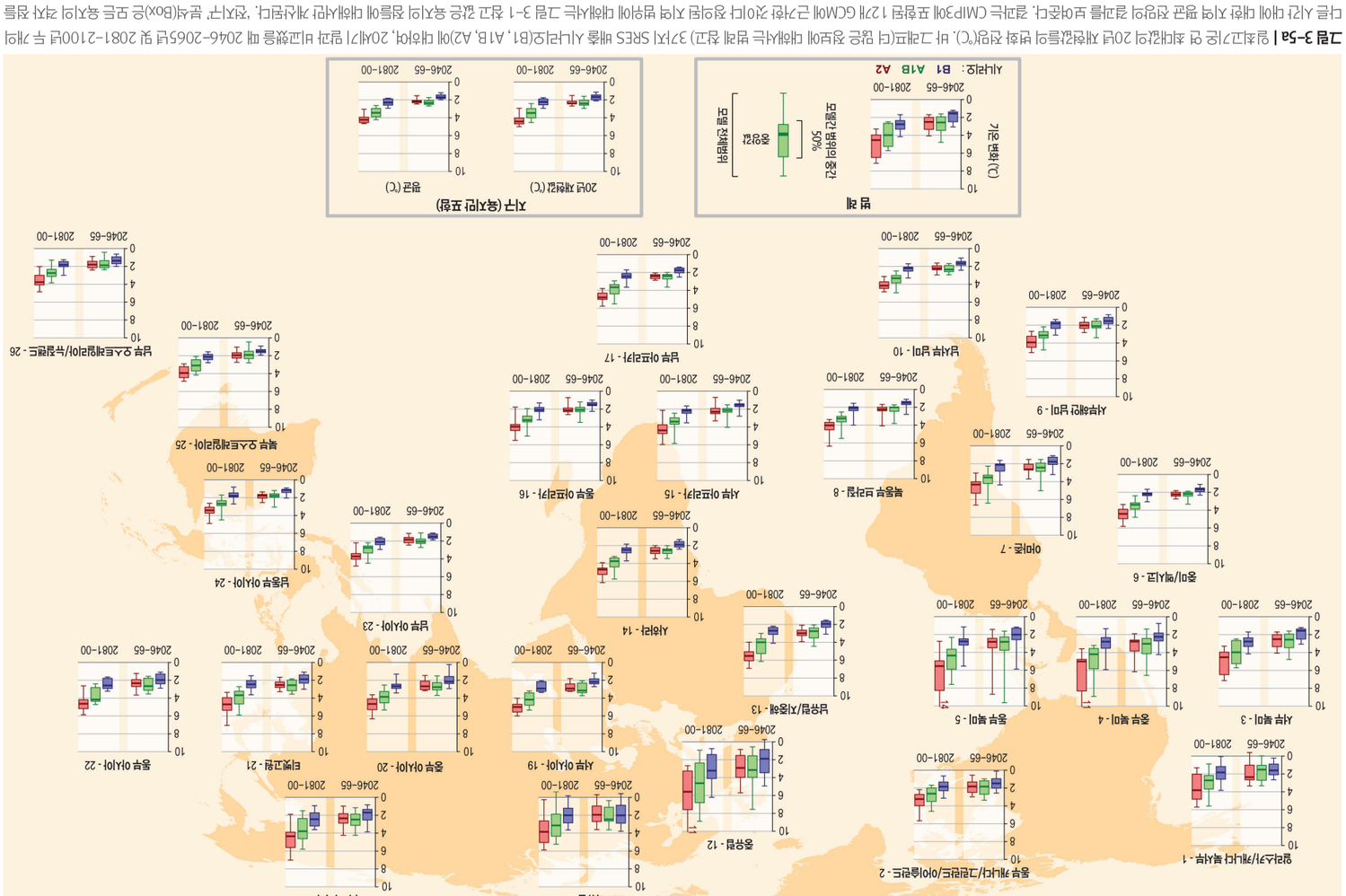


그림 3-5b | 일 최고기온 연 최대값의 20세기말 20년 재현값들의 재현기간(단위:년) 전망. 바 그래프(더 많은 정보에 대해서는 범례 참고) 37가지 SRES 배출 시나리오(B1, A1B, A2)에 대하여, 20세기 말과 비교했을 때 2046–2065년 및 2081–2100년 두 개의 다른 시간 대에 대한 지역 평균 전망의 결과를 보여준다. 결과는 CMIP3에 포함된 12개 GCMoll 근거한 것이다 점의된 지역 범위에 대해서는 그림 3-1 참고 값은 육지의 점들에 대해서만 계산된다. '전지구' 분석(Box)은 모든 육지의 격자 점들을 사용하여 계산된 일최고기온의 연 최대값의 20년 재현값들의 변화(왼쪽)와 모든 육지의 격자 점들을 사용하여 계산된 연평균 일최고기온의 변화(오른쪽)를 보여준다. Kharin 등의 분석으로부터 의 내용을 수정. 보다 자세한 내용은 부록 3.A 참고.

(Diffenbaugh 등, 2007; Fischer and Schar, 2010). 하지만, 이 패턴이 해풍에 의해 어떻게 완화될수도 있고 완화되지 않을 수도 있는지는 명확하지 않다(Diffenbaugh 등, 2007).

요약하면, 1950년 이래 전지구 규모에서, 다시 말해 충분한 자료가 있는 육지 지역들에 대하여 한랭일 및 한랭야 수의 전반적 감소와 온난일 및 온난야 수의 전반적 증가가 있었을 가능성이 매우 높다. 북아메리카, 유럽, 오스트레일리아에서는 이 변화가 대륙 규모에서도 나타났을 가능성이 높다. 아시아 대부분에서 일극한기온의 온난화 추세에 대한 신뢰수준은 보통이다. 아프리카와 남아메리카에서 일극한기온의 추세에 대한 신뢰수준은 일반적으로 지역에 따라 낮음부터 보통까지 다양하다. 전지구적으로, 충분한 자료가 있는(모든 지역은 아니지만) 많은 지역에서, 20세기 중반 이래 온난기 또는 열파의 길이와 발생 횟수가 증가했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 인위적 영향이 전지구 규모에서 극한 일최저기온 및 일최고기온의 온난화를 유발 했을 가능성이 높다. 모델로부터 21세기 말까지 극한기온의 상당한 온난화가 전망된다. 온난일 및 온난야의 빈도 및 크기 증가와 한랭일 및 한랭야의 빈도 및 크기 감소가 21세기 동안 전지구 규모로 발생할 것임이 사실상 틀림없다. 이것은 기온의 평균 변화와 주로 관련이 있지만, 어떠한 지역에서는 기온 변동성의 변화가 중요한 역할을 할 수 있다(현재 지역 기후에 관하여 정의된). 온난기 또는 열파의 길이, 빈도 및/또는 강도가 대부분의 육지 지역에서 증가할 가능성이 높다. 배출 시나리오에 관한 특별 보고서(SRES) A2 및 A1B 배출 시나리오에 근거할 때, 20년 빈도로 출현한 일 최고기온이 21세기 말까지는 북반구 고위도 지역을 제외한 대부분 지역에서 2년 빈도로 출현할 가능성이 높다. 북반구 고위도 지역에서는 5년 빈도로 출현할 가능성이 높다. 20년 빈도의 연중 극한 일최고기온(재현값)이 지역 및 배출 시나리오에 따라, 21세기 중반까지는 약 1–3℃, 21세기 말까지는 약 2–5℃ 증가할 가능성이 높다(그림 3–5). 다수의 지역, 계절에서 육지에서의 중간 규모의 극한기온은 전지구 연평균기온보다 빠르게 올라가는 것으로 전망되었다. 아대륙 규모에서 전망되는 변화는 전지구 규모에 대한 것보다 확실성이 떨어진다. 극한기온의 지역적 변화는 흔히 전지구 평균기온 변화와 차이가 있을 것이다. 평균 지구온난화가 반드시 모든 지역 및 계절에서의 온난화를 의미하는 것은 아니다.

3.3.2. 강수

본 장에서는 일 극한 또는 호우 현상의 변화를 다룬다. 가뭄(즉, 강수 부족에 연관된 가뭄)을 야기할 수 있는 평균(또는 총) 강수의 감소가 3.5.1절에서 고찰된다. 기후는 세계 각지에서 매우 다양하게 나타나기 때문에, 극한강수 또는 호우에 대하여 하나의 정의를 내리기는 어렵다. 일반적으로, 두 가지 접근법이 사용되어 왔다: (1) 퍼센타일(일반적으로 95 퍼센타일) 및 재현값과 같은 상대적인 기준값; 그리고 (2) 절대 기준값 [예: 미국에서는 50.8mm(2인치)의 일강수량, 중국에서는 100mm의 일강수량] 이 두 접근법 각각의 장단점에 대한 상세한 설명에 대해서는 3.1절 및 Box 3–1 참고. 문헌에서 강우와 강설이 개별적으로 다루어지지 않기 때문에 강우와 강설을 구별하지 않지만(강우와 강수 모두 극한강수 현상에 대한 기여 인자로 간주), 우박의 변화는 다른 강수 유형과 구별함에 유의해야 한다. 대중의 인식이 높아지고 보고의 방식이 변화하면서 극심한 뇌우 및 우박의 기록에서 불일치가 나타나게 되었고, 이로 인해 이들 현상의 강도와 빈도의 추세를 탐지하기가 어려워졌다(Kunkel 등, 2008). 더욱이, 우박과 같은 기상 현상들은 현재 관측 시스템으로 잘 포착되지 않고 세계 일부 지역에서는 관측망의 분포 밀도가 매우 낮기 때문에(3.2.1절) 극한강수의 추정은 상당히 불확실하다. 또한, 강수 측정에는 편의가 존재하는 것으로 알려져 있는데, 주로 강우가 과소 측정된다. 최근 변동을 과거 변화의 맥락에서 이해하는 데 이용할 수 있는 호우의 고기후적 및 역사적 변화 증거는 거의 없다.

관측된 변화

AR4(Trenberth 등, 2007)는 육지의 많은 지역에서, 심지어는 총 강수량이 감소한 지역에서도 20세기 후반에 호우의 발생일수(예: 95 퍼센타일)가 증가했을 가능성이 높다고 결론을 내렸다. 이러한 결론은 기후 온난화와 관측된 대기중 수증기량의 상당한 증가와 일관된 것이다. 더 드물게 발생하는 강수 현상(재현기간 50년)의 증가도 보고되었지만, 소수의 지역에서만 그러한 추세를 명백하게 평가하기 충분한 자료가 존재했다. 하지만, AR4(Trenberth 등, 2007)에는 "다수의 분석 결과가 20세기 후반에 걸친 강우 통계량의 변화가 1–10년 시간 범위의 변동성에 좌우되고 추세의 추정에는 공간적 일관성이 결여되어 있다"고 명시되어 있다(Manton 등, 2001; Peterson 등, 2002; Griffiths 등, 2003; Herath and Ratnayake, 2004)". 전반적으로, Alexander 등(2006)에 강조된 것과 같이, 관측된 극한강수의 변화는 그 당시 관측된 극한기온의 변화에 비해 공간적 일관성과 통계적 유의성이 훨씬 낮은 것으로 밝혀졌다. 극한강수가 더 약해지는 것 보다 더 강해지는 것이 면적이 보다 큰 육지에서 통계적으로 유의하게 나타났다고 할지라도, 자료가 존재하는 육지 전체에 대한 강수 지수의 통계적으로 유의한 변화는 오직 강수강도(Simple Daily Intensity index)에서만 발견되었고 호우일수(Heavy Rainfall Days)와 같은 고찰된 다른 지수에서는 발견되지 않았다(Alexander 등, 2006).

최근의 연구에서 AR4의 평가가 갱신되었기 때문에, 지금은 더 많은 지역의 결과에 대한 이용이 가능하다(표 3–2). 전체적으로, 부가된 증거는 더 많은 장소 및 연구에서 극한강수의 감소보다 증가가 나타나지만 지역 및 계절적으로 큰 변동성이 존재하며 많은 지역에서 추세가 통계적으로 유의하지 않음을 확인시켜 준다(표 3–2).

북아메리카에서 행해진 극한강수의 과거 및 현재 변화에 대한 최근의 연구에서는 지난 반 세기에 걸친 증가 추세가 보고되었다. 이 연구들 중 일부가 CCSP 보고서의 최근 평가에 포함되어 있다(Kunkel 등, 2008). 캐나다, 미국, 멕시코에서 얻은 관측소 자료를 근거로, Peterson 등(2008a)은 1950–2004년 동안 호우와 더불어 강수일에 내린 평균 강수량도 증가했다고 보고했다. 미국의 48개 주에 대하여, DeGaetano(2009)는 1950–2007년 동안 여러 재현 수준의 극한강수의 재현기간이 20% 짧아졌음을 보여주었다. Gleason 등(2008)은 1950–2006년에 정상적인 비율을 훨씬 상회하는 비율로 호우를 경험하는 지역의 증가 추세를 보고했다; 그리고 Pryor 등(2009)은 20세기 동안 95 퍼센타일보다 큰 강도의 현상이 증가했고 세기 말에 증가의 정도가 더 커졌음을 보여주는 증거를 제시했다. 연강수량, 강수일수 및 호우(예: 90 퍼센타일 값을 초과한 현상들로부터 얻어진 분율)가 증가하는 방향으로의 추세가 가장 크게 나타난 곳은 대초원 지대/중서부 지역의 북서부에 집중되었다(Pryor 등, 2009). 멕시코 북서부의 북아메리카 몬순 지역 중심부에서는, 1961–1988년 기간 동안 산지에서 95 퍼센타일보다 큰 강수 강도에서, 그리고 일강수량의 계절적 변동에서 통계적으로 유의한 양의 추세가 발견되었다. 하지만, 연안에 위치한 관측소에서는 통계적으로 유의한 변화가 발견되지 않았다(Cavazos 등, 2008). 종합하면, 증거는 통계적으로 유의하지 않은 추세와 일부 규모가 작은 지역에서의 약간의 감소에도 불구하고, 북아메리카의 많은 지역에서 관측된 호우의 증가 가능성이 높음을 보여준다(표 3–2). 호우의 이러한 전반적 증가는 멕시코 대부분 지역에서 총 강수량을 전반적으로 증가시킨다.

극한강수 현상에 있어서 지역적으로 다양하게 관측된 중앙아메리카와 남아메리카의 추세에 대한 신뢰수준은 낮음–보통이다(표 3–2). 중앙아메리카와 남아메리카 북부에서는 많은 지역이 양의 추세를 보이지만 일부 지역은 음의 추세를 보이는 것이 확실하다(Dufek and Ambrizzi, 2008; Marengo 등, 2009b; Re and Ricardo Barros, 2009; Sugahara 등, 2009). 남아메리카 서부 연안에서는, 많은 지역에서 극한강수의 감소가, 그리고 몇몇 지역에서 증가가 관측된다(Haylock 등, 2006b).

유럽에서는, 특히 여름철을 대상으로 한 연구들과 지역에 걸쳐 부호가 일부 일치하지 않기 때문에, 호우의 추세에 대한 신뢰수준은 보통이다. 겨울철 극한강수는 대륙의 일부, 특히 중서부 유럽과 유럽에 속한 러시아 지역에서 증가했지만(Zolina 등, 2009), 여름철 강수의 추세는 약하거나 공간적 일관성이 없었다(Moberg 등, 2006; Bartholy and Pongracz, 2007; Maraun 등, 2008; Pavan 등, 2008; Zolina 등, 2008; Costa and Soares, 2009; Kysely, 2009; Durao 등, 2010; Rodda 등, 2010). 1901–2000년 겨울철 일강수의 90, 95 및 98 퍼센타일에서 증가 추세가 발견되었으며(Moberg 등, 2006), 영국(Maraun 등, 2008), 독일(Zolina 등, 2008) 및 동유럽(Bartholy and Pongracz, 2007; Kysely, 2009)에 대하여 상세한 국가 규모의 연구를 통해 이러한 추세가 확인되었다. 하지만, 이탈리아 북부(Pavan 등, 2008), 폴란드(Lupikasza, 2010) 및 지중해 연안의 일부 지역(Toreti 등, 2010)과 같은 일부 지역에서는 감소 추세가 발견되었다 남유럽 및 지중해 지역에 대한 추세의에 대한 신뢰수준이 낮기 때문에, 이 추세의 불확실성 역시 대체로 크다(표 3–2). 최근 연구(Zolina 등, 2010)는 지난 60년 동안 유럽 대부분에 걸쳐 습윤지속기간의 지속성이 약 15–20% 증가했는데 이러한 증가는 총 습윤일 증가와 연관이 없는 것이었음을 보여주었다.

아시아에서는, 대륙 규모와 대부분 지역 모두에서 호우의 추세에 대한 신뢰수준은 낮음–보통이다(표 3–2; Alexander 등, 2006 참고). 몽골 북부에서는 극한강수 빈도의 약한 증가가 관측된다(Nandintsetseg 등, 2007). 동아시아 및 동남아시아(Choi 등, 2009), 중앙아시아 및 남아시아(Klein Tank 등, 2006) 그리고 서아시아(X. Zhang 등, 2005; Rahimzadeh 등, 2009)에서는 극한강수 현상의 빈도 및 지속기간에서 공간적으로 일관된 체계적인 추세가 발견되지 않았다. 하지만, 이들 지역에 속한 소지역 규모에서는 통계적으로 유의한 양 및 음의 경향성이 관측되었다. 일본에서는 1901–2004년 동안(Fujibe 등, 2006), 그리고 인도에서는 특히 몬순 계절 동안(Rajeevan 등, 2008; Krishnamurthy 등, 2009) 호우가 증가했다. 중국에서는 1951–2000년(Zhai 등, 2005) 기간에는 극한강수의 통계적으로 유의한 증가가, 1978–2002년(Yao 등, 2008) 기간에는 극한강수의 통계적으로 유의한 감소가 발견되었다. 말레이시아 반도에서는 1971–2005년 동안 극한강수의 강도는 증가했고 빈도는 감소했는데, 총 강수 대비 극한강수의 비율의 추세는 통계적으로 유의하지 않았다(Zin 등, 2009). 1961–2005년 동안 티벳 고원 남부 및 북부에서는 호우가 증가했지만 중부에서는 감소했다(You 등, 2008). 오스트레일리아 남부의 많은 지역, 특히 평균 강수량이 감소한 지역에서 호우가 감소했을 가능성이 높았다(표 3–2). 오스트레일리아 북서부에서는 1977–2008년과1957–2008년 동안 호우일에 발생한 연/계절 강수 비율이 통계적으로 유의하게 증가했다(Gallant and Karoly, 2010). 오스트레일리아 서부의 Swan–Avon 강 유역 북서부에서는 1950–2003년에 걸쳐 여름철의 극한강수가 증가했지만, 유역 남서부에서는 겨울철 극한강수가 감소했다(Aryal 등, 2009). 뉴질랜드에서는, 북섬 및 남섬 서부에서 양의 추세가 나타났고 동부에서 음의 추세가 나타났다(Mullan 등, 2008).

아프리카의 경우에는 문헌과 자료가 부족하고 일부 지역에서는 보고된 패턴의 일관성이 없기 때문에 호우의 지역적 추세에 대한 신뢰수준이 낮음–보통이다(표 3–2). AR4(Trenberth 등, 2007)에는 아프리카 남부에서 호우의 증가가 보고되어 있지만, 이는 조사된 지역 및 강수 지수에 따라 달라지는 것으로 보인다(Kruger, 2006; New 등, 2006; Seleshi and Camberlin, 2006; Aguilar 등, 2009). 중앙 아프리카는 지난 반세기 동안 호우의 감소를 보였다(Aguilar 등, 2009); 하지만 자료의 공간 분포가 빈약했다. 호우 현상에 의한 강수가 아프리카 중서부에서 감소했지만 공간적인 일관성은 낮았다(Aguilar 등, 2009). 남아프리카 및 서아프리카에서 강수 강도의 평균은 증가했다(New 등, 2006). 동아프리카에서 호우의 변화에 대한 문헌은 부족하다(표 3–2). Camberlin 등(2009)이 이 지역에서 1958–1987년에 걸쳐 우기의 변동성에 영향을 미치는 요인들의 변화를 분석했지만, 특별히 호우의 추세를 다루지는 않았다. 1965–2002년 기간 동안 에티오피아 일부에서 호우의 감소 추세가 있었다(Seleshi and Cam berlin, 2006).

우박 발생은 관측 시스템으로 잘 포착되지 않고 과거 자료에 비동질성이 존재하기 때문에, 우박 발생의 변화를 정량화하는 것은 일반적으로 어렵다. 때로는 우박 발생에 기여하는 환경 상태의 변화를 사용하여 우박 발생의 변화를 추론하기도 한다. 하지만, 대기 상태는 보통 재분석자료나 라디오존데 자료로부터 추정되기 때문에 여기에는 불확실성이 수반된다. 결과적으로, 우박 빈도 변화의 평가는 어렵다. 미국 록키 산맥 동부 지역에서의 극심한 폭풍에 대하여, Brooks and Dotzek(2008)은 지난 50년에 걸쳐 강한 변동성을 발견했지만 명백한 추세를 발견하지는 못했다. Cao(2008)는 캐나다 온타리오에서 우박 빈도의 급격한 상승 추세를 확인했다. Kunz 등(2009)은 독일 남서부의 한 주에서 1974–2003년 동안 우박 피해일수와 대기불안정성이 모두 증가했음을 발견했다. Xie 등(2008)은 1960년부터 1980년대 초까지 중국의 연평균 우박일수에서 어떤 추세도 확인하지 못했지만 이후에는 통계적으로 유의한 감소 추세를 발견했다.

관측된 변화의 원인

호우의 관측된 변화는 예측된 인위적 강제력에 대한 반응(대기 중 수분 함량 증대로 인한 호우의 증가; 예를 들어, 3.2.2.1절 참고)과 일치하는 것처럼 보이지만, AR4 당시에는 외부 강제력 변화와 극한강수 변화 간의 직접적 인과관계가 확립되어 있지 않았다. 그 결과, AR4는 단지 인위적 영향이 20세기

후반에 걸쳐 호우의 빈도가 증가하는 방향으로 전지구적 추세에 기여했을 가능성이 더 높았을 것이라는 결론만을 내렸다(Hegerl 등, 2007).

AR4 이래 새로운 연구에서 전지구 수문 순환의 여러 측면에 대한 인위적 영향을 보여주는 더 많은 증거가 얻어지고 있다(Stott 등, 2010; 3.2.2절), 전지구 수문 순환은 극한강수 변화와 직접적인 관련이 있다. 특히, 대기 수분 함량에 대한 인위적 영향이 탐지될 수 있다(Santer 등, 2007; Willett 등, 2007; 3.2.2절). Wang and Zhang(2008)은 북아메리카에서 겨울철에 수분 증가에 따라 최대 일강수량이 증가한다는 것으로부터, 대기 수분 함량이 겨울철 최대 일강수량에 통계적으로 유의한 영향을 미친다는 것을 보여주었다. 이러한 결과는 지구온난화 하에서의 겨울철 극한강수의 모델 전망에서도 또한 나타난 바 있다(Gutowski 등, 2008b). 기후 모델 전망은 클라우시우스-클라페이론 관계에 근거한 열역학적 제약이 주위 기류의 성질이 거의 변하지 않는 지역에서 지구온난화에 따른 극한강수 변화에 대한 우수한 예측 인자임을 시사한다(Pall 등, 2007). 이것은 많은 지역에서 관측된 극한강수의 증가가 예측된 인위적 영향에 대한 극한강수 반응과 일치한다는 것을 보여준다. 하지만, 순환의 변화가 나타난 중위도 이상의 지역(Meehl 등, 2005)과 열대(Emori and Brown, 2005), 그리고 건조 지역에서는 열역학적 제약이 우수한 예측 인자가 아닐 수도 있다. 또한, 기온에 따른 극한강수의 변화는 습윤단열 기온감률의 변화, 상승 속도(upward velocities)의 변화, 극한강수 발생 시 기온의 변화에도 의존한다(O'Gorrnan and Schneider, 2009a,b; Sugiyama 등, 2010). 신호 대 잡음의 낮은 비율이 일정 역할을 할 수도 있지만 이것은 왜 모든 곳에서 극한강수가 증가하지 않았는지를 설명해 줄지도 모른다. 하지만, 심지어 클라우시우스-클라페이론 제약이 면밀히 추적되지 않는 지역에서도, 이러한 제약은 여전히 기후 모델 전망에서 평균 강수의 변화보다 극한강수의 미래 변화에 대한 더 우수한 예측 인자로 보인다(Pall 등, 2007). 관측 연구 역시 이 열역학 이론을 뒷받침하는 것으로 보인다. 열대 해양에 대하여 SSIM(Special Sensor Microwave Imager)로부터 얻은 일 강수 분석결과는 극한강수와 기온 간의 직접적 연계성을 보여준다: 호우 현상은 온난기(엘니뇨) 동안 증가하고 한랭기 동안 감소한다(Allan and Soden, 2008). 하지만 관측된 극한강수의 증가는 기후 모델에 의해 예측된 것보다 크다(Allan and Soden, 2008). 이것은 극한강수에 연관된 상승 속도의 매우 다양한 변화에 기인한 것일 가능성이 높다(O'Gorrnan and Schneider, 2008). 네덜 란드에서의 측정값들로부터 얻어진 증거는 시간 당 강수량의 극한값이 어떠한 경우에는 온난화로 인해 기온 1℃ 상승 시 14%가 증가할 수도 있으며 이 증가 속도는 클라우시우스-클라페이론 관계만을 고려해 예측했을 때보다 2배 빠른 것임을 시사하지만(Lenderink and Van Meijgaard, 2008), 이 내용에 대해서는 아직 논쟁이 계속되고 있

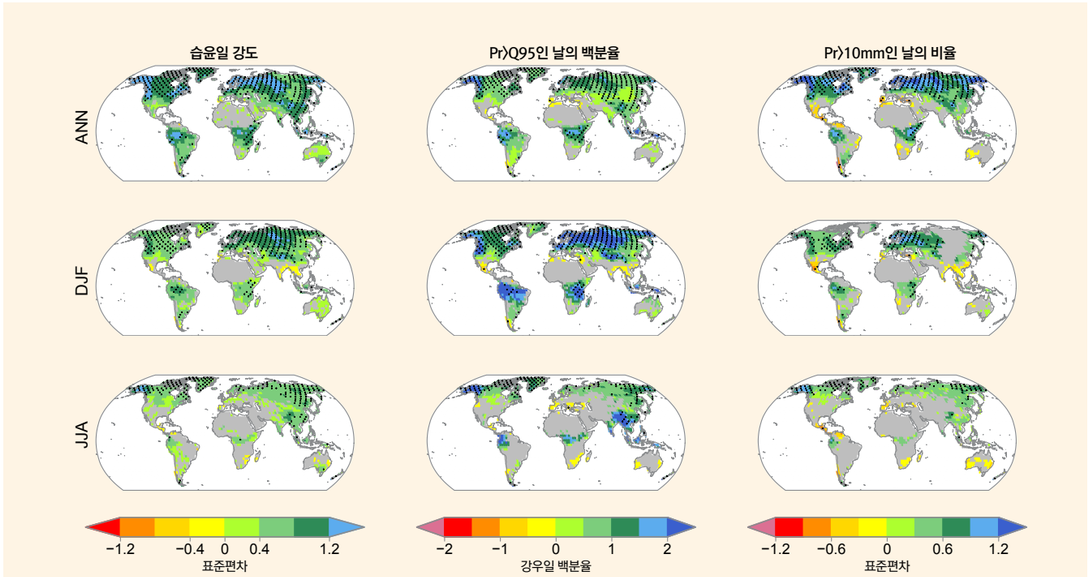


그림 3-6 | CMIP3에 포함된 17개 GCM에 근거할 때, 1980-1999년 대비 2081-2100년에 전망되는 3개 일강수(Pr) 지수의 연 및 계절적 변화. 오른쪽 열: 습윤일 강도; 중간 열: 1961-1990년 기준 기간으로부터 계산된 연 습윤일 대비 강수량이 습윤일 일강수량의 95 퍼센타일보다 많은 날의 백분율; 변화는 연 규모(윗줄)와 두 계절(DJF, 중간줄 및 JJA, 아랫줄)에 대하여,(배출 시나리오 SRES A2 하에서의 모의에 근거한) 2081-2100년 기간의 비율/백분율에서(그에 대응하는 20세기에 대한 모의로부터 얻은) 1980-1999년 기간의 비율/백분율을 뺀 것으로서 계산된다. 습윤일 강도 변화와 Pr>10mm인 날의 비율의 변화는 3개의 20년 기간, 즉 1980-1999년, 2046-2065년 및 2081-2100년에서 얻은 추세가 제거된 연 또는 계절 추정결과로부터 얻은 표준 편차 단위로 표현된다. 강수량이 95 퍼센타일 보다 많은 날의 변화는 백분율의 차이로 나타난다. 색상이 칠해진 부분은 GCM의 최소한 66%(즉 17개 중 12개)에서 변화의 부호가 일치하는 지역이다; 점들로 표현된 부분은 GCM의 최소한 90%(즉 17개 중 16개)에서 변화의 부호가 일치하는 지역이다; Orlowsky and Seneviratne(2011)의 내용을 수정; 추가된 지수 및 CMIP3 모델의 수에 대하여 Tebaldi 등(2006)에 의한 것을 갱신하고 계절을 포함시킴. 보다 자세한 내용은 부록 3.A 참고.

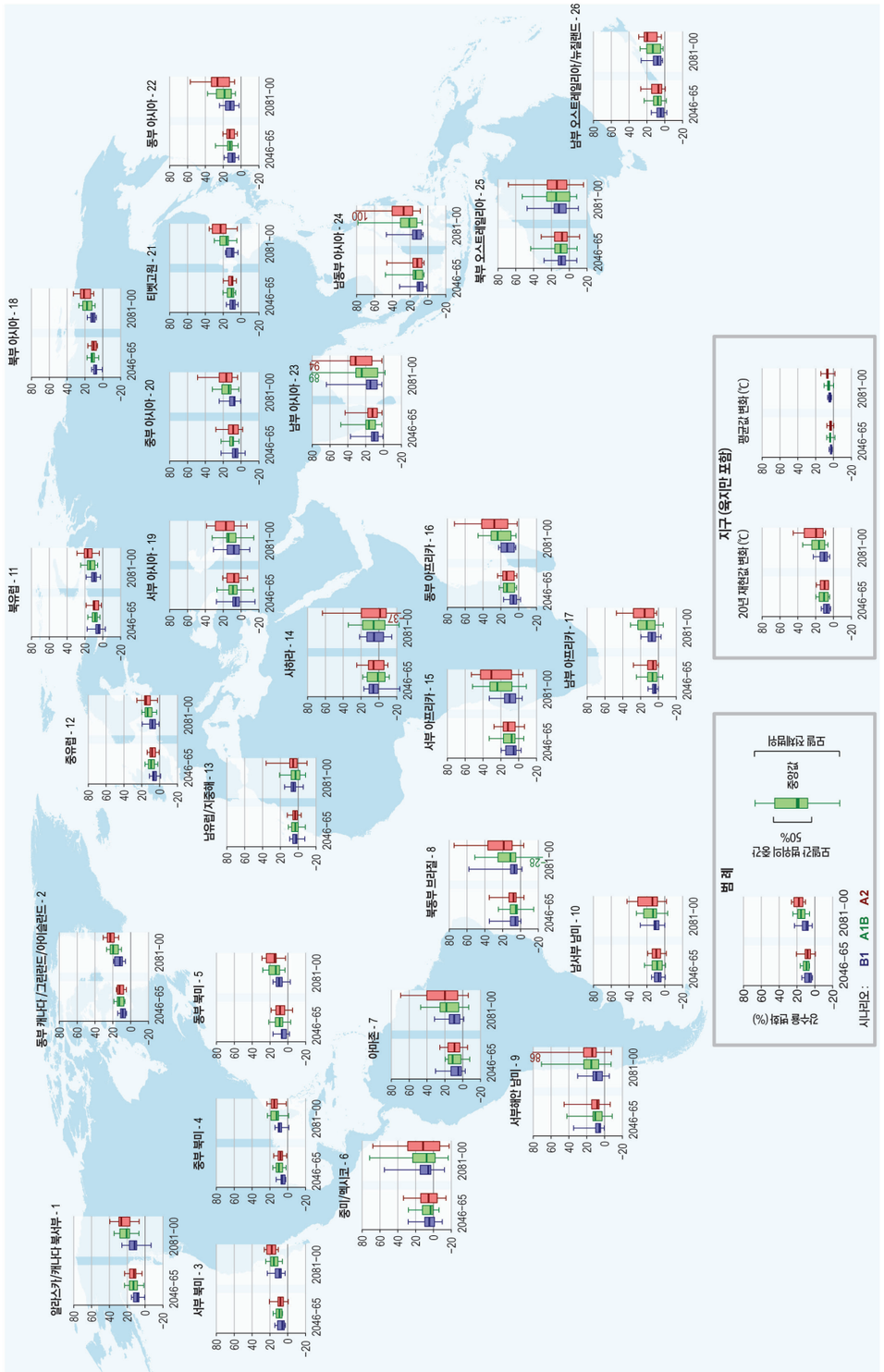


그림 3-7a | 24시간 최대 강수율의 20년 재현값들의 연 변화 전망(%) 바 그래프(더 많은 정보에 대해서는 범례 참고)는 20세기말(1981-2000년)과 비교했을 때 두 가지 시계열, 즉 2046-2065년과 2081-2100년에 대한 지역 평균 전망 결과와 세 가지 SRES 배출 시나리오(B1, A1B, A2)에 대하여 보여준다. 결과는 CMIP3에 포함된 14개 GCM에 근거한 것이다. '전지구' 분석(Box)는 모든 육지의 격자점들을 사용하여 계산된 24시간 최고 강수율의 20년 재현값들의 변화(왼쪽)와 모든 육지의 격자 점들을 사용하여 계산된 24시간 최고 강수율의 변화(오른쪽)를 보여준다. Kharin 등(2007)의 분석의 내용을 수정. 보다 자세한 내용은 부록 3.A 참고.

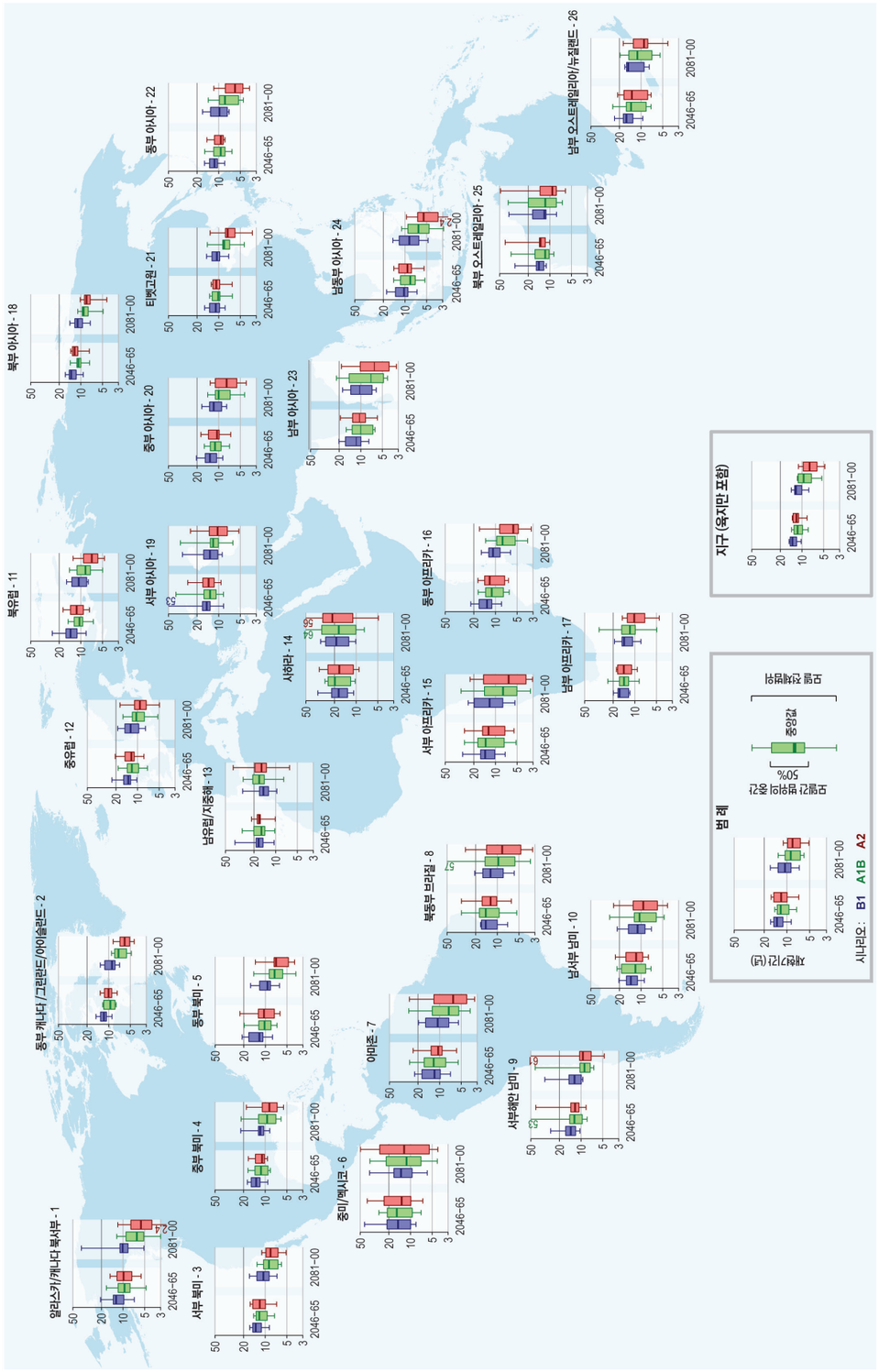


그림 3-7b | 24시간 최고 강수율의 20세기말 20년 재현값들의 재현기간 전망(단위: 년). 바 그래프(더 많은 정보에 대해서는 범례 참고)는 20세기말(1981-2000년)과 비교했을 때 두 가지 시계열, 즉 2046-2065년과 2081-2100년에 대한 지역 평균 전망 결과와 세 가지 SRES 배출 시나리오(B1, AIB, A2)에 대하여 보여준다. 결과는 CMIP3에 포함된 14개 GCM에 근거한 것이다. 정의된 지역 범위에 대해서는 그림 3-1 참고. '전지구' 분석(Box)은 모든 육지의 격자 점들을 사용하여 계산된 연중 24시간 최고 강수율의 20세기말 20년 재현값들의 재현기간(단위: 년) 전망을 보여준다. Kharin 등(2007)의 분석 내용을 수정. 보다 자세한 내용은 부록 3.A 참고.

다(Haerter and Berg, 2009; Lenderink and van Meijgaard, 2009). 관측된 극한강수와 최적 탐지 기법을 사용하는 다중모델 모의화 극한강수의 비교결과는 인간에 의한 온실가스 증가가 20세기 후반 동안 대부분의 북반구 육지 지역에서 관측된 호우의 증가에 기여했음을 시사한다(Min 등, 2011). Pall 등(2011)은 인간이 지구온난화 패턴에 미치는 영향을 북대서양 제트기류의 이동과 연관이 있는 2000년 가을철(9-11월) 잉글랜드 및 웨일즈 홍수 위험 증가와 관련시켰다. 새로운 연구들로부터 얻은 증거와 AR4에서 사용된 증거에 근거할 때, 인위적 영향이 전지구 범위에서 극한강수의 변화에 기여했다는 데 대한 신뢰수준은 보통인 것으로 현재 평가된다. 그렇지만, 이 결론은 계절 및 공간 범위에 따라 달라질 수도 있다. 예를 들어, 겨울에 영국 극한강수에서 인위적 영향이 탐지될 수 있는 확률은 현재 약 50%이지만, 다른 계절에는 탐지될 가능성이 매우 적다(Fowler and Wilby, 2010).

변화 전망 및 불확실성

전망되는 극한강수의 변화에 관하여, AR4는 호우 현상, 즉 호우의 빈도나 총강수 대비 호우의 비율이 21세기에 전지구 대부분 지역에서 증가했을 가능성이 매우 높았다는 결론을 내렸다(IPCC, 2007a). 총 강수가 감소할 것으로 전망되었던 일부 지역을 포함한 많은 지역에서 호우의 증가 추세가 발견되었다.

기후 모델 모의의 AR4이후 분석은 이 평가결과를 부분적으로 나타내지만 일부 지역에서 호우 변화에 대한 전망에는 비교적 큰 불확실성과 모델의 편의가 존재함을 보여준다(3.2.3절 및 표 3-3). 반면, 일부 지역에 대해서는 더 많은 GCM 및 RCM 앙상블이 현재 분석되고 있다(표 3-3; Kharin 등, 2007; Kim 등, 2010 참고). AR4 시점에서는, Tebaldi 등(2006)이 극한강수의 변화 전망에 대하여 이용 가능한 주요한 전지구적 규모의 연구였다(예: Meehl 등, 2007b의 그림 10.18). Orlowsky and Seneviratne(2011)는 이 분석을 CMIP3 앙상블에 속한 다수의 GCM으로, 그리고 시간 규모를 연 및 계절로 확장했다(3.3.1절 참고). 그림 3-6은 습윤 강도, 강수량이 습윤일 강수의 95 퍼센타일보다 많은 날의 비율 및 강수량이 10mm/day보다 많은 날의 비율의 연 및 계절 변화 전망에 대한 분석결과를 보여준다. 10mm/day 기준값이 몇몇 지역에서는 극한으로 간주될 수 없지만, 절대 및 상대 기준값에 대한 전망에는 차이가 있음에 유의해야 한다(Box 3-1 및 본 장 초반부 참고). 그림 3-6은 호우의 변화에 관하여 모델의 일치가 이루어진(최소 66%) 지역이 겨울철에 북반구의 고위도 지역과 열대 지역, 그리고 일부 중위도 지역에서 주로 발견됨을 보여준다. 모델 합의수준이 최소 90%인 지역은 훨씬 더 제한되며 고위도에 국한된다. 전체적으로, 전망되는 변화에 대한 모델의 일치수준은 대부분 지역에서 여름철(JJA)보다 겨울철(DJF)에 더 높은 것으로 나타난다. Kharin 등(2007)은 14개 CMIP3 모델의 결과물에서 24시간 최대 강수의 일변화를 분석했다. 그림 3-7a는 20세기말 20년 재현값들로부터 전망되는 연간 최대 24시간 강수율의 백분율 변화를 보여주고, 그림 3-7b는 서로 다른 3개 배출 시나리오(SRES B1, A1B 및 A2) 하에서 21세기 중반(왼쪽) 및 21세기 말(오른쪽)에 연간 최대 24시간 강수율의 20세기말 20년 재현값들에 대해 전망되는 재현기간을 보여준다. 20세기말과 21세기말 사이에서, 미래 배출에 대하여 전망되는 극한강수의 반응은, 호우와 관련이 있는 몇몇 지수에서 전망되는 변화에 일관되게 대부분 지역에서 강수율이 증가하고 고위도 대부분 지역과 열대, 그리고 중위도 일부 지역에서 재현기간이 감소하겠지만 일부 지역에서는 재현기간의 증가나 단지 작은 변화만이 전망됨을 보여준다(그림 3-6 및 Tebaldi 등, 2006 참고). 이 지역들을 제외하고는, 20세기말에 재현기간이 20년이었던 연 24시간 최대 강수 현상이 21세기말까지는 약 5-15년의 재현기간으로 발생할 것으로 전망된다. 재현 주기는 고위도 및 일부 열대 지역에서 가장 크게 감소할 전망이다. 더 강력한 CO2 배출 시나리오(A1B 및 A2)에서는 재현 주기가 더 크게 감소할 것으로 전망된다. 남아프리카, 서아시아 및 남아메리카 서부연안과 같이 총강수의 감소가 전망되는 일부 지역에서는(Christensen 등, 2007), 그럼에도 불구하고 호우가 증가할 전망이다(그림 3-7, 표 3-3 참고). 그렇지만, 총강수량의 감소가 전망되는 몇몇 다른 지역에서는(예: 중앙아메리카 및 남아메리카 북부), 호우가 감소하거나 변화하지 않을 것으로 전망된다. 그림 3-7은 매우 극한적인 호우 현상(20년에 약1회 발생할 것으로 예측되는 경우)을 다루는 반면, 그림 3-6은 그 보다 덜 극한적이지만 그래도 호우 현상을 다루고 있음에 유의해야 한다. 이렇게 다르게 정의된 극한 현상에 대한 변화 전망은 서로 다를 수도 있다.

CMIP3 모델에 의해 전망되는 미래 강수는 여러 지역에 대한 많은 연구에서 서로 다른 모델 조합을 사용하여 분석되었다(다음 단락 및 표 3-3 참고). 대체로 이 연구들은 Tebaldi 등(2006) 및 Kharin 등(2007)에 의한 전지구 규모 연구의 결과를 확인시켜 준다.

단일의 GCM에 의한 모의에서, Khon 등(2007)은 특히 겨울 동안 유라시아 북부의 여러 지역에 대하여 극한강수의 전반적 증가가 전망된다고 보고했다. Su 등(2009)은 2001-2050년 양쯔강 유역에서(1951-2000년 결과와 비교하여) 50년 주기의 호우가 더 빈번하게 발생하게 되어 재현기간이 25년보다 짧아질 것임을 발견했다. 인도 지역에서는, 해들리 센터(Hadley Centre) 결합 모델 HadCM3에 근거할 때 대기 중 CO2 농도가 2배가 되면 호우의 규모가 증가할 것으로 전망되었다(Turner and Slingo, 2009). 12개 GCM에 의한 모의로부터, 동아프리카에서는 호우의 강도 및 평균 강수율의 증가가, 남아프리카 남서부에서는 더 심각한 강수 부족이, 그리고 잠비아, 말라위 및 모잠비크 북부에서는 강수량의 증가가 전망되었다(Shongwe 등, 2009, 2011). Rocha 등(2008)은 현재(1961-1990년)와 미래(2071-2100년) 상태 하에서 2개 GCM에 의해 모의된 남동아프리카의 강수 형태의 차이를 인위적 온실가스 강제력의 결과로 평가했다. 그들은 강수 현상의 모든 범주(category)에 대한 강도는 전 지역에 걸쳐 실질적으로 증가하겠지만, 그 빈도는 지역 대부분에서, 그리고 대부분의 범주에서 감소할 것이라고 전망했다. CMIP3 앙상블의 분석에서는 1980-1999년 대비 2080-2099년에 오스트레일리아에서 극한강수가 증가할 것으로 전망되지만 각기 다른 모델에서 얻은 전망들 간에는 불일치가 존재한다(Alexander and Arblaster, 2009).

극한강수의 원인이 되는 물리적 과정들을 분석하기 위해서는 높은 공간 해상도가 필요하기 때문에, 극한강수의 연구에는 높은 공간 해상도가 중요하다(예: Kim 등, 2010). AR4 이후 연구에서는 극한강수를 전망하기 위한 높은 공간 해상도를 얻기 위하여 3가지 기법이 적용되었다: 고해상도 GCM, RCM을 사용하는 역학적 상세화, 그리고 통계적 상세화(3.2.3.1절 참고)이다. 일본 기상청 기상 연구소의 20km 공간 해상도의 수평 격자를 가진 GCM에 근거할 때, 21세기 말에 남아시아, 아마존 및 서아프리카에서는 호우가 상당히 증가하지만 남아프리카, 남오스트레일리아 및 아마존에서는 열파의 지속성이 증가할 것으로 전망되었다(Kamiguchi 등, 2006). 아시아 몬순 지역에서

는, 특히 방글라데시와 양쯔강 유역에서 여름철 수증기 이동의 수렴 강화로 인해 호우가 증가할 것으로 전망되었다. 통계적 상세화를 사용하여, Wang and Zhang(2008)은 1949-1999년부터 2050-2099년까지 겨울철 동안 북아메리카 극한강수 확률의 변화 가능성을 분석했다. 상세화된 결과는 미국 남부 및 중부에서는 극한강수가 크게 증가했지만 캐나다 대초원에서는 감소했음을 시사했다. 고해상도 연구들에서 전망되는 유럽 극한강수는 표 3-3에 보이는 것과 같이, 특히 겨울철 동안(Haugen and Iversen, 2008; May, 2008), 북유럽에서 증가하는 추세가 있다(Frei 등, 2006; Beniston 등, 2007; Schmidli 등, 2007). Fowler and Ekstrom(2009)는 겨울, 봄 및 가을철 동안 영국 전역에서 단기(1일) 및 장기(10일) 극한강수가 모두 증가할 것으로 전망한다. 여름철에는, 영국에 대한 모델 전망이 변화가 없는 선(zero change line)에 걸쳐있지만, 이 계절에 대한 모델 성능이 좋지 않기 때문에 신뢰수준은 낮다. 여러 모델로부터 얻은 일 통계량을 사용했을 때, Boberg 등(2009a,b)은 호우 발생일수는 감소하고 보다 강한 현상이 총 강수에 기여하는 정도가 명백하게 증가할 것이라고 전망했다. 이러한 변화 패턴은 유럽의 모든 지역에서 큰 것으로 밝혀졌다. 10 km 간격의 수평 격자를 이용한 double-nested 모델 모의에서, Tomassini and Jacob(2009)은 독일에서 호우의 극한 분위수에 대하여 양의 추세를 전망했지만, 고-CO2 A2 배출 시나리오를 제외하고는 이 추세가 비교적 작다. 10-3월 동안 미시시피 강 상류 유역 지역에 대하여, 극한강수 강도의 증가가 전망된다(Gutowski 등, 2008b). 단일 RCM에 의한 모의로부터, 2071-2100년 남아메리카 남동부 대부분과 아마존 서부에서는 극한강수 현상의 강도 증가가 전망되지만, 브라질 북동부와 아마존 동부에서는 변화가 더 작거나 없을 것으로 전망된다(Marengo 등, 2009a). 다른 RCM으로부터 얻은 결과물은 오스트레일리아 Westernport 지역에서 미래 극한강수 현상의 크기가 증가할 것임을 보여주는데, 이것은 CMIP3 앙상블에 근거한 결과(Alexander and Arblaster, 2009)와 일치하며 2030년보다 2070년에 더 크게 증가할 것이다(Abbs and Rafter, 2008). 미래 토지 이용 변화 및 온실가스 농도 증가를 모두 모의에 고려했을 때에는, 열대 및 북아프리카에서 2025년까지 가을을 제외한 대부분 계절 동안 덜 극한적인 강수 현상을 경험할 것으로 전망된다(Paeth and Thamm, 2007). 고해상도 RCM을 이용한 모의에서는, 일본에서 6-9월의 온난 기후 동안 극한강수 빈도가 증가할 것으로 전망되었다(Nakamura 등, 2008; Wakazuki 등, 2008; Kitoh 등, 2009). 5-km mesh 구름-시스템-분석(cloud-system-resolving)에 대한 비정역학적 RCM에서는, 미래 기후에서 7월 동안 일본의 태평양 연안에서 일 강수의 90 퍼센타일 값이 증가할 것으로 전망되었다(Kanada 등, 2010b).

AR4 이후 연구들은 극한강수의 전망이 GCM, RCM 및 통계적 상세화 기법과 관련된 불확실성에, 그리고 기후의 자연적 변동성에 기인한 큰 불확실성과 관련이 있음을 보여주었다. Kysely and Beranova(2009)는 2 가지 GCM으로부터 유도된 10개 RCM의 24회의 미래 기후 모의 실행에서 극한강수 현상의 변화 시나리오들을 조사했다. 조사 결과, 변화의 패턴 및 크기에서 모델-간 및 모델-내 변동성과 관련 불확실성이 큰 것으로 나타났지만, 전망 추세가 당해 지역에서 최근 관측된 변화의 패턴 및 크기와 일치하는 경향도 나타났으며 이로부터 확실성이 강화될 수도 있다. May(2008)는 1개 RCM을 이용하여 여름철 발트해 지역에 비현실적으로 큰 강수 변화 전망을 보고했는데, 이것은 GCM에서의 발트해 온난화에 대한 비현실적 전망과 명백히 관련이 있다. Frei 등(2006)은 시나리오 불확실성에 유의하게 기여하는 RCM에서 여름철 모델 간 차이를 발견했다. 2개의 통계적 상세화 모델에 대하여 극한강수 지수에서 전망되는 변화의 방향을 재현하는 능력을 탐구한 결과, Hundecha and Bardossy(2008)는 통계적 상세화 모델이 국지적 대류 과정보다는 대규모 순환에 의해 국지적 기후가 결정되는 계절 동안 더 신뢰도가 높은 것으로 보인다고 결론을 내렸다. Themeβl 등(2011)은 선형 및 비선형 경험-통계적 상세화 기법을 편의 보정 방법과 병합했으며, 그 결과 RCM의 오류를 대폭 줄일 수 있음을 보여주었다. Kendon 등(2008)은 기후의 자연적 변동성이 극한 일강수의 변화에서 인위적으로 강제된 요소를 전망하는 능력에 미치는 영향의 정도를 조사했다. 조사 결과는 유럽에서 1년-수십 년 자연적의 변동성이 상당한 불확실성에 기여할 수도 있음을 보여준다. 또한, Kiktev 등(2009)은 관측자료와 20세기 기후 모의를 사용하여 극한기온 및 강수의 기후학적 추세와 역사적 추세를 객관적으로 비교했다. 비교 결과, 대부분의 경우에서 극한강수 지수의 모의된 패턴과 실제 패턴 간에 통계적 유사성이 탐지되지 않았다. 더욱이, Allan and Soden(2008)은 위성 관측자료와 모델의 모의를 사용하여 자연적으로 유도된 지표의 온도 및 대기 수분 함량의 변화에 대한 열대 강수 현상의 반응을 조사했다. 극한강수에서 관측된 증폭은 모델에 의해 예측된 것보다 컸다. 모델에 의한 극한강수의 과소평가는 모델 모의에 사용된 거친 공간 해상도와 관련이 있을 수도 있는데 - 극한강수의 변화의 크기는 공간 해상도에 좌우된다(Kitoh 등, 2009) -, 이는 인위적 지구온난화에 반응하는 극한강수의 미래 변화에 대한 전망이 과소평가될 수도 있음을 시사한다.

특히 우박에 대한 모델링 연구의 부족과 이용 가능한 극소수의 연구들 간 일치성의 부족으로 인해, 우박 전망에 대한 신뢰수준은 여전히 낮다. 우박 현상의 변화 전망에 관한 정보가 AR4에는 거의 없으며, AR4 이후 새로운 문헌도 희박한 실정이다. Leslie 등(2008)은 SRES A1B 시나리오 하에서 결합 기후 모델 모의를 사용하여 오스트레일리아 시드니 유역에서 우박을 동반한 폭풍의 미래 변화를 추정했다. 이 미래 기후 모의는 2050년까지는 우박을 동반한 폭풍의 빈도 및 강도가 증가할 것임을 보여주며, 이러한 증가가 단지 수십 년 이내에 자연적 배경 변동성으로부터 야기될 것임을 보여준다. 이 결과로부터 도출되는 결론은 Niall and Walsh(2005)의 모델링 연구의 결론과 차이가 있다. 이 모델링 연구에서는 산업화-이전 CO2 상당 농도의 2배를 포함하고 있는 환경에서 오스트레일리아 남동부에서의 대류 가용 위치에너지(Convective Available Potential Energy: CAPE)를 모의했다. 그들은 CAPE 값에서 통계적으로 유의한 감소를 발견했으며, 1980-2001년의 우박 발생률과 CAPE 간의 강한 관계가 강화된 온실가스 조건 하에서도 변하지 않는다고 가정할 때, "현재 CO2 배출 속도가 유지된다면, 오스트레일리아 남동부에서 우박의 빈도가 감소할 가능성이 높다"고 결론을 내렸다.

요약하면, 호우의 발생 횟수(예: 95 퍼센타일)에서 통계적으로 유의한 증가가 나타난 지역이 감소가 나타난 지역보다 더 많았을 가능성이 높지만, 지역과 소지역에 따라 이러한 추세의 변동이 크다(다시 말해, 이 보고서에서 고찰된 지역 간, 그리고 지역 내에서 추세의 변동이 크다; 그림 3-1과 표 3-2 및 3-3 참고). 특히, 많은 지역에서 통계적으로 유의하지 않거나 음의 추세가 나타나며, 계절적 변화가 평가된 지역에서는 계절적 변동도 존재한다(예: 유럽에서는 여름보다 겨울철에 추세가 더 일관되게 나타난다). 북아메리카에서는 강수 현상이 더 강해지는, 전반적이고 거의 일관된 추세가 발견된다(전 대륙에서는 강수 현상의 증가 가능성이 높다). 과거 자료의 불균질성과 감시 시스템의 부적절성으로 인해 우박과 같은 현상에서 관측된 추세에 대한 신뢰수준은 낮다. 새로운 연구들로부터 얻은 증거와 AR4에서 사용된 증거에 근거할 때, 인위적 영향이 전지구 범위에서 극한강수의 증대에 기여했다는 데 대한 신뢰수준은 보통이다. 극한 우박의 변화에 대한 원인 규명에 관한 문헌이 거의 없기 때문에, 현 시점에서 극한 우박의 변화에 대한 평가 결과를 제시하는 것은 불가능하다. 전지구 및 지역 규모를 대상으로 한 연구들로부터 전망되는 변화는 호우의 빈도나 총 강수에서 호우가 차지하는 비율이 21세기에 전지구의 많은 지역에 걸쳐, 특히 고위도 및 열대 지역과 북부 고위도 지역에서 겨울철에 증가할 가능성이 높음을 보여준다. 총 강수량의 감소가 전망되는(모든 지역은 아니지만) 일부 지역에서는 호우가 증가할 것으로 전망된다(보통 신뢰수준). 다양한 배출 시나리오(A2, A1B 및 B1)에 대하여, 전망은 20년 빈도의 연간 최대 24시간 강수율이 21세기말까지는 많은 지역에서 5-15년 빈도로 출현할 가능성이 높음을 보여준다. 그럼에도 불구하고, 일부 지역에서는 재현기간의 증가 또는 통계적으로 유의하지 않은 변화가 전망된다.

3.3.3. 바람

극한 풍속은 인간의 안전, 해상·항공 활동, 기반시설의 상태에 위협을 가한다. 극한 풍속은 물론, 바람의 다른 속성들도 극한 영향을 야기할 수 있다. 평균 풍속의 추세는 잠재적 증발에 영향을 미치고, 차례로 가용 수자원 및 가뭄에 영향을 미칠 수 있다(McVicar 등, 2008; 3.5.1절 및 Box 3-3 참고). 지속적인 중위도 바람은 연안 해수면을 상승시킬 수 있고(Mcinnes 등, 2009b), 탁월풍의 장기적 변화는 파랑 기후(wave climate)와 연안 안정성을 변화시킬 수 있다(Pirazzoli and Tomasin, 2003; 3.5.4절 및 3.5.5절 참고). 바람은 건조 및 반-건조 환경의 형성 및 발달에 상당한 영향을 미치며, 토양 및 식생 변화와 밀접한 관련이 있다(Okin 등, 2006). 풍향의 급변이 산불의 진행 방향을 바꿀 수도 있고(4.2.2.2절; Mills, 2005), 불 그 자체가 토네이도 발생과 같은 국지적 순환 반응을 발생시킬 수도 있다(Cunningham and Reeder, 2009). 기온, 강수 등의 다른 기상 및 기후 요소와는 달리, 극한바람은 흔히 열대 및 온대저기압(3.4.4절 및 3.4.5절 참고), 뇌우를 동반한 강한 하강 기류 및 토네이도와 같이 극한바람과 관련이 있는 극한 현상의 배경에서 고찰된다. 바람이 극한 현상 그 자체를 정의하는 데 자주 사용되지는 않지만(Peterson 등, 2008b), 풍속 기준값이 현상의 심각성을 특성화하는 데 사용될 수도 있다(예: 열대저기압에 대한 사피르-심슨(Saffir-Simpson) 척도). 극한바람의 변화가 그 극한에 관련된 현상(예: 국지적 대류 활동의 변화)의 강도 또는 위치 변화나 대규모 순환 패턴의 이동과 같은 기후시스템의 다른 변화로 인해 발생할 수도 있다. 높은 퍼센타일, 특정 시간 범위에서의(예: 일간-연간) 최대값 또는 폭풍 관련 최고값과 같은 다양한 정량적 개념을 사용하여 극한바람을 정의할 수도 있다. 순간 최대 풍속은 짧은 시간(보통 3초) 동안 측정된 최고 풍속으로, 일간 최대 지상 풍속에 적용되는 돌풍의 모수화를 사용하는 모델에서 평가될 수도 있다(예: Rockel and Woth, 2007).

고기후의 시간 범위에 대해서는, 지시자 자료를 사용하여 홀로세 중기(6,000년전)부터 산업혁명 시작까지 전지구에 걸친 순환 변화를 추론하였다(Wanner 등, 2008). 이 기간에 대해서는, 전지구에 걸친 순환 패턴 변화의 증거가 존재한다. 열대수렴대(Inter-Tropical Convergence Zone: ITCZ)가 남쪽으로 이동했으며, 그 결과 아시아에서 몬순이 약화되었다(Haug 등, 2001). 워커순환(walker circulation)은 강해졌고 남빙양 편서풍은 북쪽으로 이동함과 동시에 강해졌는데, 이러한 변화는 남오스트레일리아, 뉴질랜드 및 남아메리카 남부에 영향을 미쳤다(Shulmeister 등, 2006; Wanner 등, 2008). 그리고 ENSO 변동성과 빈도가 증가했다(Rein 등, 2005; Wanner 등, 2008). 북대서양 진동(Northern Atlantic Oscillation: NAO)이 약화되는 방향으로의 변화에 대한 약한 증거도 존재하는데, 이는 북대서양에서 서풍이 약화됨을 의미한다(Wanner 등, 2008). 북반구에서의 변화는 궤도 강제력의 변화에 기인한 것이었던 반면, 남반구에서의 변화는 더 복잡했는데, 이것은 대양의 열 수송이 순환에서 추가적인 역할을 하기 때문이었을 것이다. 태양 변동성과 화산 폭발 역시 이 시기 동안 십 년-수백 년 변동에 기여했을 수 있다(Wanner 등, 2008).

AR4는 극한바람의 변화를 특별히 다루지 않았지만, 열대 및 온대저기압, 파랑 등의 다른 현상들의 정황에서 바람 변화에 관하여 보고했으며 중위도 편서풍이 양 반구 모두에서 강도가 증가했다는 결론을 내렸다(Trenberth 등, 2007). 계기, 관측소 위치 및 주변 토지 이용의 변화가 바람 측정결과에 영향을 미치기 때문에 지상 풍속계를 사용해서 얻은 양질의 장기적 바람 측정결과는 드물며, 따라서 바람 기후에서 변화를 직접 조사하는 데에는 어려움이 있었다(Cherry, 1988; Pryor 등, 2007; Jakob, 2010; 3.2.1절 참고). 그럼에도 불구하고, 다수의 최근 연구는 바람 관측자료 및 재분석결과에 근거하여 세계 여러 지역에서 평균 및 극한 풍속의 추세를 보고하고 있다.

북아메리카에서는, 1973-2005년 미국 대부분 지역에 대하여(Pryor 등, 2007), 그리고 캐나다 서부 및 남부 대부분에 대한 1953-2006년 시간별 10m 고도에서의 바람 자료에서(Wan 등, 2010), 50 및 90 퍼센타일의 풍속 감소 추세가 보고되었다. Lynch 등(2004)은 1955-2001년 알래스카에서 평균 풍속의 증가 추세를 보고했고 Wan 등(2010)은 캐나다 북극해 중부에서는 모든 계절에, 그리고 해상에서는 봄과 가을에 평균 풍속이 증가하는 추세가 있다고 보고했다. 또한, 1979-2003년 남부 해상에 대한 지역 규모의 재분석에서는 연 최대 풍속의 증가 추세가 보고되었다(Hundecha 등, 2008). 중국에서는, 1969-2005년 10m 고도에서의 월평균 바람과 95 퍼센타일의 바람에서 음의 추세가 보고되었다(Guo 등, 2011). Jiang 등(2010a)은 1956-2004년의 일 최대 풍속에서 음의 추세를 보고했다. 1966-2003년 티벳 고원에 걸쳐 2m 고도의 평균 바람에서 음의 추세가 보고되었다(Y. Zhang 등, 2007). 보고된 이러한 음의 추세는 Xu 등이 보고한 평균 바람과 10m 고도에서 강풍의 감소 추세가 더 빨라지고 있음을 확인시켜 준다. 유럽에 대해서는, Smits 등(2005)이 1962-2002년 10m 고도 풍속계 자료에서 극한바람의 감소 추세(극한바람의 발생수가 연평균 10회에서 2회로 감소)을 발견했다. Pirazolli and Tomasin(2003)은 지중해 연안 중부 지역의 관측자료에서 1951년부터 1970년대 중반까지는 연평균 풍속 및 연 최대 풍속이 대체로 감소하는 추세를 보였고 그 이후에는 증가하는 추세를 보였다고 보고했다. 지상풍의 관측자료에 관한 북반구를 대상으로 한 연구에서 주로 감소 추세가 발견된 것과 유사하게, Vautard 등(2010)도 대륙의 북쪽 중위도에 대한 지상풍 관측자료에서 주로 감소 추세를, 그리고 지상풍 측정결과에서 평균 풍속 대비 극한 풍속의 강한 감소를 발견했다. 남반구에서는, McVicar 등(2008)이 1975-2006년 동안 2m 고도의 평균 풍속이 오스트레일리아의 관측 지점 88%에서 감소했고(57%에서는 유의하게 감소) 본토 내륙의 약 12%와 타즈매니아를 포함한 남부 및 동부 연안 지역에서는 증

가했다고 보고했다. 남극 대륙에서는, 20세기 후반에 걸쳐 평균 풍속의 증가 추세가 보고되었다(Turner 등, 2005). 중국에서 보고된 풍속의 큰 감소를 제외하고는, 대부분 지역에서 연구의 수가 너무 적기 때문에 풍속 변화에 관한 완건한 결론을 도출할 수 없으며 극한바람 변화를 다룬 연구의 수는 더 적다. 몇몇 연구에서는 일부 지역에서 풍속계로 측정된 바람 자료와 재분석 자료 간에 상반된 추세가 보고된다(Smits 등, 2005; McVicar 등, 2008; Vautard 등, 2010); 하지만, 복잡한 지표 특성을 분석하지 않는 재분석으로부터 얻은 10m 고도 자료를 10m 이하 고도에서 얻은 지상 풍속계 자료와 비교하는 것은 문제가 있다.

극한바람의 추세는 특정 현상들의 추세로부터 추론되기도 한다. 열대저기압(3.4.4절)에 관하여, 전지구적인 연 발생수에서는 통계적으로 유의한 추세가 나타나지 않았지만, 1980년 이래 가장 강력한 폭풍의 강도에서는 그 추세가 보고되었다 [하지만, 과거 관측 능력의 변화를 고려했을 때, 장기간(즉, 40년 이상) 관측된 열대저기압 활동의 증가가 크다는 데 대한 신뢰수준은 낮다; 3.4.4절 참고]. 중위도에서는, 유럽(Barring and von Storch, 2004; Matulla 등, 2008; Allan 등, 2009; Barring and Fortuniak, 2009; X.L. Wang 등, 2009b)과 오스트레일리아(Alexander and Power, 2009; Alexander 등, 2011)에 걸쳐 압력 삼각형을 사용해 계산된 지균풍이나 기압 경향과 같은 바람에 대한 지시자가 연구에 사용되어 왔다. 유럽의 경우 이 연구들은 폭풍 활동이 1900년 무렵과 1990년대에는 높았지만 1960년대와 1970년대에는 낮았음을 보여준다. 하지만, X.L. Wang 등(2009b)은 계절 추세는 연 추세와 다르다고 언급했다. 대체로, 장기 추세는 이용 가능한 여러 연구들 간에서도 차이가 있고 재분석 자료가 존재하는 기간에 초점을 맞춘 연구들 간에서도 차이가 있으며(Raible, 2007; Leckebusch 등, 2008; Della-Marta 등, 2009; Nissen 등, 2010), 강한 십년 규모의 변동성이 흔히 보고된다(Allan 등, 2009; X.L. Wang 등, 2009b; Nissen 등, 2010). 오스트레일리아 남동부에서는, 약 1885년 이래 폭풍 활동의 감소가 보고되어 왔다(Alexander and Power, 2009; Alexander 등, 2011). 온대저기압에 대한 더 많은 논의에 대해서는 3.4.5절을 참고한다. 뇌우, 토네이도, 중규모 대류 복합체와 같은, 극한바람에 연관된 다른 현상들에 관한 연구는 그 변화가 극한바람에 미치는 영향을 평가하기에 그 수가 매우 적다. 또한, 과거 자료의 불균질성은 이러한 소규모 현상에서 관측된 추세에 대한 신뢰수준이 낮음을 의미한다.

AR4는 중위도에 대하여, 극지역의 해면기압 감소에 해당하는 북반구 및 남반구 극진동의 추세가 부분적으로 인간 활동과 관련이 있을 가능성이 높고, 이는 결국 두 반구 모두에서 폭풍 경로와 바람 패턴에 영향을 미쳤다고 보고했다(Hegerl 등, 2007). 평균 및 심한 바람과 고유 변동성 모드 간의 관계가 몇 건의 AR4 이후 연구에서 조사되었다. 캐나다 서부 연안에서, Abeysirigunawardena 등(2009)은 ENSO가 음의 위상을 나타낼(즉, 온도가 낮은) 동안 더 극한바람이 발생하는 추세가 있음을 발견했다. 남극 대륙에서 최근 수십년에 걸친 평균 풍속의 전반적 증가 추세는 남반구 환상 모드가 높은 지수값으로 변화하는 것과 일치한다(Turner 등, 2005). Donat 등(2010b)은 유럽 중부에서는 폭풍일의 80%가 주로 NAO의 값이 양인 경우 발생하는 편서풍과 연관이 있다는 결론을 내렸다. 중국에서의 바람의 감소 추세는 지표-해양 온도차 감소에 기인한 순환 변화와 주로 관련이 있었다(Xu 등, 2006; Jiang 등, 2010a; Guo 등, 2011). Vautard 등(2010)은 북반구 중위도의 대륙지역 대부분에서 지상풍의 중간-높은 퍼센타일에서의 감속을 대기 순환 변화(10-50%)와 바이오매스 증가로 인한 지표 거칠기 증가(25-60%)에 기인한 것으로 보았는데, 이것은 RCM 모의로 뒷받침된다. X.L. Wang 등(2009a)은 북반구 고위도 지역 겨울철 바람에 대한 지시자(지균풍 에너지)를 사용하여 북반구 고위도에서의 양의 추세 및 북반구 중위도에서의 음의 추세와 외부 강제력 간의 관계를 정식으로 탐지했다. 지중해 연안 중부 지역에서는 평균 및 연 최대풍속의 추세가 기온과는 양의 상관관계가 있지만 NAO 지수와는 상관관계가 없는 것으로 밝혀졌다(Pirazzoli and Tomasin, 2003). Nissen 등(2010)은 1957-2002년 재분석자료에서 관련이 있는 강풍을 식별하기 위하여 저기압을 추적한 결과, 지중해 연안 중부 지역과 남유럽에서는 양의 추세를, 지중해 연안 서부 지역에서는 음의 추세를 발견했다.

AR4에서는 풍속 변화, 특히 바람의 극한 전망을 구체적으로 다루지는 않았지만, 중위도 폭풍 경로, 열대저기압, 파랑과 같은 다른 변수 및 현상과 관련하여 풍속이 언급되었다(Christensen 등, 2007; Meehl 등, 2007b). Meehl 등(2007b)은 미래 열대저기압에 의한 극한바람의 증가 가능성을 전망했으며, 폭풍 경로의 극방향으로의 이동 전망과 그에 관련된 바람 패턴의 변화에 대한 보다 많은 증거를 제공했다. AR4 이래, 새로운 연구들은 바람의 미래 변화를 중점적으로 다루어 왔다. Gastineau and Soden(2009)은 1981-2000년 대비 2081-2100년의 17개 멤버 다중 모델 앙상블에서 850hPa에서의 99 퍼센타일의 풍속이 열대에서는 감소했고 온대에서는 증가했다고 보고했다. McInnes 등(2011)은 19개 멤버 앙상블에서 1981-2000년과 2081-2100년 간의 평균 및 99 퍼센타일의 10m 바람 변화에 대한 다중모델의 일치 정도를 나타내는 전지구 분포를 제시했다(그림 3-8 참고). 이 그림은 유럽, 중앙아메리카 및 북아메리카 일부, 열대 남태평양, 남빙양에 걸친 평균 풍속의 증가를 보여준다. 적도를 따라 평균 풍속이 감소하는데, 이는 워커순환의 감속을 반영한다(Collins 등, 2010)(그리고 북반구 및 남반구의 아열대 고압대 인근에서는, 극쪽으로 갈 수록 강해지는 풍속과 더불어, 중위도 폭풍의 이동 경로의 극쪽으로 이동 추세를 반영한다; 3.4.5절 참고) 계절 차이 역시 명백하여, DJF에는 북극과 북태평양 일부에서 평균 바람이 더 광범위하게 증가하고 JJA에는 북태평양 대부분에 걸쳐 평균 바람이 감소한다. 99 퍼센타일의 바람 변화가 DJF에는 북태평양과 북극해 및 40° S의 남빙양, JJA에는 대략 10° S와 25° S 사이의 남태평양, 그리고 JJA에 남빙양 남부를 제외한 대부분의 해양 지역에서 감소를 보여준다. 99 퍼센타일 바람의 증가가 DJF에는 북극과 북반구의 대륙 지역 대부분에서, 그리고 JJA에는 오스트레일리아 북부와 중앙아메리카 및 남아메리카에서 발생한다. 그림 3-8에 제시된 전망들에도 불구하고, 극한바람의 전망에 관한 연구가 거의 없다는 점은, 극한바람의 모의에 있어서의 문제점과 이 양을 전망하는 데 사용된 모델, 지역 및 방법의 다양성과 더불어, 강풍 변화 전망에 대한 신뢰수준이 낮음을 의미한다.

폭풍 경로의 변화에 기인한 유럽에서의 겨울철 폭풍 위험의 지역적 증가 역시 지역 규모를 대상으로 한 다수의 연구들에 의해 뒷받침된다(예: Pinto 등, 2007b; Debernard and Roed, 2008; Leckebusch 등, 2008; Sterl 등, 2009; Donat 등, 2010a,b, 2011). 그러나, GCM의 현재 해상도로는 특히 극심한 바람과 연관이 있는 열대저기압, 토네이도, 중규모 대류복합체와 같은 소규모 현상들을 분석하는 것이 불가능하다. 하지만, Mcinnes 등(2011)이 지적한 것과 같이, 이 바람들은 전형적으로 99 퍼센타일보다 더 극한이었을 것이다. 열대저기압으로 인한 미래 극한바람의 증가를 시사하는 증거가

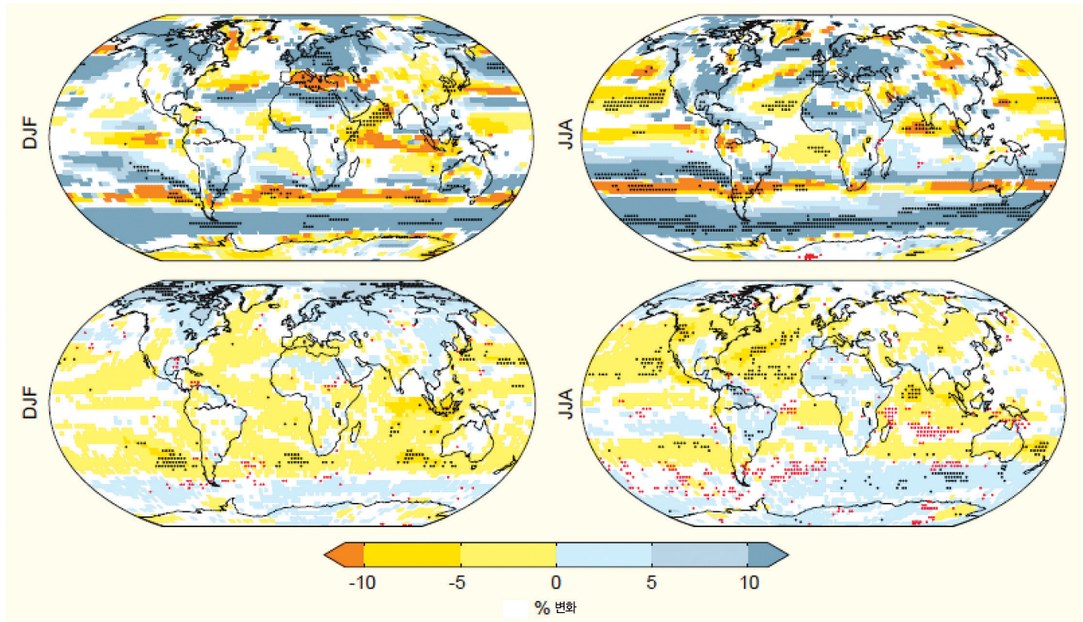


그림 3-8 | 변화의 부호가 모델의 66% 이상에서 일치하는 지역만 표시한, CMIP3 GCM의 19개 멤버의 앙상블로부터 얻은 12-2월(왼쪽) 및 6-8월(오른쪽)에 대한 1981-2000년 대비 2081-2100년의 일평균 10m 풍속의 평균(위쪽) 및 일평균 10m 풍속의 99 퍼센타일의 평균 변화. 검정색 점들로 표현된 부분은 변화의 부호가 모델의 90% 이상에서 일치하는 지역이다. 적생의 점들로 표현된 부분은 ±2% 사이의 작은 변화가 모델의 66% 이상에서 일치하는 지역이다. McInnes 등(2011)으로부터 수정 차용; 보다 자세한 설명은 부록 3.A 참고.

있다(3.4.4절 참고). 대기 중 온실가스 농도 증가는 기온 및 습도 상승으로 인한 대기불안정성과 같이 토네이도를 유발하는 어떠한 대기 상태를 야기할 수도 있고 극에서 적도까지의 온도 경도 감소로 인한 연직시어(vertical shear) 감소와 같은 다른 대기 상태의 감소를 야기할 수도 있지만(Diffenbaugh 등, 2008), 이 현상들에 대한 문헌은 현 시점에서 극히 제한적이다. 이와 같이, 제한된 연구, 이들 현상을 분석하는 기후 모델의 능력 부족, 그리고 미래 변화에 영향을 미치는 인자들의 경쟁 가능성으로 인해 그러한 소규모 시스템의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 따라서, 극한바람 변화에 대한 신뢰수준은 풍속 변화의 부호에 대한 GCM들 간의 일치 정도가 높은지의 여부에 상관없이, 이들 현상의 영향을 가장 많이 받는 지역들에서 더 낮다.

GCM을 사용하는 연구들 이외에 최근 RCM을 적용하는 몇 건의 연구도 수행되었다. 유럽을 집중적으로 다룬 연구들(예: Beniston 등, 2007; Rockel and Woth, 2007; Haugen and Iversen, 2008; Rauthe 등, 2010) 역시, 사용된 다양한 상세화 모델과 상세화가 행해진 여러 GCM, 그리고 극한바람을 정량화하기 위하여 사용된 여러 방법에도 불구하고, 북유럽에서의 극한바람 증가 추세의 전체적 상황을 제공한다. 여러 배출 시나리오 하에서 1개 GCM으로부터 상세화된 RCM 모의들에서는 북위 60° N에서 생성되는 소규모 극저기압의 빈도 감소가 발견되었는데, 이것은 대류권 중층 기온이 그 지역 해수면 온도보다 일찍 따뜻해지는 데 기인한 그 지역의 안정도의 상승과 관련이 있다(Zahn and von Storch, 2010). 다른 여러 지역에 대한 연구는 거의 없었다. 중국의 경우, Jiang 등(2010b)은 2개의 서로 다른 GCMs를 상세화한 2개 RCMs에 근거하여 연간 및 겨울철 평균 풍속의 감소를 전망했다. 북아메리카에서는, 미국 북서부 5개 공항에서 4가지 GCM으로부터 산출된 바람의 통계적 상세화가 여름철에는 풍속의 감소를, 겨울철에는 크게 확신할 수 없는 변화를 보여주었다(Sailor 등, 2008).

최근의 다수 연구에서 전지구 각지에서 관측된 풍속의 변화를 다루었지만, 풍속계 자료와 관련된 여러 자기 문제점과 일부 지역에서의 풍속계를 통한 추세와 재분석값의 추세 간의 불일치로 인해 현 단계에서는 바람 추세 및 그 원인에 대한 신뢰수준이 낮다. 평균 풍속에서 관측된 추세가 극한바람의 추세와 어떠한 관계가 있는지에 대한 신뢰수준 또한 낮다. 극한바람의 전망에 관한 연구가 거의 없다는 점은, 극한바람 모의의 결점과 이 값을 전망하는 데 사용된 모델, 지역, 방법의 다양성과 함께, 극한바람 변화 전망에 대한 신뢰수준이 낮음을 의미한다(열대저기압에 연관된 변화는 제외; 3.4.4절 참고). 토네이도와 같은 소규모 현상의 전망은, 대립하는 물리적 과정들이 미래 추세에 영향을 미칠 수도 있고 기후 모델이 그 현상을 모의하지 않기 때문에, 그 신뢰수준이 낮다.

3.4. 극한기상 및 극한기후와 관련한 현상의 관측된 변화 경향 및 미래 전망

3.4.1. 몬순

기후변화로 인한 몬순관련 극한강수와 풍속의 변화는 제대로 이해되지 않고

있다. 일반적으로 강수량은 가장 중요한 요소지만 기후 모의와 예측의 불확실성과 관련이 있는 요소이기도 하다(Wang 등, 2005; Kang and Shukla, 2006). 몬순의 변화는 강수량만으로 설명되기 보다는 보다 폭넓은 측면에서 대규모의 역학적 순환 또는 수분 수렴으로 설명될 수 있다. 그러나 대규모 및 국지적 몬순 순환에서 관측된 변화에 초점을 맞춘 연구는 거의 없다. 이러한 점에서 이번 장은 몬순에 의한 전체 및 계절별 강수량 변화에 초점을 맞추고 있다. 호우에 대한 대부분의 논의는 3.3.2절에서 다룬다.

고-몬순(paleo-monsoons)을 평가하기 위한 모델 실험에 의하면, 홀로세(holocene)동안 1,000년 간의 궤도 강제력으로 인해 약 8,000년 전 북반구의 여름의 ITCZ 위치가 조금씩 남쪽으로 이동한 것으로 보인다. 이는 아프리카와 아시아 지역 강수 시스템의 현저한 약화와 두 대륙의 건조 현상을 증가시켰다. 한편 모델과 고기후 지표 모두에 의하면 남아메리카는 지금보다 몬순이 더 약했고 더 건조했다(Wanner 등, 2008).

전지구적 몬순은 주로 강수 자료와 장파 복사(outgoing longwave radiation: OLR) 장을 이용해 설명되었다(Kim 등, 2008). Lau and Wu(2007)는 열대지방의 강수 발생에 있어서 두 가지 반대되는 시계열을 파악했다: 중정도의 강수는 음의 추세를, 호우와 미우는 양의 추세를 나타냈다. 집중호우의 양의 추세는 ITCZ, 남태평양 집중 지역, 인도양, 몬순지역의 깊은 대류핵(convective core)에서 나타났다.

동남아시아 및 북오스트레일리아 몬순을 포함하는 인도-태평양지역에서 Caesar 등(2011)은 1971년부터 2003년 사이 지역 전반에 걸친 극한강수 추세에서 낮은 공간 상관성(spatial coherence)을 발견했다. 통계적으로 유의한 극한강수 추세가 발견된 몇몇 경우, 주로 더 습윤한 상태가 나타났다. 이는 Alexander 등(2006)의 전지구 규모의 결과와 일치한다. Liu 등(2011)은 1960년부터 2000년까지 중국에서 기록된 강수 현상의 감소 추세를 보고했다. 이는 주로 일 0.1-0.3mm의 강수량을 나타내는 미우의 감소 때문이었다. 이러한 극한강수의 일부는 라니냐 유사 해수면온도(SST) 패턴과 양의 상관관계가 있는 것으로 보였지만 현재 그러한 흐름은 나타나지 않는다. 바람의 변화와 관련하여, Guo 등(2011)은 1969년부터 2005년 사이 중국과 그 몬순지역 해수면 부근의 풍속 변화를 분석하고 통계적으로 유의한 수준으로 연간 및 계절별 평균 풍속이 약화되었음을 보여주었다.

인도 몬순과 관련하여 Rajeevan 등(2008)은 1901년부터 2005년 사이 극한강수 현상이 증가하는 경향을 나타냈지만 이러한 흐름은 1950년 이후 훨씬 크게 증가했음을 보여주었다. Sen Roy(2009)는 인도에서 시간당 극한강수량의 변화를 조사하고 인도 전역에서 호우가 증가했다는 사실을 발견했다. 이러한 경향은 특히 1980년부터 2002년 사이 여름 몬순 계절에 고도가 높은 히말라야 북서부 지역과 남쪽 인도 갠지스강 유역을 따라 분포하는 히말라야 산기슭의 작은 산 지역에서 두드러졌다.

아프리카 몬순 지역과 관련하여 Fontaine 등(2011)은 고해상도 격자 강수량(기간: 1979-2002), OLR, 재분석자료를 이용해 관측된 경향을 조사했다. 그 결과 1990년대 중반부터 북아프리카의 강수량이 증가한 것으로 나타났다. 그러나 장기적인 측면에서 Zhou 등(2008a,b)과 Wang and Ding(2006)은 지난 54년간 전지구 몬순 지역의 강수량은 전반적으로 감소하는 경향을 나타냈으며 이는 주로 북아프리카와 남아시아 몬순지역의 강수량 감소가 원인이라고 보고했다.

아메리카 몬순지역과 관련하여 Cavazos 등(2008)은 1961년부터 1998년 사이 기간 동안 북아메리카 몬순지역인 멕시코 북동부 산악지역에 강수강도가 증가했으며 이는 열대저기압에 의한 호우가 증가한 것이 원인이라고 보고했다. Arriaga-Ramirez and Cavazos(2010)는 1961년부터1998년 기간 동안(주로 겨울)멕시코 서부 및 미국 남서부 몬순지역의 전체 강수량 및 극한강수량이 통계적으로 유의미하게 증가했다는 사실을 발견했다. Groisman and Knight(2008)는 미국 남서부에서 최대무강수 지속기간(Box 3-3에서 정의 참고)이 크게 증가했다는 사실을 발견했다. 한편 Marengo 등(2009a,b)과 Rusticucci 등(2010)은 1960- 2000년 사이 남아메리카 몬순지역의 호우 증가를 보고했다. 남아메리카 몬순과 관련하여 몬순의 시작과 끝을 평가하기 위해 850 hPa의 바람 또는 습윤속과 같은 순환장을 이용한 연구가 수행되었다. 이러한 연구 결과 몬순 시작은 동 태평양 지역과 열대 대서양 지역의 SST 편차(anomalies)의 변화와 관련된 경년변동성을 보여준다(Gan 등, 2006; da Silva and de Carvalho, 2007; Raia and Cavalcanti, 2008; Nieto-Ferreira and Rickenbach, 2011).

어떤 면에서 몬순의 변화의 원인을 규정하는 것은 어려운 일이다. 아시아 몬순의 과정을 나타내는 데 있어 모델 간에 큰 차이가 있기 때문이다. 대부분의 모델은 계절성 열대 강수의 일반적인 이동을 모의한다. 그러나 해상도 한계로 인해 많은 모델들이 몬순 기간 동안 인도 서부 해안, 북뱅골만, 인도 북동부 부근에서 관측된 최대 강수량을 제대로 모의하지 못한다. Bollasina and Nigam(2009)은 인도양의 여름 강수, 증발, SST에 일관적인 편의가 있음을 밝혔다. 많은 편의가 발생하였으며 대부분의 모의에서 일반적으로 나타난다.

전지구적 몬순 강수에 대한 음의 경향은 관측된 해수온도에 의한 뚜렷한 강제력이 없는 결합 모델보다 과거 SST에 의해 강제되는 대기모델에 의해 더 효과적으로 재생산된다(Kim 등, 2008). 동아시아 몬순의 이러한 추세는 중동 태평양과 서부 열대 인도양의 온난화 추세와 강한 연관성을 갖는다(Zhou 등, 2008b). 서아프리카 지역의 몬순과 관련하여 Joly and Voldoire(2010)는 경년변동에서 기니만 SST의 기여도를 조사했다. 대부분의 CMIP3 모의 연구에 의하면, 기니만에서 특히 기니 해안을 따라 SST의 경년변동은 매우 약했다. 결과적으로 아프리카 대륙의 몬순 강수에 미치는 영향은 효과적으로 재생산되지 않는다. 이는 지난 수십 년 동안 태평양 및 대서양 지역의 영향이 제거되었기 때문일 수 있다. 장기적으로 북아프리카 여름 몬순 강수의 감소 추세는 관측된 SST 변동성에 대한 대기의 반응 때문일 수 있다(Hoerling 등, 2006; Zhou 등, 2008b; Scaife 등, 2009). CMIP3 모델의 20세기 모의의 경우, 인위적 강제력을 포함하거나 경우에 따라 자연적 강제력(화산 강제력 포함)을 포함할 때 전지구적 몬순 강수와 유사한 추세를 재생산한다. 그러나 비슷한 규모의 추세를 생산할 있는 하나의 모델(HadCM3)을 제외하고 일반적으로 이러한 추세는 훨씬 약하다(Li 등, 2008). 또한 동아시아 지역 몬순의 강수 감소는 열대 SST 변화와 관련이 있는 것으로 보이며(Li 등, 2008) 동남아시아 및 북오스트레일리아 몬순의 극한강수에서 공간 상관성이 낮은 양의 추세는 라니냐 유사SST 패턴과 양의 관계가 있는 것으로 보인다(Caesar 등, 2011).

다양한 자연적, 인위적 요소는 몬순 변동성의 원인이 될 수 있다. 지역 규모에서의 몬순의 변화는 ENSO, 태평양 10년 진동(Pacific Decadal Oscillation: PDO), 북반구 환상 모드(Northern Annular Mode: NAM), 대서양 십년 단위 진동(Atlantic Multi-decadal Oscillation: AMO), 남반구 환상 모드(Southern Annular Mode: SAM) 등과 같은 기후변동의 지배적인 패턴의 상태변화에 의해 크게 영향을 받는다(3.4.2절 및 3.4.3절 참고). 또한 모델에 의하면 지면과정과 토지 이용 변화가 경우에 따라 지역 규모에서의 몬순에 큰 영향을 줄 수 있다. 아프리카 및 동남아시아 지역의 열대 토지 피복 변화는 아마존 강 유역에서보다 지역 기후에 미치는 영향이 약한 것으로 보인다(Voldoire and Royer, 2004; Mabuchi 등, 2005a,b). Grimm 등(2007)과 Collini 등(2008)은 남아메리카 지역의 몬순 초기 기간 동안 토양 수분과 강수 간의 되먹임의 가능성을 탐구했다. 이 기간 동안 지표는 충분한 수분을 포함하지 않으며 토양수분의 편차가 강수 발생을 조절할 수 있다. 그러나 과거 토지 이용이 몬순에 미치는 영향은 정량화하기 어렵다. 토지 이용에 관한 기록도 충분하지 않고 몬순을 상세한 수준으로 모의하기도 어렵기 때문이다. 에어로졸(검댕, 황산염)이 몬순 지역의 강수 변동성 및 강수량 변화에 미치는 영향이 Meehl 등(2008)과 Lau 등(2006), Silva Dias 등(2002)에 의해 연구되었다. 이러한 연구들에 의하면, 관련 지면과정 및 에어로졸 강제력의 직접적인 역할, 그 결과로 인한 상호작용을 나타내는 데 있어 여전히 큰 불확실성과 강한 모델 의존성이 존재한다(예: 토지이용 강제력. Pitman 등, 2009).

몬순의 변화 예측과 관련하여 AR4(Christensen 등, 2007)는 다음과 같은 결론을 내렸다. 수분 수렴 강화로 인한 강수량 증가로 몬순 순환 경향이 나타나는데, 반면 몬순 흐름 자체도 약화되는 경향 역시 보이고 있다. 그러나 열대 기후 반응의 많은 측면이 여전히 불확실하다. Held and Soden(2006)은 물순환의 증가가 전지구 규모의 대규모 순환 약화를 동반한다는 사실을 증명했다. 지구온난화는 해양보다 육지의 온도 상승을 빠르게 할 것으로 전망된다(예: Meehl 등, 2007b; Sutton 등, 2007); 몬순 순환에 영향을 미치는 주요 요소인 대륙 규모에서 지표-해양 온도 차이는 여름에 더 커질 것이다. 이러한 전망에 근거한 단순 시나리오에 의하면 앞으로 여름 몬순은 더 강해지고 겨울 몬순은 약해질 것이다. 그러나 15개 CMIP3 전지구 모델의 분석 결과는 이러한 시나리오처럼 단순하지 않으며(Tanaka 등, 2005), 분석결과는 20세기 후반과 비교해 21세기 후반의 열대 순환이 약화되었음을 보여준다.

이러한 순환의 변화는 몬순과 관련된 강수 변화로 이어질 수 있다. 가령, 멕시코 및 중앙아메리카의 몬순 강수는 워커순환 및 지역 해들리순환의 변화를 통한 적도 동태평양 전반에서의 강수 증가와 관련하여 감소할 것으로 전망된다(예: Lu 등, 2007). 또한 관측 및 모델 결과에 의하면 몬순의 변화는 최소한 부분적으로 관측된 SST 변화와 관련이 있다.

지역 규모의 경우, 순환 및 강수와 같은 몬순 특성의 향후 변화 신호와 관련하여 GCM 전망이 일치하지 않는다. 가령 지구온난화에 따라 사바나 지역의 극심한 건조화를 전망하는 모델이 있는 반면 극심한 강수를 전망하는 모델도 있다. 심지어 극한강수의 발생 빈도가 증가할 것이라고 전망하는 모델도 있다(Cook and Vizy, 2006). 아시아 지역 몬순(연간 계절 평균 강수 변동성과 함께)과 서아프리카 남부 지역 몬순의 경우 강수량 증가가 전망되지만, 북반구 여름 사바나 지역의 강수는 감소할 것으로 전망된다. 남반구 여름, 오스트레일리아 몬순과 관련하여 Moise and Colman(2009)는 CMIP3 모의의 앙상블 평균을 분석한 후 여름 기간 동안 오스트레일리아 열대 강수에 변화가 없으며 경년변동이 다소 커졌을 뿐이라고 결론 내렸다.

19개 CMIP3 모델에 관한 연구는 남아시아 여름 몬순 강수량 평균의 8% 증가 및 몬순기간의 연장을 전망했다(Kripilani 등, 2007). RegCM3 지역 모델을 이용한 미국대기과학연구소(National Center for Atmospheric Research: NCAR)의 CCSM3 전지구 모델의 상세화 연구(Ashfaq 등, 2009)에 의하면 대규모 몬순 흐름이 약화되고 21세기 말경 남아시아 여름 몬순의 전반적인 약화와 함께 지배적인 계절간 진동 모드가 억제되면서 동남아시아의 여름 강수가 감소할 것으로 보인다.

Kitoh and Uchiyama(2006)는 A1B 시나리오에 따른 15개 모델을 이용해 21세기 말 바이우-장마-메이유 강수 밴드(Baiu-Changma-Meiyu rain band)에서의 강수 강도와 기간 변화를 분석했다. 분석 결과, 양쯔강 유역에서의 이른 후퇴와 비교해 대만 지역과 일본 남부 류큐 제도의 경우엔 초여름 강수의 후퇴가 지연되는 현상이 발견되었다. 이들은 이러한 특징의 원인을 서태평양지역 전반에 걸친 몬순 기압골과 아열대 고기압의 평균적인 엘니뇨 유사 상태변화 때문이라고 보았다(Meehl 등, 2007b). 아시아 대륙부터 일본 북동부까지의 대류권 중층의 평균적인 엘니뇨 유사 기후 상태 변화와 건조 공기 유입과 관련하여 북동태평양 지역 전반에 걸쳐 아열대고기압이 남서 방향으로 확장함으로써 일본 바이우 시즌에 호우가 발생하기 유리한 조건이 생성된다(Kanada 등, 2010a). Kitoh 등(2009)는 동아시아 여름 우기에 강수 특성 변화를 전망했다. 이들은 20km 전지구 대기 모델에 내장된 5km CRM(cloud-resolving model)과 CMIP3 평균 SST 변화를 이용했다. 21세기 시간별, 일별 호우 빈도는 모두 증가할 것으로 전망되었다. 또한 기온이 아직 높지 않은 가까운 미래(2030년대)에도 시간별 극한강수가 증가할 것으로 전망되었다. 그러나 시간 당 강수량에 대한 전망의 불확실성(및 모의 불확실성)이 여전히 높다.

21세기 기후변화 시나리오는 해들리셀(Hadley cell)의 극쪽으로의 확장 및 약화를 통한 북아메리카 지역의 몬순의 약화를 보여준다. 해들리셀의 확장은 아열대 정적 안정성의 증가가 원인이다. 이는 경압성 불안전 지대를 극쪽으로 밀어내고 따라서 해들리셀의 외부경계 또한 극쪽으로 밀어낸다. 단순 물리학적 논의(Held and Soden, 2006)에 따르면 지구온난화 하에서 열대 역전순환(overturning circulation)의 둔화가 전망된다. 몇몇 연구(예: Marengo 등, 2009a)는 1960년부터 2100년 기간 동안 건조 기간의 증가 경향이 약화될 것으로 전망했다. 전망에 의하면 21세기 말 남아메리카 남동부의 극한강수 빈도가 증가할 것으로 보이며, 이는 A2 배출 시나리오에서 안데스 동부 하층제트의 빈도 및 강도가 증가함에 따라 아마존 유역으로부터의 수증기 이동이 강화되기 때문이다(Marengo 등, 2009a; Soares and Marengo, 2009).

몬순 모델의 모의 및 과정에는 아직 다수의 문제점이 있으며 이는 미래 변화 전망 능력에 대한 신뢰수준을 저하시킨다. 몬순지역의 기후변화와 관련하여 전지구 및 지역 규모에서의 전망에 대한 불확실성은 과정에 대한 모델의 모의, 아격자 과정의 모수화(예: 구름, 강수), 전지구 및 지역 수준에서의 모델 모의의 되먹임 메커니즘(예: 토지 이용/피복 변화 ; 3.1.4절 참고)이 가진 한계에 기인한다. Kharin 등(2007)은 AR4 모델에서 20년 결과값으로 모의된

극한강수를 이용해 열대 지역의 극한강수에 대한 상호 비교를 실행했다. 그들은 열대에서 큰 차이를 발견하고 극한강수와 관련된 일부 물리적 과정이 모델 해상도와 물리학적 특성 때문에 모델에 의해 제대로 모의되지 않는다고 설명했다. Shukla(2007)는 현재 기후 모델들이 아시아 여름 몬순의 평균 강도와 계절 변동성을 충분히 전망하지 못한다는 것에 주목했다. 이는 몬순 지역 극한강수 변화 전망에 대한 신뢰수준을 떨어트린다. 현대 기후 모델에선 아직 Madden-Julian 진동(MJO, 약 한 달간의 시간 규모로 기동하는 기후 시스템의 자연 모드)의 중요한 기후 효과(몬순의 강수 변동성에 미치는 영향 포함)가 제대로 모의되지 못하고 있다(Christensen 등, 2007).

몬순과 관련된 계절적 변동성을 모의하는 데 있어 현재 GCM은 여전히 어려움을 갖고 있으며 다양한 기법을 갖추고 있다. 대부분의 GCM은 결합된 적도 편동풍파의 서향으로의 전파를 모의한다. 하지만 상대적으로 MJO의 동향 전파와 편동풍파 및 MJO의 약한 변동성은 제대로 모의하지 못한다. 대부분의 GCM은 남아메리카 몬순 시스템(South American Monsoon System: SAMS)과 관련된 강수의 계절 주기의 기본 특성을 재생산할 수 있다. 그러나 강도 및 위치와 계절 변화 측면 모두에서 모델에 의해 모의되는 남대서양 수렴대의 큰 불일치가 존재한다(Vera 등, 2006). 또한 모델들은 남아메리카 몬순 시스템(South American Monsoon System: SAMS)과 관련된 변화의 방향에 있어서 큰 차이를 보여주며, 이는 지역에 대한 전망의 불확실성을 높이는 역할을 한다. Lin 등(2008a)에 의하면 결합된 GCM은 큰 문제점을 갖고 있으며 계절 내 변동성과 관련된 북아메리카 몬순을 모의하는 데 있어 다양한 숙련도를 보여주었다.

대부분의 모델은 남동쪽에서 북서쪽으로 펼쳐진 몬순 강수 벨트와 초여름의 점진적인 북쪽 이동을 재생산한다. 그러나 계절 주기 동안의 핵심 몬순지역 전반에 걸친 강수를 과대평가하며 가을의 몬순 후퇴에 대해 재생산하지 못한다. 대부분의 모델은 일부 왜곡이 있을 수 있지만 몬순 기후를 나타낸다. 그럼에도 불구하고 AR4는 모델들이 서아프리카 몬순의 주요 특징을 모의하는데 실패했다고 평가한다(Christensen 등, 2007). 몬순 변화의 전망에 있어서 불확실성의 다른 원인은 기후 모델에서 나타나듯이 배출에 대한 기후시스템의 반응과 되먹임이다. 이러한 불확실성은 특히 배출의 복사 활성종 농도로의 전환(대기화학 및 탄소순환 모델을 통해)을 모의하는 것과 관련이 있다. 특히 바이오매스 연소로 인한 에어로졸 산물로부터 파생된 활성종은 우기 발생에 영향을 미칠 수 있다(Silva Dias 등, 2002). 물리적 기후시스템의 이후 반응은 몬순 강수의 미래의 전망을 복잡하게 만든다. 게다가 몬순과 그 변동성을 모의하는 데 있어 모델에서의 장기 변동은 불확실성의 또 다른 원인으로, 장기 기후 모델의 지역적 신뢰수준이 모델 결과가 분석되는 기간에 의존할 수 있다는 사실을 나타낸다.

AR4(Hegerl 등, 2007)는 순환 및 강수와 관련하여 몬순 지역 기후변화에 대한 현재 이해는 불확실성 중 하나로 남아 있다라고 결론 내렸다. 일부 몬순 지역의 몇몇 예외가 있기는 하지만 이는 변하지 않았다. 이러한 결론은 극소수의 연구를 토대로 한다. 몬순에 대한 모델의 모의와 기본적인 과정에 많은 문제들이 있으며 기후 모델들은 서로 일치하지 않고 있다. 이러한 점에서 몬순 변화의 전망과 관련하여 신뢰수준이 낮다. 그러나 한 가지 공통적인 패턴은 몬순 지역의 극한강수가 증가할 가능성이 높다는 점이다(3.3.2절 참고). 이러한 증가는 몬순 특징의 변화에 의해 유도되거나 모든 몬순 지역에서 발생하지 않는다.

3.4.2. 엘니뇨-남방 진동(El Niño-Southern Oscillation)

엘니뇨 남방 진동(El Niño-Southern Oscillation: EN SO)는 전지구 기후 시스템의 자연적인 변동성으로 열대 태평양 지역의 적도 해양-대기 상호작용이 그 원인이다(Philander, 1990). '남방 진동'이라는 용어는 태평양의 평균 이하의 기압과 관련된 인도양의 평균 이상의 기압 경향 또는 반대 현상을 의미한다. 이러한 진동은 동적도 태평양의 SST 변화와 관련이 있다. 해양 및 대기 변화는 총체적으로 ENSO라고 불린다. 엘니뇨의 발생은 ENSO 현상의 일부로 적도 중앙 및 동 태평양 해수면 온도의 이상 고온과 관련이 있으며 반대로 라니냐는 이 지역의 이상 저온과 관련이 있다. 두 가지 상태 모두 가뭄과 홍수의 특유의 공간 패턴과 관련이 있다. 엘니뇨의 발생은 대개 동남아시아, 인도, 오스트레일리아, 아프리카 남동부, 아마존, 브라질 북동부의 가뭄을 동반하는데 이는 오스트레일리아 주변과 북대서양의 일반적인 열대저기압의 발생보다 적다. 엘니뇨 발생 시기에 남아메리카 열대해안, 북아메리카 서부 아열대지역, 아메리카 남동부를 따라 정상적인 상태보다 더 습윤한 상태가 관측된다. 라니냐 기간 동안 발생하는 이상 기후 현상은 대개 엘니뇨 기간 동안 발생하는 현상과 반대의 상황이 발생한다. 태평양 섬들은 ENSO 변동에 의해 크게 영향을 받는다. 최근의 연구(Kenyon and Hegerl, 2008; Ropelewski and Bell, 2008; Schubert 등, 2008a; Alexander 등, 2009; Grimm and Tedeschi, 2009; Zhang 등, 2010)는 ENSO의 다른 상태가 호우 및 극한온도와 같은 단기 극한기후의 서로 다른 발생 빈도와 관련이 있다는 사실을 입증했다. ENSO와 열대저기압 활동의 경년변동 간의 관계는 잘 알려져 있다(예: Kuleshov 등, 2008). 엘니뇨(또는 라니냐) 기간 동안 다양한 극한기후의 동시 발생은 ENSO로 인한 재해에 대처하기 어렵게 만들 수 있다(3.1.1절 참고) ENSO의 관측 및 전망은 조기 경보를 통해 재해 위험을 낮출 수 있다(사례 연구 9.2.11절 참고).

AR4는 지구공전 궤도 변화가 ENSO 변화에 영향을 미칠 수 있다고 보고했다(Jansen 등, 2007). Cane(2005)은 엘니뇨의 일관적인 변화가 일사량의 계절적 변화에 의해 유발될 수 있음을 설명하는 단순한 결합 모델을 발견했다. 그러나 보다 종합적인 모델 모의(Wittenberg, 2009)에 의하면 현상의 장기적인 행동 변화는 복사량 변화로부터의 강제력 없이도 발생할 수 있다. Vecchi and Wittenberg(2010)는 "열대 태평양이 스스로 ENSO 빈도와 강도의 변화를 발생시키거나 복사강제력(예: 온실가스, 화산분출, 대기의 에어로졸)에 대응할 수 있다."고 결론내렸다. Meehl 등(2009a)은 11년 태양흑점주기와 관련된 일사량 변화가 ENSO와 관련된 해양 온도에 영향을 미칠 수 있다는 사실을 입증했다.

ENSO는 지난 천년 동안 다양한 강도를 나타냈다. 가령 17세기와 14세기에 그 활동이 강했고 12세기와 15세기에는 더 약했다(Cobb 등, 2003; Conroy 등, 2009). 보다 장기적인 시간 규모로 살펴보면, ENSO는 지구공전 궤도의 변화에 따라 변한다는 것이 입증된다(Vecchi and Wittenberg, 2010). 산호와 기후 모델 모의로부터 얻은 지시자 자료에 의하면 6,000년 전 활동의 강도가 더 약했음을 알 수 있다(Rein 등, 2005; Brown 등, 2006; Otto-Bliesner 등, 2009). 또한 모델 모의는 마지막 최대빙하기에 활동 강도가 더 강했음을 보여준다(An 등, 2004). 산호 화석은 마지막 간빙기 동안 현상이 계속되었음을 보여준다(Tudhope 등, 2001). 이러한 점에서 고기후 증거는 ENSO가 다양한 배경 기후에 따라 강도가 다를 수는 있지만 그 현상이 계속될 수 있다는 점을 보여준다.

AR4에 의하면 ENSO의 특성은 계기 관측 기간에 걸쳐 다양하게 나타난다. 가령 19세기 후반부터 20세기 4분의 1기간까지 그리고 다시 1950년 이후에 강하게 나타났다. 1976-1977년 시기의 뚜렷한 기후변화는 중부 및 동부 태평양에서 SST가 평균 이상으로 전환된 현상과 엘니뇨 발생이 더 길어지고 강해진 현상과 연관이 있다(Trenberth 등, 2007). 적도중태평양의 해수면 온도(NINO3 지수)는 지난 50년에서 100년 간 엘니뇨 발생의 빈도 또는 강도의 증가 경향을 보여준다(Vecchi and Wittenberg, 2010). Vecchi 등(2006)은 1960년대 이후 적도태평양의 기압경도가 약화되었고 1970년대에 급격히 하락했음을 보고했다. Power and Smith(2007)는 지난 몇 십년 동안 뚜렷한 엘니뇨 우세 현상이 나타난 것은 엘니뇨의 발생 빈도 증가 경향 또는 변동성의 변화가 단독으로 영향을 미친 것이라기보다는 남방진동지수(SOI, 다윈과 타히티의 기압차)의 배경상태 변화가 부분적인 원인을 차이한다. Nicholls(2008)는 SOI와 NINO3.4(적도중태평양 SST 지수)의 변동을 조사했지만 지수들의 변동성 또는 지속성 경향이 존재한다는 근거는 물론 [한편 Yu and Kao(2007)는 지속성 장벽의 10년 규모 변동성 즉, 북반구 봄 전반에 걸쳐 지속성이 약화되는 경향을 보고했다.] 계절적 패턴이 존재한다는 근거를 발견하지 못했다. SOI에서 '엘니뇨 유사' 현상으로 간주될 수 있는 경향(NINO3.4에서는 더 약한 경향)이 나타났지만 그 기간이 3월에서부터 9월까지였다. 엘니뇨와 라니냐 발생이 고조되는 시기인 11월에서 2월 사이에서는 그러한 경향이 나타나지 않았다. SOI에서의 경향은 다윈의 기압의 경향만을 반영한 것이며 타히티의 기압 경향은 반영되지 않았다. 이러한 경향과 별개로 ENSO의 일시적/계절적인 특성은 강한 지구온난화 기간 동안 매우 일관되게 나타난다. 그러나 최근의 엘니뇨 발생은 동태평양보다 적도 중태평양에 집중되는 경향이 있다(Yeh 등, 2009). 또한 중태평양에서 발생하는 엘니뇨의 강도가 증가하고 있다(Lee and McPhaden, 2010). 이러한 변화는 오스트레일리아와 중위도 지역 기후현상에 대하여 원격적인 영향에 의한 변화를 설명할 수 있다 (Wang and Hendon, 2007; Weng 등, 2009). 예를 들어, Taschetto 등(2009)은 중태평양에 집중된 온난화 발생이 동태평양에 집중된 엘니뇨 발생과 관련된 오스트레일리아 강수 변동과 다른 패턴을 보여준다는 사실을 입증했다.

지난 50년에서 100년 간 ENSO에 증가된 온실가스의 증가가 미치는 영향은 불확실하다. Yeh 등(2009)은 엘니뇨 행동이 적도태평양의 해수온도 경도와 크게 관련이 있다는 점에서 온실가스 증가와 관련된 온도의 변화가 엘니뇨(큰 SST 편차가 발생하는 위치)에 영향을 미쳤다고 주장했다. 몇몇 연구(예: Q. Zhang 등, 2008)는 엘니뇨 발생의 증가가 CO2 증가 때문일 수 있다고 주장했다. 그러나 어떠한 공식적인 원인규명 연구도 아직 완료되지 않았으며, 다른 연구들(예: Power and Smith, 2007)에 의하면 현상 변화는 자연적인 변동성 범위에 있다(즉, 아직 어떠한 변화도 감지되지 않았다.).

지구온난화는 적도태평양 전역에 걸쳐 바람의 감소로 이어질 것으로 전망된다(Vecchi and Soden, 2007b). 그러나 엘니뇨 발생 기간 동안 이러한 바람이 약해지긴 하지만 이러한 변화를 '엘니뇨 유사' 평균 변화로 설명할 수는 없다. 적도 태평양의 기후 상태의 변화와 엘니뇨 발생 간에 제한된 관련성만이 존재하기 때문이다. AR4에 의하면 모든 모델이 21세기에 대해 계속적인 ENSO 경년변동성을 전망하고 있지만 현상은 모델마다 다르다. AR4는 " 현 시점에서 전망된 21세기의 ENSO 진폭과 주기에 있어서 인식할 만한 변화에 대한 일관된 근거는 없다."라고 결론내렸다(Meehl 등, 2007b). 모델들은 온실가스 농도 증가로 인해 ENSO 변동성과 엘니뇨 주기의 변화가 있을 것으로 전망했으며 그 범위는 30% 감소에서부터 30% 증가까지 다양하다(van Oldenborgh 등, 2005). 한 모델 연구는 대기 중 CO2 농도가 두 배 또는 네 배가 되었을 때 ENSO 활동이 증가했지만, 21세기에 나타날 가능성은 없지만 CO2 농도가 16배 증가했을 때 ENSO 활동의 큰 감소가 발생했다는 사실을 발견했는데(Cherchi 등, 2008), 이는 CO2변화에 따라 ENSO의 활동 변화도 다양하게 전망된다는 것을 제시한다. 적도 태평양의 ENSO가 크게 변하지 않더라도, CO2가 증가함에 따라 ENSO가 강수에 미치는 원격적인 영향이 변할 수 있다. 예를 들어, 미래 강수량이 증가하는 지역은 열대 SST의 경년변동성의 큰 변화 없이 강수의 경년변동성이 증가하는 경향을 보인다(Boer, 2009). 또한 온실가스 증가와 관련하여 장기적으로 전망된 변화가 엘니뇨 관련 기후와 비슷할 수 있다는 점에서 미래에는 이것이 엘니뇨에 대한 반응을 강화하거나 약화시킬 수 있다(Lau 등, 2008b; Muller and Roeckner, 2008).

모델은 엘니뇨 발생 증가가 현재의 발생 위치인 태평양이 아니라 적도중태평양에 집중될 것으로 전망하고 있다. Yeh 등(2009)는 전망되는 온실가스 농도 증가를 이용해 결합 기후모델에서 모의된 상대적인 빈도를 조사했다. 주요 모델, 특히 현재 동태평양 대비 중태평양의 엘니뇨 발생 비율을 모의할 수 있는 모델들은 이러한 중태평양 지역에서 상대적인 엘니뇨 발생 주기가 더 증가할 것으로 전망했다. 또한 그러한 변화는 적도태평양으로부터의 기후현상의 원격적인 영향을 수반하기도 한다. 그러나 21세기에 동태평양 지역에 비해 상대적으로 중태평양 지역의 엘니뇨 발생 빈도가 증가할 수 있다는 전망(Yeh 등, 2009)도 상당히 불확실하다. Yeh 등(2009)에 의해 조사된 11개 결합 기후 모델 중 세 개가 중앙 태평양 지역의 발생 빈도 감소를 전망했으며, 중태평양 지역의 발생 빈도 증가와 관련하여 네 개 모델만이 통계적으로 유의한 변화를 생산했다.

ENSO의 미래 전망은 모델에 의해 20세기 ENSO를 설명함에 있어서 존재하는 체계적인 편의에 근거한다(Randall 등, 2007; Guilyardi 등, 2009). Leloup 등(2008)은 결합 기후 모델은 20세기동안 ENSO와 관련된 SST의 공간특성을 재생산할 수 있는 능력이 저마다 다르며 모든 모델들이 결함을 갖고 있다는 사실을 보여주었다. 이들은 재생산된 ENSO 자료의 품질을 토대로 모델을 분류하기는 어렵다고 결론내렸다. 현상의 각 단계를 재생산하는 데 있어서 모델들이 획득한 점수가 고르지 않았기 때문이다. 이는 ENSO의 미래 변화를 전망하는 데 어떤 모델을 이용할지에 대한 판단을 어렵게 만든다. 또한 대부분의 모델은 남반구에서 ENSO와 관련된 순환값의 편차를 재생산하지 못하며(Vera and Silvestri, 2009) 이는 북반구의 경우에도 마찬가지이다(Joseph and Nigam, 2006).

AR4 발간 시점에서 ENSO 변동성 또는 주기 변화에 관한 전망들은 서로 일관되지 않았으며(Meehl 등, 2007b), 이러한 상황은 AR4 발간 이후에도 변하지 않았다. 과거 복사강제력 변화에 따라 또는 내부 기후변동성으로 인해

ENSO의 특성이 다양했다는 증거가 있다. 미래에도 엘니뇨와 라니냐가 계속해서 발생할 것이기는 하지만, 복사강제력이 미래에도 계속 변화할 것이라는 점에서 ENSO 변화와 그 영향을 신뢰성 있게 전망할 수 있다(예: Vecchi and Wittenberg, 2010). 그러나 이해도에 한계가 있기 때문에 현시점에서 ENSO 활동이 인위적 기후변화로 인해 약화될 것인지, 강화될 것인지 또는 엘니뇨나 라니냐 발생 빈도가 변할 것인지 아닌지 여부를 전망하는 것은 사실상 불가능하다(Collins 등, 2010).

요약하자면, 최근 적도중태평양 지역에서의 엘니뇨 발생 빈도 증가 경향의 경우 신뢰수준이 보통이다. 그러나 관측된 ENSO 경향에 관해 구체적으로 진술할 수 있을 만큼 근거가 충분한 것은 아니다. 온실가스 증가로 인한 ENSO 변동성과 엘니뇨 발생 빈도 변화에 대한 모델들의 전망은 서로 일관되지 않는다. 이러한 점에서 현상 변화에 대한 전망의 신뢰수준이 낮다. 그러나 적도중태평양에서의 상대적인 발생 빈도에 대한 증가 전망(대부분의 GCMs에 의해 전망됨)과 관련하여 신뢰수준은 보통이다. 한편 적도중태평양에서의 발생은 전통적인 동태평양 발생과 다른 패턴의 기후변동성을 보여준다.

3.4.3. 기타 변동성 모드

극한기후 및 재해와 관련하여 ENSO를 제외한 변동성의 기타 자연 모드에는 북대서양진동(NAO), 남반구 환상 모드(SAM), 인도양 쌍극자 모드(IOD)가 포함된다(Trenberth 등, 2007). NAO는 북대서양 지역에서 나타나는 아열대 고기압과 한대저기압 간의 기압차를 의미한다. 양의 위상의 NAO는 강한 아열대 고기압 중심을 갖고 있으며 일반적인 아이슬란드 저기압보다 강하다. 이는 유럽 북동부 지역의 따뜻하고 습한 겨울과 캐나다 북부 및 그린란드의 차갑고 건조한 겨울과 관련이 있으며, 대서양을 교차하는 겨울 폭풍을 북쪽으로 이동하게 만드는 역할을 한다. Scaife 등(2008)은 NAO와 유럽 극한기후 사이의 관계를 다루었다. 고기후 자료에 의하면 NAO는 중세 양의 위상 기간과 소빙하기 음의 위상 기간에 지속적으로 나타났다(Trouet 등, 2009). NAO는 북반구 환상 모드(NAM)와 밀접한 관련이 있다. 우리가 여기서 초점을 맞추고 있는 것은 NAO이지만 NAO에 대한 설명 중 상당 부분이 NAM에도 적용된다. SAM은 남반구 온대 변동성의 최대 모드로서 이동 중위도 지역과 고위도 지역간 대기의 북-남 이동을 의미한다. SAM은 이러한 위도에서 기후변동성의 중요한 비중을 차지한다. SAM의 양의 위상은 극지방 전역에 걸친 음의 해면기압 편차 및 강화된 편서풍과 관련이 있다. 이는 대부분의 남극과 오스트레일리아의 이상 저온, 남극반도, 남아메리카 남부, 뉴질랜드 남부의 이상 고온, 남아메리카 남부, 뉴질랜드, 태즈메이니아의 이상 건조, 오스트레일리아, 남아메리카의 이상 호우와 관련이 있다(예: Hendon 등, 2007). IOD는 인도양의 해양-대기 결합 현상이다. 양성 IOD는 남동 적도인도양의 이상 저온 및 적도서인도양의 이상 고온과 연관이 있다. 최근의 연구(Ummenhofer 등, 2008, 2009a,b)에 의하면 IOD는 오스트레일리아의 가뭄과 동아프리카 호우의 원인이다(Ummenhofer 등, 2009c). 수십 년 시간규모로 운영되는 변동성 모드 즉, 태평양 10년 진동(POD)과 대서양 십년 단위 진동(AMO)에 대한 근거도 있다. PDO 변동성은 북아메리카의 극한강수와 관련이 있다(Zhang 등, 2010).

지난 수 년간 NAO는 음의 위상이었지만, NAO와 SAM 모두 지난 30-40년간 양의 위상(중위도 지역의 편서풍 강화) 경향을 보였다. Goodkin 등(2008)은 NAO 변동성이 북반구 평균기온 변화와 관련이 있다고 결론내렸다. Dong 등(2011)은 20세기 후반 관측된 NAO의 10년 변화가 결합 모델의 CO2농도 증가에 의해 재생산될 수 있음을 입증하고 온실가스 농도가 이러한 변화의 강제력에 중요한 역할을 할 수 있다고 결론 내렸다. 최대 규모로 SAM은 12월부터 2월사이에 관측되는데 이는 성층권 오존 변화가 주요 원인이다. 그러나 환상형태로는 인위적 순환 변화를 제대로 설명할 수 없다는 주장이 제기돼 왔다(Woollings 등, 2008). 이러한 복잡한 경향 외에 Silvestri and Vera(2009)는 SAM과 관련된 전형적인 반구 순환 패턴의 변화와 그로 인해 1960-1970년대부터 1980-1990년대 사이 남아메리카와 오스트레일리아 전역에서 발생한 기온과 강수 편차에 미친 영향을 보고했다. POD가 인위적인 강제력에 의해 영향을 받을 수 있다는 몇몇 증거가 있다. 그러나 AMO 및 PDO와 같은 모드의 시간 규모 변동성은 길기 때문에 최근의 자료로 그 변화를 규명하는 것은 어렵다(Meehl 등, 2009b). AR4(Hegerl 등, 2007)는 최근 수십 년 간의 NAO 및 SAM의 변화 경향이 인류 활동과 부분적으로 관련이 있을 가능성이 높다고 결론내렸다. 그러나 공식적인 원인 규명 연구가 부족하긴 하지만 최근 몇 년간의 NAO 음의 위상이 뜻하는 것은 최근 수십 년간 NAO 변화 원인이 인류 활동에 있는 것이 거의 분명하다는 것이다. SAM의 변화 경향에 인류 활동이 원인이라고 보는 시각도 여전히 가능성이 높은 것으로 평가되고 있지만 SAM의 변화 경향은 주로 성층권 오존 농도 때문이다(Hegerl 등, 2007).

AR4는 모델의 NAO 전망의 범위가 상당히 커서 신뢰수준이 떨어지지만, SAM의 규모 증가에 관련해서는 모델 간에 일관성이 나타난다고 언급했다(Meehl 등, 2007b). 그러나 관측된 SAM이 남반구 기후변동성에 미치는 영향을 모의하는 것과 관련하여 결합모델들의 능력이 제한적이다(예: Miller 등, 2006; Vera and Silvestri, 2009). 긴 시간 규모의 변동성(AMO, PDO)의 차이는 다양한 자연적 모드의 변동성과 전지구의 기온과 연관된 극한기후의 변화 전망에 영향을 미칠 수 있다(Keenlyside 등, 2008).

해면기압은 아열대 지역과 중위도지역에서 증가하고 고위도지역에서 감소할 것으로 전망된다(Meehl 등, 2007b). 이는 폭풍 경로가 극을 향해 이동하는 현상과 그에 따라 북극과 남극 지역의 저기압순환 패턴이 증가하는 현상을 나타내는 NAO 및 SAM의 변화 경향에 해당할 수 있다 남반구에서 성층권 오존 회복과 온실가스 증가라는 반대효과가 SAM과 같은 모드에 영향을 미칠 것으로 전망할 수 있다(Arblaster 등, 2011). 21세기 동안 성층권 오존 농도가 회복되어 SAM의 약화를 가져올 것으로 전망되지만 모델은 성층권 오존회복과 관련된 경쟁효과가 전망을 복잡하게 만드는 여름을 제외하고 온실가스 증가로 인해 극소용돌이의 강화가 계속될 것으로 일관되게 전망하고 있다(Arblaster 등, 2011).

최근 연구(Woollings 등, 2010) 는 21세기 동안 인위적 강제력 하에서 더 음성적인 NAO의 경향이 나타날 것이라고 전망했다. 그러나 연구는 현재 NAO 체제의 모의 상의 결함으로 인해 모델 전망의 신뢰수준이 낮다고 밝혔다. Goodkin 등(2008)은 지구온난화의 진행과 함께 NAO에서 수십 년 단위 규모의 지속적인 높은 변동성을 전망했다. Keenlyside 등(2008)은 다음 10년간에 걸친 온실가스 농도 증가로 인해 수십 년 단위 변동성 모델과 연관된 차이가 온난화를 상쇄할 수 있다는 의견을 제시했다. Conway 등(2007)은 미래 IOD의 모델 전망들 간에 일관성이 나타나지 않는다고 보고했다. Kay and Washington(2008)는 일부 배출 시나리오 하에서 인도양에서의 쌍극자 모드 변화로 인해 남아메리카의 극한강수가 변할 수 있다고 보고했다.

결론적으로 인위적인 요소가 최근 SAM 경향에 미치는 영향을 미쳤을 가능성이 높지만(온실가스 변화보다는 성층권 오존농도 변화와 관련이 있다), NAO에서 관측된 경향은 인위적 요소에 의해 분명한 영향을 받았다. 모델이 이러한 자연 모드의 현재 행동을 모의할 수 있는 능력, 경쟁요소(예: 성층권 오존, 온실가스)가 현재 및 미래 모드에 미치는 영향, 모델들 간의 불일치(그리고 이러한 전망의 계절 의존성)와 관련된 문제들이 존재한다. 이러한 문제들은 NAO, SAM, IOD를 비롯한 모드들의 변화 전망 능력의 신뢰수준이 낮음을 의미한다. 그러나 모델들은 일관되게 성층권 오존회복과 관련된 경쟁효과가 전망을 복잡하게 만드는 여름을 제외하고 온실가스 증가로 인해 남반구 극소용돌이의 강화가 계속될 것으로 전망하고 있다. 한편 여름철 성층권 오존 회복이 이러한 강화를 어느 정도 상쇄할 것으로 전망된다.

3.4.4. 열대저기압

열대저기압은 대부분의 열대 해양에서 발생하며 연안 지역 주민들과 기반시설, 해양운송과 연안활동에 심각한 타격을 준다. 해마다 전세계적으로 90개의 열대저기압이 발생한다. 이 수치는 현대 정지궤도 위성이 운영되고 있는 기간(1970년대 중반 이후) 동안 거의 일정하게 유지되고 있다. 전지구적으로 발생 빈도는 변함이 없지만, 각 대양 분지 내 연간 발생 빈도는 큰 변동이 있을 수 있다(예: Webster 등, 2005). 특히 지역적 변동이 경년변동과 결합했을 때(예: Kossin 등, 2010) 특정 지역을 대상으로 하는 재해 대비 및 완화 계획에 큰 어려움이 있을 수 있다.

열대저기압은 대개 극한바람과 큰 관련이 있다. 그러나 일반적으로 큰 피해 및 사망의 원인은 주로 극한강수로 인한 폭풍해일과 홍수이다(예: Rappaport, 2000; Webster, 2008). 2005년 허리케인 카트리나가 뉴올리언스를 통과했을 때 이 지역 제방시스템은 기능을 발휘하지 못했고1998년 중앙아메리카에 허리케인 미치가 상륙했을 때는 이류가 발생했다. 이러한 간접적인 요소들은 열대저기압의 영향을 잘 보여준다. 예측되는 해수면 상승은 열대저기압성 해일의 영향을 악화시킬 것으로 보인다. 극쪽으로 이동하는 열대저기압은 온대저기압으로 전환될 수 있다. 이러한 폭풍은 열대지역에서 처음 생성되었을 때와 다른 특성을 갖지만 여전히 폭풍 해일을 동반해 열대에서 멀리 떨어진 지역에 타격을 줄 수 있다(예: Danard 등, 2004).

일반적으로 열대저기압은 그 강도를 기준으로 분류되며, 이러한 강도는 지표면 부근 풍속으로 측정된다(경우에 따라 새피어-심슨(Saffir-Simpson) 척도로 분류되기도 함). 가장 강한 폭풍(새피어-심슨 척도 3, 4, 5에 해당)은 비교적 드물게 발생하지만 대개 큰 피해로 이어진다(예: Landsea, 1993; Pielke Jr. 등, 2008). 또한 약한 열대저기압과 강한 열대저기압을 비교했을 때 관측된 변동성 및 전망된 변동성 모두에서 뚜렷한 차이가 존재한다(예: Webster 등, 2005; Elsner 등, 2008; Bender 등, 2010). 한편 강력한 폭풍 기록은 약한 폭풍 기록보다 신뢰수준이 낮을 수 있다(Landsea 등, 2006). 또한 열대저기압에서 강도와 독립적일 수 있는 바람장의 구조와 영역범위도 강도와 더불어 잠재적인 영향(특히, 폭풍해일로 인한 영향)에서 큰 비중을 차지한다. 그러나 과거 자료에서 폭풍의 크기 자료는 대부분 존재하지 않는다. 열대저기압 관련 다른 척도에는 빈도, 지속기간, 경로 등이 있다. 여기에서 간략하게 언급된 모든 척도와 자연적 요소 또는 인위적 요소로 인한 기후변동성 변화 사이에 물리적 관계를 밝히는 것이 주요 과제다. 현재 진전 중에 있기는 하지만 여전히 큰 불확실성이 존재한다. 이러한 불확실성은 주로 자료 품질(3.2.1절 및 아래 참고)과 불완전한 이론 및 모델의 구조 상 문제에 기인한다(아래 참고).

관측된 변화

열대저기압에 대한 척도(예: 빈도, 강도, 지속기간)의 경향을 발견하는 것은 여전히 어려운 일이다. 과거 열대저기압 기록은 관측기술 및 보고 방식의 변화로 인해 서로 이질적인 것으로 알려져 있다(예: Landsea 등, 2004). 전지구적 경향성을 이해하기 위해 여러 대양분지의 기록이 결합할 때 이질성이 문제가 된다. 자료 품질과 보고 방식이 지역 별로 크게 다르기 때문이다(Knapp and Kruk, 2010). 위성 자료를 이용해 열대저기압 강도에 관한 동질적인 전지구 규모의 기록을 생성하기 위한 노력이 진행되어 왔다(Knapp and Kossin, 2007; Kossin 등, 2007). 그러나 이러한 기록들은 위성시대에 국한되기 때문에 과거 30-40년간의 기록을 제공할 뿐이다.

과거 자료에서 자연적 변동성과 불확실성의 결합은 열대저기압 활동의 경향성 발견을 어렵게 만든다. 전지구 열대저기압 빈도 기록에서(현재 40년 이상의 위성관측 기간 포함) 관측된 유의한 경향은 존재하지 않는다(예: Webster 등, 2005). 북대서양에서 열대저기압 빈도의 지역적 경향이 파악되고 있지만 이러한 경향의 정확성은 논쟁의 대상이다(Holland and Webster, 2007; Landsea, 2007; Mann 등, 2007a). 초기 북대서양 열대저기압 기록에서 발생 건수가 과소평가 된 것에 대한 다양한 추정 방식은 서로 다른 결론을 제공하고 있다(Chang and Guo, 2007; Mann 등, 2007b; Kunkel 등, 2008; Vecchi and Knutson, 2008). 다른 해양에서는 지역적 경향이 발견되지 않았다(Chan and Xu, 2009; Kubota and Chan, 2009; Callaghan and Power, 2011). 이러한 점에서 관측 능력에서 과거 변화가 설명된 후40년 이상의 시간 크기에서 관측된 열대저기압의 발생빈도 증가가 신뢰할 수 있는 것인지 여부는 불확실하다.

발생빈도 추정을 위해서는 열대저기압 생명주기의 동일 시점에서 열대저기압이 파악되고 보고되어야 한다. 한편 강도 추정을 위해선 열대저기압의 지속기간 전반에 걸쳐 구체적으로 지정된 일련의 측정치가 필요하다(Landsea 등, 2006). 결과적으로 과거 기록에서 강도 값은 변화된 기술과 개선된 방법론에 특히 민감하며 이는 자연적 변동성의 환경 내에서 경향성 발견을 더 어렵게 한다. 동질적인 위성기록을 이용한 열대저기압 강도의 전지구 규모에 대한 재분석자료에 의하면 기술변화는 강도 측정에서 경향을 과장하는 비정체성(non-stationary) 편의를 발생시킨다(Kossin 등, 2007). 그러나 이러한 편의가 설명된 후에도 강력한 열대저기압의 상향 조정된 강도 경향이 존재한다(Elsner 등, 2008). 이러한 분석들은 관측된 전지구 열대저기압 강도와 기후변화 사이의 관련성을 연상시키지만 30년 간의 위성관측기간에 한정되어야 하며 장기적인 경향의 분명한 근거를 제공할 수 없다.

세력의 강도에 대한 시계열, 즉 열대저기압 빈도, 지속기간, 강도로 구성되는

복합체의 총량은 열대저기압에 의한 전체 에너지 소비량으로 측정되며, 과거 25년에 걸쳐 북대서양에서 상향 조정된 경향을 북태평양 서부에서 약하게 상향 조정된 경향을 보여준다(Emanuel, 2007). 그러나 이러한 총량의 장기적인 경향의 해석은 자료 품질문제로 인해 제약을 받는다. 변동성과 세력의 강도에 대한 경향은 SST와 기타 지역적 요소(예: 권계면 온도, 연직바람 시어)와 관련이 있을 수 있다(Emanuel, 2007). 그러나 현재 논쟁의 핵심은 지역 SST 또는 지역 SST와 평균 열대 SST간의 차이가 더 물리적으로 관련성 있는 척도인지의 여부이다(Swanson, 2008). 전망된 SST 변화를 토대로 세력의 강도의 변화를 전망할 때(특히 SST가 전체 열대 지역보다 더 급격하게 증가하는 열대 대서양 지역에서) 구별은 중요한 요소다(Vecchi 등, 2008). 누적 저기압 에너지는 세력소산과 유사한 통합 척도로서 2005년 최고점에 도달한 이후 전지구적으로 감소하고 있으며 현재는 40년 이래 최저 수준이다. 현재 정지기간은 물론 2005년 이전 활동이 활발했던 기간은 과거 변동성으로부터의 상당한 차이를 분명하게 표현하지 못한다(Maue, 2009).

열대 수증기와 강수의 증가(Trenberth 등, 2005; Lau and Wu, 2007)가 파악되었으며 열대저기압 관련 강수의 변화와 관련된 증거가 제시되었다(Lau 등, 2008a). 그러나 연구 부족으로 인해 열대저기압 강수의 신뢰수준과 일관성은 아직 체계화되지 않았다. 마찬가지로 북대서양 허리케인 발생 기간의 증가가 보고되었지만(Kossin, 2008), 경향의 진폭 불확실성과 추가적인 연구 부족으로 그러한 결과를 의미 있는 평가에 이용하기에는 한계가 있다. 현대의 계기 관측 기록 이전의 열대저기압 변동성을 추정하는 작업이 고문서(Chenoweth and Devine, 2008)와 연안습지 침전물 기록, 산호, 동굴퇴적물, 나무 나이테의 방사성동위원소 분석법을 이용하여 수행되었다(Frappier 등, 2007a). 이러한 추정은 기후와 열대저기압 활동 간의 100–1,000년 규모의 관계를 증명해 준다(Donnelly and Woodruff, 2007; Frappier 등, 2007b; Nott 등, 2007; Nyberg 등, 2007; Scileppi and Donnelly, 2007; Neu, 2008; Woodruff 등, 2008a,b; Mann 등, 2009; Yu 등, 2009). 그러나 산업화시기 이후의 관측된 열대저기압 활동이 전례 없는 것이라는 확실한 근거를 제공하는 것은 아니다.

AR4의 '정책결정자를 위한 요약보고서(SPM)(AR4 Summary for Policymakers)'는 1970년 이후 일부 지역에서 열대저기압 활동의 강도 증가가 발생했을 가능성이 높다고 결론 내렸다(IPCC, 2007b). 그 이후 CCSP 평가 보고서((Kunkel 등, 2008)는 열대 폭풍, 허리케인, 북대서양의 주요 허리케인의 발생 빈도가 과거 100년(대서양 SST도 증가한 시기)에 걸쳐 증가했을 가능성이 높다고 결론을 내렸다. Kunkel 등(2008)도 1950년대 이후 대서양에서 열대저기압 세력의 강도가 크게 증가했을 가능성이 높다고 결론 내렸다. 과거 열대저기압 자료의 불확실성 범위를 설명한 AR4 및 Kunkel 등(2008) 이후의 조사를 토대로 세계기상기구(World Meteorological Organization: WMO) 열대저기압에 대한 기후변화 영향에 관한 전문가 팀(Expert Team on Climate Change Impacts on Tropical Cyclones)이 수행한 최근 평가에 의하면(Knutson 등, 2010), 시간에 따른 변화가 설명된 후에도 열대저기압 활동(빈도, 강도, 강수)의 과거 변화가 자연적 원인을 통해 전망되는 변동성을 초과하는지 여부는 아직 불확실하다. 열대저기압 활동에서 관측되는 경향에 관한 현재 평가는 WMO 평가와 본질적으로 일치한다(Knutson 등, 2010): 관측 능력에서 과거 변화가 설명된 후, 열대저기압 활동에서 관측되는 장기적인(40년 이상) 증가가 강력하다는 주장의 신뢰수준은 낮다.

관측된 변화의 원인

열대 SST의 자연적인 변동성 외에, 몇몇 연구에 의하면 온실가스 증가로 인한 열대 SST 상승 경향이 감지된다(Karoly and Wu, 2005; Knutson 등, 2006; Santer 등, 2006; Gillett 등, 2008a). 이러한 인위적 요소에 의한 온도 상승이 발생한 지역에는 열대저기압 발생 지역들이 포함된다. 또한 Kunkel 등(2008)은 인류에 의한 온실가스 증가가 20세기 전반에 걸쳐 북대서양과 북서태평양 허리케인형성 지역에 SST 상승을 이끌었을 가능성이 매우 높다고 주장했다.

잠재적인 강도 이론의 이론적 기틀 내에서, 열대의 평균적인 열역학상태 변화는 열대저기압 변동성과 직접적인 연관이 있을 수 있다(Bister and Emanuel, 1998). 이러한 이론적 기틀을 기반으로 관측된 기후변화에 대한 열대저기압 강도의 전망 대응은 비교적 간단하다. 기후변화로 인해 열대저기압이 통과하는 주변의 잠재 강도가 증가한다면, 대표적인 폭풍 사례에서 강도 분포가 더 큰 강도로 이동할 것으로 전망된다(Emanuel, 2000; Wing 등, 2007). 강도 분포에서 그러한 이동과 관련된 부분적인 변화는 강력한 열대저기압의 강도가 강해지면서 상위 분위수에서 최대가 될 수 있다.

온실가스 농도의 증가로 인해 열대 SST가 증가하고, 이론적으로 전망되는 강도 증가로 인해 더 강한 폭풍이 발생할 것이라는 증거를 고려했을 때 SST와 잠재 강도 상의 관계를 정확히 이해할 필요가 있다. 관측 결과는 SST와 잠재 강도 사이에 강한 양의 상관관계를 보여준다. 이러한 관계에 의하면 SST 증가가 잠재강도 증가로 이어지고 궁극적으로 더 강한 폭풍을 발생시킬 것으로 보인다(Emanuel, 2000; Wing 등, 2007). 그러나 최근 지역 규모에서의 잠재 강도가 지역 SST와 열대지역의 공간적인 평균 SST 간의 차이에 의해 통제된다고 주장하는 연구가 증가하고 있다(Vecchi and Soden, 2007a; Xie 등, 2010; Ramsay and Sobel, 2011). 지구온난화로 인한 SST 상승이 SST 경도의 지속적인 증가로 이어질 것으로 전망되지 않는다는 점에서 이러한 최근의 연구들은 지구온난화로 인한 SST 상승이 그 자체는 강한 열대저기압 증가와 완벽한 물리적 연관성을 갖지는 않는다.

현재 북대서양의 열대저기압 활동이 활발했던 시기는 다른 대양 분지 활동의 휴지기와 맞물려 있다(예: Maue, 2009). 전지구 SST가 대서양 SST 상승률보다 느리지만 꾸준히 상승해왔다는 점에서 이러한 공존은 SST 상승률 차이와 명백하게 관련이 있다. 현재 비교적 강화된 대서양의 온도 상승이 내부 변동성(Zhang and Delworth, 2009), 인위적인 대류권 에어로졸(Mann and Emanuel, 2006), 광물(먼지) 에어로졸(Evan 등, 2009)때문이라는 주장이 제기되었다. 이러한 메커니즘의 어떠한 것도 북대서양 SST가 열대 평균 SST보다 빠르게 상승할 것이라는 명확한 전망을 제시하지 않는다.

경우에 따라, 열대저기압의 강도, 빈도, 발생 위치, 지속기간, 경로 변화가 기여하는 것을 폭넓게 '열대저기압 활동'으로 정의한다. 위에서 언급한 잠재 강도 이론의 기틀 내에서, 이러한 척도 중 강도는 기후 변동과 가장 직접적이며 물리적인 관련이 있다. Kossin and Vimont, 2007). 필요한 주변 환경 조건(예: 약한 연직바람 시어와 적절한 대기 불안정과 습도)과 열대저기압 발생 빈도와의 통계적인 상관관계는 충분히 체계화되었다(DeMaria 등, 2001). 그러나 온실가스 증가로 인해 이러한 조건이 변화되는 경우 동일한 통계적 관계가 보존되지 않는다. 가령, 열대저기압 발생을 위한 관측된 최소 SST 기준값은 약 26℃이다. 이러한 관계는 인위적 요소에 의해 열대 SST가 상승하고 그 결과 26℃ SST 지역의 범위가 확장되며 이것이 결국 열대저기압의 발생 빈도 증가로 이어질 것이라는 전망을 가능하게 한다. 그러나 열대저기압 발생을 위한 최소 SST 기준값이 온실가스 강제력 단독에 의한 SST 증가율과 동일한 비율로 상승하고 있다는 증거가 늘고 있다(예: Ryan 등, 1992; Dutton 등, 2000; Yoshimura 등, 2006; Bengtsson 등, 2007; Knutson 등, 2008; Johnson and Xie, 2010). 이는 열대저기압 발생을 위한 임계치 조건이 지표온도뿐 아니라 대기 안정성(권계면보다 낮은 경계에서 측정)에 의해서 통제돼, SST 단독일 때보다 온실가스 강제력에 더 복잡한 방식으로 대응하기 때문이다. 즉 자연적인 변동성 으로부터 온실효과로 인한 SST변화를 제거할 경우 SST 변동성 부분 자체가 열대저기압 발생에 미치는 분명한 영향은 없다. 이 경우 열대저기압 발생과 SST 사이에 단순하지만 분명하게 관측되는 관계는 온난화된 지구에서 발생하는 열대저기압의 물리적 메커니즘을 적절하게 표현하지 못한다.

열대저기압 활동에서 관측된 변화의 원인을 이해하는 데 있어 또 다른 과제는 열대저기압이 발달하고 진화하는 지역의 환경변화를 파악하기 위해 이용하는 재분석자료의 불확실성에 있다. 특히 대류권 상층의 운동학적 및 열역학적 척도의 이질성이 연직바람 시어와 잠재 강도의 장기적인 변화의 해석을 복잡하게 만든다. 연직바람 시어와 잠재 강도는 모두 열대저기압의 중요한 환경적 통제 요소다.

다양한 모델 모의에 의하면, 온실가스로 인한 지구온난화 하에서 장기적으로 전지구의 열대저기압은 발생 빈도가 약간 감소하고 평균 강도는 증가할 것으로 전망된다. 기존 기록에서 이러한 변화를 파악하는 데 있어 어려운 점 중 하나는 관측된 단기 자연적 변동성과 관련된 변화와 비교해 모델에 의해 전망된 변화가 작다는 것이다. CO2로 인한 열대 SST 상승을 이용한 수치 모의에 의해 전망된 열대저기압 강도 변화를 토대로 Knutson and Tuleya(2004)는 향후 수십 년간 분명하게 감지할 수 있는 증가가 뚜렷하게 나타나지 않을 수 있다고 주장했다. 이들의 주장은 폭풍 강도의 모델화된 상승경향(즉, 신호)의 진폭과 진폭(즉, 잡음)의 경년변동성을 비교한 결과를 토대로 한다. 최근의 고해상도 역학적 상세화에 대한 연구를 통해 Bender 등(2010)은 이러한 주장을 뒷받침하며 강력한 대서양 폭풍과 관련하여 전망되는 발생빈도 증가는 SRES A1B 온난화 시나리오 하에서 21세기 후반까지 통계적으로 유의한 신호로 나타나지 않을 수 있다. 그러나 이러한 모델 전망이 미래 특정 시점까지 통계적으로 유의한 신호가 나타나지 않을 것이라고 주장하고 있음에도 불구하고 21세기 전반에 걸쳐 더 강력한 열대저기압이 발생할 가능성이 계속해서 증가할 것으로 보인다.

북대서양을 제외하고 전지구 열대저기압 자료의 많은 부분이 20세기 중반부터 현재까지 기간으로 한정돼 있다. 이러한 기간의 제한 외에도, 과거 열대저기압 자료의 불확실성(3.2.1절 및 본 장 참고)과 무작위적인 과정 및 엘니뇨와 같은 다양한 기후모드와의 결합으로 인한 열대저기압 변동성의 범위의 불확실성으로 인해 온실가스에 원인을 돌릴 수 있는 열대저기압 활동의 분명한 경향의 감지가 방해되고 있다. 따라서 여기에 기술된 인과적 현상이 산업화 후기의 열대저기압 활동에 어느 정도 영향을 미쳤는지는 여전히 불확실하다.

AR4는 인위적 요소에 의한 영향이 강력한 열대저기압의 발생 빈도 증가에 기여할 가능성이 높다고 결론 내렸다(Hegerl 등, 2007). 과거 열대저기압 자료뿐 아니라 관측된 관계를 뒷받침하는 물리적 메커니즘의 불확실성 범위를 설명한 후속 연구를 토대로 최근 WMO 평가는 어떠한 원인규명에 관한 결론도 도출하지 않았다(Knutson 등, 2010). 열대저기압 활동에 대한 경향의 탐지 및 원인규명에 관한 현재 평가는 WMO 평가와 유사하다(Knutson 등, 2010): 과거 열대저기압 기록의 불확실성, 열대저기압과 기후변화를 연결하는 물리적 메커니즘의 불완전한 이해, 열대저기압 변동성 정도(무작위적인 과정 및 엘니뇨와 같은 다양한 기후모드와의 결합으로 구성된)는 열대저기압 활동의 변화의 원인이 인위적인 요소에 있다는 주장에 낮은 신뢰수준으로 뒷받침될 뿐이다.

변화 전망 및 불확실성

AR4는 여러 모델연구에서 미래 열대저기압과 관련하여 바람의 강도와 호우의 증가 가능성이 높다고 전망하였다(Meehl 등, 2007b). 또한 폭풍 발생 건수의 전반적인 감소(그러나 신뢰수준은 더욱 낮다)와 함께 대부분의 분지에서 약한 폭풍이 크게 감소하고 강한 폭풍의 발생 빈도가 증가할 것으로 전망되었다. Knutson 등(2010)에 의하면 열대저기압의 평균 최대 풍속과 폭풍에 가까운 강수 발생률이 21세기 지구온난화와 함께 증가할 가능성이 없지는 않고, 일부 분지의 경우 강한 폭풍의 발생 빈도가 크게 증가할 것으로 보이지만 전반적으로 전지구 규모에서 열대저기압의 발생 빈도는 감소하거나 변하지 않을 가능성이 높다. 본 보고서의 결론은 AR4 및 Knutson 등(2010)의 결론과 유사하다.

CMIP3와 같이 해양-대기 모델이 결합된 고해상도 일부 모델은 열대저기압을 정확하게 분석하고 그 강도를 모의하기에 충분하지 않다(Randall 등, 2007). 더 높은 해상도의 전지구 모델은 열대저기압 유사 소용돌이를 재생산하는 데 성공했지만(예: Chauvin 등, 2006; Oouchi 등, 2006; Zhao 등, 2009), 이는 대략적인 특성에 그쳤다. 그러나 최근 상세화 기법을 통해 큰 진전을 이룬 바가 있다. 상세화 기법에서는 더 현실적인 열대저기압을 재생산할 수 있는 고해상도 모델이 실행되는데 이때 이용되는 경계 조건은 재분석자료 또는 AR4에서 이용된 것과 같은 저해상도 기후모델의 결과에 의해 제공된다(예: Knutson 등, 2007; Emanuel 등, 2008; Knutson 등, 2008; Emanuel, 2010). 최근의 연구에서 Bender 등(2010)은 다단적(Cascading) 기법을 적용했다. 즉 우선 전지구 규모에서 지역 규모로 상세화하고 지역모델로부터 모의된 폭풍을 이용해 매우 높은 수준의 고해상도 허리케인 전망 모델을 초기화했다. 관측된 열대저기압을 재생산하는 데 성공한 상세화 연구들이 늘고 있다. 이러한 연구 결과는 전망의 신뢰수준을 높이는 역할을 한다. 앞으로 컴퓨터 성능이 개선됨에 따라 이러한 연구들도 더 진전이 있을 것으로 전망된다. 그럼에도 불구하고 열대저기압 전망에 이용되는 모델에 여전히 한계가 존재한다. 특히 폭풍의 행동을 조절하는 것으로 알려진 자연적인 기후현상을 정확하게 재생산하는 능력에 한계가 있다(예: ENSO and MJO), (3.2.3.2절 및 3.4.2절).

과거 열대저기압 활동의 장기적인 증가 경향을 발견함에 있어 자료 품질과 신호 대 잡음비 문제가 이를 복잡하게 만든다. 반면 이론(Emanuel, 1987)과 이상화된 역학적 모델(Knutson and Tuleya, 2004)은 모두 온실가스로 인한 지구온난화 환경에서 열대저기압의 증가를 전망하고 있다. 고해상도 역학적 모델(Oouchi 등, 2006; Bengtsson 등, 2007; Gualdi 등, 2008;

Knutson 등, 2008; Sugi 등, 2009; Bender 등, 2010)과 통계적 역학 모델(Emanuel, 2007)을 이용한 최근의 모의를 통해 발견한 자료에 의하면, 21세기 말경 온실가스로 인한 지구온난화로 인해 열대저기압 강도가 더 큰 폭풍으로 발달한다고 하였다(전세계적으로 평균 최대 풍속이 2-22% 증가). 다른 모델들도 전반적인 열대저기압 발생 빈도는 약간 변하거나 감소하지만(Gualdi 등, 2008; Sugi 등, 2009; Murakami 등, 2011), 강한 폭풍의 발생 빈도는 단편적으로 크게 증가하고 강수 비율도 증가할 것으로 일관되게 전망하고 있다. 현재 모델은 21세기 말 전반적인 전지구적 발생 빈도가 6-34% 범위로 감소할 것으로 전망하고 있다(Knutson 등, 2010). Bender 등(2010)의 상세화 실험(18개 모델 앙상블의 평균 CMIP3 모의를 이용해 고해상도 역학적 모델을 생산하고(Knutson 등, 2008)하고 이를 초기화)은 향후 80년 동안 북대서양 폭풍 발생 빈도가 28% 감소하고, 새피어-심슨 척도 4 및 5에 해당하는 북대서양 허리케인의 발생 빈도가 80% 증가할 것으로 전망했다(A1B 시나리오).

전지구적 열대저기압 발생 빈도 감소의 전망은 연직바람 시어 증가(Vecchi and Soden, 2007c; Zhao 등, 2009; Bender 등, 2010) 또는 강한 대류(Held and Soden, 2006)를 동반하는 상향 질량속(mass flux)과 관련된 열대 순환 약화(Sugi 등, 2002; Bengtsson 등, 2007) 또는 중위도 지역의 포차 증가 때문일 수 있다. 각 대양 분지의 열대저기압 발생 빈도 전망은 훨씬 불확실하다. 다양한 모델들이 전망한 변화의 범위는 ±50% 이상이다(Knutson 등, 2010). 전망된 복사강제력의 변화를 고려하지 않은 상태에서 전망된 SST 변화를 고려하는 경우, 북반구 열대저기압의 발생빈도는 증가하는 것으로 나타났다(Wehner 등, 2010). 이는 SST 변화 단독으로는 열대저기압 발생을 통제하는 물리적 메커니즘을 설명할 수 없다는 가정과 일치한다(예: Emanuel, 2010).

위에서 언급한 바와 같이, 열대저기압과 관련하여 관측된 강수 변화는 현재 명확하게 체계화되지 않았다. 그러나 열대지역의 수증기가 증가하면서(Trenberth 등, 2005), 수분 수렴 증가에 따른 열대저기압과 관련된 호우의 증가가 전망된다(Held and Soden, 2006). 이러한 증가는 폭풍 하에서 역학적 수렴이 증가함에 따른 강도 증가에 의해 강화될 것으로 전망된다. 열대저기압성 강수 발생률이 조사된 모델은 매우 일관되게 21세기 지구온난화 상황에서 열대저기압 중심 부근 지역에 강수가 증가할 것으로 전망하고 있으며 그 증가 범위는 3-37%이다(Knutson 등, 2010). 일반적으로는 폭풍 중심 100km 내에서 20% 가까이 증가할 것으로 전망되고 있다.

문헌에서 추론되는 또 다른 유형의 전망은 관측된 통계적 관계의 외삽을 토대로 한다(3.2.3절 참고). 이러한 관계는 과거의 관측된 변동성에 근거하며 이러한 변동성은 다양한 시간 규모에 걸친 인위적 요소에 의해 강제된 변동성 및 자연적인 변동성의 복잡함을 나타낸다. 그러나 일반적으로 이러한 관계는 관심이 있는 현상을 통제하는 관련된 모든 물리적 특성을 표현할 것으로 기대되지 않으며 관측된 변동성 범위를 넘는 외삽은 신뢰할 수 없다. 그 예로서 지역 SST와 열대저기압 세력의 강도 간의 관측된 강한 상관관계가 존재한다(Emanuel, 2007). 21세기 SST 전망이 이러한 관계에 적용된다면, 세력의 강도는 다음 세기에 약 300% 증가할 것으로 전망된다(Vecchi 등, 2008; Knutson 등, 2010). 또한 세력의 강도와 SST 사이의 강한 관계가 존재한다. 이는 지역 SST와 열대 평균 SST 간의 차이를 나타내는 것으로 지역의 잠재 강도의 대안 역할을 하는 것으로 주장되어 왔다. 관련된 SST의 21세기 전망을 고려할 때, 후자의 관계에 의하면 다음 세기에 세력의 강도 변화가 거의 없을 것으로 전망된다(Vecchi 등, 2006). 이들 통계적 관계는 모두 물리적 논쟁을 토대로 합리적으로 뒷받침될 수 있다. 그러나 어떤 관계가 정확한 것인지는 명확하지 않다(Ramsay and Sobel, 2011).

A1B 배출 시나리오에 따른 21세기 온난화의 모의와 관련하여 현재 모델과 상세화 기법들은 일관되게 (1) 열대저기압 발생 빈도의 감소 또는 변화 없음 (2) 강도 증가 및 강한 폭풍의 단편적인 발생 빈도 증가 (3) 열대저기압 관련 강수 비율 증가를 전망하고 있다. 지역별 전망의 차이는 강도 및 강수의 특정 분지에 대한 전망의 신뢰수준을 떨어뜨린다. 분지 내 발생 빈도 전망의 신뢰수준이 특히 낮다. 더 구체적으로 21세기 온실가스로 인한 온난화 조건 하의 전망들에 의하면 열대저기압의 전지구 발생 빈도가 감소하거나 변하지 않으며 열대저기압 최대 풍속 평균이 증가(이러한 증가는 모든 열대지역에서 나타나지 않을 수 있다)할 것으로 보인다. 이러한 평가는 최근 WMO 평가와 본질적으로 동일하다(Knutson 등, 2010). 또한 전반적인 전지구적 발생빈도는 감소하거나 변하지 않을 가능성이 높은 것으로 전망되는 반면, 강한 폭풍(새피어-심슨 척도 4 및 5에 해당)은 일부 대양 분지에서 크게 증가할 가능성이 없지는 않은 것으로 보이며, 이러한 전망은 최근 WMO 평가 결과와 일치한다(Knutson 등, 2010). 모델 간의 신뢰수준과 물리적 추론에 의하면 온실가스로 인한 온난화와 함께 열대저기압 관련 강수비율이 증가할 가능성이 높다. 전지구 모델들이 열대저기압 발생과 경로, 강도 변화를 정확하게 재생산할 수 없다는 점에서 특정 대양분지에 대한 미래 전망의 신뢰수준은 낮다. 특히 전지구 모델은 연직바람 시어와 열대저기압 발생 및 그 강도 변화를 조절하는 상층 바람을 정확하게 모의하는 능력에 한계가 있다(Cordero and Forster, 2006; Bender 등, 2010. 이러한 점에서 열대저기압의 발생 또는 위치, 경로, 지속기간, 영향이 미치는 지역의 변화 전망은 신뢰수준이 낮으며, 기존 모델의 전망들은 이러한 특성들과 관련하여 큰 규모의 변화를 보여주지 않는다.

결론적으로 관측능력의 과거 변화를 고려하면, 열대저기압 활동의 장기적인 (40년 또는 그 이상) 증가가 강력하다는 주장의 신뢰수준은 낮다. 과거 열대저기압 기록의 불확실성, 열대저기압 관측값을 기후변화와 연관시키는 물리적 메커니즘에 대한 불완전한 이해, 그리고 열대저기압 변동성의 정도로 인해, 열대저기압 활동에서 관측 가능한 변화의 원인을 인위적 영향으로 보는 데 대한 신뢰수준은 낮다. 열대저기압 발생과 위치, 경로, 지속기간, 영향이 미치는 영역에 대한 전망의 신뢰수준은 낮다. 모델 간의 신뢰수준과 물리적 추론에 의하면 온실가스로 인한 온난화와 함께 열대저기압 관련 강수비율이 증가할 가능성이 높다. 열대저기압의 전지구적 빈도가 감소하거나 실질적으로 변하지 않을 가능성이 높다. 열대저기압 최대풍속 평균이 증가할 가능성이 높다. 그러나 이러한 증가가 전 열대 지역에서 나타나는 것은 아닐 수 있다. 전반적으로 전지구적인 발생 빈도는 감소하거나 변하지 않을 가능성이 있지만 일부 대양 분지의 경우 강한 폭풍의 발생 빈도가 크게 증가할 가능성이 없지는 않다.

3.4.5. 온대저기압

온대저기압(종관규모 저기압)은 북반구와 남반구 중위도 지역에 존재하며, 산악지대 상공의 흐름의 결과로서 또는 열대저기압에서 온대저기압으로의 변환을 통해 주로 상층 제트기류 부근 대양분지에서 발달한다. 지역화된 작은 규모의 중위도 지역 순환현상(예: 극저기압, 중규모 저기압)은 본 장에서 다뤄지지 않았다(3.3.3절 및 3.4.3절 참고). 온대저기압은 열과 수분을 극쪽으로 이동시키며 폭풍과 폭풍해일 같은 악천후 또는 극한강수 사상을 동반할 수 있다. 이러한 점에서 온대저기압의 강도 변화 또는 온대저기압이 활동하는 지역의 지리적 이동은 지역 극한기후의 범위는 물론 기온 및 강수의 장기적인 변화에 큰 영향을 미칠 수 있다. 온대저기압은 주로 기온 차가 큰 지역을 따라 발생하는 교란(경압불안정)과 같은 대기불안정성을 통해 형성되고 성장한다. 이는 유효위치에너지 저장소의 역할을 하며 온대저기압과 관련된 운동에너지로 변환될 수 있다. 물의 위상변화(잠열 방출)로 인한 에너지방출과 같은 과정을 통해 저기압이 강화될 수 있다(Gutowski 등, 1992; Wernli 등, 2002). 왜 기후변화가 온대저기압에 영향을 미칠 것으로 전망되는가? 기후변화 시나리오에서 대규모의 극-적도 온도경도의 크기는(반대 방향으로 발생할 수 있다) 저기압 형성 및 성장의 원인이 되는 대기불안정성의 변화를 일으킬 수 있다(경압성). 이러한 변화는 지표 상태의 변화(Deser 등, 2007; Bader 등, 2011)에서부터 성층권 변화(Son 등, 2010)에 이르기까지 연직적인 대기의 다양한 부분에서 작동하는 다양한 메커니즘에 의해 영향을 받을 수 있다. 또한 온대저기압 내 강수 강도의 변화는 잠열방출을 변화시킬 수 있다. 파동-평균 순환의 상호작용에 관한 이론에 따르면, 온대 폭풍 경로의 변화는 대규모 순환의 변화와도 관련이 있다(Robinson, 2000; Lorenz and Hartmann, 2003). 상층 제트기류의 남북 이동은 온대 폭풍 경로의 남북 이동을 동반한다. 그러나 제트기류의 남북 이동이 전체 폭풍의 경로를 어느 정도 변화시키는지는 여전히 불확실하다(Wettstein and Wallace, 2010). 위의 매우 단순한 기술을 통해서도 기후변화가 온대저기압 발달에 영향을 미칠 가능성이 매우 높다.

비슷한 수평해상도를 이용한 재분석자료를 통해 검증한 결과 기후모델은 폭풍경로 패턴의 일반적인 구조를 적절하게 모의한다(Bengtsson 등, 2006; Greeves 등, 2007; Ulbrich 등, 2008; Catto 등, 2010). 그러나 5개의 결합 모델의 분석에 따르면, 평균 유효위치에너지가 종관규모 에디유효위치에너지(eddy available potential energy)로 변환되는 비율은 지나치게 커서 에너지량이 너무 크고 과잉 에너지 순환을 일으킨다는 것이 확인되었다(Marques 등, 2011). 모델에서의 폭풍경로는 지나치게 동서 방향으로 모의했고, 일부 모델은 폭풍경로의 유럽쪽으로의 이동을 적절하게 나타내지 못한다(Pinto 등, 2006; Greeves 등, 2007; Orsolini and Sorteberg, 2009). 또 한 가지 주목할 점은 저기압 활동의 모의가 물리 공식과 모델의 수평해상도에 의존적일 수 있다는 점이다(Jung 등, 2006; Greeves 등, 2007).

온대저기압 변동성에 관한 고기후 지시자는 거의 없지만 토탄지의 모래입자 함유량 및 연안사구 발달을 이용한 연구가 진행 중이다. 서유럽에 관한 연구결과들은 소빙하기에 유럽 연안 지역의 모래 이동이 강화되었음을 시사한다(Wilson 등, 2004; de Jong 등, 2006, 2007; Clemmensen 등, 2007; Clarke and Rendell, 2009; Sjogren, 2009). 또 한가지 주목할 점은 모래 유입이 퇴적물의 영향을 받았다는 점이다. 이는 주로 식생피복 및 퇴적물내 수분함량에 의해 통제된다(Li 등, 2004; Wiggs 등, 2004). 경작과 방목, 산림교란은 토양을 침식되기 쉬운 상태로 만들며, 이로 인해 바람이 없는 조건에서도 모래의 이동이 증가할 수 있다. 지난 100년 간의 온대저기압 변동성 맥락에서, 고기후 지시자로부터 얻을 수 있는 정보는 제한적이다.

세 지점의 관측소, 단일 관측소의 기압경향(3.3.3절 참고), 또는 극한의 비조석 잔차류(Non-Tide Residuals)와 같은 해양 변수들을 토대로 추론한 극한 지균풍에 대한 100년 규모의 시계열 추정들이(이러한 요소들이 주 폭풍경로 부근에 위치할 경우) 온대저기압 활동의 지시자가 될 가능성이 있다. 저기압 발생 횟수, 강도, 활동과 같은 온대저기압 변수(저기압 강도, 횟수, 지속기간을 통합한 매개변수)에 대한 경향의 발견은 재분석자료의 발달과 함께 점점 가능성이 높아지고 있지만 여전히 미제로 남아 있다. 재분석자료에 관한 문제는 특히 남반구에서 뚜렷하다(Hodges 등, 2003; Wang 등, 2006). 북반구의 경우 다양한 재분석자료들이 서로 일치하고 있지만(Hodges 등, 2003; Hanson 등, 2004), 수증기 및 운동에너지에 대한 인공적 경향을 제공하는 관측 시스템 변화가(Bengtsson 등, 2004) 저기압의 횟수 및 강도 경향 모두에 영향을 미칠 수 있다. 또한 연구들은 변화의 규모 또는 존재 자체가 재분석자료(Trigo, 2006; Raible 등, 2008; Simmonds 등, 2008; Ulbrich 등, 2009) 및 저기압 추적 알고리즘(Raible 등, 2008) 선택에 의존적일 수 있다는 점을 시사한다.

AR4는 1950년대 이후 북반구 극한 온대저기압의 발생빈도/강도 및 경로의 극쪽으로 이동에 대한 순 증가의 가능성을 언급하고(Trenberth 등, 2007; 표 3.8) 지난 50년간 북태평양과 북대서양 폭풍경로(Trenberth 등, 2007, p. 312)에서 온대저기압의 횟수 및 강도 증가를 보여주는 몇몇 논문을 인용했다. 재분석자료를 이용한 연구들은 지난 60년간 대서양 저기압 활동의 북향 및 동향 이동과 고위도 대서양 지역(Weisse 등, 2005; Wang 등, 2006; Schneidereit 등, 2007; Raible 등, 2008;Vilibic and Sepic, 2010)의 겨울철 저기압 발생 빈도 및 강도의 증가와 중위도 대서양 지역의 약화를 나타냈다(Wang 등, 2006; Raible 등, 2008). 또한 몇몇 극지역 저기압 활동에 관한 연구들도 고위도 지역의 저기압 활동증가를 보고하고 있다(X.D. Zhang 등, 2004; Sorteberg and Walsh, 2008; Sepp and Jaagus, 2011). Chang(2007)은 선박측정을 토대로 평균해면기압(Mean Sea Level Pressure: MSLP) 변수(저기압 강도와 연관되어 있다)의 경향을 이용해 겨울철 대서양 지역의 경향이 미국 국립환경예측센터(National Centers for Environmental Prediction: NCEP)의 대서양지역 재분석자료의 경향과 일치하지만 그보다는 다소 약하다는 사실을 발견했다. 어떤 연구는 대서양의 극한 저기압의 강도 및 발생횟수의 증가를 보여주지만(Geng and Sugi, 2001; Paciorek 등, 2002; Lehmann 등, 2011) 다른 연구는 감소를 보여주기 때문에(Gulev 등, 2001), 재분석자료의 극한 저기압 연구들 간에는 불일치성이 존재한다. 이러한 차이는 극한 저기압 구별에 대한 민감성과 상이한 정의에 일부 기인한 것일 수도 있다(Leckebusch 등, 2006; Pinto 등, 2006). 새로운 연구들에서는 양의 NAM/NAO(3.4.3절 참고)이 더 강한 대서양/유럽 저기압 활동에 대응한다는 것이 확인되었다(Chang, 2009; Pinto 등, 2009; X.L. Wang 등, 2009b). 그러나 장기의 과거 기록을 이용한 연구들에 의하면 NAO 압력 중심의 위치 이동으로 인해(Vicente-Serrano and Lopez-Moreno, 2008; X.D. Zhang 등, 2008) 이러한 관계가 통계적으로 간헐적으로 나타났다(Hanna 등, 2008; Matulla 등, 2008; Allan 등, 2009). 간헐적인 연관성을 생성하는 물리적 과정을 나타내는 통계적 간헐성의 범위가 어느 정도인지는 명확하지 않다. 태평양-북아메리카 패턴(PNA)이 북대서양 폭풍경로에 영향을 미칠 가능성이 Pinto 등(2011)에 의해 보고되었다. 재분석자료가 1960년대 유럽 북부 연안의 저기압 활동이 비교적 낮았을 때부터 시작해 1990년대 최대 수준에 도달했을 때까지의 기간을 다룬다는 주장에 주목할 필요가 있다. 장기적인 유럽의 폭풍우 지

시자는 지난 세기에 대한 명확한 경향을 보여주지 않는다(Hanna 등, 2008; Allan 등, 2009; 자세한 내용은 3.3.3절 참고).

재분석자료 및 지난 50년 간의 현장 자료를 이용한 연구들에 의하면 1950년대 이후 북태평양 겨울철의 강한 온대저기압의 횟수 및 강도가 증가했으며(Graham and Diaz, 2001; Simmonds and Keay, 2002; Raible 등, 2008) 저기압 활동도 증가했다(X.D. Zhang 등, 2004). 그러나 다른 경로 알고리즘 또는 재분석자료를 이용했을 때 일부 경향의 신호가 일치하지 않는다(Raible 등, 2008). 북태평양 극한 저기압에서 약한 양의 경향성이 발견되었다(Geng and Sugi, 2001; Gulev 등, 2001; Paciorek 등, 2002). Chang(2007)은 선박측정을 이용하여 재분석자료를 이용한 것과 비교하여 태평양의 강도 관련 겨울철 경향이 20-60%라는 사실을 발견했다. 관측된 기압 자료를 토대로 한 장기적인 현장 관측에서 북태평양 저기압은 유럽 연안에서보다 상당히 적다. 그러나 미국 서부 연안의 시간당 검조기 기록을 폭풍우의 지시자로 이용할 경우 지난 수십 년 간 겨울 극한 비조석 잔차류(Non-Tide Residuals: NTR)가 관측되었다(Bromirski 등, 2003; Menendez 등, 2008). NTR가 높은 연도들은 대규모 대기순환 패턴과 관련이 있었다. 이러한 패턴에서는 강렬한 폭풍우가 나타나며, 이는 남동쪽으로 물러난 광범위한 알류산 저기압(폭풍경로의 방향을 미국 서부 연안으로 이끈다)과 연관돼 있다. 북태평양 저기압활동은 열대 SST 이상 현상과(NINO3.4; 3.4.2절 참고) PNA(Eichler and Higgins, 2006; Favre and Gershunov, 2006; Seierstad 등, 2007)와 관련이 있었다. 이는 PNA와 NINO3.4가 폭풍우(특히 북태평양 분지에서 태풍 경로가 적도방향으로 이동함에 따라 북태평양 북부 전역에서 발생하는 폭풍우)뿐 아니라 엘니뇨 발생 기간 동안 미국 동부 해안을 따라 폭풍 활동이 증가하는 현상에 영향을 미친다는 사실을 보여준다.

재분석자료에 의하면 지난 50년 간 북아메리카 저기압 회수가 증가했다. 저기압 강도는 통계적으로 유의한 변화가 없었다(X.D. Zhang 등, 2004). 캐나다 관측소의 시간당 MSLP 자료는 지난 50년간(1953-2002년) 겨울철 저기압 발생 빈도가 크게 증가하고 오래 지속되었으며 캐나다 북극해 아래 지역보다 더 강하게 나타났지만 캐나다 연안 남동부 및 북서부를 따라 남부에서는 더 적고 약하게 나타났다는 사실을 보여준다. 재분석자료를 이용한 결과 미국 동부연안 겨울철 저기압에서 수십 년간에 걸친 남부의 약한 저기압 경향이 발견되었지만 저기압 발생 빈도 측면에서 통계적으로 유의하지는 않았다(Hirsch 등, 2001).

북아시아 지역 온대저기압에 관한 연구는 거의 없다. 재분석자료를 이용한 연구들은 지난 50년간 북 유라시아지역(60-40° N) 온대저기압의 활동(X.D. Zhang 등, 2004) 및 강도(X.D. Zhang 등, 2004; X. Wang 등, 2009) 감소를 보고했다. 또한 저기압 발생 빈도는 고위도(50-45° N) 지역에서 증가하고 저위도(45° N 이남) 지역에서 감소한 것으로 보고되었다.

또한 Zou 등(2006)은 저위도(45° N 이남) 지역에서의 감소에 대해 언급한 바 있는데, 이들은 지난 50년간 6 시간 극한 기압 경향 분석을 토대로 중국 본토의 강력한 폭풍 횟수가 감소했음을 보고했다.
Alexander and Power(2009)는 케이프오트웨이(Cape Otway, 오스트레일리아 남동부)에서 관측된 극심한 폭풍의 횟수가 19세기 중반 이후 감소했다는 점을 밝히며 재분석자료를 이용해 기존에 보고된 남반구 폭풍경로가 남쪽으로 이동했다는 증거를 뒷받침했다(Fyfe, 2003; Hope 등, 2006; Wang 등, 2006). Frederiksen and Frederiksen(2007)은 30° S의 저기압 발생 빈도 감소 및 남향쪽으로의 이동을 수직 평균한 남북 온도경도의 감소를 관련지었다. Pezza 등(2007)과 Lim and Simmonds(2009)는 재분석자료를 이용해 강한 저기압으로의 이동 경향을 보여주는 이전 연구 결과들을 뒷받침했다. 그러나 저기압 횟수 감소 경향은 재분석자료 및 기압면 고도 선택에 의존적인 것으로 보이며(Lim and Simmonds, 2009), 남반구 온대저기압에 관한 재분석자료 간에 일관성을 약화시킨다. 최근의 연구들은 SAM(3.4.3절 참고)이 양의 위상일때 남극대륙 주변 저기압의 증가와 음의 위상일 때 중위도 지역을 향한 저기압의 이동을 뒷받침한다(Pezza and Simmonds, 2008). 또한 POD(3.4.3 절 참고)가 양성(음성)일 때 더 강한(더 약한) 저기압이 발생한다(Pezza 등, 2007).

결론적으로 지난 50년 간 주요 북반구 및 남반구 폭풍경로가 극쪽으로 이동했을 가능성이 높다. 이러한 변화와 관련하여 저기압 매개변수의 폭넓은 선택에 관한 몇몇 재분석자료와 저기압 식별 방법 간에 강한 일치성이 존재한다. 또한 유럽 및 오스트레일리아 기압에 따른 폭풍우 지시자가 지난 50년 간 극쪽으로의 이동과 일치하고 있으며 이는 근거를 강화하는 역할을 한다. 폭풍우 지시자를 이용해 수십 년간 관측된 온대저기압 변동성을 체계화하는 연구에 진전이 있었다. 따라서 최근 극쪽으로의 이동은 더 긴 시간규모에 기반한 새로운 연구 측면에서 이해되어야 한다. 이러한 연구들은 지난 50년간 유럽 북부연안에서 비교적 낮은 수준의 저기압 활동이 이 기간 초기부터 시작되었음을 시사한다. 재분석자료를 이용한 몇몇 연구들은 고위도 지역의 저기압이 강화되었음을 주장한다. 그러나 관측된 저기압 활동의 변화가 어떻게 저기압 강화에 영향을 미치는지에 대한 지식이 부족하다. 연구결과들이 높은 수준의 일치를 보이는 경우에도 그 근거가 확실한 것으로 간주될 수 없다. 따라서 이러한 변화에 대한 신뢰수준은 낮다. 저기압 강도 및 횟수에 관한 다른 지역적 변화도 보고되었다. 그러나 서로 다른 추적 알고리즘 또는 재분석자료, 저기압 매개변수를 이용한 다양한 연구들 간의 일치 수준은 여전히 낮다. 이러한 점에서 지역적 변화의 진폭 및 신호(일부 지역)의 신뢰수준은 낮다.

관측된 극쪽으로의 이동 원인과 관련하여 AR4는 최근 수십 년간 극지방 전반에 걸친 해면기압감소와 일치하는 북반구 및 남반구 환상 형태의 경향은 부분적으로 인류 활동과 관련이 있을 가능성이 높지만 인위적 요소가 온대저기압에 미치는 영향은 공식적으로 발견되지 않았으며 이는 대규모의 내부 변동성 및 관측 시스템의 변화 문제 때문이라고 결론 내렸다(Hegerl 등, 2007). 인위적 요소가 이러한 변동성 모델에 미치는 영향은 3.4.3절에서 논의되었다.

계절별 전지구 해면기압의 변화는 모의된 내부 변동성과 불일치하는 모습을 보였다(Giannini 등, 2003; Gillett 등, 2005; Gillett and Stott, 2009; X.L. Wang 등, 2009a). 그러나 온대저기압 지역(중위도 및 고위도 지역)의 해면기압 변화는 공식적으로 인위적인 강제력에 기인하지 않는 것으로 규명되었다(Gillett and Stott, 2009). 그러나 지균풍 에너지 및 파랑 높이로부터 추론된 폭풍우의 경향 패턴은 인위적 강제력과 자연적 강제력에 대한 반응을 억제하며 겨울철 외부 강제력을 가장 강하게 만드는 효과를 발생시키는 것으로 밝혀졌다(X.L. Wang 등, 2009a). 그럼에도 불구하고 모델은 일반적으로 관측된 것보다 작은 변화를 모의하며 내부 변동성을 과소평가해 발견 결과의 확실성을 낮추는 것으로 보인다. 새로운 연구들은 폭풍경로가 어떻게 지표 상태 변화에 대응하는지에 관한 물리적 이해의 폭을 넓혔다. 이러한 연구들에 의하면 균일한 SST 증가가 저기압 강도 또는 횟수를 감소시키고 폭풍경로를 극쪽으로 이동시키며, 아열대 제트기류 부근에서 강화된 SST 경도가 폭풍경로의 남북 이동(SST 경도 변화의 위치에 따라 극 또는 적도 방향으로)을 이끌 수 있지만((Deser 등, 2007; Brayshaw 등, 2008; Semmler 등, 2008; Kodama and Iwasaki, 2009), 전지구규모에서 평균적인 저기압 활동은 온실가스 강제력에 의해 크게 변하지 않을 것으로 전망된다(O'Gorrnan and Schneider, 2008; Bengtsson 등, 2009). 또한 연구들은 폭풍경로의 남북 이동을 설명하는 데 있어 성층권 변화(오존 또는 온실가스 변화에 의한)가 중요한 역할을 한다는 점을 강조하고 몇 가지 메커니즘을 제안했다(Son 등, 2010). 이는 특히 남반구 변화에 대한 이해를 강화했다. Fogt 등(2009)에 의하면, 결합 기후모델과 관측된 SAM 경향 모두 남반구 여름 기간 동안 내부 기후변동성 범위 밖에 있었다. 이는 주로 성층권 오존 감소가 원인이었다(3.4.3절 참고).

결론적으로 인위적 요소가 온대저기압의 극쪽으로의 확장에 영향을 미친다는 주장의 신뢰수준은 보통이다. 이에 대한 공식적인 원인은 규명되지 않았다. 그러나 간접적인 증거(예: 인위적 요소가 전지구적 해면기압 분포에 미치는 영향, 지균풍 에너지 및 파랑높이로부터 추론된 폭풍우의 경향 패턴 등)가 발견되었다. 인위적 강제력이 어떻게 온대저기압 폭풍경로에 영향을 미치는지에 대한 물리적 이해는 그 폭이 넓어졌지만 관측된 이동과 관련된 서로 다른 메커니즘의 중요성은 여전히 명확하지 않다.

AR4의 보고에 의하면 미래 온난화된 기후 조건 하에서 대부분의 대기-해양 결합 GCM들은 각 반구 중위도 지역의 평균적인 폭풍이 감소하고(Meehl 등, 2007b), 두 반구 모두에서 폭풍경로가 극을 향해 이동하며(특히 남반구에서 뚜렷하게 나타난다), 고위도 지역에서 폭풍 활동이 커질 것(Meehl 등, 2007b)이라고 일관되게 전망하고 있다.

온실가스 강제력의 증가로 인한 상층 폭풍경로의 극쪽으로의 이동은 AR4 이후 연구들에 의해 뒷받침되고 있다(Lorenz and DeWeaver, 2007; O'Gorrnan, 2010; Wu 등, 2011). 그러나 다른 연구들에 의하면 전체 성층권 또는 오존 회복을 포함하는 모델을 이용할 때 극쪽으로의 이동이 덜 분명하게 나타나며(Huebener 등, 2007; Son 등, 2008; Morgenstern 등, 2010; Scaife 등, 2011), 극쪽으로의 이동이 하층의 일시적 매개변수에서보다 상층에서 더 자주 확인된다(Ulbrich 등, 2008). AR4 이후의 단일 모델연구들은 미래 온난화 기간 동안 북반구의 평균적인 온대저기압이 감소할 것이라는 전망을 뒷받침한다(Finn is 등, 2007; Bengtsson 등, 2009; Orsolini and Sorteberg, 2009). 그러나 전체 강수 및 극한강수의 큰 증가가 동반되었지만 폭풍 빈도 또는 강도의 전지구적 변화는 Bengtsson 등(2009)에 의해 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 밝혀졌다.

모델은 북태평양 중위도 지역 전반에 걸쳐 겨울철 저기압 활동의 감소를 전망하는 경향을 보이며, 일부 모델은 북태평양 폭풍경로의 북동쪽으로 이동을 전망하고 있다(Loeptien 등, 2008; Ulbrich 등, 2008; Favre and Gershunov, 2009; McDonald, 2011). 그러나 저기압 발생 빈도 이상에 관한 정확한 지리적 패턴은 모델 간에 큰 차이가 있다(Teng 등, 2008; Favre and Gershunov, 2009; Laine 등, 2009).

CMIP3에 참여한 16개 결합 GCM의 해면기압 중간 대역(band-passed) 자료를 이용해 Ulbrich 등(2008)은 대서양 북동부/서유럽 지역의 폭풍 활동의 증가를 보여주었다. 폭풍의 이러한 동향 또는 남동향으로의 확장은 다른 연구들에서도 발견되었으며(Ulbrich 등, 2008; Laine 등, 2009; McDonald, 2011), 이는 중앙 북대서양의 온난화의 국지적인 발생 최저지점과 그 결과적인 지역 규모에서의 경압 변화가 원인일 수 있다(McDonald, 2011). 동향으로의 이동과 관련하여 Donat 등(2010a)은 21세기 말 중앙 유럽의 폭풍우 발생 기간의 증가를 전망했다. 이러한 증가는 폭풍우의 정의에 따라 달라지며, 한 모델은 감소를 전망하고 있다. 상당수의 AR4 모델들은 공통적으로 성층권을 개략적으로 모의한다는 한계가 있으며, 이러한 한계로 인해 인위적 강제력 증가에 따른 대서양 폭풍경로에 일관적인 편의가 발생할 수 있다(Scaife 등, 2011). 캐나다 동부연안을 따라 저기압 발생의 감소가 보고되었다(Bengtsson 등, 2006; Watterson, 2006; Pinto 등, 2007a; Teng 등, 2008; Long 등, 2009). 남반구 저기압에 관한 새로운 결과들은 기존에 전망된 온실가스 증가에 따른 극쪽으로의 폭풍의 이동을 뒷받침한다(Lim and Simmonds, 2009). 이 연구는 남반구 온대저기압의 발생 빈도가 감소하며, 중위도 지역에서는 그 강도가 감소하고 고위도 지역에서는 약간 증가할 것이라고 전망했다. 온실가스 증가에 따른 극쪽으로의 이동은 부분적으로 오존의 회복과 반대로 나타날 수 있다(Son 등, 2010).

결합 기후모델에서 저기압 변화와 관련된 물리적 메커니즘의 구체적인 분석은 여전히 소수에 그치고 있다. O'Gorrnan(2010)는 대기의 평균 유효위치에너지의 변화가 지구온난화에 대한 폭풍경로의 다양한 대응을 상당부분 설명할 수 있다고 주장하며 폭풍 강도의 변화가 서로 다른 대기층에서의 온도경도와 정적 안정성 변화의 경쟁효과에 민감하다는 점을 시사했다. 두 개 결합 기후모델을 이용해 Laine 등(2009)은 북반구 폭풍경로의 서쪽 끝에서 나타나는 종관 활동 변화의 일차적인 원인이 서부 대양 분지의 국지적인 평균온도경도 변화와 관련이 있다는 점을 제시했다. 또한 이들은 저기압의 발달 및 성숙 단계에서 잠열방출의 하층 변화가 중요하다는 사실을 발견하고 열교환과정의 변화가 상층 경압 변화에 의해 증폭될 수 있음을 시사했다[서쪽의 더 강한(약한) 경압활동은 하층의 더 강한(약한) 잠열방출로 이어진다]. Pinto 등(2009)은 단일 모델을 이용해 영국제도 부근의 극한 저기압의 강도 및 경로에의 영향에 대한 지역적 증가가 유럽으로의 제트기류 동향 이동, 극한 경압값의 빈도 증가, 상층 발산의 강도 증가와 관련이 있다는 사실을 발견했다.

모델에 의한 남반구 온대저기압의 발생 빈도 및 중위도 지역의 강도 감소는 열대 성층권 상층의 온난화에 따른 정적 안정성 강화와 경압 감소 때문인 것으로 규명되었다. 반면 이 지역의 저기압활동 증가는 고위도지역에서의 남북 온도경도 증가가 원인인 것으로 주장되고 있다(Lim and Simmonds, 2009). 국지적인 경압 변화 및 열교환과정의 변화 외에 저기압 활동에서 모델화된 반응의 지리적 패턴은 개별 모델의 본질적 변동성 모드 구조(Branstator and Selten, 2009)와 기후적 편의(Kidston and Gerber, 2010)에 의해 영향을 받는다고 보고되었다.

결론적으로 지난 50년간 북반구 및 남반구의 주요 온대 폭풍경로가 극을 향해 이동했을 가능성이 높다. 인위적 요소가 이러한 관측된 극쪽으로의 이동에 영향을 미쳤다는 주장의 신뢰수준은 보통이다. 이에 대한 공식적인 원인은 규명되지 않았다. 과거 지역적인 강도 변화에 대한 신뢰수준은 낮다. 인위

적 강제력의 증가가 각 반구의 중위도 지역의 평균적인 저기압 횟수의 감소로 이어질 것이라는 주장의 신뢰수준은 보통이다. 또한 미래 인위적 강제력으로 인해 폭풍경로가 극쪽으로 이동할 것이라는 주장의 신뢰수준도 보통이다. 지역적 변화는 클 수 있으며 CMIP3 모의에 의하면 일부 지역의 동의수준은 중간이다. 그러나 많은 CMIP3 모델에서 적절하게 모의되지 않는 성층권이 지역적 결과에 어떤 영향을 미치는지는 여전히 불확실하다. 저기압 활동과 폭풍경로를 모의하기 위해 각 연구들이 이용하는 분석기법과 물리량, 기준값, 수직 대기층이 서로 다르며, 이 때문에 지역적 변화의 전망에 차이가 발생하고 있다. 결과적으로 이는 지역규모 전망의 낮은 신뢰수준을 야기한다.

3.5. 물리적 자연 환경에 미치는 영향의 관측 및 전망

3.5.1. 가뭄

일반적으로 가뭄은 "수문학적으로 심각한 불균형이 야기될 만큼 기상이 오랫동안 비정상적으로 건조한 기간"을 의미한다(용어 및 Box 3-3 참고). 강수 부족(즉 기상학적 가뭄, Box 3-3)은 가뭄의 일차적인 원인이지만, 복사강화, 풍속, 증기압차(이는 기온 및 상대적인 습도와 관련이 있음)에 의한 가능증발산량 증가와 사전 조건(사전 토양 수분, 호수, 눈, 지하수)이 토양수분 고갈 및 수문적 가뭄에 기여할 수 있다(Box 3-3). 또한 실제 증발산량은 토양수분에 의해 통제되는데, 이는 가뭄 조건 하에서 추가적인 건조를 위한 제한인자다. 또한 식생 발달 및 계절학(예: 기온)에 영향을 미치는 다른 과정들도 실제 증발산량과 관련이 있다 AR4에서 언급된 바와 같이(Trenberth 등, 2007), 전지구 분석에 이용 가능한 가뭄 관련 요소(특히 토양 수분)의 직접적인 관측은 거의 없다(3.2.1절 참고). 따라서 가뭄 지시자(가뭄 지수)들이 가뭄 조건의 변화를 추론하는 데 이용되고 있다. Box 3-3은 가뭄지수에서 공통적으로 이용되는 가뭄의 정의와 설명을 제공한다. 가뭄의 영향을 이해하기 위해(예: 작물 수확량, 일반적인 생태계 기능, 수자원, 전기 생산), 가뭄의 시기와 지속기간, 강도, 공간 범위를 규정할 필요가 있다. 몇 가지 기후 요소들이 가뭄의 영향 증가와 상호작용할 수 있다: 기온 상승이 간접적으로 증발요구량 강화로 이어질 수 있다(강화된 증기압차를 통해). 그러나 일반적으로 강화된 풍속 또는 강화된 복사량이 더 중요한 요소이다. 또한 몬순(3.4.1절) 및 ENSO(3.4.2절)와 같은 기후현상이 일부 지역의 가뭄 발생 변화에 영향을 미친다. 가뭄은 복잡한 현상으로 이 장에서 언급된 다른 극한기후들에 의해 큰 영향을 받지만 평균적인 기후 특징의 변화에 의해서도 영향을 받는다(3.1.6절). 또한 토지-대기 상호작용을 통해서 가뭄이 다른 기후요소(예:

Box 3-3 | 가뭄의 정의

가뭄은 일반적으로 이용되는 용어지만 다양한 방식으로 정의된다. 이러한 정의의 문제는 가뭄의 특성 변화에 대한 분석을 어렵게 만든다. 이는 왜 가뭄 변화(과거 또는 전망된)에 관한 평가가 연구 또는 선택된 지수마다 크게 다른지를 설명해 준다(3.5.1절 참고). 본 Box에서는 그러한 어려움과 그 원인에 대해 설명한다.

가뭄 또는 건조는 무엇인가?

용어집은 가뭄을 다음과 같이 정의하고 있다. "심각한 수문학상의 불균형을 초래할 정도로 장기간 진행되는 건조한 날씨를 뜻한다. 가뭄은 상대적인 용어이다. 따라서 강수 부족과 관련된 논의는 해당 논의에 적합한 특정 강수 관련 활동을 나타내야 한다. 예를 들어, 작물 성장 시기에 발생하는 강수 부족은 작물생산이나 생태계 기능에 악영향을 주며(토양수분가뭄, 농업 한발로도 지칭), 토사유출 및 토양투수가 탁월한 계절의 강수 부족은 주로 물공급에 영향을 미친다(수문학적 가뭄). 또한 토양수분 및 지하수 변화는 강수 감소뿐 아니라 실제 증발산량의 증가에 의해서도 영향을 받는다. 비정상적인 강수 부족 기간은 기상 가뭄으로 정의된다. 대가뭄은 매우 오래 지속되는 대규모 가뭄을 말하는데 보통 10년 이상 지속된다.

위에서 언급되었듯이 가뭄은 이해관계자에 따라 다양한 관점에서 정의될 수 있다. 문헌들은 공통적으로 강수 부족을 나타내는 기상 가뭄, 토양수분 부족을 나타내는 토양수분가뭄(농업 한발로도 지칭), 하천유량, 호수, 지하수의 비정상적인 수위 강하를 나타내는 수문적 가뭄을 구분한다(예: Heim Jr., 2002). 여기서는 '농업 한발' 대신 '토양수분가뭄'이라는 용어를 사용한다: 농업 한발이 더 광범위하게 이용되는 용어이기는 하지만(예: Heim Jr., 2002; Wang, 2005), 토양수분 부족이 토양의 역학적 과정(예: Corti 등, 2009)을 통해 농업생태계와 다른 자연적인 생태계 또는 관리되는 생태계(산림과 초원), 기반시설 구축에 더 많은 영향을 미치기 때문이다. 또한 토양수분 부족은 열파에 대한 영향을 통해 건강에도 심각한 영향을 미친다(3.1.4절). 인류 활동에 따른 물부족(사회경제적 가뭄과 관련)은 본 장에서는 다루지는 않지만(4.2.2절 참고) 인간의 이용에 의한 물자원의 변화 압력은 기후와 가뭄에 영향을 미칠 수 있다(지하수위 강하, 증발산의 국지적인 강화, 지표-대기 되먹임을 통해). 가뭄은 건조기후(예: 사막)의 일반적인 특성을 표현하는 건조(aridity)와 혼동되어서는 안 된다. 실제로 가뭄은 모든 지역에서 반복적으로

다음 페이지에 계속 →

발생하는 기후 특성으로 이해되며 해당 지역의 평균 기후와 관련하여 정의된다(예: Heim Jr., 2002; Dai, 2011). 그럼에도 불구하고 식생과 지표 플럭스에 영향을 미치는 수분토양 기준값이 존재한다는 점에서 가뭄의 영향은 선형적이지 않다. 즉 동일한 강수 부족 또는 정상적인 범위를 초과하는 복사가 지역 별로 동일한 영향을 미치지 않는다(예: 매우 습한 지역의 경우 토양수분 공급이 충분하기 때문에 단기적인 강수 부족이 농사에 큰 영향을 미치지 않는다). 이 장에서는 더 일반적인 용어로서 "가뭄" 대신 건조상태(dryness)가 자주 사용된다.

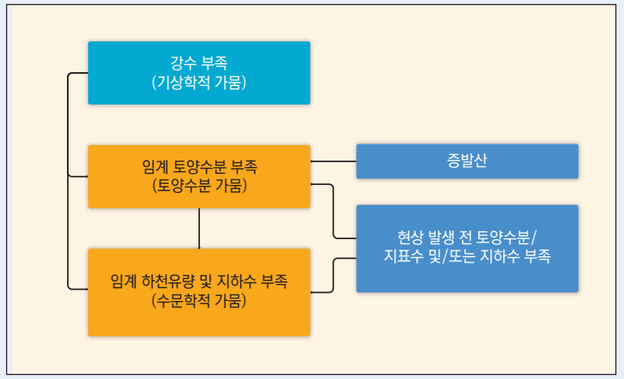


그림 3-9 | 기상 가뭄, 토양수분가뭄(농업 한발), 수문적 가뭄의 단순화된 과정 및 관련 동인

가뭄 동인

토양수분 또는 수문적 가뭄의 주요 동인은 강수 감소 및/또는 증발산량의 증가이다(그림 3-9). 문헌에서는 강수 부족의 역할이 더 비중 있게 고려되지만 일부 가뭄 지표들은 직·간접적으로 증발산량의 효과를 고려한다. 기후 전망에 대한 분석에 의하면 모의된 토양수분가뭄은 주로 높은 증기압차(기온 상승과 관련 있음) 및 복사 강화로 인한 증발산량 증가와 함께 강수 변화가 원인이었다(예: Burke and Brown, 2008; Sheffield and Wood, 2008a; Orlowsky and Seneviratne, 2011). 그러나 주목할 점은 강한 가뭄 조건에서 토양수분은 증발산량 및 추가적인 토양수분 고갈을 제한한다는 것이다. 토양수분가뭄과 수문적 가뭄에서 또 다른 중요한 요소는 그 지속성과 사전조건이다. 토양수분과 지하수, 지표수는 물저장과 관련이 있기 때문에 특유의 저장소(예: Vinnikov 등, 1996; Eltahir and Yeh, 1999; Koster and Suarez, 2001; Seneviratne 등, 2006b)와 가뭄 강제력에 대한 특정 반응 시간(예: Begueria 등, 2010; Fleig 등, 2011)을 갖는다. 또한 이 저장소는 대기 강제력과 시스템의 되먹임 기능이기도 하며(Koster and Suarez, 2001; A.H. Wang 등, 2009), 관련된 물 저장은 토양 특성과 관련 생태계의 토심에 따라 다르다. 이는 가뭄이 영향을 받는 시스템에 따라 지속성이 다르고 사전 조건에 민감하다는 것을 의미한다(그림 3-9). 사전 조건의 효과도 다년 간의 가뭄 발생을 설명할 수 있다. 즉, 비정상적인 토양수분이 다음 해까지 이어질 수 있다(예: Wang, 2005). 그러나 다른 특징들도 지속적인 순환 이상과 같은 가뭄 지속성을 유도할 수 있으며, 이러한 지속성은 지표-대기 되먹임에 의해 강하될 수 있다(Schubert 등, 2004; Rowell and Jones, 2006). 요소(강수, 토양수분, 하천유량)와 시간크기의 선택은 가뭄 현상의 등급에 큰 영향을 미칠 수 있다(Vidal 등, 2010).

가뭄 지수

가뭄의 복잡한 정의와 토양수분 관측 부족으로 인해(3.2.1절), 가뭄을 규정(기상 가뭄, 토양수분가뭄, 수문적 가뭄)하기 위한 몇 가지 지수가 개발되었다(예: Heim Jr., 2002; Dai, 2011). 이러한 지수들은 지표, 수문, 기후 모델 모의와(토양수분이나 토사유출과 같은 추정값 제공) 측정된 기상적, 수문적 요소에 기반한 지수들을 포함한다. 여기서는 최근 및 전망의 변화 분석을 위한 연구에서 이용되는 광범위한 가뭄지수의 간략한 개요를 살펴본다. 그러나 고기후 지시자에 대한 정보(나이테, 동굴퇴적물, 호수 퇴적물, 역사적 근거(예: 수확일자))는 구체적으로 다루지 않는다.

일부 지수들은 강수 자료만을 토대로 한다. 가장 폭넓게 이용되는 지수인 표준강수지수(Standard Precipitation Index: SPI)(McKee 등, 1993; Lloyd-Hughes and Saunders, 2002)는 장기적인 강수 기록을 평균이 0이고 단위 표준편차를 갖는 정규분포로 전환하여 얻어진다. SPI는 약한 가뭄에 대해 -0.5에서 -1, 중간 가뭄에 대해 -1에서 -1.5, 심한 가뭄에 대해 -1.5에서 -2, 극한 가뭄에 대해 -2이하의 값으로 나타난다. 한편 약한 습윤상태에서 심한 습윤상태에 대해 0에서 2, 극한 습윤상태에 대해 2이상의 값으로 나타난다(Lloyd-Hughes and Saunders, 2002). SPI는 몇 가지 시간규모(예: 3, 6, 12개월 또는 그 이상)에 걸쳐 계산될 수 있으며 이러한 점에서 토양수분가뭄 및 수문적 가뭄에서 매우 중요한 누적 강수부족 효과를 간접적으로 고려한다. 기후 모델 모의 분석에서 일반적으로 이용되는 또 다른 지수로 최대무강수 지속기간(Consecutive Dry Days: CDD)지수가 있다. 이 지수는 해당 기간 동안(일반적으로 1년) 비가 없는(주어진 기준값 이하, 일반적으로 1일 1mm) 최대 연속일수를 고려한다(Frich 등, 2002; Alexander 등, 2006; Tebaldi 등, 2006). 계절적 시간 프레임에서 CDD 기간은 해당 계절(그림 3-10) 또는 그 전체에 결합돼 있는 것으로 간주될 수도 있지만 특정 계절에 할당된다. SPI와 CDD 모두 강수만을 토대로 하지만

다음 페이지에 계속 →

기상 가뭄 효과만을 고려할 필요는 없다. 비가 없는 기간(즉 운량이 적은 기간)이 증발산의 양의 편차를 발생시킬 수 있는 높은 주간 복사강제력과 높은 온도에 결합되기 때문(토양수분 상태가 지나치게 건조해 증발산을 제한하지 않는 한)이다.

일부 지수들은 강수와 실제 또는 예측 증발산량 추정 모두를 반영하며, 경우에 따라 일시적인 누적 강제력 또는 비정상적인 가뭄의 지속성을 설명한다.

이러한 지수들에는 파머 가뭄 지수(Palmer Drought Severity Index: PDSI)(Palmer, 1965), 강수 가능증발산량 편차(Precipitation Potential Evaporation Anomaly: PPEA), 표준 강수-증발산량 지수(Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index: SPEI)가 있다. PDSI는 정상적인 단순한 물수지 모델(예: Dai, 2011)을 이용해 정상상태에서 수분과의 차이가 어느정도인지 측정한 지수이고, PPEA는 강수와 가능증발산량의 누적 차이를 토대로 한 지수로서 Burke and Brown(2008)에서 이용되었다. SPEI는 강수와 가능 증발산량의 누적된 편차를 고려한 지수로 Vicente-Serrano 등(2010)에서 기술되었다. PDSI는 수십 년 간 폭넓게 이용되었으며(특히 미국), 기후변화 분석에서도 자주 이용되었다(예: Dai 등, 2004; Burke and Brown, 2008; Dai, 2011). 그러나 기후변화 관측 및 전망에 있어서 몇 가지 문제점이 있다. PDSI는 원래 미국 중부 지역을 대상으로 산출된 것이기 때문에 지역 전반에 걸쳐(또한 시간이 지남에 따라 가뭄 메커니즘이 변할 경우 시간 기간 전반에 걸쳐) 지수의 비교가능성을 감소시킬 수 있다. 따라서 지역별로 PDSI를 자기보정하는 경우가 많다(Dai, 2011). 이러한 자기보정에는 자체적으로 보정된 PDSI를 이용해 수행될 수 있지만, 이러한 단계를 적용하지 않는 연구들도 있다. 또한 PDSI 산출에 이용되는 지표 모델은 단순한 버킷형 모델로 최근의 지표 및 수문 모델보다 덜 정교하기 때문에 몇 가지 한계를 갖고 있다(예: Dai 등, 2004; Burke 등, 2006). 또 다른 문제는 다양한 지수(예: Dai 등, 2004)에 자주 적용되는 가능 증발산량의 경험적인(그리고 단독적인) 모수화가 기온에 의존적이어서 편의된 결과가 도출될 수 있다는 점이다(예: Donohue 등, 2010; Milly and Dunne, 2011; Shaw and Riha, 2011). 증발산량에 있어 기온은 증기압차 및 식생 계절의 효과를 통한 간접적인 동인이다. 또한 실제 증발산량의 대안으로서 가능 증발산량을 이용한 접근법은 증발산량에 대한 토양수분과 식생 통제를 고려하지 않는다. 이러한 통제는 가뭄 발생을 제한하는 중요한 메커니즘이다.

토양수분가뭄을 평가함에 있어서 모의된 토양수분 이상도 고려될 수 있다(Wang 등, 2005; Burke and Brown, 2008; Sheffield and Wood, 2008a; A.H. Wang 등, 2009; Dai, 2011; Orlowsky and Seneviratne, 2011). 모의된 토양수분 이상은 강수 강제력과 모의된 실제 증발산량(증발산을 제한하는 대기 강제력과 모의된 토양수분의 결과), 모의된 토양수분의 지속성 효과들을 통합한다. 모델(지표, 수문, 기후 모델)에 의해 모의되는 토양수분이 절대적인 차원에서 큰 차이를 보이지만 토양수분의 편차는 단순하게 비교할 수 있으며 쉽게 이해가 가능하다(예: Koster 등, 2009; A.H. Wang 등, 2009). 토양수분가뭄의 변화를 전망하는 데 있어서 토양수분의 지속성은 중요한 요소이다. 일부 지역의 경우 기준(20세기 후반 즉, 산업 및 경제발전 이전) 상태와 비교하여 연중 계속되는 건조상태를 보인다. 이는 계절에서 계절로 토양 수분저장 효과가 이어지기 때문으로 20세기 후반 기후와 비교해 토양수분 부족이 연중 계속되는 효과로 이어질 수 있다(예: Wang 등, 2005, 그림 3-10). 그러나 일부 지표 및 수문 모델(오프라인으로 이용되거나 기후모델과 결합된 모델)들도 위에서 언급한 PDSI와 비슷한 단점이 있다. 즉 이러한 모델들은 단순한 버킷 모델이나 단순화된 가능증발산량을 이용한다. 오프라인에서 이용되는 모델들의 경우 후자의 문제가 특히 중요하다는 주장이 제기되었다(Milly and Dunne, 2011). 그러나 토양수분가뭄 평가에 있어서 모의된 토양수분 이상을 이용하는 것은 다른 지수들보다 문제가 적은 것으로 보인다.

위에서 언급된 지수들은 기후변화 맥락에서 다양한 가뭄연구에 이용되어 왔다. 그러나 일부를 제외하고 대부분의 연구들은 오로지 하나의 지수만을 토대로 하기 때문에 비교에 어려움이 따른다. 그럼에도 불구하고 이러한 연구들에 의하면 전망은 가뭄지수 선택에 크게 의존적일 수 있다. 예를 들어, Burke and Brown(2008)은 선택된 가뭄지수에 따라 가뭄지역의 변화를 경미한 수준에서부터 5-45% 증가하는 수준까지 광범위하게 전망했다. 다른 가뭄지수들이 수문가뭄 정량화에 이용되고 있지만(Heim Jr., 2002; Vidal 등, 2010; Dai, 2011), 이러한 지수들은 기후변화 연구에서 널리 이용되지는 않는다. 또한 다른 분석이나 지수들은 가뭄에 의해 영향을 받는 지역 또는 추가적인 요소(위성 측정에서 얻은 눈 또는 식생 지표, 예: Heim Jr., 2002)들을 고려한다. 다른 지수들에 대한 정의(Box 3-1)에 의하면, 선택된 지수와 독립적으로 가뭄패턴 변화를 평가하는데 있어 기준 기간의 판단이 중요하다. 일반적으로 20세기 후반 상태가 기준으로 이용된다(예: 그림 3-10).

결론적으로 가뭄지수는 강수, 기온, 기타 요소들을 통합하는 경우가 많지만 지수마다 강조하는 가뭄의 측면이 다르기 때문에 고려되는 가뭄 특성에 따라 신중하게 선택되어야 한다. 특히 일부 지수는 기후변화의 맥락에서 특정한 문제점을 갖고 있다. 이러한 이유로 기후변화 및 가뭄 특성의 변화를 평가함에 있어서 다루는 문제에 대한 구체적인 관련성 평가를 비롯하여 여러 가지 지수를 고려해 결론을 뒷받침할 필요가 있다. 이러한 평가에 있어서 다음의 지수에 초점을 맞추고 있다: 최대무강수 지속일수(CDD)과 모의된 토양수분 이상지수(SMA). 그러나 다른 지수들(예: 현재 기후에 대한 PDSI)을 토대로 한 근거들도 고려된다(3.5.1절, 표 3-2 및 3-3).

기온)와 잠재 및 관련 극한기후에 영향을 미칠 수 있다(Koster 등, 2004b; Seneviratne 등, 2006a; Hirschi 등, 2011; 3.1.4절). 사례 연구 9.2.3절은 가뭄의 악영향 관리에 관한 측면을 다룬다. 한편 9.2.2절은 높은 기온과 가뭄이 산불에 미칠 수 있는 영향에 대해 다루고 있다.

관측된 변화

관측된 가뭄의 전지구적 경향과 관련하여 여전히 큰 불확실성이 존재한다. AR4는 PDSI(Box 3-3 참고)를 이용한 분석을 토대로 1970년 이후 전 세계적으로 매우 건조한 지역이 두 배 이상 증가했다고 보고했다(Trenberth 등, 2007). 그러나 이러한 평가는 Dai 등(2004)의 연구만을 토대로 한 것이다. 이러한 PDSI 경향은 강수가 아닌 기온 변화에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다(Dai 등, 2004). 한편 Sheffield and Wood(2008a)가 관측기반 지표 모델을 이용한 1950년에서 2000년 사이 토양수분 모의를 토대로 추론한 결과에 의하면 가뭄의 지속기간, 강도, 심각성은 현저하게 감소했지만 지역적인 변동성이 매우 크며 일부 지역에서는 증가한 것으로 나타났다. 이들은 전반적인 해당 기간에 걸쳐 전반적으로 습윤화 경향이 나타났지만 1970년대 이후 전세계적으로 그리고 많은 지역(특히 북반구 고위도 지역)에서 건조 경향으로 전환되었다. 일부 지역 규모의 연구는 Sheffield and Wood(2008a)와 일치하는 결과를 보고하고 있다. 가령 Dai 등 2004)과 비교해 일부 지역에서 덜 광범위한 증가(즉 통계적으로 유의미하지 않은 변화 또는 감소)가 나타났다(예: 유럽, 아래 참고). 그러나 최근 Dai(2011)가 기록을 확장해 다양한 버전의 PDSI(1950-2008년)와 지표를 모의한 모델로부터 도출한 토양수분(1948-2004년)를 토대로 가뭄의 광범위한 증가를 발견했다. 따라서 가뭄의 과거 변화에 관한 전지구적인 평가와 관련하여 여전히 큰 불확실성이 존재한다. 한편 일부 지역(유럽 남부, 서아프리카, 아래 및 표 3-2 참고)에 가뭄 증가와 관련하여 다른 시간 규모와(1950년대 이후 및 1970년대) 다른 가뭄지수를 이용한 연구들 사이에 일치하는 결과가 발견된다. 그러나 다른 지역들은 반대 경향을 보인다(예: 북아메리카 중부, 오스트레일리아 북서부, 아래 및 표 3-2 참고). 3.1.6절에서 언급한 바와 같이 전지구 순환 패턴의 변화와 함께 가뭄의 일관된 공간적인 이동이 전망된다. 표 3-2는 다양한 지수들(Box 3-3)을 토대로 관측된 건조 상태가 나타난 지역 및 대륙 규모에서의 평가를 제공한다. 대륙 별 구체적인 정보들이 아래에 제시되어 있다.

고기후 측면에서 최근의 가뭄도 결코 전례가 없던 것이 아니었다. 예를 들어, 유럽, 북아메리카, 오스트레일리아에 대한 고기후 보고서는 심각한 '대가뭄'을 보고했다(Jansen 등, 2007). 최근의 연구들은 이러한 관측을 아프리카와 인도 가뭄에까지 확장했다(Sinha 등, 2007; Shanahan 등, 2009): 과거에 훨씬 심각하고 더 오래 지속되는 가뭄이 발생했으며 이러한 가뭄은 생태적, 정치적, 사회·경제적인 광범위한 결과로 이어졌다. 전반적으로 이러한 연구들은 과거 1,000년 동안 심각한 극한 가뭄이 발생했음을 확인했다(Breda and Badeau, 2008; Kallis, 2008; Buntgen 등, 2010).

북아메리카의 경우 덜 건조한 상태(더 많은 토양수분과 토사유출을 동반하는 습한 상태, 표 3-2)로의 약간의 경향이 발견되며 이에 대한 신뢰수준은 보통이다. 그러나 일부 지역에 대한 분석들은 건조상태의 증가 경향을 제시하였다. 이러한 평가는 몇 가지 근거를 기반으로 한다. 다양한 수문모델과 PDSI 및 CDD 추정값을 이용한 모의들이 그러한 근거이다(Alexander 등, 2006;Andreadis and Lettenmaier, 2006; van der Schrier 등, 2006a; Kunkel 등, 2008; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011). 20세기의 가장 심각한 가뭄은 1930년대와 1950년대에 발생했다. 미국의 경우 1930년대에 엄청난 강도의 먼지폭풍(Dust Bowl)이 발생했고 1950년대엔 지속성이 매우 큰 가뭄이 발생했다(Andreadis 등, 2005). 한편 멕시코의 경우 1930년대와 1950년대가 가장 가물었던 시기이다. 최근 캐나다 남부 및 서부, 알래스카, 멕시코 전반에 걸쳐 심각한 가뭄 경향이 파악되고 있다(Dai, 2011).

유럽의 경우 대륙 남부에서 일부 지수들을 토대로 건조상태 증가 경향이 나타났으며 이에 대한 신뢰수준은 보통이다. 그러나 이 지역에서 지수들 간의 불일치가 나타나고 있으며 대륙의 나머지 지역의 경우의 경우 이러한 경향은 통계적으로 유의하지 않다. Dai 등(2004)은 PDSI를 토대로 유럽 대륙 대부분에서 건조상태 증가를 발견했다. 그러나 Lloyd-Hughes and Saunders(2002)와 van der Schrier 등(2006b)은 SPI와 자체보정 PDSI를 이용해 20세기(각각 1901-1999년 과 1901-2002년)에 대하여 분석하고 유럽의 극한 가뭄 및 중간 규모의 가뭄에서 통계적으로 유의한 변화가 관측되지 않는다고 결론을 내렸다[Schrier 등(2006b)의 연구에선 지중해지역에서 예외가 있었다]. Sheffield and Wood(2008a)도 유럽에서 대조적인 건조상태 경향을 발견했다. 즉 대륙 남부와 동부에서는 증가 경향이, 그 외 지역에서는 감소 경향이 나타났다. Beniston(2009b)은 20세기 중반부터 말까지 기간에 대한 4분위수 분석을 통해 중부-남부(지중해 포함) 유럽에서 고온-건조상태의 증가를 보고했다. Alexander 등(2006)은 대륙 남부 및 중부 지역에서 CDD 증가 경향을 발견했다. 강수 및 유출 감소 경향은 담수 부족 경향을 시사하는 지중해의 염도 증가와 일치하지만(Mariotti 등, 2008) 인간의 물 이용 증가가 부분적인 원인일 수 있다. 프랑스의 경우 PDSI 모델 변수를 토대로 분석한 결과 뚜렷한 가뭄 상태의 증가 경향(특히 1990년대 이후)이 발견되었다(Corti 등, 2009). Stahl 등(2010)은 유럽 전역의 하천유량을 조사하고 남부와 동부지역에서 음의 경향(낮은 하천유량)을 그 외 지역(특히 북쪽 위도 지역)에서 전반적인 양의 경향을 발견했다. 여름철 대부분의 지역에서 저수량이 감소하고 월 평균 최저 저수량이 발생했다. 그러나 겨울철에 최저 저수량을 보이는 저수지도 있었다. 2003년 여름 유럽 대륙에 이례적인 열파가 발생한 것은(3.3.1절 참고) 토양수분가뭄과 관련이 있다. 이는 위성측정(Andersen 등, 2005), 모델 모의(Fischer 등, 2007a,b), 생태계에 미친 영향(Fischer 등, 2007a,b)을 토대로 추론할 수 있다.

남아메리카의 건조상태 경향에 대한 신뢰수준은 낮으며 이는 부분적으로 자료 부족 및 불일치에서 기인한다. 아마존의 경우 지난 수십 년간 반복적인 심한 가뭄이 발생했지만 특별한 경향은 보고되지 않았다. 그러나 아마존에서 2005년과 2010년 발생한 가뭄은 지난 세기에서 가장 심한 가뭄으로 간주된다. 이는 강수 기록과 위성을 통한 물저장 추정값을 토대로 추론되었다(GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment) 측정; Chen 등, 2009; Lewis 등, 2011). 남아메리카 다른 지역의 경우, 관측 및 복원된 강수시계열에서 가뭄발생의 간격을 분석한 결과 19세기 후반과 20세기 동안 가뭄 가능성이 증가한 것으로 나타났다. 이는 선택된 장기 관측 강수 기록과 칠레와 아르헨티나 안데스산맥에서 빙하의 후퇴와 일치한다(Le Quesne 등, 2006, 2009).

10년 단위 시간 크기에서 아시아 및 아프리카 몬순 지역에서 가뭄 패턴의 변화가 보고되었다(예: Janicot, 2009). 아시아의 경우 대륙과 지역 규모 모두

에서 건조상태경향에 대한 신뢰수준은 전반적으로 낮다. 이는 대부분 공간적으로 다양하게 나타나는 경향 때문이다. 그러나 동아시아의 경우 다양한 지수들을 고려한 다양한 연구들에서 20세기 후반 건조상태 증가가 나타났으며 이에 대한 신뢰수준은 보통이다(표 3-2).

사헬(Sahel)지역의 경우 최근 몇 년 간 이전 40년보다 매우 큰 경년변동성이 나타났으며(Ali and Lebel, 2009; Greene 등, 2009), 아직 건조한 사헬 서부 지역과 습한 상태로 복귀한 사헬 동부 지역 간에 차이가 나타났다(Ali and Lebel, 2009). Giannini 등(2008)은 열대 해양의 온난화와 관련된 아프리카 몬순지역의 건조상태와 ENSO 관련 변동성을 보고했다. 아프리카의 다양한 지역의 지역적 건조 경향의 신뢰성은 낮은 수준에서 중간 수준이다.

오스트레일리아의 경우 Sheffield and Wood(2008a)는 기존 기후 강제력을 이용해 모의된 토양수분을 토대로 1950년부터 2000년 사이 건조상태가 약간 증가했으며(주로 오스트레일리아 남동부) 오스트레일리아 중부 및 대륙 북서부에서 건조상태가 뚜렷하게 감소했음을 발견했다. Dai(2011)는 2008년까지 확장된 기간에 대해 다른 PDSI 변수들과 지표 모델에서 도출된 토양수분을 이용해 대륙 동부에선 건조상태 확장 경향이 서부에선 감소 경향이 나타났음을 발견했다. Jung 등(2010)이 원격탐사 및 준 전지구(quasi-globally) 에디 공분산 플럭스(eddy covariance flux)를 이용해 추론한 바에 의하면 오스트레일리아(그리고 남아메리카와 아프리카 일부)의 건조화(특히 1998년 이후 10년)가 증발산량 감소로 이어졌지만 이것이 하나의 경향인지 단순히 10년간의 변동인지는 분명하지 않다.

단일의 연구(Dai 등, 2004)를 토대로 한 AR4(3장)의 관측된 변화 평가 이후 수행된 후속 연구는 지역적, 시간적 측면 모두에서 다른 분석결과를 도출했다. 현재 시점에서는 관측된 경향의 신뢰수준이 높다는 의견을 뒷받침할 수 있는 근거는 부족하다. 이는 직접적인 관측 부족, 일부 지리적인 불일치, 지수선택에 의존적인 경향이 그 원인이다. 1950년대 이후 일부 지역은 더 강하고 더 오래 지속되는 가뭄을 경험했지만(예: 유럽 남부, 서아프리카), 다른 지역에서는 반대 경향이 나타났으며(예: 북아메리카 중부, 오스트레일리아 북서부), 이에 대한 신뢰수준은 보통이다.

관측된 변화의 원인

AR4(Hegerl 등, 2007)의 결론에 의하면 인위적인 요소가 20세기 후반 관측된 가뭄 증가에 기여했을 가능성이 없지는 않다. 이러한 평가는 여러 근거를 토대로 한다. 가령 전지구 PDSI 자료에서 인위적 요소를 파악한 연구결과(Burke 등, 2006)가 그 근거가 될 수 있지만 이 연구 모델에서 도출된 경향은 관측된 경향보다 약하며 자연적인 외부 강제력과 인위적 강제력의 상대적인 기여도는 평가되지 않았다.

기상학적 가뭄에서 지표-대기 되먹임과 SST 강제력이 차지하는 잠재적인 역할에 대한 이해가 높아졌으며(예: Schubert 등, 2008a,b), 토지이용 변화가 미치는 잠재적인 영향을 다루는 모델 연구들도 있다(예: Deo 등, 2009). 그러나 지표 모델과 지표-대기 상호작용에 관한 분야는 여전히 불확실성이 존재한다. 관측 자료의 부족(Seneviratne 등, 2010), 모델 간의 불일치(Koster 등, 2004b; Dirmeyer 등, 2006; Pitman 등, 2009), 산악지역에 대한 모델 해상도 및 기타 효과가 그 원인이다. 그럼에도 불구하고 새로운 기후모델 연구들은 SST 변동성에 따른 미국에서의 가뭄이 관측된 결과와 일치함을 보여준다(Schubert 등, 2009). 또한 가뭄에서 추론된 경향은 전지구 강수 및 기온 경향과 일치하며 전지구 강수 및 기온은 인위적 강제력에 대한 기대 반응과 일치한다(Hegerl 등, 2007; X. Zhang 등, 2007). 또한 관측 자료와 모델 모의에서 나타나는 전지구 강수 패턴의 변화는 지구온난화에 대한 수문적 반응과 관련된 이론적 이해와 일치한다. 이론에 따르면 온난화 하에서 습한 지역은 더 습해지고 건조한 지역은 더 건조해지는 반면(Held and Soden, 2006; 3.1.6절 참고), 일부 지역에서는 기후시스템의 이동이 나타난다(3.1.6절). 그럼에도 불구하고 전망과 다른 단일의 현상들이 보고되었다(Seager 등, 2009). 그러나 이는 주어진 인위적인 기후변화와 자연적인 기후변동성과 양립할 필요가 없다(3.1절). 토양수분가뭄과 수문적 가뭄과 관련하여 대기 중 CO_2 증가에 대한 식물의 증산억제가 증발산량 감소를 이끌었을 가능성이 있다는 주장이 제기되었다(Gedney 등, 2006). 이는 CO_2 증가가 토양수분가뭄과 하천의 가뭄을 완화한다는 의미일 수 있지만 이러한 주장은 여전히 논쟁 중에 있다(Piao 등, 2007; Gerten 등, 2008). 이는 이러한 효과를 유추하는 데 이용된 토사유출경향의 불확실성 때문이다(예: Peel and McMahon, 2006; 3.2.1절 참고).

전반적으로 새로운 연구들이 가뭄 메커니즘에 대한 이해를 높이고 있지만 관측된 변화의 원인 규명을 제공할 수 있는 근거가 여전히 제한적이다. 특히 관측 자료의 이용 가능성과 관련된 문제와(3.2.1절) 가뭄 지수의 정의 및 계산 문제가 존재한다. 후자의 문제는 대부분 AR4 이후 연구들에서 파악되었다(Box 3-3). 또한 파악된 가뭄 증가와 일치하는 지역('관측된 변화' 참고)들과 향후 수십 년간 가뭄의 강화가 전망되는 지역들은 부분적인 일치만을 보인다(다음 단락 참고). 인위적 요소가 강수 및 기온 변화에 미치는 영향을 토대로, 20세기 후반 관측된 가뭄 패턴 변화에 인위적 요소의 영향이 기여했다는 주장의 신뢰수준은 보통이다(그러나 기온은 관련된 경향과 간접적으로만 관련이 있을 수 있다. Box 3-3 참고). 그러나 개별 지역 수준에서 가뭄의 변화의 귀속성에 대한 신뢰수준은 낮다.

변화 전망 및 불확실성

AR4의 평가에 의하면 당시에는 가뭄의 증가를 전망하였다(특히 아열대와 중위도 지역). 지중해 지역과 오스트레일리아 남부, 뉴질랜드에선 건조기의 기간과 빈도 증가 가능성이 매우 높을 것으로 고려되었으며 아열대 지역에선 그 가능성이 높은 수준이었다. 한편 유럽 북부에서는 변화가 거의 없는 것으로 고려되었다. 대륙내부(예: 유럽 중부 및 남부)의 많은 중위도 지역의 여름철과 봄철, 중앙아메리카의 연 주기의 건조 기간에서 대륙의 건조와 가뭄 관련 위험이 증가할 것으로 고려되었다.

다음 단락에서 설명하는 바와 같이 최근의 전지구 및 지역 기후 모의와 수문모델들은 대부분 AR4의 전망을 뒷받침한다(표 3-3 참고). 그러나 건조상태와 관련된 정의 문제와 서로 다른 지수를 토대로 하는 모델 전망 간의 불일치 문제로 인해 전반적인 가뭄 전망에 대한 신뢰수준은 보통이다. 실제로 '가뭄'에 대한 전망들은 CDD와 같은 단순한 기후지수에서부터 토양수분 및 수문적 가뭄과 같은 복잡한 지수에 이르기까지 서로 다른 정의에 기반하는 지수를 이용하기 때문에 이러한 전망들을 비교할 때는 주의가 필요하다(Box 3-3). 또한 단기와 장기 현상에 관한 구별이 필요하다. 가령 Blenkinsop and Fowler(2007a)과 Burke 등(2010)은 영국에 적용된 RCM 앙상블을 이용해 단기 및 장기 가뭄변화에 관한 다른 경향 강도와 신호(Blenkinsop and Fowler, 2007a)를 보여주었다(그러나 후자의 전망의 경우 불확실성이 크다. 아래 참고). 일반적으로 이러한 다양한 구별은 고려되지 않으며 현재 이용 가능한 대부분의 연구들도 매우 적은 수(대개 하나 또는 둘)의 건조상태 지수 변화만을 평가한다

Burke and Brown(2008)은 전지구 규모에서 네 개 지수(SPI, PDSI, PPEA, SMA; 각각의 정의는 Box 3-3 참고)를 토대로 전망된 가뭄 변화를 분석했다. 이때 두 개 모델이 이용되었다. 하나는 모수공간의 불확실성을 모의하는 GCM을 기반으로 하며, 또 하나는 CMIP3으로부터의 11개 GCM의 다중 모델 앙상블을 기반으로 한다. 분석 결과 강수만을 이용하는 SPI는 가뭄에서 지표의 비중에 변화가 거의 없음을 나타냈다.

한편 대기의 수분 요구량을 포함하는 다른 지수들은 가뭄에서 지표의 비중이 추가적으로 5-45% 증가함을 보여주었으며 이는 통계적으로 유의한 증가였다. 또한 이 연구는 가뭄의 지역적 변화에 큰 불확실성이 존재한다는 점을 강조했다. Box 3-3에 언급된 이유로, 기후모델에서 모의된 토양수분 편차를 이용하는 경우 일반적으로 이용되는 다른 지수들의 단점을 극복할 수 있다(그러나 관측된 자료 부족으로 인해 모의된 토양수분의 품질이 적절하게 평가될 수 없다. 3.2절 및 Box 3-3). Burke and Brown(2008)의 연구에서 이 지수는 PDSI 및 PPEA 지수와 비교해 약한 건조상태를 나타낸다(그러나 SPI 지수보다는 훨씬 뚜렷한 건조상태를 나타낸다). 이 보고서는 토양수분 편차와 CDD의 전망에 대한 변화를 제시하고 있다(그림 3-10). CDD 지수는 RA4의 연속성 측면에서 선택되었다(해당 보고서 그림 10.18 참고). 일부 지역(예: 연 시간 규모에서 유럽 남부, 지중해, 유럽 중부, 북아메리카 중부, 중앙아메리카, 멕시코, 브라질 북동부, 아프리카 남부)에서 증가된 가뭄과 관련하여 두 개 지수는 부분적으로 일치한다. 그러나 CDD의 일관된 증가가 나타나는 일부 지역(예: 아시아 남부)의 경우 일관된 토양수분 감소가 나타나지 않았다. 역으로 일관된 CDD 감소가 나타나는 지역(예: 아시아 북동부)의 경우 일관된 토양수분 증가가 나타나지 않았다. 가뭄 전망의 불확실성은 특히 토양수분 전망에서 분명하게 존재한다. 예를 들어, 대부분의 지역에서 12월에서 2월 사이 변화와 관련하여 모델 간의 불일치가 존재한다. CDD 및 토양수분 변화와 관련된 이러한 결과들은 다른 연구결과들과도 일치한다((Wang, 2005; Tebaldi 등, 2006; Burke and Brown, 2008; Sheffield and Wood, 2008b; Sillmann and Roeckner, 2008). 또한 두 지수 모두에서 일관된 가뭄의 증가 경향을 나타내는 지역들은 다른 지수에서도 그러한 경향이 나타났다(예: Burke and Brown, 2008; Dai, 2011; 표 3-3). Sheffield and Wood(2008b)은 8개 GCM과 SRES 시나리오 A2, A1B, B1을 이용해 CMIP3 모의를 토대로 가뭄 빈도(4-6개월 및 12개월 이상 가뭄 지속되는 가뭄에 대한 빈도. 토양수분 이상을 토대로 추정)에 대한 전망하였다. 이들의 조사 결과에 의하면 3 가지 시나리오에서 일부 지역에서 가뭄이 증가할 것으로 전망되었다(대부분 SMA에 관한 그림 3-10과 일치). 그러나 가뭄 강도의 전망은 중간 수준의 CO2 배출 시나리오에서보다 높은 CO_2 배출 시나리오에서 더 강하게 나타났다. B1시나리오의 신호가 중간수준임에도 불구하고, 통계적으로 유의한 가뭄 빈도 증가가 나타나는 지역들은 세 개 시나리오에서 비슷하게 발견되었다(해당 그림 8 및 9). 또한 이 연구는 시나리오들은 대부분의 지역에서 '거의 변화 없음'에서부터 2-3배 증가에 이르기까지 가뭄 빈도의 변화를 광범위하게 전망했다고 강조하며 가뭄 전망 시나리오에 큰 불확실성이 존재한다고 언급했다(해당 그림 10).

또한 유럽에 대한 지역 기후 모의와 고해상도 전지구적 대기 모델 모의에 의하면 지중해 지역이 더 심각한 가뭄의 영향을 받을 것으로 전망되며, 이는 전지구 전망과 일치한다(표 3-3. also Giorgi, 2006; Rowell and Jones, 2006; Beniston 등, 2007; Mariotti 등, 2008; Planton 등, 2008).

지중해(여름철) 가뭄은 연 초에 시작되어 오랫동안 지속될 것으로 전망된다. 또한 건조하고 따뜻한 계절에 변동성이 증가할 것으로 전망된다(Giorgi, 2006). GCM 기반 연구는 세기 말 지중해 지역에서 1-3주 정도 건조일이 증가할 것으로 전망했다(Giannakopoulos 등, 2009). 북아메리카의 경우 상대적인 건조기간 증가와 증발산량 증가와 함께 많은 유출을 동반하는 산발적이고 강한 강수가 나타난다. 많은 기후 모델들이 미국 남서부와 멕시코 북서부에 걸쳐 시원한 계절의 강수가 감소하고(Christensen 등, 2007), 미국 서부에서 수년 간에 걸친 가뭄이 더 자주 발생할 것으로 전망하고 있다(Seager 등, 2007; Cayan 등, 2010). 한랭한 계절의 강수 감소는 여름철 증발산에 이용 가능한 토양수분량을 감소시킴으로써 건조한 여름을 촉진한다. Alexander and Arblaster(2009)는 오스트레일리아의 최대무강수 지속기간의 증가를 전망했다. 그러나 모델 간의 일치는 대륙 내부에서만 발견된다. 아프리카에 관한 연구들은 강수 및 가뭄과 관련하여 기후 모델 모의를 토대로 비교적 작은 규모(500km)의 이질적 변화의 가능성을 시사하고 있다(Funk 등, 2008; Shongwe 등, 2009). 남아메리카에 대한 지역 기후 모의는 브라질 고원과 칠레 북부, 알티플라노(Altiplano)를 중심으로 공간적으로 일관된 CDD 증가를 전망했다(Kitoh 등, 2011).

수문 가뭄과 관련하여 이용 가능한 전지구 및 지역 연구들(Hirabayashi 등, 2008b; Feyen and Dankers, 2009)은 북아메리카와 남아메리카, 아프리카 중부 및 남부, 중동, 인도차이나반도에서부터 중국 남부에 이르는 아시아 남부, 오스트레일리아 중부 및 서부 지역에서 21세기 말 수문 가뭄이 증가하고 21세기 마지막 30년 동안 가뭄(특정 기준값 이하의 하천유량으로 정의됨) 일수가 크게 증가할 것으로 전망하고 있다. 유럽 동부, 유라시아 중부, 중국 내륙, 북아메리카 북부를 비롯한 일부 지역에서 가뭄 증가가 전망된다. 반면 러시아 동부의 광활한 지역에서는 가뭄 일수의 감소가 전망된다. 적어도 유럽에서는 무상기간(frost-free season) 동안 수문적 가뭄이 발생할 것으로 전망된다.

모델 간의 일치와 과거 세기 동안 가뭄지수의 양호한 모의 덕분에 가뭄 모델의 신뢰수준이 증가했다(Sheffield and Wood, 2008a; Sillmann and Roeckner, 2008). 모델 상호 간의 일치수준은 장기적인 가뭄과 보다 대규모(일부 지역에서. 위 내용 참고)에서 강하게 나타나는 반면, 국지 및 단기적인 강수 부족은 공간적 변동성이 크고 모델 간의 일치 수준도 낮다(Blenkinsop and Fowler, 2007b). 기상학적 가뭄의 물리적 원인 및 대규모의 대기 및 해양 순환과의 관련성에 대한 지식 부족은 여전히 가뭄 모의와 전망의 불확실성을 제공한다. 예를 들어, 사하라 지역의 가뭄 악화와 강수 증가에 대한 전망과 관련하여 타당하다고 생각되는 설명이 제시되었다(Biasutti 등, 2009; Burke 등, 2010). 또 다른 예는 오스트레일리아 남부의 강수와 오스트레일리아 북부의 SST간의 관계를 제시했다. 연규모에서 적은 강수는 정상 상태보다 낮은 SST와 관련이 있다. 그러나 지난 수십 년간 관측된 SST 상승은 증가된 강수가 아니라 유사

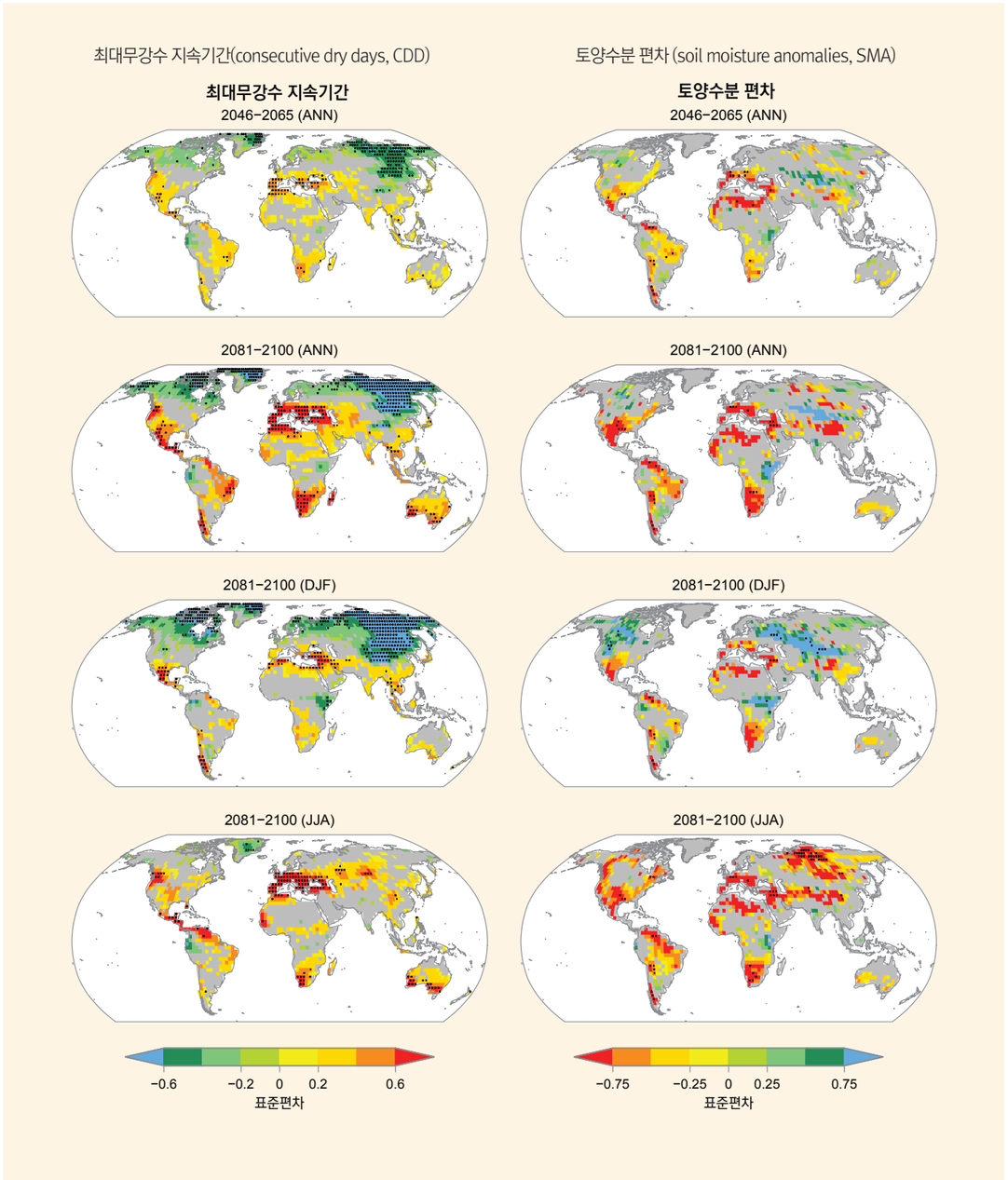


그림 3-10 | 1980–1999년 기간 대비 2081–2100년 사이 기간(아래 세 개 행은 연중 시간 규모 및 두 계절(DJF 및 JJA)을 보여줌)과 2046–2065년 사이 기간(위, 연 시간 규모)에 대한 두 개 지수를 이용하여 평가한 연 및 계절 변화 전망. 왼쪽 열: CDD 최대일수 변화(강수량 1mm 미만). CMIP3에 기여하는 17개 GCM을 토대로 함. 오른쪽 열: 토양수분 변화(토양수분 편차(SMA)), CMIP3에 기여하는 15개 GCM을 토대로 함. 건조상태 증가는 따뜻한 색으로 표시되었다(CDD 양의 변화 및 음의 SMA 값). 지도는 각 20년 기간 동안의 연 평균과 계절 평균의 차이 즉, 2081–2100년 또는 2046–2065년 평균(SRES A2 배출 시나리오에 따른 모의를 토대로 함)에서 1980–1999년 평균(20세기 대응 모의로부터 산출)을 뺀 값을 나타낸다. 차이는 세 개 20년 기간(1980–1999, 2046–2065, 2081–2100)의 연간 연중 또는 계절 추정치에서 추세를 제거하여 산출한 단위 표준편차로 표현된다. GCM의 66%이상(CDD의 경우 17 개 중 12 개, 토양수분의 경우 15 개 중 10 개 이상)이 변화와 일치하는 지역은 어두운 색으로, GCM의 90%이상(CDD의 경우 17 개 중 16 개, 토양수분의 경우 15 개 중 14 개 이상)이 변화와 일치하는 지역은 점으로 표현되었다. Orlowsky and Seneviratne(2011)로부터의 내용을 수정; 추가된 지수 및 CMIP3 모델의 수에 대하여 Tebaldi 등(2006)을 갱신하고 계절을 포함시킴. 보다 자세한 내용은 부록 3.A 참고.

가뭄 상태로 움직이는 경향과 관련이 있다(N. Nicholls, 2010).

다음 세기의 기상학적 가뭄 경향 전망에 영향을 미치는 추가적인 불확실성이 존재한다. 가장 중요한 두 가지는 해양 순환 및 지표와 대기간의 되먹임 과정의 발달에 대한 불확실성이다. 지표와 대기간 되먹임 과정은 가뭄이 식생 생리학 및 역학(예: 임관 전도도(canopy conductance), 알베도, 거칠기에 미치는 영향)에 미치는 효과와 관련이 있으며, 결과적으로 강수형성에 음 또는 양의 되먹임(Findell and Eltahir, 2003a,b; Koster 등, 2004b; Cook 등, 2006; Hohenegger 등, 2009; Seneviratne 등, 2010; van den Hurk and van Meijgaard, 2010)과 최근에 강조된 가뭄과 화재, 에어로졸 간의 되먹임(Bevan 등, 2009)으로 이어진다. 또한 강수, 토양수분 및 눈에 의한 물 저장, 식물에 의한 증발산 사이의 복합적인 상호작용 결과인 토양수분 발달에는 여전히 큰 불확실성이 존재한다. 이는 토양수분 및 증발산(3.2.1절)의 관측 자료 부족과 현재 기후 모델에서 토양수분-증발산 결합을 모의하는 문제 때문이다(Dirmeyer 등, 2006; Seneviratne 등, 2010). 또한 토양수분과 기후 간의 상호작용과 관련된 불확실성은 대기 중 CO2 농도 증가 조건하에서 식물의 증산, 성장, 물이용 효율성과 관련이 있다. 이는 잠재적으로 수문 순환에 영향을 미칠 수 있지만((Betts 등, 2007) 아직 정확히 이해되지 않고 있다(Hungate 등, 2003; Piao 등, 2007; Bonan, 2008; Teuling 등, 2009; 관측된 변화의 원인에 관한 위의 논의 참고). 또한 기상 가뭄과 관련 토양수분가뭄(가뭄 확산, 예. Peters 등, 2003)에 대한 반응으로서 수문 가뭄의 시·공간적인 강화에 대해서도 더 많은 관심이 필요하다. 저수지 규모에서 이러한 문제에 대한 이해가 인식되고 있지만(예: Tallaksen 등, 2009) 지역 및 대륙 규모로 확대될 필요가 있다. 이는 수문가뭄 전망에 대한 이해를 한층 높이고 가뭄의 식별 및 원인규명에 기여함으로써 전지구 수문 모델과 지표 모델들을 개선하는 기회가 될 것이다.

결론적으로, 1950년대 이후 유럽 남부와 서아프리카를 비롯한 일부 지역에서 더 강하고 기간이 긴 가뭄으로 움직이는 경향이 나타났지만 북아메리카 중부 및 오스트레일리아 북부를 비롯한 일부 지역의 경우 가뭄의 빈도와 강도가 낮아지고 기간이 짧아지고 있으며 이에 대한 신뢰수준은 보통이다. 인위적 요소가 강수 및 기온 변화에 미치는 영향을 토대로 20세기 후반 일부 가뭄패턴 변화에 기여했으며 이에 대한 신뢰수준은 중간이다(그러나 기온은 가뭄경향과 간접적으로만 관련되었을 수 있다. Box 3-3 참고). 단일 지역 수준에서 가뭄의 변화의 원인 규명에 대한 신뢰수준은 낮다. 이는 근거 부족 또는 불일치 때문이다. AR4 이후 연구가 시사하는 바에 의하면, 유럽 남부, 지중해, 유럽 중앙, 북아메리카 중부, 중앙아메리카, 멕시코, 브라질 북동부, 아프리카 남부를 비롯한 일부 지역에서 가뭄의 지속기간과 강도 증가가 전망되며 이에 대한 신뢰수준은 보통이다. 다른 곳에서도 전반적인 신뢰수준은 낮다. 이는 가뭄변화 전망(모델과 건조지수 모두에 의존적이다)에 대한 동의가 충분하지 않기 때문이다. 정의 문제와 자료 부족은 가뭄변화 관측에 대한 신뢰수준을 보통에 그치게 한다. 한편 이러한 문제들 외에도 가뭄에 영향을 미치는 모든 요소들을 포함하지 못하는 모델들의 문제로 인해 신뢰수준은 보통에 그치게 된다.

3.5.2. 홍수

홍수는 "하천 및 기타 유수의 정상 범위를 벗어나 넘치는 현상 또는 물의 축적으로 지역 전체가 비정상적으로 침수되는 현상(구체적인 예가 사례 연구 9.2.6절에 제시되었다)이다. 홍수에는 하천홍수, 돌발홍수, 도시홍수, 강수홍수, 하수홍수, 연안홍수, 빙하홍수 등이 포함된다."(용어 참고). 홍수의 주요 원인에는 강수의 강도 및/또는 오랜 지속성, 눈/얼음 해빙, 이러한 원인들의 복합적인 작용, 댐의 붕괴(예: 빙하호), 아이스 잼(ice jam)이나 산사태, 국지적인 극심한 폭풍으로 인한 수송의 감소 등이 있다(Smith and Ward, 1998). 홍수는 강수의 다양한 특성(강도, 지속기간, 양, 시기, 형태(비 또는 눈))에 의해 영향을 받는다. 또한 하천의 수위, 눈과 얼음의 존재, 토양 특성 및 상태(결빙상태 여부, 토양수분 함유량, 연직 분포), 눈/얼음의 해빙률 및 시기, 제방, 댐, 저수지 유무(Bates 등, 2008) 등과 같은 배수지역 조건에 의해서도 영향을 받는다. 연안 지역을 따라 홍수는 폭풍해일과 관련이 있다(3.5.5절). 기후변화는 홍수에 영향을 미치는 많은 요소(예: 강우, 눈, 토양수분, 해수면, 빙하호 상태, 식생)들을 물리적으로 변화시키고 결과적으로 홍수의 특성을 변화시킬 수 있다. 제방과 저수지와 같은 기술의 발달이 유량을 조절한다. 또한 토지 이용도 홍수에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 점에서 홍수 변화의 원인 평가는 복잡하고 어렵다. 본 장은 기술발달이나 토지이용의 변화가 아니라 기후변화와 관련이 있을 수 있는 홍수 변화에 초점을 맞추고 있다. 그러나 체계적인 자료의 부분적인 부족으로 인해 관측 기록에서 이러한 변화를 구별하는 것이 어려울 수 있다.

기후변화가 강수로 인한 홍수(예: 돌발홍수 및 도시홍수)에 미친 영향에 관한 연구는 매우 드물다. 그러나 3.3.2절에서 논의된 호우의 변화가 일부 지역의 강수홍수 변화를 시사할 수 있다. 이 장은 기후변화와 관련된 강의 유량과 첨두유량의 공간적, 시간적, 계절적 변화에 초점을 맞추고 있다. 기후변화 시나리오에 따른 하천유량의 모의는 GCM 또는 RCM 결과(예: 강수, 지표기온)와 수문 모델을 요구한다. 수문모델은 GCM 또는 RCM의 지표 모델과 하천유수(river routing) 모델로 구성될 수 있다. 다양한 수문모델은 양적으로 다른 하천유량을 도출할 수 있지만 동일한 GCM/RCM 산출물이 이용된다면 다른 경향을 산출하지 않을 수도 있다. 따라서 모델의 홍수 모의 능력(특히 과거 및 미래 경향의 신호에 관하여)은 GCM 또는 RCM의 강수 변화 모의 능력에 의존적이다. 또한 해빙-빙하(snowmelt- and glacier-fed) 하천의 유량에 있어서 GCM 또는 RCM의 기온 모의 능력이 중요하다. 수문모델을 수행하기 전에 GCM/RCM 산출물에 상세화 및/또는 편의 보정이 적용되는데 이것이 불확실성의 원인이다. 수문적 전망의 타당성과 불확실성에 관한 자세한 내용은 본 장의 후반에 설명되어 있다. 연안홍수는 3.5.2절과 3.5.5절에서 논의된다. 빙하홍수는 3.5.6절에서 논의된다. 인간 사회와 생태계에 홍수가 미치는 영향과 그 관련 변화는 4장에서 논의된다. 사례 연구 9.2.6절은 홍수 관리에 대해 다룬다.

전지구 규모에서 홍수 관측 기록은 시·공간 규모에서 제한적이며 일부 관측소만이 50년 이상의 자료를 보유하고 있다. 100년 이상 자료를 보유하고 있는 관측소는 손에 꼽을 정도이다(Rodier and Roche, 1984; 3.2.1절). 그러나 이 문제는 기록(지난 500년간 유럽 대륙에 관한 보관 기록(Br□zdil 등, 2005)과 고홍수(paleoflood)의 지질학적 지표(1,000년 규모로 대륙의 퇴적물 및 생물에 관한 기록)(Kochel and Baker, 1982)를 이용해 관측 전 홍수 자료를 이용함으로써 부분적으로 또는 크게 극복될 수 있다. 이러한 관측 전 홍수 기록에 관한 분석 결과 다음과 같은 사실이 발견된다. (1) 홍수 규모와 빈도가 대기의 작은 변화에 민감할 수 있으며 '드문' 홍수(예: 50년 또는 그 이상 주기의 홍수)가 더 잦고 더 자주 발생하는 홍수(2년 홍수)보다 훨씬 민감

하다(Knox, 2000; Redmond 등, 2002). (2) 홍수 발생에 있어서 빈도와 규모 측면에서 연 및 십년의 시간범위 안에서 큰 변동성이 발견될 수 있지만 대부분의 경우 관측 자료(Robson 등, 1998), 과거 기록(Va live and Martin-Vide, 1998; Benito 등, 2003; Llasat 등, 2005), 고기후 기록(Ely 등, 1993; Benito 등, 2008)에서 주기적이거나 집중된 홍수 발생이 관측된다. (3) 과거 홍수 기록은 최근의 기록과 유사한 일반적이지 않은 큰 홍수를 포함할 수 있으며 이는 때때로 기록상 최대 홍수로 간주된다. 예를 들어, 관측 전 홍수 자료에 의하면 2002년 여름철 엘베강에서 발생한 홍수는 1118년 및 1845년 최대 홍수에 미치지 못한다. 그러나 1432년 및 1805년의 재앙적인 홍수보다는 높은 수준이다(Brázdil 등, 2006). 그러한 현재 이용 가능한 관측 전 홍수 자료도(특히 공간 측면에서) 제한적이기는 마찬가지이다.

AR4 및 AR4에 기반한 IPCC Technical Paper VI는 지난 수십 년간 기후에 의한 홍수의 규모/빈도의 전지구 변화와 관련하여 관측에 기반한 증거는 발견되지 않았다고 결론을 내렸다(Rosenzweig 등, 2007; Bates 등, 2008). 그러나 AR4는 기후변화로 인해 발생한 홍수의 발생 경향이 변화할 수 있다는 점을 제시하기도 했다. 예를 들어, Trenberth 등(2007)은 2002년 일부 유럽중부 지역의 하천에서 격변홍수가 발생했지만 이 지역에서 홍수와 평균 강수의 변화 경향이 파악되지 않았다고 강조했다. 그럼에도 불구하고 이들은 지난 세기 동안 강수의 변동성이 증가쪽으로 변화하는 경향이 존재하며 이 자체가 강수 발생의 강화를 시사할 수 있다고 주장했다. Kundzewicz 등(2007)은 기후변화(즉 강수 강도에서 관측된 증가 및 기타 관측된 기후변화)가 이미 홍수에 영향을 미쳤다고 주장했다. 봄철 첨두유량과 관련하여 AR4는 해빙-빙하 되먹임 강에서 조기에 첨두유량이 발생한다는((Rosenzweig 등, 2007; Bates 등, 2008) 증거가 충분하고 이에 대한 신뢰수준이 높다고 결론 내렸다. 그러나 영향을 받는 지역에서 첨두유량의 시기가 홍수의 규모와 빈도의 변화를 시사할 필요가 없다는 점을 분명하게 밝히고자 한다.

기온이 강수 유형(비/눈), 해빙, 빙하 면적(특히 북반구 고위도 지역 및 극지역)에 영향을 미치는 지역에서 홍수의 규모/빈도 변화가 전망될 수 있지만, 그러한 기후로 인한 홍수 변화에 대한 증거는 충분하지 않다. 예를 들어, 지난 수십 년간 139개 러시아 관측소의1일 하천유량을 토대로 홍수의 규모에서 일반적인 변화 경향이 존재한다는 증거는 없다. 그러나 봄철 유출이 더 일찍 발생하는 경향이 발견되었다(Shiklomanov 등, 2007). Lindstrom and Bergstrom(2004)은 1807년부터 2002년 사이 스웨덴의 유출 경향에 관한 분석으로부터 홍수 수준이 증가했다고 결론 내리기는 어렵다고 밝혔다.

20세기와 21세기 초 미국과 캐나다의 경우 기후로 인한 홍수 규모 또는 빈도 변화를 뒷받침할 수 있는 확실한 증거가 없다(Lins and Slack, 1999; Douglas 등, 2000; McCabe and Wolock, 2002; Cunderlik and Ouarda, 2009; Villarini 등, 2009). 독일 및 인근 지역(Mudelsee 등, 2003; Tu 등, 2005; Yiou 등, 2006; Petrow and Merz, 2009), 스위스 알프스(Allamano 등, 2009), 프랑스(Renard 등, 2008), 스페인(Benito 등, 2005), 영국(Robson 등, 1998; Hannaford and Marsh, 2008)을 비롯해 유럽 강의 변화 및 경향에 관한 연구들은 비교적 풍부하다. 그러나 기후로 인한 홍수 규모 및 빈도 변화에 대한 대륙 규모의 평가는 제공되기 어려운데 이는 보고된 변화에서 지리적으로 체계화된 패턴이 확인되지 않기 때문이다.

아시아에서의 이용 가능한(제한적인) 분석은 다음의 변화를 제시하였다: 지난 40년간 양쯔강 하구의 연 최대 수위는 상승하는 경향을 나타냈으며(Jiang 등, 2008), 20세기 후반 메콩강의 극한 홍수 가능성이 증가했다. 그러나 평균적인 홍수 가능성은 감소했으며(Delgado 등, 2009), 히말라야 북서부 네 개 하천의 경우 지난 40년간 증가와 감소 경향이 모두 나타났다(Bhutiyani 등, 2008). 남아메리카 아마존 강의 경우, 리오네그로 주 마나우스 관측소의 지난 106년 중 2009년의 홍수는 가장 높은 수위를 보였다(Marengo 등, 2011). 또한 최근 남아메리카의 다른 하천에서 홍수 빈도의 증가가 보고되었다. Conway 등(2009)은 한정된 자료와 아프리카 사하라 이남 지역의 문제로 인해 수문 변화에 대한 파악이 매우 제한적이라고 결론내렸다. Di Baldassarre 등(2010)은 20세기 아프리카 홍수의 규모가 증가했다는 증거를 발견하지 못했다. 그러나 그러한 분석은 제한된 지역만을 다루고 있다. 다른 지역 및 다른 강 유역에 관한 과학 문헌에서 나타나는 증거는 매우 제한적인 것으로 보인다.

자연 상태가 더 이상 유지되지 않는 강이 증가함에 따라 하천유량의 변화가 기후로 인한 변화인지 인간이 하천 시스템을 조절함으로써 발생한 변화인지 여부를 분리하는 것이 어려워졌다. 하천공학과 토지이용이 홍수의 가능성을 변화시켰을 수 있다. 많은 댐이 홍수 방지를 위해 설계된다. 큰 댐의 건설은 토지이용을 대규모로 바꿔놓았으며 일부 지역의 유효우량을 변화시켰을 수 있다(Hossain 등,2009).

위의 분석은 AR4 이후의 연구가 여전히 관측기록을 토대로 전지구적 수준에서 기후로 인한 홍수 규모 및 빈도 변화에 관한 분명하고 충분한 증거를 보여주지 못하고 있음을 시사한다. 이러한 점에서 홍수 규모 및 빈도 변화 그리고 그러한 변화 신호에 관한 신뢰수준은 낮다. 신뢰수준이 낮은 주요 원인은 관측소 홍수 관측 기록이 시·공간적 측면에서 제한적이며 이로 인해 분석의 수도 제한적이기 때문이다. 또한 위에서 언급한 하천공학과 토지이용의 혼란스러운 변화 효과도 기후로 인한 경향의 발견을 어렵게 만든다. 증거수준이 중간이고 일반적인 변화가 뚜렷한 지역은 제한적이다(낮은 동의수준). 관측 전 홍수 자료는 더 긴 기간에 대한 정보를 제공할 수 있지만 이 조차 현재 이용 가능한 자료가 매우 부족하다(특히 공간적인 측면에서). 해빙-빙하 되먹임에 의한 강의 봄철 첨두유량의 조기 발생에 관한 증거가 풍부하지만(높은 신뢰수준), 이러한 특징이 관련된 지역의 봄철 첨두유량 규모 변화와 관련될 필요는 없을 것이다.

홍수 변화를 야기할 수 있는 원인들이 AR4 및 Bates 등(2008)에서 논의되었지만 외부강제력과 홍수 변화 사이의 원인과 결과는 명확하게 평가되지 않았다. Rosenzweig 등(2007)과 Bates 등(2007)의 연구에서 고려되는 예는 Milly 등(2002)에 의한 연구이다. 이 연구는 월별 하천유량을 토대로 선택된 아열대 하천 유역(20,000 km2이상)에서 인위적인 기후변화가 20세기 동안 발생한 '대규모' 홍수의 변화에 미친 영향을 보고했지만 연구 결과를 보장하지는 않았다. 그러한 경향과 관련하여 다른 연구들의 증거가 부족하기 때문이다. 최근의 한 연구에서는 평균 강수량(X. Zhang 등, 2007), 호우(3.3.2절), 적설량(snowpack)(Barnett 등, 2008)을 비롯한 수문 순환(3.2.2.2절) 측면과 같이 홍수에 영향을 미치는 변수에서 인위적인 기후변화의 영향을 발견했다. 그러나 인위적인 기후변화와 홍수의 규모 및 빈도 경향 사이의 직접적인 통계적 관련성은 아직 체계화되지 않았다.

연 유출에서 계절 규모에서 적설과 해빙이 중요한 역할을 하는 기후에서 수문 체계는 기온 변화에 의해 영향을 받는다. 따뜻한 환경에서는 강수의 적은 부분이 눈으로 내리고(Hirabayashi 등, 2008a), 봄철 이른 시기에 겨울 눈의 해빙이 발생하며 이것이 겨울과 이른 봄에 첨두유출의 발생으로 이어진다. 이러한 현상은 북극 지역의 하천의 얼음이 조기에 붕괴되면서(Smith, 2000; Beltaos and Prowse, 2009) 미국 서부((Regonda 등, 2005; Clow, 2010), 캐나다(Zhang 등, 2001), 기타 한대지역(Rosenzweig 등, 2007; Shiklomanov 등, 2007)에서 관측된다. 1950년 이후 미국 서부지역에서 해빙에 의한 유수의 발생 시기가 빨라지는 경향이 관측되었는데, 이는 자연적인 변동성과 다르다(Barnett 등, 2008; Hidalgo 등, 2009). 따라서 지난 수십 년간의 인위적 강제력에 의한 원인 규명은 다음과 같다: 온난화는 해빙과 빙하의 생성이 반복되는 하천의 봄철 조기 첨두유량과 관련이 있을 가능성이 높다. 수십 년간 관측된 온난화가 해빙 첨두유량의 규모에 영향을 미쳤는지는 명확하지 않다. 그러나 온난화가 적설 및 적설량의 감소로 인한(Hirabayashi 등, 2008b; Dankers and Feyen, 2009) 적설 깊이 증가(Meehl 등, 2007b) 또는 봄철 첨두유량의 감소로 이어졌을 수 있다.

지난 수십 년간 인위적 기후변화가 강수로 인한 첨두유량의 변화 경향에 미친 영향을 파악하기 위한 연구는 여전히 부족한 실정이다. 이는 관측된 하천유량 자료의 이용가능성 및 불확실성과 낮은 신호 대 잡음비 때문이다. 최근 인위적 기후변화가 2000년 가을 영국의 일부 유역에서 강수지배홍수(rainfall-dominated flood)의 발생 위험을 증가시켰을 수 있다는 증거가 제시되었다(Pall 등, 2011). 전반적으로 인위적 기후변화가 홍수의 규모 및 빈도에 영향을 미쳤다는 주장의 신뢰수준은 낮다. 그러나 홍수 경향에 영향을 미칠 수 있는 몇 가지 수문순환 요소(강수, 해빙)에 인위적 기후변화가 영향을 미쳤을 수 있다. 홍수 변화를 야기하는 원인에 대한 평가는 본질적으로 복잡하고 어렵다.

AR4가 발표될 당시 지역 또는 대륙 규모에서 하천의 홍수 변화 전망을 조사한 연구는 매우 제한적이었다. 또한 AR4에서는 저수지 또는 강 유역 규모의 홍수변화 전망도 충분히 인용되지 않았다. 그럼에도 불구하고 Kundzewicz 등(2008)은 대부분의 지역에서 전망되는 더 잦아지는 호우가 강수로 인한 홍수(돌발 홍수 및 도시 홍수) 위험에 영향을 미칠 수 있다고 주장했다.

홍수변화의 전망과 관련하여 지역 또는 대륙 규모의 연구는 여전히 제한적이다. 최근 유럽에 관한 몇몇 연구(Lehner 등, 2006; Dankers and Feyen, 2008, 2009)와 전지구 규모의 연구(Hirabayashi 등, 2008b)는 RCM 또는 GCM 산출물 및 수문 모델을 토대로 계산된 일 하천유량을 이용해 대규모로 21세기 홍수의 빈도 및/또는 규모의 변화를 제시했다. 21세기 후반 유럽 북동부에서 적설 감소로 인한 뚜렷한 변화가 전망된다(Dankers and Feyen, 2008, 2009; Hirabayashi 등, 2008b). 즉, 낮은 첨두유량에 대응해 홍수 발생 가능성이 감소할 것으로 전망된다. Hirabayashi 등(2008b)은 대부분의 습한 아시아 몬순 지역과 열대 아프리카, 열대 남아메리카 지역의 경우 홍수위험 증가를, 대부분의 북아메리카 북부 지역의 경우 홍수위험의 감소를 제시하였다.

또한 문헌에서는 저수지 및 하천 유역 규모의 홍수 변화에 대한 전망이 충분하게 제시되어 있지 않다. 영국의 저수지(Cameron, 2006; Kay 등, 2009; Prudhomme and Davies, 2009)와 유럽 대륙 및 북아메리카의 저수지 Cameron, 2006; Kay 등, 2009; Prudhomme and Davies, 2009)에 대한 몇몇 연구가 수행되었다. 그러나 아시아(Asokan and Dutta, 2008; Dairaku 등, 2008), 중동(Fujihara 등, 2008), 남아메리카(Nakaegawa and Vergara, 2010; Kitoh 등, 2011), 아프리카(Taye 등, 2011)와 같은 지역의 저수지에 대한 전망은 부족한 편이다.

홍수의 규모 및 빈도와 관련하여 전망된 변화에는 여전히 큰 불확실성이 존재한다. 최근의 인식에 의하면 저수지 및 강 유역 규모의 수문 전망에서 GCM 선택이 불확실성의 큰 원인이며 배출 시나리오 및 상세화 모델에 따른 불확실성도 중요성이 덜하지만 관련이 있다(Graham 등, 2007; Leander 등, 2008; Kay 등, 2009; Prudhomme and Davies, 2009). 그러나 일반적으로 수문에 대한 전망은 상세화 및/또는 GCM 산출물(강수, 기온)의 편의에 대한 보정을 요구한다. 또한 수문모델의 선택도 덜 중요하지만 관련이 있는 것으로 밝혀졌다(Kay 등, 2009; Taye 등, 2011). 그러나 상세화, 편의 보정, 수문모델 선택의 상대적인 중요성은 선택된 지역/저수지, 선택된 상세화 및 편의 보정 방법, 선택된 수문 모델에 의존적일 수 있다(Wilby 등, 2008). 예를 들어, 위에서 언급된 유럽 북동부의 홍수변화는 다양한 연구들에서 적용된 시간적인 상세화 및 편의 보정 방법의 차이에 의해 영향을 받았다(Dankers and Feyen, 2009). Chen 등(2011)은 해빙이 지배적인(snowmelt-dominated) 캐나다 저수지에 대한 수문 전망에서 여러 가지 상세화 기법에 의해 불확실성이 야기된다는 점을 증명했다. 또한 상세화(3.2.3절)와 편의 보정은 강수 지배적인(rain-dominated) 저수지에 대한 수문 전망에서 불확실성을 야기하는 원인이다(van Pelt 등, 2009). 또한 편의 보정과 통계적 상세화가 기후시스템의 에너지 폐쇄(energy closure)를 무시하기 위한 것으로 수문 전망에서 무시할 수 없는 수준의 불확실성을 야기한다는 점을 밝힌다.

홍수 규모 및 빈도 변화에 관한 전망은 지역 및 대륙 규모에서 여전히 그 수가 제한적이다. 또한 문헌에서 저수지 및 하천 유역 규모에서의 전망(특히 유럽과 북아메리카 이외 지역에 관한 전망)은 충분하게 나타나지 않는다. 또한 홍수 변화(특히 그 규모와 빈도 변화)에 관한 전망에는 여전히 큰 불확실성이 존재한다. 이러한 점에서 하천유량 모의에서 도출된 미래 홍수의 규모 및 빈도 변화에 대한 신뢰수준은 낮다고 평가한다(제한적인 증거 때문에). 그럼에도 불구하고 Kundzewicz 등(2008)이 주장한 바와 같이 일부 저수지 또는 지역에서 전망되는 호우 증가는 강수로 인한 국지적인 홍수 증가에 기여할 것으로 추론된다(보통 신뢰수준). 강수량의 감소가 전망되는 가운데 고려되는 지역에 따라(3.3.2절) 호우가 증가할 것으로 전망될 수 있으며 여러 요소(강수량, 빈도, 강도, 적설량, 해빙, 토양수분)의 변화가 홍수 변화와 관련이 있다는 점에 주목한다. 이러한 요소들 중 단독적인 하나의 요소에 대한 신뢰수준은 홍수 발생의 변화를 전망하기에 충분하지 않을 수 있다. 이러한 점에서 위의 제시에 관한 신뢰수준은 보통이다. 그러나 호우의 증가와 국지적인 홍수 발생의 증가 간에 관련성은 분명해 보인다. 해빙-빙하 되먹임에 의한 하천에서 첨두유량의 봄철 조기 발생은 분명하게 전망되고 있다는 점에서(Kundzewicz 등, 2007; Bates 등, 2008), 가능성이 매우 높은 것으로 평가된다. 그러나 이것이 홍수발생에 있어서 반드시 중요하지 않을 수도 있다. 해빙-빙하 되먹임 강에서 첨두유량의 조기 발생 전망에 대한 신뢰수준은 낮다(제한된 증거 때문에).

기후변화로 인한 홍수 규모 및 빈도 변화를 평가하기 위한 증거수준은 제한적이거나 보통 수준이다. 이용 가능한 관측소 홍수 관측 기록이 공간과 시간 측면에서 제한적이며 이로 인해 분석도 제한적이기 때문이다. 더욱이, 이 증거수준에 대한 동의수준은 낮으며, 따라서 이들 변화의 부호에 관한 전지구적 규모

에서의 신뢰수준도 전반적으로 낮다. 인위적 기후변화가 홍수의 규모 및 빈도에 영향을 미쳤다는 주장의 신뢰수준은 낮다(제한된 증거 때문에). 그러나 홍수 경향에 영향을 미칠 수 있는 강수 와 해빙과 같은 몇 가지 수문순환 요소에 인위적 기후변화가 영향을 미쳤을 수 있다(보통 신뢰수준-높은 신뢰수준). 전반적으로 하천 홍수의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮지만, 강수 및 기온 변화 전망은 홍수 변화 가능성을 암시한다. 낮은 신뢰수준은 제한적 증거수준과 지역적 변화의 원인들의 복잡성에 기인한 것이다. 하지만, 이 설명에는 예외가 존재한다. 일부 저수지 또는 지역에서 전망되는 호우(3.3.2절)의 증가는 강수로 인한 국지적 홍수 증가에 기여할 것이라는 추론(물리적 추론을 토대로)의 신뢰수준은 보통이다. 해빙-빙하 되먹임으로 인한 강에서 봄철 첨두유량이 조기에 발생할 가능성이 매우 높다. 그러나 전망의 규모에 있어서 신뢰수준은 낮다.

3.5.3. 해수면 고도 극값

일시적인 해수면 고도 극값과 연안의 극한 만조는 쓰나미의 원인이 되는 구조적인 교란 또는 심각한 기후현상에 의해 발생된다. 쓰나미는 기후와 관련이 없기 때문에 여기서는 다루지 않는다. 열대 또는 온대저기압(3.4.4절과 3.4.5절)과 같은 심각한 기후현상을 동반하는 기압의 하강과 강풍은 연안에서 폭풍해일을 발생시킬 수 있으며 이러한 폭풍해일은 평균 수위 상승(쇄파대(surf zone)의 쇄파에 기인한 해양 플럭스의 운동에너지에 의해 발생)을 통해 더 높아질 수도 있다. 해수면 고도 극값을 규정하기 위해 많은 척도들(예: 폭풍 관련 최고값, 연 최대값, 퍼센타일 등)이 이용되고 있다. 폭풍우와 평균 해수면 상승의 변화에 따라 미래의 해수면 고도 극값이 변할 수 있다. 그러나 전세계적으로 어떠한 원인도 공간적으로 균일하게 나타나지 않을 것으로 보인다. 열대 및 온대 저기압과 같은 심한 폭풍 현상과 관련하여 빈도, 강도, 발생 지역에 변화가 있을 수 있으며 그러한 변화는 대양분지 별로 큰 차이가 있을 수 있다(3.4.4절 및3.4.5절). 빙하로 인한 지각균형 조정으로 인해 일부 해안지역을 따라 발생한 지반침하(예: Lambeck 등, 2010)는 상대적인 해수면 하강의 원인이다. 해수면 상승률의 변화는 평균해수면과 큰 관련이 있고(Yin 등, 2010), 바람의 변화(예: Yin 등, 2010), 기압 및 해양 순환 변화(예: Tsimplis 등, 2008), 해수 밀도 및 열팽창률의 차이(예: Bindoff 등, 2007; Church 등, 2010; Yin 등, 2010)의 결과로서 발생할 수 있다. 또한 급격한 해빙이 발생할 경우 지구 중력장의 조정으로 인해 전세계적으로 균일하지 않은 해수면 상승률이 발생할 수 있다(예: Mitrovica 등, 2010). 일부 해안지역에서 높은 평균해수면은 조석 범위와 폭풍해일을 발달시키고 쇄파대의 파고를 증가시킬 수 있다. 점진적인 평균해수면 증가는 일시적인 해수면 고도 극값을 통해 심각한 영향을 미칠 수 있다. 그러나 이러한 점진적인 증가뿐 아니라 빙붕의 붕괴 등으로 인한 급격한 해수면 상승도 미래의 심각한 영향에 기여할 수 있는 극한 현상으로 고려될 수 있다. 그러나 그러한 변화 발생 가능성에 대한 지식이 제한적이어서 현재 시점에서는 평가가 어렵다.

빙모와 빙하의 면적이 전지구 기온에 따라 크게 변동하면서 평균 해수면도 빙하기 전반에 걸쳐 변동했다. 해수면은 마지막 최대 빙하기 이후부터 약 7,000년 전까지 120-130m 상승했으며 약 6,000년전 현재와 비슷한 수준에 도달했다(Lam beck 등, 2010). 연안 수심의 급격한 변화(Clarke and Rendell, 2009)와 대규모 순환 패턴(Wanner 등, 2008)이 야기하는 해수면 고도 극값에 미치는 영향뿐 아니라 100년 시간 규모에서 열대저기압 특성의 극심한 변화가 있었다는 증거가 존재하며 이는 해수면 고도 극값의 비정상성(non-stationarity)을 나타낸다. Woodworth 등(2011)은 현재부터 18세기까지의 검조기 기록과 염생습지 자료를 이용해 해수면 상승이 이 기간 동안 가속화되었다고 주장했다.

AR4의 보고에 의하면 19세기부터 20세기 사이 해수면 상승률이 증가했으며 이에 대한 신뢰수준은 높다(Bindoff 등, 2007). 또한 AR4는 전지구 평균 해수면이 평균적으로 20세기 동안 연 1.7(1.2-2.2)mm, 1961년에서 2003년 사이 연 1.8(1.3-2.3)mm, 1993년에서 2003년 사이 연 3.1(2.4-3.8)mm의 증가율로 증가했다고 보고했다. 2010년까지 갱신된 위성 자료를 이용해 Church and White(2011)는 위성 관측한 해수면이 AR4 전망에서의 높은 범위에 가까운 증가율로 계속해서 상승하고 있다고 주장했다. 이 기간 동안의 빠른 증가율이 10년 단위 변동성을 반영하는지 또는 장기적인 경향의 증가를 반영하는지 여부는 명확하지 않다. 그러나 그린란드와 남극대륙의 질량 손실로 인해 해수면 상승이 가속화되고 있다는 증거가 존재한다(Velicogna, 2009; Rignot 등, 2011; Sorensen 등, 2011). 또한 AR4는 평균해수면 상승과 지역적인 기후변동성이 20세기 후반 전세계적인 극한 만조 경향의 증가로 이어졌을 가능성이 높다고 보고했다(Bindoff 등, 2007). 또한 20세기 후반 동안 인간이 해수면 상승에 기여했을 가능성이 없지는 않고(Hegerl 등, 2007), 이러한 점에서 인간이 해수면 고도 극값의 경향에 기여했을 가능성이 없지는 않다고 보고했다(IPCC, 2007a). AR4 이후, Menendez and Woodworth(2010) 전세계적으로 258개 검조기 자료를 이용해 1970년대 이후 전세계적으로 해수면 고도 극값의 증가 경향이 뚜렷하게 나타났으며 이러한 경향은 평균해수면상승 경향과 일치한다는 Woodworth and Blackman(2004)의 초기의 결론을 확인했다(Lowe 등, 2010 참고). 특정 지역에 대한 추가적인 연구들이 이러한 결과를 뒷받침하고 있다(Marcos 등, 2009; Haigh 등, 2010).

또한 다양한 연구들이 기후변동성이 해수면 고도 극값의 경향에 미치는 영향을 강조하고 있다. Menendez and Woodworth(2010)는 1970년대 이후 해수면 기록을 토대로 ENSO(3.4.2절)가 태평양과 몬순지역의 해수면 고도 극값의 경년변동에 큰 영향을 미쳤다고 보고했다. Marcos 등(2009)은 유럽 남부에서 해수면 고도 극값의 변화가 NAO(3.4.3절)와 음의 상관관계가 있다고 보고했다. Ullmann 등(2007)은 카마르그(Camargue)에서 20세기의 연 최대 해수면이 평균해수면보다 두 배 빨리 상승했으며 이는 유럽 중부의 해면기압 상승과 관련이 있는 남풍의 증가 때문이라고 결론 내렸다. 1939년부터 2003년사이 브리티시 콜롬비아(British Columbia) 북부 연안의 두 개의 검조기에서 나타난 해수면 경향은 평균해수면보다 두 배 빨리 상승했으며 이는 1970년대 중반 이후 지속된 양의 PDO(3.4.3절)때문이다(Abeysirigunawardena and Walker, 2008). Cayan 등(2008)은 99.99 퍼센타일을 초과하는 해수면 빈도가 1915년 이후 샌프란시코에서 20배, 1933년 이후 라호아(La Jolla)에서 30배 증가했다고 보고했다. 또한 이들은 엘니뇨 현상이 나타나는 동안 해수면이 비정상적으로 10-20cm 상승하여 몇 달간 지속되며 폭풍해일 증가로 이어졌다고 주장했다. 이러한 진동의 공간적 확장과 그것이 태평양의 해수면 고도 극값에 미치는 영향이 Merrifield 등(2007)에 의해 논의되었다. Church 등(2006a)은 오스트레일리아 동부와 서부 연안에서 약 100년 간 두 개의 검조기 기록을 이용해 1950년 전후의 해수면 고도 극값의 변화를 조사했다. 두 지역 모두 관측 결과가 평균해수면의 중앙값보다 0.01%를 초과하는 해수면의 강한 양의 경향이 발견되었다. 이는 평균 해수면 상승 외에도 다른 모델 변동성 또는 기후변화가 해수면 고도 극값에 기여한다는 것을 의미한다. Fiore 등(2009)은 아르헨티나 마르델 플라타에서 1996년부터 2005년 사이 10년 기간에 폭풍해일의 수와 지속기간이 이전 10년 기간에 비해 증가했으며 이는 평균해수면상승과 바람의 변화 때문일 수 있다고 주장했다.

AR4 이후 연구들은 해수면 고도 극값의 경향이 일반적으로 평균해수면 변화와 일치한다고 결론을 내렸다(예: Marcos 등, 2009; Haigh 등, 2010; Menendez and Woodworth, 2010). 그러나 일부 연구들은 해수면 고도 극값의 경향이 관측된 평균 해수면 경향보다 크며(예: Church 등, 2006a; Ullmann 등, 2007; Abeysirigunawardena and Walker, 2008) 이는 캐나다 서부연안의 PDO와 같은 기후변동성 모델에 의해 영향을 받았을 것이라고 주장한다(예: Abeysirigunawardena and Walker, 2008). 이러한 연구들은 해수면 고도 극값의 증가가 평균해수면 경향과 지역기후모드에 대한 모델에서의 변동성과 관련이 있다는 AR4의 결론과 일치한다.

AR4(Meehl 등, 2007b)는 해양의 열팽창과 빙하 및 빙모, 18-59cm로 모델화된 빙상으로 인해 2090년-2099년의 해수면이 1980년-1999년 사이 해수면에 비해 상승할 것이라고 전망했으며 이는 모든 시나리오에 대해 90%의 불확실성을 포함한다. 해수면 상승에 대한 전망의 추가적인 기여 원인으로 그린란드와 서남극 빙상에 대한 급격한 역학적 반응이 고려되었다. 이러한 반응은 해수면 상승을 가속화시킬 수 있다. 이와 관련하여 전망된 기온과의 단순한 선형 관계를 토대로 2090-2099년 기간의 해수면이 10-20cm 상승할 것으로 추정되었다. 빙상의 역학적 반응에 대한 이해가 충분하지 않다는 점에서, Meehl 등(2007b)은 더 큰 기여원인을 배제할 수 없다고 주장했다.

AR4 이후의 몇몇 연구들은 미래 전지구 평균해수면을 추론하기 위해 20세기 동안(예: Rahmstorf, 2007; Horton 등, 2008) 또는 더 긴 기간 동안(예: Vermeer and Rahmstorf, 2009; Grinsted 등, 2010)의 기온과 해수면 상승을 설명하는 통계적 모델을 개발했다. 이러한 접근법은 2100년 SRES 시나리오의 범위 즉, 0.47-1.00m(B1-A2 시나리오; Horton 등, 2008), 0.50-1.40m(B1-A1FI 시나리오; Rahmstorf, 2007), 0.75-1.90m(B1-A1FI 시나리오; Vermeer and Rahmstorf, 2009), 0.90-1.30m(A1B 시나리오; Grinsted 등, 2010) 하에서 해수면 상승에 대한 전망을 도출했다. 그러나 미래에 빙상이 더 큰 역할을 하는 경우 미래 해수면 상승률은 전지구 평균기온과 밀접한 관련이 적을 수 있다(Cazenave and Llovel, 2010). 또한 Church 등(2011)은 이러한 모델들이 미래 해수면을 과대평가한다고 주장했다. 이는 관측 기간 동안의 경향에서 지하수 고갈과 같은 기후와 관련이 없는 요소가 제거되지 않았고 빙하지역 감소와 해양의 열흡수 효율성 감소와 같은 비선형효과가 설명되지 않았기 때문이다. Pfeffer 등(2008)은 빙하의 역학적 모델을 이용해 2100년 해수면이 2m 이상 상승할 것이라는 전망은 물리적으로 타당하지 않다는 사실을 발견했다. 얼음에 대한 역학적 모델의 증가를 비롯해 2100년까지 해수면이 0.8m 상승할 것이라는 전망이 가장 타당한 것으로 고려되었다.

AR4이후 유럽 북부 폭풍해일에서 폭풍우의 변화 효과를 정량화하는 데 초점을 맞춘 새로운 연구들이 수행되었다. Debernard and Roed(2008)은 지역적으로 규모가 상세화된 네 개 GCM(두 개는 B2 시나리오를, 하나는 A2 시나리오를, 나머지 하나는 A1B 시나리오를 수행)에서 수문모델을 이용해 유럽의 폭풍해일 변화를 조사했다. 모델 간의 큰 차이에도 불구하고 1961-1990년과2071-2100년 사이의 통계적으로 유의한 변화들은 아이슬란드 남부 해일고의 99퍼센타일값의 감소와 북해 동부와 영국 제도 북서부 연안을 따라 8-10% 증가(주로 겨울철)로 구성된다. Wang 등(2008)은 A1B 시나리오에 따라 규모가 상세화된 GCM을 이용해 아일랜드 주변에서 겨울철 폭풍해일이 1961-1990년에 비해 2031-2060년 기간 동안 크게 증가할 것으로 전망했다. Sterl 등(2009)은 A1B 시나리오를 이용해 1950-2000년과 2050-2100년 기간에 대한 17개 GCM(CMIP3) 모의의 산출물을 단일의 장기 시간 규모로 결합하며 네덜란드 연안을 따라 해일고의 10,000년 반환값을 추정했다. 21세기에 대해 이 값에서 통계적으로 유의한 변화는 발견되지 않았다. 전망된 풍속 변화가 해일 생성 북풍이 아니라 해일을 생성하지 않는 남서풍과 관련이 있기 때문이다.

심각한 기상 변화와 평균해수면 상승에서 해수면 고도 극값에 미치는 상대적인 영향을 비교하기 위해 민감성 접근법에 따라 연구들이 수행되었다. Mcinnes 등(2009b)은 오스트레일리아 남동부에 대해 2070년에 대한 다중모델 앙상블의 A1FI 시나리오 와 A1FI 해수면 상승 시나리오에 따른 상위 말단 범위에 대응하는 풍속 10% 증가는 A1FI 해수면 상승 전망 만을 토대로 하는 경우보다 12-15% 높은 해수면 고도 극값을 산출한다는 점을 발견했다. 또한 Brown 등(2010)은 해수면상승과 풍속변화가 아일랜드해 동부의 극한 폭풍해일에 미치는 상대적인 영향을 조사했다. 두 연구 모두 미래에 이들 지역에서 기상 변화보다 해수면상승이 해수면 고도 극값 증가에 더 큰 영향을 미칠 것이라고 결론 내렸다.

기후 모델(GCM 또는 RCM)이 충분한 해상도 및/또는 내부 물리적 과정을 통해 폭풍해일의 원인이 되는 기상학적 강제력을 현실적으로 파악하는 정도는 지역별로 차이가 있다. 예를 들어, 현재 GCM은 열대저기압을 현실적으로 모의할 수 없다(3.4.4절 참고). 이러한 점에서 기후변화가 열대지역 폭풍해일에 미치는 영향을 조사하기 위해 대안적인 접근법이 이용된다. 이러한 대안 접근법에서는 관측된 기간 동안 저기압의 특성을 지배하는 통계적 모델이 이용된다. 이러한 모델들은 미래에 전망된 저기압의 특성을 모의하고 수문모델을 강제하는 데 이용된다. Harper 등(2009)에서 보고된 오스트레일리아 동부의 열대 연안에 관한 최근의 연구들은 이러한 기법을 채택하여 열대저기압 10% 증가가 100년에 1회 발생하는 폭풍조석(폭풍해일과 조석으로 인한 해수면)에 미치는 영향이 비교적 작으며, 해수면 상승이 미래 100년에 1회 발생할 해수면 고도 극값 변화에 더 큰 기여를 할 것이라는 점을 보여준다. 그러나 루이지애나 해안의 허리케인에 의한 해수면 고도 극값과 관련된 수문모델에 해수면 상승 시나리오를 결합한 연구에 의하면 증가된 해안 수심이 육지에 대한 해일 전파에 큰 영향을 미치며 폭풍해일 높이를 2-3배까지 증가시킨다. 이러한 현상은 특히 습지지역에서 두드러진다(J.M. Smith 등, 2010).

결론적으로 AR4 이후 연구들은 해안의 극한 고조의 경향이 평균해수면 상승을 반영한다는 주장에 대해 추가적인 증거를 제공하며 폭풍우의 변화보다 평균해수면 상승이 이러한 증가에 크게 기여한다는 점을 시사한다(그러나 많은 지역에서 자료가 부족하다는 점 때문에 이러한 평가의 신뢰수준은 낮다). 이러한 점에서 해수면상승은 해안의 극한 고조위 변화를 이끌 가능성이 높다. 인위적 요소가 평균해수면을 통해 해안의 극한 고조위 증가에 영향을 미쳤을 가능성이 높다. 폭풍우의 변화가 해수면 고도 극값 변화에 기여했을 수 있지만 연

구들이 다루는 지역의 지리적 한계와 전반적인 폭풍우 변화와 관련된 불확실성(3.4.4절과 3.4.5절)으로 인해 현 시점에서 폭풍우의 변화가 폭풍해일에 미치는 전반적인 영향을 평가하기는 어렵다. 해안의 극한 고조위 경향에 관한 연구를 토대로 평균해수면 상승이 미래 증가 경향에 기여할 가능성이 매우 높다.

3.5.4. 파랑

해안 서식지와 해양활동을 위협하는 대규모의 파랑은 해안 및 해양 기반 시설을 파괴할 수 있다. 파랑은 원거리 지역에서 해안까지 에너지를 운반함으로써 해안선 형성에서 중요한 역할을 한다. 쇄파를 통한 에너지 분산은 해안 침식, 연안류, 평균 수위 상승(set-up) 및 처오름(run-up)을 통한 해안 수위 상승에 기여한다. 파고, 파랑 에너지의 방향 스펙트럼, 기간 등이 이러한 과정에 영향을 미치는 파랑 특성이다. 과거 및 현재 파랑환경 변화에 관한 현재까지 연구들은 유의파고(Significant Wave Height: SWH)(특정 시간 주기 내에서 일어나는 모든 파고 중 가장 높은 3분의 1에 해당하는 파고의 평균높이)와 극한파랑 척도(퍼센타일 즉 특정 기준값 이상의 파고)에 초점을 맞추는 경향이 있다. 그러나 평균 파랑 방향과 첨두 파랑 기간의 경향을 조사한 연구도 있다(Dodet 등, 2010). 또 한 가지 주목할 점은 해안선을 따라 파랑이 점점 중요한 요소가 될 수도 있다는 것이다. 이러한 해안선은 결빙에 의해 지지되는 해안 보호의 감소를 경험한다.

파랑환경은 고기후 시간 규모에서 변화해왔다. 과거 12,000년의 고기후 척도를 이용한 파고모델은 평균 해수면상으로 인한 연 첨두 SWH의 약 40% 증가를 보여준다. 이러한 증가는 해안선의 위치를 변경시키며 대륙붕 바다 지역 대부분에서 확장된다(Neill 등, 2009). 폭풍우 및 바람환경(3.3.3절)을 변화시키는 주요 순환 변화도 파랑환경에 영향을 미친다. 유럽 서부 해안 지역을 따라 표사 및 사구 형성으로부터 도출된 폭풍우 강화 증거는 이러한 강화가 소빙하기(1580–1900년)와 홀로세 기간(8,200년 전)에 주로 발생했다는 점을 시사한다(Clarke and Rendell, 2009).

AR4는 관측을 지원하는 선박에서의 자료(예: Gulev and Grigorieva, 2004)를 토대로1950년부터 2002년 사이 동안, 북대서양과 북태평양, 남대서양 서부 아열대지역, 동적도 인도양, 동중국해, 남중국해 등의 중위도 지역 대부분에 대해 통계적으로 유의한 SWH 증가 경향과 오스트레일리아, 필리핀 일부, 산호해(Coral Seas), 태즈먼해(Tasman Seas)주변의 SWH 감소 경향을 보고했다(Trenberth 등, 2007). AR4 이후 극한파랑 조건의 경향을 다룬 몇몇 연구들이 완료되었으며, 새로운 연구들은 기존에 보고된 북대서양 및 북태평양의 SWH 증가경향과 극한파랑을 뒷받침하는 증거들을 제공한다. 위성관측을 통한 99퍼센타일의 파고에 대한 전지구 경향은 중위도 해양에서 연 0.5–1.0% 사이의 유의한 증가 경향을 나타낸다.

그러나 1985년부터 2008년 간 열대 해양에 대한 경향은 분명하지 않다(Young 등, 2011). X.L. Wang 등(2009b)은 유럽중기예보센터의 40년 재분석자료(ERA-40)을 토대로 지난 50년간 북반구 고위도 지역(특히 북대서양 북동부)의 겨울철 SWH 증가 및 남쪽에서의 SWH 감소를 발견했다. 또한 이들은 1880년대 폭풍우 규모가 1990년대와 비슷했다는 사실을 발견했다. 이러한 사실은 Le Cozannet 등(2011)의 자료에서도 발견된다. 이들은 겨울철 동대서양 기후변동성 패턴에 의해 조절되는 NAO 패턴과 파랑 변화를 관련지어 설명했다. 1953년부터 2009년 사이 북동대서양에서 파랑의 유의한 SWH 증가 경향뿐 아니라 북쪽에서 평균 방향에서 반시계 방향으로의 이동이 밝혀졌다. 그러나 북동쪽에서 첨두파랑 주기의 유의한 증가는 없었다. 남쪽에서는 SWH 또는 파랑 주기의 경향이 발견되지 않았지만 평균 방향의 시계방향 경향이 발견되었다(Dodet 등, 2010). 북해 추산을 통해 Weisse and Gunther(2007)는 영국 북해 해안을 제외한 남북해 전역에서 1958년부터 1990년대 초 기간 동안 99퍼센타일 파고의 증가 경향이 나타났고 이후 2002년까지 감소했지만 추산기간의 많은 부분에서 음의 경향이 발생했다는 사실을 발견했다.

북아메리카 대서양 연안에 대해, Komar and Allan(2008)은 사우스캐롤라이나 찰스턴(Charleston)에서 1970년대 중반 이후 30년 기간의 여름에 3m를 초과하는 파랑에 대해 통계적으로 유의한 연 0.059m의 변화 경향과 함께 북쪽 파랑 부표에서 약하지만 통계적으로 유의한 경향을 발견했다. 이러한 경향은 이 기간 동안 발생한 허리케인의 강도와 빈도 증가와 관련이 있었다(3.4.4절). 한편 온대 폭풍에 의해 생성되는 겨울철 파랑에서는 통계적으로 유의한 변화가 발견되지 않았다. 북동태평양에서 SWH는 엘니뇨와 강한 상관관계를 나타낸다(3.4.2절). 그러나 1970년대 중반부터 2006년 사이 파랑부표 자료(Allan and Komar, 2006)와 미국 서부 해안을 따라 1985–2007년에 98퍼센타일을 초과하는 SWH(Menendez 등, 2008), Southern Californian Bight의 1948–1998년의 SWH(Adams 등, 2008) 등에서도 SWH 및 극한파고의 양의 경향이 발견되었다. 1996–2006년 남아메리카 남동부의 현장 의 파랑 자료와 1993–2001년 의 위성으로 관측한 파랑 자료에서 통계적으로 유의하지 않은 연 평균 SWH의 양의 경향이 발견되었다. 한편 1971–2005년의 바람 강제력 재분석자료를 이용해 모의된 파랑장(wave field)은 통계적으로 유의한 SWH 경향을 생성했다(Dragani 등, 2010). 지역에서의 경향은 지역의 특정 요소에 의해 영향을 받을 수 있다. 예를 들어, Suursaar and Kullas(2009)는 발틱해 리가(Riga)만의 1966년부터 2006년 동안의 평균 SWH에 대한 약간의 감소 경향 및 높은 파랑 현상(최대 파고와 99퍼센타일 파고 사이의 차이)의 빈도와 강도의 상승 경향을 보고했다. 이러한 변화는 서쪽을 향해 발생하는 습한 바람과 폭풍 현상의 강화 외에 지역 평균 풍속의 감소와 관련이 있다.

위성으로 관측된 남빙양의 SWH는 특히 3월부터 8월사이 SAM과 강한 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다(Hemer 등, 2010). 그러나 남반구의 경우 현장 자료 및 재분석자료의 시간적 동질성 문제로 인해 신뢰할 수 있는 장기적인 경향의 분석이 여전히 과제로 남아 있다. 예를 들어, Hemer 등(2010)은 1993–1996년과 비교하여 1998–2000년의 위성관측을 통한 SWH의 양의 경향은 남빙양 45° S 지역에서만 나타났다. 반면에 보정된 ERA-40 재분석자료에서는 남반구 대부분의 지역에 걸쳐 양의 경향이 나타났다(C-ERA-40; Hemer, 2010). Hemer(2010)는 1985–2002년 태즈메니아(Tasmania) 서부 해안의 파랑 부표 자료를 이용하여 98퍼센타일을 초과하는 파랑 현상의 빈도가 통계적으로 유의한 경향을 나타내지 않는다는 점을 발견했다. 반면 C-ERA-40 자료에서 강한 양의 경향이 발견되었다.

새로운 연구들은 파랑환경과 자연모드의 기후변동 사이 에 강한 관련성을 증명했다(3.4.3절). 예를 들어, 미국 서부 해안과 북서태평양을 따라 SWH와 엘니뇨의 강한 상관관계가 발견되었으며(Allan and Komar, 2006; Sasaki and Toshiyuki, 2007), 남빙양에서 SWH와 SAM의 강한 상관관계가 발견되었다(Hemer 등, 2010). 미국 동부 해안에서 여름철 SWH의 양의 경향은 허리케인의 수 증가와 관련이 있었다(Komar and Allan, 2008). 북동대서양에서 SWH 경향은 북부(남부)의 NAO와 유의한 양의(음의) 상관관계를 나타냈으며, 1953년부터 2009년 사이의 SWH, 평균 파랑 방향, 첨두 파랑 기간의 경향은 이 시기 NAO 지수의 증가와 관련이 있었다(Dodet 등, 2010). X.L. Wang 등(2009a)은 외부 강제력(예: 온실가스 및 에어로졸로 인한 인위적인 강제력) 및 태양 및 화산 강제력으로 인한 자연 강제력과 지난 50년간 북반구 고위도 지역(특히 북대서양 북동부)의 겨울철 SWH 증가 및 남쪽에서의 SWH 감소 사이의 관련성을 보고했다.

AR4는 중위도 해양의 많은 지역에서 극한 파고의 증가를 전망했다. 이는 미래 온난화에 따라 중위도 지역 폭풍의 강도 증가와 관련된 풍속 증가 전망의 결과다. 지역 규모에서, 북대서양, 북태평양, 남빙양을 비롯한 대부분의 중위도 지역에서 파고의 증가가 전망되었지만 이에 대한 신뢰수준은 낮다. 중위도 지역의 폭풍경로 및 강도 전망에 대한 신뢰수준이 낮기 때문이다. 이후 몇몇 연구들은 미래 파랑환경 변화에 대한 더 강한 증거를 제공하는 파랑환경에 대한 전망을 개발했다. Mori 등(2010)은 20km 전지구 GCM으로부터 전망된 바람에 의해 강제된 1.25° 해상도 파랑 모델을 이용하여(CMIP3 모델의 앙상블-평균 SST 변화가 기후 강제력을 제공), 전지구 규모의 SWH 전망을 개발했다. 1979–2004년 및 2075–2100년 기간에 대해 전망된 SWH 변화의 공간 패턴은 바람의 변화를 반영한다. 이는 일반적으로 그림 3-8의 평균풍속 변화와 유사하다. 극한파랑(25년 기간 동안 상위 10개 값의 시·공간적 평균에 의해 측정)은 강한 열대저기압 증가로 인해 북태평양(특히 일본에 가까운 지역)에서 크게 증가할 것으로 전망되었다. 또한 SWH 감소에도 불구하고 인도양에서도 증가할 것으로 전망된다.

AR4 이후 많은 지역에 대한 연구들이 완료되었다. 이러한 연구에서 강제력 조건은 GCM나 RCM에서 선택된 일부 시나리오(일반적으로 낮음–높음 범위를 모의하는 B2, A2)를 위해 획득되었다.이러한 연구들은 유럽 서부 해안(예: Debernard and Roed, 2008; Gateman and Weise, 2008) 및 영국 해안(Leaked 등, 2007)을 따라 SWH 및 극한파랑의 양의 경향과 지중해(Lionel 등, 2008) 및 오스트레일리아 남동 해안(Hemer 등, 2010)의 극한파랑 높이의 감소, 포르투갈 해안(Andrade 등, 2007)에서의 약간의 변화와 관련하여 추가적인 증거를 제공한다. 그러나 파랑모델을 강제하기 위해 서로 다른 기후모델과 시나리오가 이용됨에 따라 전망들 간의 큰 차이가 발생하며, 이로 인해 전망에 대한 신뢰수준이 낮다. 예를 들어, Debernard and Roed(2008)는 A2, B2, A1B 온실가스 시나리오에서 여러 GCM의 강제력을 이용한 파랑 모델 모의를 토대로 유럽의 북해 해안을 따라 20세기 후반에 비해 21세기 후반에 99퍼센타일의 파고가 6–8% 증가할 것으로 전망했다. 한편 Gateman and Weise(2008)는 A2, B2, 배출 시나리오 하에서 두 개의 GCM을 상세화하여 최대 18%의 증가를 전망했다. 어떤 지역에서는 위와는 반대의 극한파랑의 경향이 전망되었다. Grabemann and Weise(2008)는 영국 북해 해안을 따라 99퍼센타일 파고의 음의 경향을 전망한 반면, Leake 등(2007)은 이와는 다른 RCM을 이용하여 동일한 배출 시나리오 조건에서 동일한 GCM을 상세화하여 이스트앵글리아(East Anglia) 해안의 파고에 대한 높은 퍼센타일의 양의 변화를 발견했다. Hemer 등(2010)에 의한 파랑 전망 연구는 기후모델에서의 바람을 파랑 모델 모의에 적용하는 방식(예: 편의 보정을 바람 또는 기후모델에서 산출된 바람의 변화와 불안정한 현재 기후의 바람에 적용)을 통해 이로 인한 불확실성에 대해 분석하였다. 이는 상이한 GCM 또는 배출 시나리오보다 RCM 전망의 유포에 기여한 바가 크다.

결론적으로 AR4 이후 연구들이 극히 적으며 연구 대상이 되는 지역이 제한적이지만, 그 결과는 일반적으로 파랑의 경향에 관한 초기 연구의 증거를 뒷받침하였다. 대부분의 연구들이 파랑의 변동(SWH 및 극한 현상)과 내부 기후변동성 간의 관계를 밝히고 있다. 인위적인 요소가 극한 파고에 영향을 미쳤다는 주장의 신뢰수준은 낮다(문헌 부족). 북해 동부와 같은 일부 지역에 관한 상세화 연구가 존재함에도 불구하고 파고 전망의 신뢰수준은 전반적으로 낮다. 연구의 부족, 모델 간 바람 전망의 일치성 부족, 극한바람의 모의와 관련한 모델의 제한된 능력 등이 그 원인이다. 그러나 파고와 바람 및 폭풍우 간의 강한 연관관계는 미래 SWH의 양 또는 음의 변화가 이러한 변수들의 미래 변화를 반영할 가능성이 높다는 것을 의미한다.

3.5.5. 해안에 미치는 영향

침식 및 범람과 같은 해안 지역 위험은 재해위험 관리 측면에서 중요하며 해수면 상승 및 극한 현상 변화를 통해 기후변화에 의해 영향을 받을 수 있다. 해수면 상승은 지하 대수층으로의 염수침입 가능성을 증가시키기도 한다. 극한의 해수면이 나타나는 기간 동안, 폭풍해일과 높은 파랑이 만조와 결합하여 해안가의 범람을 유발한다. 열대 및 온대저기압(3.4.4절 및 3.4.5절)이 해수면 고도 극값을 유발하는 가장 일반적인 원인이지만 고기압권 및 전선과 같이 지속적인 바람을 유발하는 다른 기후현상도 해수면에 영향을 미칠 수 있다(Green 등, 2009; Mcinnes 등, 2009b). 전세계 많은 지역에서 해수면은 ENSO와 같은 대규모 변동성 모드에 의해 영향을 받는다(3.4.2절) 적도 서태평양에서 ENSO 위상과 극한 조수 순환이 결합하여 해수면이 0.5미터까지 변동한다. 이는 극한기후현상이 없는 상태에서도 저지대 산호환상대의 범람을 유발할 수 있다(Lowe 등, 2010).

다음과 같은 다양한 요소가 결합돼 해안선의 위치가 바뀔 수 있다.

1) 평균해수면 상승. 이는 침식되기 쉬운 물질로 구성된 해안선을 육지로 후퇴시킬 수 있다(예: Ranasinghe and Stive, 2009)
2) 지각평형 반동(Blewitt 등, 2010; Mitrovica 등, 2010) 또는 석유, 가스, 물의 제거에 의한 퇴적층의 압축(Syvitski 등, 2009)으로 해안 높이의 변화
3) 단기적인 폭풍 침식 현상의 빈도 또는 강도의 변화(K.Q. Zhang 등, 2004)
4) 연안에서 퇴적물 공급의 변화(Stive 등, 2003; Nicholls 등, 2007; Tamura 등, 2010)
5) 해수면 상승으로 인한 파랑속도 변화. 이는 파랑의 굴절이나 파랑의 방향을 변화시켜 해안선의 변화를 유발할 수 있다(Ranasinghe 등, 2004; Bryan 등, 2008; Tamura 등, 2010)
6) 해양 온도 상승(Hoegh-Guldberg, 1999) 및 산성화(Bongaerts 등, 2010), 중-고위도 지역의 영구동토층이나 해빙 감소로 인해 산호초와 같은 자연적으로 보호되어야 하는 구조(예: Sheppard

등, 2005; Gravelle and Mimura, 2008)가 해안에 노출되어 파랑과 강력한 폭풍에 영향을 받는다(3.5.7절 참고; Manson and Solomon, 2007).

예를 들어, 북극 지역에서 영구동토층 감소 및 해빙의 후퇴는 연안 침식에 기여할 수 있다(3.5.7절 참고).

침식 및 범람에 대한 해안지역의 민감성은 다양한 물리적(예: 해안 경사면), 지형적, 생태적 요인과 관련이 있고 해안의 다양한 특성에서 어느 정도 추론될 수 있다. 해변, 암석이 많은 해안선 또는 절벽이 있는 해안, 삼각주, 하구퇴적지 또는 석호와 같은 후방장벽(back-barrier)이 존재하는 환경, 맹그로브, 해수소택지 또는 해변식물, 산호초(예: Nicholls 등, 2007) 또는 영구동토층이나 해빙이 존재하는 해안 등이 여기에 포함된다. 이들 각각은 기후변화에 의한 위험에 대해 서로 다른 취약성을 갖는다. 예를 들어, 삼각주는 지대가 낮기 때문에 범람하기 쉬우며 해변은 느슨한 입자로 구성되어 있기 때문에 침식되기 쉽다. 그러나 이러한 시스템이 침식과 범람에 영향을 받는 정도는 다시 재해 대응에 영향을 미치는 다른 요소들에 의해 영향을 받는다. 예를 들어, 강력한 폭풍이 발생하는 기간 동안 높은 파랑에 의한 보호 감소는 맹그로브 산림 감소 또는 산호초 감소(예: Gravelle and Mimura, 2008), 해빙 또는 영구동토층 감소(예: Manson and Solomon, 2007)의 결과로 발생할 수 있다. 해수면 상승에 의해 오염된 바닷물은 담수 저장 능력이 제한되고 이것이 생태계 서비스 손실로 이어질 수 있다. 또한 이는 기후변화(McGranahan 등, 2007)에 의해 유발된 위험을 증폭시키고 재해에 대한 해안 서식지의 복원능력을 감소시킨다. 지표면의 수직적인 이동과 같은 역학적인 과정은 잠재적인 범람에 기여할 수 있다(Haigh 등, 2009). 연안 지역은 후빙기 지각 반동 때문에 상승하거나 하강할 수도 있고 대수층의 저하 때문에 침하할 수도 있다(Syvitski 등, 2009). 집중호우와 같이 연안 홍수에 기여하는 여러 가지 요소들과 연안 집수지에서의 홍수는 중요한 요소로서 해수면 상승과 동시에 발생한다. 산호초와 같은 생태계도 산호환상대를 형성하는 물질을 공급하는 데 있어서 중요한 역할을 한다. 산호초 및 도서국가들과 관련된 대규모 해양 변화가 Box 3-4에서 논의된다.

3.5.3절에서 논의된 것처럼 평균 해수면은 마지막 최대 빙하기 말 이후 120m에서 130m 상승했으며(Jansen 등, 2007), 이것이 전세계 해안선 위치에 큰 영향을 주었다. 해안선도 이러한 시간에 걸쳐 변화했다. 파랑의 변화에 의한 해양 특성의 변화(Neill 등, 2009), 빙하의 시간에 따른 변화와 폭풍의 변화와 같은 구조적인 변화에 의해 발생하는 조수(Gehrels 등, 1995)등이 그 원인이다.

AR4(Nicholls 등, 2007)는 해안이 범람, 침식, 생태계 손실과 같은 부정적인 결과가 발생하고 있다고 보고했다. 그러나 이러한 변화의 원인을 해수면 상승으로 귀속시키는 것은 어렵다. 20세기 변화와 관련된 동인이 여러 가지이며(R.J. Nicholls, 2010) 변화의 식별과 원인 규명에 기여하는 원자료가 부족하거나 단편적이기 때문이다(예: Defeo 등, 2009). AR4 이후 해안의 변화를 조사한 몇 가지 새로운 연구들이 있었다. 1985-2000년에 카리브해에 위치한 113개 해변과 8개 섬의 200개 지점에서 해변의 특성 변화가 3개월 단위로 관측되었다. 대부분의 해변들은 침식되고 있었으며 다수의 허리케인에 의해 영향을 받는 섬에서 더 빠른 침식이 발견된다. 그러나 인위적인 요소, 기후변동성, 침식 경향에 대한 기후변화의 상대적인 중요성은 양적으로 구별될 수 없다. Church 등(2008)은 20세기 오스트레일리아에서 해수면 변화에 대한 양의 경향에도 불구하고 해변이 전반적으로 장기간의 해안침식에서 자유로워졌다고 보고했다. 또한 이러한 현상이 관측된 지역에서 다른 인위적 활동이 존재한다는 점에서 현상의 원인을 분명하게 해수면 상승의 결과로 볼 수는 없었다고 밝혔다. Webb and Kench(2010)는 침식작용에 취약한 산호환상대 국가들은 섬 전체 해안선에 대한 물리적 조정의 배경에서 재고되어야 한다고 주장했다. 일부 구간의 침식이 다른 구간의 퇴적으로 균형이 조절될 수 있기 때문이다. 19년에서 61년간 세 개 태평양 국가(투발루, 키리바티, 미크로네시아 연방 공화국)의 27개 산호환상대 섬에 대한 조사에서 그들은 사진과 위성영상을 이용해 남아 있는 섬의 43%가 안정적으로 존재하며 43%가 영역이 증가되었다는 사실을 발견했다. 섬 영역의 최대 증가율은 10년 당 0.1-5.6ha였다. 연구 대상의 섬 중 14%만이 영역의 순 감소를 보였다. 순변화 또는 영역의 증가를 보이지 않는 섬의 65%에서 영역의 대규모 변화가 있었다. 주로 해안선의 후퇴, 섬의 연장, 석호측 해안선의 연장 등이 그러한 증거이다. 조사된 27개 산호환상대 중 7개가 인간의 거주지였으며 해안보존 활동의 결과 대부분 그물이 부착되었다. 오스트레일리아 그레이트 배리어 리프(Great Barrir Reef) 북단의 산호섬과 관련하여 Dawson and Smithers(2010)는 1967-2007년 동안 영역이 6% 증가하고 그 부피가 4% 증가했지만 동-남동 방향으로 해안선이 후퇴했고 서쪽 측면의 확장이 있었다고 보고하였다. Chust 등(2009)은 1954-2004년 동안 스페인 북부 바스크(Basque)에서 해안지형 및 거주지에 인위적 요소(기후와 관련이 없는 변화와 관련)와 해수면상승이 미친 영향을 평가했다. 그 결과 이 기간 동안 인위적인 요소에 의한 영향이 해수면 상승으로 인한 영향보다 훨씬 컸다는 점이 밝혀졌다. 또한 1935년 이후 캐나다 세인트로렌스(St. Lawrence)만에서 해안침식률의 증가가 관측되었다(Forbes 등, 2004).

AR4가 언급한 바에 의하면 기후변화가 해안에 미치는 영향은 인간이 해안지대에 정착함으로써 물리적 환경에 대한 증가된 압력으로 인해 악화되고 있다(Nicholls 등, 2007)(매우 높은 신뢰수준). AR4 이후 완료된 일부 연구들은 해안선 변화의 원인을 정량적인 방법으로 원인 규명을 하거나 자연 및/또는 인위적인 기후와 관련이 없는 원인의 강한 증거를 발견할 수 없었다.

AR4는 향후 수십 년간 해안이 해안침식을 비롯한 영향에 노출될 것이며, 이에 대한 신뢰수준은 매우 높다고 보고했다(매우 높은 신뢰수준). 이는 기후변화와 해수면 상승 때문으로 두 가지 모두 인위적인 영향의 증가에 의해 악화될 것으로 보인다(Nicholls 등, 2007). 그러나 또 한 가지 주목할 점은 해안은 역학적 시스템이기 때문에 기후변화에 대한 적응을 위해서는 10년에서 100년 규모의 과정을 이해할 필요가 있다는 것이다. 그러나 아직 이러한 이해는 최소한의 수준에 머물러 있다.

다양하고 복합적인 해안 영향의 특성으로 인해 기후변화가 미래에 미치는 영향은 다양한 의문에 초점을 맞추었으며, 이에 다양한 방법론을 채택함으로써 궁극적으로는 연구들 간의 직접적인 비교가 어려워졌다. 여기서는 두 가지 종류의 연구에 대해 다룬다. 첫 번째는 국가 또는 지역 규모에서 수행되는 평가로 물리적 변화 정보와 그것이 사회경제에 미치는 영향을 결합시킨다(예: Nicholls and de la Vega-Leinert, 2008). 두 번째는 기후변화의 영향에 대한 과학적 이해에서 출발한다. 해안에 대한 평가 측면에서 Aunan and Romstad(2008)는 노르웨이의 가파르고 풍화에 잘 견디는 해안선에서 가속화된 해수면 상승으로 인해 민감성이 낮아진다고 보고했다. Nicholls and

Box 3-4 | 도서국가

도서국가들의 경우 별개의 지역 카테고리에 포함되는데, 이는 도서국가의 작은 크기와 해양 기후 때문이다. 이러한 지역들의 미래 기후변화는 이 장에서 다뤄지는 대규모 대륙 지역들과 다양한 면에서 상이하며 이러한 점에서 이와 관련한 관심과 정보가 필요하다. 작은 섬 지역과 고도가 낮은 도서국가들은 해수면 상승과 그 영향(범람, 해안선의 변화, 지하 대수층으로의 염수침입)에 특히 취약하다. 도서국가들과 해양환경의 특별한 상황은 기후변화의 영향을 이해하기 위한 해양 정보의 중요성을 부각시킨다(사례 연구 9.2.9절). 특히 과거 기후변화 평가에 있어서 어려움이 존재한다. 관측망에 기반한 지역적, 시간적 범위가 작고 해양 관측망이 제한적이기 때문이다. 그러나 최근 수십 년 사이 위성을 이용한 기상 및 해양과 관련한 요소의 관측이 도입되면서 어느 정도 개선이 이루어졌다. 그러나 이러한 짧은 기간의 기록은 지역 규모에서의 장기적인 경향성에 대한 분석을 어렵게 한다. 도서지역을 모의하기에는 GCM의 해상도가 충분하지 않다. 극히 일부 연구만이 RCM을 이용하여 도서 지역에 대한 전망을 제공한다. 태평양과 같은 지역 규모에서 대규모 기후 특징(예: 남태평양수렴대 ENSO(3.4.2절))은 강수의 패턴과 시기에 큰 영향을 미친다. 그러나 이러한 특징과 과정이 GCM에서 적절하게 모의되지 않는 경우가 많다(Collins 등, 2010). 이 Box의 목적은 이 장의 다른 부분에서 다루지 않는 기후변화 전망 및 관측된 경향과 관련하여 이용 가능한 정보를 제시하고 도서 지역과 특히 관련이 있는 기후시스템의 중요한 측면을 논의하는 것이다. 평균 해수면 상승이 증가된 해수면 고도 극값에 기여했을 가능성이 매우 높다(3.5.3절). 이는 가능성이 높은 열대저기압 최대 풍속(3.4.4절)과 결합하여 열대 도서국가들에서 문제가 되고 있다.

기초 자료가 제한적이기는 하지만 인도양과 남태평양(피지), 카리브해와 관련된 자료를 Alexander 등(2006) 및 Caesar 등(2011)의 연구에서 이용할 수 있다. 자료의 이용가능성과 동질성에 관한 문제는 T.S. Stephenson 등(2008) 에 의해 논의되었다. 표준 극한 지수를 토대로 온난일 및 온난야의 양의 경향과 한랭일[2] 및 한랭야의 음의 경향이 1971-2005년의 인도양 및 남태평양 지역과 1951-2003년의 카리브해 지역에서 발생했다(Alexander 등, 2006의 자료를 토대로 함). 동일한 출처의 자료를 토대로, 인도양에서의 평균강수량은 양의 경향이 나타났으며 이는 통계적으로 유의했다. 한편 남태평양지역에서는 음의 경향이, 카리브해 지역에서는 약한 음의 경향이 나타났다. 집중호우와 극한의 호우는 인도양에서 양의 경향을, 남태영양과 카리브해 적도 부근에서 음의 경향을 나타내었다. 인도양 및 남태평양 지역의 기온 경향에 대한 신뢰수준은 낮다. 짧은 기간 동안의 기록을 토대로 그러한 경향을 평가했기 때문이다. 반면 카리브해의 경우 장기적인 기록을 평가에 이용했다는 점에서 신뢰수준은 보통이다. 공간적인 이질성을 나타내는 강수의 경향으로 인해, 관측되는 강수의 경향을 평가하기 위한 증거가 전반적으로 부족하다. 카리브해의 경우 A2 및 B2 시나리오 하에서 1961-1990년 기간에 비해 2071-2100년 사이의 기온이 지역 전반에 걸쳐 1-4℃ 상승할 것으로 전망된다. 강수는 북부를 제외하고 25-50% 감소할 것으로 전망된다(Campbell 등, 2011). 이러한 연구와 다른 지역(표 3-3 참고)에 대해 보고된 기온 상승의 전망을 토대로, 카리브해에서 기온 상승에 전망의 신뢰수준은 보통이다. 그러나 강수 변화에 기여하는 과정의 범위로 인해 일부는 GCM에 의해 적절하게 모의되지 못하고 있으며 도서지역의 강수 변화 전망을 평가하기 위한 증거가 충분하지 않다.

대부분 도서 지역들이 고도가 낮다는 점에서 해수면 고도 극값은 이와 특히 관련이 있다. 해수면 고도 극값은 극한 조수에 의해 큰 영향을 받는다(Chowdhury 등, 2007; Merrifield 등, 2007). 조수가 12시간 주기일 경우(1일 두 번의 간조와 만조), 분점에서 높은 사리가 발생한다. 한편 조수가 24시간 주기일 경우(1일 한 번의 간조와 만조) 지점에서 사리가 발생할 것이다. 또한 ENSO는 그러한 해수면에 큰 영향을 미치고 그 극한 현상은 열대 태평양 서쪽(동쪽) 180° 의 SOI와 양(음)의 상관 관계가 있다(Church 등, 2006b; Menendez 등, 2010). 조수와 ENSO는 최근 태평양 일부 섬 지역(예: 투발루)에서 발생한 해수면 고도 극값과 그와 관련 있는 홍수 발생 빈도 증가에 기여해 왔으며, 이러한 자연 효과와 평균해수면 상승의 상대적인 역할을 판단을 어렵게 만든다(Lowe 등, 2010). 또한 태평양의 많은 섬들과 환상 산호대를 둘러싸는 가파른 층의 경계는 파랑에 의한 해수면 이상을 뒷받침한다. 안타깝게도 이 지역의 조수, 해일, 파랑의 극한 현상에 관한 종합적인 연구를 촉진할 수 있는 파랑 관측(파랑 방향 포함)이 희박하다(Lowe 등, 2010).

대부분의 작은 섬들의 경우 산호초가 특징적이다. 건강한 산호초 군락은 극한 해일 및 파랑 현상이 발생하는 동안 해안선에 완충지대를 제공함으로써 침식과 범람의 영향을 완화하는 역할을 한다. 또한 모래와 자갈을 제공하는데 이러한 모래와 자갈은 폭풍에 의해 해변으로 이동해 쌓이면서 산호환상대를 유지시킨다(Woodroffe, 2008; Webb and Kench, 2010). 인위적 요소에 의한 해양 변화는 간접적으로 주변 산호초

2. 해당 연구에서 "한랭일"과 "한랭야"라는 용어를 사용했다.

다음 페이지에 계속 →

산호환상대에 강한 영향을 미칠 수 있다. 그러한 변화에는 다음이 포함된다: (1) 해수면온도 상승. 이는 온도에 민감한 생물종의 성장을 방해하여 산호의 백화현상을 유발한다(예: Hoegh-Guldberg, 1999; 4장 참조); (2)해양의 산성화. 해양으로 흡수되는 대기 중 CO_2 의 증가가 원인이며, 산호의 성장률을 둔화시킨다(Bongaerts 등, 2010); (3) 해양의 산소 농도 감소. 이는 온도에 의한 기체 용해도의 변화(Whitney 등, 2007), 순환 변화로 인한 해양순환, 유기물질의 생물학적 순환(Keeling 등, 2010)이 결합되어 발생한다. 인위적 기후변화가 산호환상대에 미치는 영향을 이해하기 위해서는 이러한 변화를 정량화하고 그 변화가 산호초 건강에 미치는 영향을 이해하는 것이 중요하다.

결론적으로 작은 섬 지역과 고도가 낮은 도서국가들은 해수면 상승과 그 영향(범람, 해안선 변화, 지하 대수층으로의 염수침입)에 특히 취약하다. 기록 기간이 짧고 소도서 국가를 모의하는 현재 기후 모델의 해상도가 충분하지 않기 때문에, 극한 변화의 평가는 제한된다. 여기에서 고찰되는 소도서 지역에 대하여 관측된 추세와 미래 전망을 평가하기에는 증거가 불충분하다. 온난일 및 온난야 증가, 한랭일 및 한랭야 감소 보고와 관련하여 카리브해 지역의 신뢰수준은 보통이며 태평양과 인도양의 신뢰수준은 낮다. 카리브해 전역에 걸쳐 온도가 상승할 것이라는 전망의 신뢰수준은 보통이다. 도서국가들과 그 해양환경의 특별한 상황은 기후변화의 영향을 이해하기 위한 해양 정보의 중요성을 강조한다. 평균 해수면 상승이 증가된 해안 수위에 기여했을 가능성이 매우 높다. 이는 가능한 열대저기압 최대 풍속과 결합하여 열대 도서국가들에서 문제점으로 대두되고 있다.

한 심각한 노출 등의 문제를 경험하고 있다고 보고했다. 폴란드의 경우 석호, 하천 삼각주, 하구퇴적지가 특히 취약해지고 있다고 평가된다. Estonia, Kont 등(2008)은 해안침식의 증가(1954년 이후 발트해 동부의 폭풍우 증가가 원인인 것으로 보임)가 겨울철 바다의 결빙 감소와 결합한다고 보고했다. Sterr(2008)는 독일의 경우 해수면 고도 극값에 대한 위험과 관련하여 경성 호안 구조에 대한 의존도가 높으며 이것이 향후 생태학적 취약성을 증가시킬 것이라고 보고했다. 대규모 사구에 저장된 퇴적물 때문에 다음 세기에 프랑스, 북극해, 아키텐(Aquitaine) 지역은 해수면 상승에 탄력적일 것으로 여겨졌다. 한편, 지중해 해안에 위치한 랑그독루시옹(Languedoc Roussillion) 지역의 모래 해안 지대는 좁은 사구와 도시화로 인해 더 취약해질 것으로 여겨졌다(Vinchon 등, 2009). 오스트레일리아의 해안 취약성 평가(Department of Climate Change, 2009)에서는 해안 지형, 퇴적물 종류, 조수와 파랑의 특성 측면에서 미래 취약성을 규정했다. 평가 결과에 의하면 열대 북부 해안선이 열대저기압 변화에 가장 민감하며 산호초의 건강 상태가 열대 동부 해안선에 영향을 미칠 수 있다. 중위도 지역에서 남부와 북부 해안선이 평균해수면과 파랑, 폭풍우 변화에 가장 민감할 것으로 전망되었다. 84개 개발도상국 전역에 걸쳐 해수면 상승이 해안 범람에 미치는 영향을 비교·평가한 연구에서는 육지의 범람 측면에서 해수면이 1m 상승할 때 취약성이 가장 큰 지역은 동아시아와 태평양이고 남아시아, 라틴아메리카와 카리브해, 중동과 북아메리카, 아프리카 사하라사막 이남 지역이 그 뒤를 잇는다고 보고했다(Dasgupta 등, 2009).

전지구 수준 및 국가 수준에서 해안의 취약성을 평가하기 위한 새로운 모델이 개발되었다(Hinkel and Klein, 2009). 또한 미래 해수면 상승으로 인한 범람의 영향을 효과적으로 정량화하기 위해 국지 및 지역 규모를 기반으로 하는 새로운 기법과 접근법이 개발되었다. Bernier 등(2007)은 계절을 토대로 한 다양한 재현기간에 대해 해수면 고도 극값의 공간 분포를 나타낸 지도를 평가함으로써 미래 해수면 시나리오 하에서 범람의 계절적 위험을 추정했다. Mcinnes 등(2009a)은 폭풍 조수의 공간지도를 개발하고 고해상도 라이다(LIDAR) 자료와 지표 세분화 데이터베이스를 이용한 단순 범람 모델을 토대로, 미래 해수면과 풍속 시나리오 하에서 범람이 오스트레일리아 남동부 해안도시들에 미치는 영향을 파악했다. 또한 확률적 접근법은 미래의 불확실한 해수면 상승 시나리오 하에서 해수면 고도 극값의 평가에 이용되었다. Purvis 등(2008)은 미래 해수면 상승 추정값의 범위에 대한 확률 분포를 생성하고 몬테카를로 방법(Monte Carlo)을 이용해 표본을 추출해 2차원 해안침수 모델에 해수면 변화를 적용했다. 이들은 보통 수준의 단일 시나리오만을 단독으로 이용하는 대신 이러한 방법을 이용해 홍수 관련 손실을 평가함으로써 공간적으로 높은 손실을 모의할 수 있었다. 이러한 손실은 빈도는 낮지만 강한 침식 현상과 관련이 있다. Hunter(2010)는 관측을 토대로 평가한 해수면 고도 극값과 2100년의 해수면 상승 전망을 결합하고 이를 토대로, 오스트레일리아 시드니에서 홍수 위험 증가에 대처하기 위해서는 이에 대한 대비가 크게 강화되어야 한다는 점을 제시하였다. Andrade 등(2007)은 HadCM3 모델에서 전망된 미래 기후가 포르투갈 해안 파고에 영향을 미치지 않을 것으로 보이지만 전망된 파랑 방향이 순 연안수송과 침식 반응을 증가시킬 것이라는 점을 제시하였다. 영국의 남동 해안을 따라 해수면 상승과 해일, 해안에 미치는 파랑 변화를 평가한 결과 극한파랑의 빈도와 높이가 영국 북부 지역에서 증가할 것으로 전망되었다(Chini 등, 2010). Coelho 등(2009)은 포르투갈 해안을 따라, 25년 단위로 다양한 기후변화 시나리오를 적용하여 해안의 반응을 모델화한 결과를 토대로 전망된 대규모의 파랑이 평균해수면 상승보다 해변 침식을 더 빠르게 이끌 수 있다고 결론을 내렸다. 해수면 상승과 연암(soft rock)으로 이루어진 해변의 변화를 모델화한 결과 해수면 상승과 해안 절벽의 형태 변화 간에 관련성이 나타났다(Walkden and Dickson, 2008).

결론적으로 해안에서 나타나는 현상과 그 경향성을 파악하기 위한 최근의 연구들은 지역적으로 한계가 있다. 이러한 점에서 증거 부족으로 인해 인위적 기후변화가 관측된 변화의 주요 원인이라는 주장의 신뢰수준은 낮다. 그러나 최근 국가 및 지역 규모에서의 해안에 대한 평가와 과정 기반 연구들은 낮은 해안선이 해수면 상승과 침식에 취약하다는 증거를 제공했다. 이러한 점에서 현재 해안침식과 범람 등의 악영향을 경험하고 있는 지역들은 다른 요소의 변화가 없다는 조건에서 미래 해수면 상승으로 인해 앞으로도 계속 그러한 영향을 받게 될 수 있으며 이에 대한 신뢰수준은 높다.

3.5.6. 빙하, 지형 및 지질에 미치는 영향

산맥은 재해로 이어질 수 있는 산사태, 눈사태, 암설류, 홍수 등을 비롯한 매스무브먼트가 일어나기 쉽다. 설빙권의 변화가 그러한 극한 현상뿐 아니라 물공급과 소수력 발전에 영향을 미친다. 높은 산악지역의 상당수는 지질구조판 경계에 걸쳐져 있다. 이로 인해 기후와 지질작용 간의 위험한 상호작용이 증가할 수 있다. 빙하의 얼음 손실, 영구동토층 감소, 강수의 강도 증가 가능성 등이 주요 원인이다(Liggins 등, 2010; McGuire, 2010). 그 결과 짧은 시간 규모에서의 매스무브먼트의 변화, 100년에서 1,000년규모에서의 지진활동 및 화산활동 변화로 이어질 수 있다.

AR4는 "20세기 후반 빙하의 이동이 1970년 이후 온난화에 대한 반응이었을 가능성이 있다."라고 평가했다(Lemke 등, 2007). 그러나 극한 현상의 변화에 대한 맥락에서 빙하후퇴가 물리적 시스템에 미친 영향은 구체적으로 평가되지 않았다. 또한 AR4는 인위적인 기후변화의 결과일 수 있는 지형학적, 지질학적 영향을 평가했다. 높은 산악의 환경변화와 관련하여 주로 연구된 분야는 빙하의 후퇴였다(Paul 등, 2004; Kaser 등, 2006; Larsen 등, 2007; Rosenzweig 등, 2007). 알프스의 빙하는 소빙하기 말(1850년 경)에 최대 수준으로 확대되었다가 쇠퇴했으며(Leclercq 등, 2011), 지난 수십 년 동안 그 쇠퇴가 가속화되었다(Zemp 등, 2007). 대부분의 빙하는 19세기 중반 이후 쇠퇴했다(Francou 등, 2000; Cullen 등, 2006; Thompson 등, 2006; Larsen 등, 2007; Schiefer 등, 2007; Paul and Haeberli, 2008). 21세기가 시작되면서 과거의 경험과 내부(자연) 변동성을 초과하는 후퇴율이 뚜렷하게 나타났다(Reichert 등, 2002; Haeberli and Hohmann, 2008).

빙하나 불안정한 빙퇴석으로 막힌 호수에서 발생하는 붕괴 홍수[빙하홍수(glacial lake outburst floods: GLOF)]는 주로 빙하의 후퇴와 불안정한 자연댐 뒤에 형성된 호수가 그 원인이 된다(Clarke, 1982; Clague and Evans, 2000; Huggel 등, 2004; Dussaillant 등, 2010). 과거 세기 GLOF는 전세계 많은 산악지역의 재해를 야기했다. 안데스 산맥(Reynolds 등, 1998; Carey, 2005; Hegglin and Huggel, 2008), 카프카스 산맥과 중앙아시아(Narama 등, 2006; Aizen 등, 2007), 히말라야 산맥(Vuichard and Zimmermann, 1987; Richardson and Reynolds, 2000; Xin 등, 2008; Bajracharya and Mool, 2009; Osti and Egashira, 2009), 북아메리카(Clague and Evans, 2000; Kershaw 등, 2005), 유럽 알프스 산맥(Haeberli, 1983; Haeberli 등, 2001; Vincent 등, 2010) 등이 그러한 지역에 속한다. 그러나 GLOF는 비교적 드문 현상이기 때문에 그 발생 빈도가 지역 또는 전지구 규모에서 변화하고 있는지 여부는 명확하지 않다. Clague and Evans(2000)는 소빙하기 이후 호수 수의 감소로 인해 북아메리카 빙퇴석으로 이루어진 호수 붕괴로 인한 홍수는 최고조에 달했을 수 있다고 주장했다. 반면 1940년부터 2000년 사이 히말라야에서 작지만 통계적으로 유의한 GLOF 현상 증가가 관측되었다(Richardson and Reynolds, 2000). 그러나 이러한 현상에 대한 체계적인 기록은 완전하지 않을 수 있다. 지난 수십 년간 히말라야와 유럽 알프스의 불안정한 빙하호에 대한 인간의 완화 대책이 일부 잠재적인 GLOF를 방지했을 가능성이 있다(Reynolds, 1998; Haeberli 등, 2001).

산악 영구동토층의 약화와 그로 인한 사면 불안정성의 증거가 최근 유럽 알프스 산맥에 관한 연구에서 제시되었다(Gruber and Haeberli, 2007; Huggel, 2009) and other mountain regions(Niu 등, 2005; Geertsema 등, 2006;Allen 등, 2011). 최근 가파른 기반의 영구동토층이 녹은 지역에서 발생한 암석 붕괴, 암석 슬라이드, 암석 사태 등이 그러한 증거다. 몽블랑 지역(Barla 등, 2000), 이탈리아(Sosio 등, 2008; Huggel, 2009; Fischer 등, 2011), 스위스와 브리티시 콜롬비아(Evans and Clague, 1998; Geertsema 등, 2006)의 경우 최대 수백만 입방미터에 이르는 산사태가 발생했다. 3,000만m3에서부터 1억m3에 이르는 매우 큰 암석 및 얼음사태에는 2002년 카프카스 산맥의 콜카(Kolka) 눈사태(Haeberli 등, 2004; Kotlyakov 등, 2004; Huggel 등, 2005), 2005년 알래스카산맥 스텔라(Steller) 산의 암석 사태(Huggel 등, 2008), 2007년 세인트엘리아스(St. Elias) 산맥과 스틸(Steele) 산의 얼음 및 암석 사태(Lipovsky 등, 2008), 2010년 브리티시 콜롬비아 코스트(Coast)산맥의 암석사태와 암설류 등이 포함된다.

산악지역의 산사태 및 얼음사태의 빈도에서 나타나는 경향을 정량화하는 것은 쉽지 않다. 과거 현상 특히 정기적인 위성관측 이전에 발생한 현상들에 대한 기록에 체계화되어 있지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고 지난 20년간(특히 21세기 초반) 유럽 알프스(Ravanel and Deline, 2011), 뉴질랜드 남알프스(Allen 등, 2011), 브리티시 콜롬비아 북부(Geertsema 등, 2006)에서 기온 상승, 빙하 후퇴, 영구동토층 감소와 결합하여 대규모 암석 슬라이드가 뚜렷하게 증가했다.

그러나 최근의 빙하 후퇴로 인한 암설류의 빈도 변화를 뚜렷하게 시사하는 연구는 아직 제공되지 않고 있다. 스위스 알프스 국소 지역의 암설류 활동은 오늘날보다 19세기에 더 활발했다(Stoffel 등, 2005). 프랑스 알프스의 경우 1950년대 이후 고도 2,200m 이상의 지역의 암설류 빈도와 관련하여 큰 변화가 관측되지 않았다(Jomelli 등, 2004). 알프스 암설류 활동의 규모와 빈도 변화에 있어서 유사량과 같이 기후가 직접적인 원인이 아닌 과정이 중요한 요소일 수 있다(Lugon and Stoffel, 2010).

빙하로 덮힌 화산과 빙하로 덮히지 않은 화산 모두에서 암설류(화산재 이류로 지칭)는 특히 규모가 크고 위험할 수 있다. 2007년과 2008년 콜롬비아 네바도 델 후일라(Nevado del Huila) 화산에서 발생한 화산분출에 의해 생성된 화산재 이류는 최근 몇 년간 최대 규모로 급격하게 발생한 집단류(mass flow)였다. 또한 2010년 에이야프얄라요쿨(Eyjafjallajökull)을 비롯한 아이슬란드 얼음 활화산에 대규모 집단류가 발생했다(Björnsson, 2003). 알래스카 빙하화산인 일리암나(Illiamna)에서는 최대 3,000만m3에 달하는 대규모 암석 및 눈사태가 자주(평균적으로 4년에 한 번) 발생했으며 이는 높은 화산 열류와 기상조건과 관련이 있을 것이라고 제시되었다(Huggel 등, 2007). 활화산에서의 빙하 후퇴는 화산재 이류 위험의 감소로 이어질 수 있다. 화산재 이류 생성에 이용될 수 있는 잠재적인 융수가 적기 때문이다. 그러나 국지적인 상태도 중요한 역할을 한다는 점에서 일반적인 결론을 도축하기가 어렵다. 1998년에 호우가 베수비오(Vesubius)와 캄피 플레그레이(Campi Flegrei)화산의 화산쇄설물을 이동시켰고 이것이 암

설류로 이어져 부근 마을에 피해를 입혔다. 이로 인한 사망자는 160명에 달했다(Bondi and Salvatori, 2003). 같은 해 허리케인 미치와 관련된 호우가 니카라과 카시타 화산의 측면 붕괴를 유발했다. 이러한 사면 붕괴 는 암설류로 전환되어 두 개 마을을 파괴하고 2,500명의 목숨을 앗아갔다. 1991년 필리핀 피나투보(Pinatubo) 화산 분출 후 열대 폭풍과 관련된 호우가 대량의 화산 퇴적물을 이동시켰다. 퇴적물은 강을 막아 지역 전역에 걸친 대홍수를 야기했으며 이러한 홍수는 분출활동이 끝난 후에도 수년 간 지속되었다(Newhall and Punongbayan, 1996).

기후 및 기상 현상의 변화가 지형학적, 지질학적 영향을 초래할 수 있다. 온난화와 영구동토층 감소는 얼음이 채워진 암석 내부 불연속면에서 전단 강도(shear strength)의 감소로 산사면 안정성에 영향을 미친다. 예를 들어, 2003년 유럽에서 여름의 열파(3.3.1절)는 활동층의 증가와 급격한 해빙을 야기했으며 이로 인해 작은 규모의 암석 붕괴의 횟수가 크게 증가했다(Gruber 등, 2004; Gruber and Haeberli, 2007). 애추사면과 같은 퇴적물에서 영구동토층의 해빙은 암설류의 빈도와 규모 모두를 증가시킬 수 있다(Zimmermann 등, 1997; Rist and Phillips, 2005). 활동층 밑면에서 언면(frost table)은 지하수 침투를 막는 장벽 역할을 하며 그 위에 얼지 않은 퇴적물의 포화를 야기할 수 있다. 적설량도 토양에 추가적인 물을 공급하고 공극수압을 증가시키며 사면 붕괴를 유발함으로써 암설류 활동에 영향을 미칠 수 있다(Kim 등, 2004). 지난 20년간 알프스에서 발생한 대규모 암설류들은 주로 설선(snowline)이 상승하는 여름이나 가을의 강력한 강수에 의해 유발되었다(Rickenmann and Zimmermann, 1993; Chiarle 등, 2007). 온난화는 퇴적물의 얼어 있는 부분의 유속을 증가시킬 수 있다(Kaab 등, 2007; Delaloye 등, 2008; Roer 등, 2008). 암반 사면은 빙식작용 등에 의해 가파르게 변한 후 약해질 수 있다(Augustinus, 1995). 빙하 후퇴 이후 사면이 약화되는 데는 수백 년 이상이 걸릴 수 있지만 최근에 발생하는 산사태들은 빙하의 하향 이동에 대등해 일부 사면이 수십 년 이내에 약해질 수 있다는 점을 증명했다(Oppikofer 등, 2008). 20세기 온난화는 높은 산악 지대에서 해빙된 가파른 암반 사면을 수십 미터 침투했을 수 있다(Haeberli 등, 1997). 사례 연구들은 크고 작은 사면붕괴가 이례적으로 몇 주에서 몇 달간 따뜻한 기간이 계속됨에 따라 유발되었을 수 있다는 점을 시사했다(Gruber 등, 2004; Huggel, 2009; Fischer 등, 2011).

강수의 공간적, 시간적 패턴, 강도, 지속기간, 선행 강수는 천층 산사태를 유발하는 중요한 요소들이다(Iverson, 2000; Wieczorek 등, 2005; Sidle and Ochiai, 2006). 일부 지역에서 선행 강수는 강수 강도보다 더 중요한 요소일 가능성이 있다(Kim 등, 1991; Glade, 1998). 반면, 다른 지역에선 강수 지속기간과 강도가 더 중요한 요소다(Jakob and Weatherly, 2003). 계절과 상관 없이 적설이 나타나는 온대 및 열대 산악지역의 산사태는 기온-민감성을 보이지 않으며, 인간의 활동(적절하지 않은 토지 이용의 관행, 산림벌채, 과목(overgrazing) 등)에 의해 큰 영향을 받을 수 있다(Sidle and Ochiai, 2006).

빙하 화산의 암석 및 눈 사태는 화산 활동에 의한 열에 의해 유발될 수 있다. 그러한 발생 정도는 대기와 암반 온도 상승과 함께 증가할 수 있다(Gruber and Haeberli, 2007). 또는 비정상적인 짧은 온난 현상(Huggel 등, 2010) 중에 혹은 그 이후, 융수의 침투와 전단 강도 감소로 인해 증가할 수 있다. 빙하 후퇴로 인한 탈지지효과(Debuttressing effect)도 비탈면을 불안정하게 만들거나 지나치게 가파르게 만들 수 있다(Tuffen, 2010). 또한 화산에서 지열로 인한 열류가 해빙을 가속화하고 결과적으로 얼음-기반암 경계에 취약한 구역이 생성된다. 암반의 열수변질작용도 사면의 안정성을 감소시킨다(Huggel, 2009). 카리브해, 중앙아메리카, 유럽, 인도네시아, 필리핀, 일본의 빙하로 덮히지 않은 높은 화산에서 총 강수량의 증가 또는 강한 폭풍우(3.3.2절)의 규모 및 빈도 증가는 단단하지 않은 화산 표토를 이동시키고 공극수압을 증가시킴으로써 암설류 발생 빈도를 증가시킬 수 있으며 이는 만성적인 사면붕괴로 이어질 수 있다. 호우도 활화산의 활동에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, Mastin(1994)은 1989년과 1991년 사이 세인트헬렌스(St. Helens) 산의 격렬한 화산가스 분출과 관련하여 사면의 불안정성이나 폭풍우 이후 용암원정구 내 냉각 단열(cooling fractures)의 성장 가속화가 그 원인이라고 주장했다. 또한 Matthews 등(2002)은 강력한 열대 강수가 카리브해 몬세라트(Montserrat)의 수프리에르 힐스(Soufriere Hills)의 용암원정구(lava dome)의 붕괴에 원인이 되었다고 하였다. 마지막 빙하작용 이후 얼음사태가 후빙기 암석권 반발과 관련이 있는 지진활동도 증가로 이어졌다(예: Muir-Wood, 2000; Stewart 등, 2000). 알래스카 남부에서 빙하가 크게 감소했다. Sauber and Molnia(2004)는 연직방향으로 수백 미터의 감소를 보고했다. 이러한 얼음 감소는 지진단층이 취약성 기준값에 도달한 지역의 지진활동도를 증가시켰을 수 있다. 알래스카 남부 Icy Bay 지역의 작은 지진활동의 빈도 증가는 2002년부터 2006년 사이 빙하 이동에 대한 지각 반응으로 해석된다. 빙하화산 지역의 대규모의 얼음 손실은 지각과 맨틀 최상부의 하중을 감소시키면서 마그마 형성과 지각으로의 마그마 침투를 촉진했으며(Jull and McKenzie, 1996), 마그마가 지표에 도달하기 쉬운 상태로 만들었다(Sigmundsson 등, 2010). 마지막 빙하기 말, 이러한 메커니즘은 아이슬란드의 화산분출 빈도를 10배 이상 증가시켰다(Sinton 등, 2005).

AR4는 겨울철 강수로 얼음이 보충되는 것보다 여름철 해빙으로 인한 손실이 더 많다는 점에서 산악지역의 빙하가 이번 세기 동안 추가로 소실될 것으로 전망했다. 유럽 알프스의 전체 빙하 지역은 2050년까지 20-50% 이상 감소할 수 있다(Zemp 등, 2006; Huss 등, 2008). 21세기 전망되는 빙하의 후퇴는 잠재적으로 불안전한 새로운 호수를 형성할 수 있다. 알프스의 일부 빙하 지역에서 새로운 호수가 형성될 가능성이 있는 지역들이 파악되었다(Frey 등, 2010). 암반 사면과 빙퇴석의 약화는 이러한 호수로부터의 붕괴 홍수 발생을 유발할 수 있다. 기온 상승도 산악지역 영구동토층의 점진적인 약화로 이어질 수 있다. 영구동토층의 온난한 지대(연평균 암석 온도가 약 -2~0℃인 지대)는 차가운 지대보다 사면 약화에 더 민감하며, 다음 100년 동안 수백 미터의 상승으로 이어질 수 있다(Noetzli and Gruber, 2009). 이는 순차적으로 많은 지역에서 불안정성이 강화된 지대와 산사태 발생 지대를 높은 고도의 비탈면으로 이동시킬 수 있다. 많은 지역에서 이러한 사면은 더 가파르고 취약해지기 쉽다. 열전도를 통한 지표 온난화에 대한 기반암 온도의 반응은 느리지만 온난화가 결국 가파른 암반 사면을 깊게 파고들어갈 것으로 보인다(Noetzli 등, 2007). 그러나 이류와 같은 다른 열전달 과정은 기반암의 온난화 속도를 훨씬 빠르게 할 수 있다(Gruber and Haeberli, 2007). 기온 상승에 대한 만년설과 얼음 온도의 반응은 더 빠르고 비선형적이다(Haeberli and Funk, 1991; Suter 등, 2001;Vincent 등, 2007). 융수의 재결빙에 의한 잠열효과는 만년설과 얼음의 온도 상승을 증폭할 수 있다(Huggel, 2009; Hoelzle 등, 2010). 높은 온도에서 더 많은 얼음이 녹고 남은 얼음의 강도는 더 낮아진다. 결과적으로 얼음사태의 규모가 증가할 수 있다(Huggel 등, 2004; Caplan-Auerbach and Huggel, 2007). 극한 온난화는 대규모의 암석 및 얼음 사태를 유발할 수 있다(Huggel 등, 2010).

남극대륙과 그린란드의 현재 낮은 수준의 지진활동은 빙상침적의 결과일 수 있다. 이들 지역의 가속화된 빙하감소와 관련이 있는 지각평형의 반발은 10년에서 100년 정도의 짧은 시간 규모에서 지진활동 증가로 이어질 수 있다(Turpeinen 등, 2008; Hampel 등, 2010). 아이슬란드, 알래스카, 캄차카, 미국 북서부 캐스케이드 산맥, 안데스 지역에서 빙하 화산의 미래 얼음 손실은 마그마체임버(magma chanber)의 부하압력 감소의 결과 또는 마그마와 물의 상호작용의 증가를 통해 분출로 이어질 수 있다. 아이슬란드 바트나이외쿠(Vatnajökull)틀의 빙원지역의 두께 감소로 인한 얼음 하중의 감소는 매 세기마다 1.4 km3의 추가적인 마그마 생성을 유발할 것으로 전망된다(Pagli and Sigmundsson, 2008). 또한 얼음 감소는 얕은 마그마체임버의 약화를 촉진함으로써 자연적인 분출 주기의 작은 교란을 발생시킬 수 있다(Sigmundsson 등, 2010). 칠레 솔리풀리(Sollipulli)와 같이 두께가 150m 이상의 빙하가 덮여 있는 화산에서 얼음 두께가 100m이상 얇아질 경우 더 폭발적인 분출과 테프라(Tephra)의 위험을 야기할 수 있다(Tuffen, 2010). 또한 얼음이 제공하는 지지효과가 소실되거나(Tuffen, 2010), 융수로 인해 공극수압이 증가하면서(Capra, 2006; Deeming 등, 2010) 화산체의 측면 붕괴 가능성이 증대될 수 있다. 궁극적으로 빙하화산의 얼음 손실은 마그마-얼음 상호작용을 통한 폭발의 기회를 감소시킬 수 있다. 얼음이 포함된 화산재 이류의 발생 정도는 결국 떨어지지만 얼음 이동으로 인한 화산 부스러기의 새로운 표면 노출이 강수 관련 화산재 이류에 원재료를 공급할 수 있다. 물의 이용 가능성이 커지면서 사면의 불안정성이 증대해 화산성 및 비화산성 산사태 가능성이 증가할 수 있다. 많은 화산들이 단단하지 않은 잔해의 원천을 공급하고 있으며 이는 극한강수를 통해 잠재적으로 위험한 화산재의 이류로 빠르게 전환될 수 있다. 연안, 연안부근, 열대 섬 지역의 화산들은 특히 열대저기압과 관련이 있는 강력한 강수에 민감하다. 한편 열대저기압과 관련 있는 강수 발생률이 증가할 것으로 전망되지만 열대저기압의 수는 감소하거나 변하지 않을 것으로 전망된다(3.4.4절 참고). 극한강수(3.3.2절) 현상의 증가는 화산의 측면으로부터 단단하지 않은 대량의 재와 쇄설물을 아래 지역으로 이동시킬 수 있는 효과적인 수단을 제공한다. 결과적으로 극한강수의 증가는 미래 대규모의 폭발적인 화산 분출이 미치는 영향을 악화시킬 수 있다.

과거 현상에 대한 충분하지 않은 문서로 인해 산사태와 얼음 사태의 발생 빈도 경향을 정량화하기 어렵다. 열파, 빙하후퇴, 영구동토층의 변화가 사면 불안정성, 매스무브먼트, 빙하홍수와 같은 산악지역 현상에 영향을 미칠 수 있으며 이에 대한 신뢰수준은 높다. 또한 기온과 관련한 변화가 기반암의 안정성에 영향을 미칠 수 있으며 이에 대한 신뢰수준은 보통이다. 또한, 호우 변화가 일부 지역에서 산사태에 영향을 미칠 것이라는 데 대한 신뢰수준도 높다. 조기 해빙으로 인해 높은 산의 암설류가 조기에 시작되고 영구동토층의 지속적인 감소와 빙하후퇴가 암반 비탈면의 안정성을 감소시킬 수 있으며 이에 대한 신뢰수준은 보통이다. 낙석 사태는 국지적인 지리적 상태와 기타 비-기후 인자들에 좌우되기 때문에, 낙석 사태의 미래 장소 및 시기에 대한 신뢰수준은 낮다. 온대 및 열대지역의 산사태와 같은 현상은 적절하지 않은 토지이용 관행, 산림벌채, 과잉방목과 같은 인간의 활동에 의해 크게 영향을 받기 때문에 이러한 현상에 인위적인 요소가 영향을 미칠 수 있다는 전망의 신뢰수준은 낮다. 마지막 빙하작용 이후 얼음 사태가 후빙기 암석권 반발과 관련이 있는 지진활동도 증가로 이어졌다. 그러나 인위적인 기후변화에 대한 현재 및 미래 지진 반응에 대한 신뢰수준은 낮다.

3.5.7. 영구동토를 비롯한 고위도 지역의 변화

영구동토층은 북국, 아북극, 남극대륙의 무빙 지역, 높은 산악지역에 산재해 있으며 북반구 육지 지역의2,300만 km2를 차지하고 있다(Zhang 등, 1999). 거대한 지하얼음의 해빙과 얼음이 풍부한 영구동토층의 융해는 지표면의 침하와 열카르스트로 알려진 불규칙한 지형 형성으로 이어져 생태계, 토지의 안정성, 기반시설의 기능에 영향을 미칠 수 있다(Walsh, 2005). 고위도 지역의 한랭 현상이 미치는 영향에 대한 논의는 사례 연구 9.2.10절을 참고한다. 활동층(영구동토층에서 계절에 따라 융해와 동결이 반복되는 표층 부근)은 한랭한 지역에서 중요한 역할을 한다. 대부분의 생태적, 수문적, 생화학적, 토양형성의 활동이 이 층에서 일어나기 때문이다(Hinzman 등, 2005).

1980년대 이후 영구동토층의 온도 상승이 관측되고 있다(IPCC, 2007b). 1970년대 후반/1980년대 초 이후 알래스카 북부, 캐나다 북극해, 러시아의 영구동토층에서 온도가 더 낮은 지대의 온도가 최상층 부근에서 3℃까지, 10-20m 깊이에서 1-2℃까지 증가했다(Osterkamp, 2007; Romanovsky 등, 2010; S.L. Smith 등, 2010) 극지역의 불연속적인 영구동토층 지대에서 더 따뜻한 영구동토층 지역(Osterkamp, 2007; Romanovsky 등, 2010; S.L. Smith 등, 2010)과 몽골과 티벳 고원과 같은 고위도 지역의 영구동토층(Zhao 등, 2010)의 경우 온도 증가는 일반적으로 1℃ 미만이다. 다른 조건이 일정할 때 활동층의 두께는 온난화에 대한 반응으로 증가할 것으로 전망된다. 러시아 극지역의 경우 1960년대 초부터 2000년 사이 활동층의 두께가 약 20cm 증가했으며(T. Zhang 등, 2005), 칭하이-티베트 고원의 경우 1980년대 초부터 약 1.0m 증가했다. 한편 북아메리카 극지역의 경우 1990년대 초반부터 큰 변화가 없었다(Shiklomanov 등, 2010). 그러나 극심한 온난화가 발생하는 여름의 경우 활동층의 두께가 크게 증가할 수 있으며(Smith 등, 2009) 잠재적으로 비탈면의 활동층 약화를 유발할 수 있다(Lewkowicz and Harris, 2005). 알래스카(Jorgenson 등, 2006; Osterkamp 등, 2009), 캐나다(Vallee and Payette, 2007), 야쿠티아 중부(Gavriliev and Efremov, 2003)에서 극심한 열카르스트 발생이 발견되었다. 칭하이-티베트 고원(Niu 등, 2005)과 캐나다 매켄지 삼각주의 툰드라호 부근 지역(Lantz and Kokelj, 2008)의 비탈면에서 후퇴적인 융해 슬럼프 활동 증가가 보고되었다. 야쿠츠크 부근에서 1992년부터 2001년 사이 연 17-24cm의 속도로 열카르스트 호가 확대 및 발달되고 있음이 관측되었다(Fedorov and Konstantinov, 2003). 위성 원격탐사 자료에 의하면 연속적인 영구동토층 지역에선 융해호 표면 지역이 증가했고 불연속적인 영구동토층 지역에서는 감소했다(Smith 등, 2005). 북극해에 노출된 영구동토층 연안은 영구동토층 감소에 매우 민감하다. 일부 극 지역의 연안은 연 2-3m의 급격한 속도로 후퇴하고 있으며 알래스카 북동부 해안선의 침식률은 지난 50년간 두 배로 증가했다 이는 바다의 얼음 감소와 해수면 온도 상승, 해수면 상승, 연안 영구동토층의 융해, 폭풍우 및 파랑 증가와 관련이 있다(Jones 등, 2009; Karl 등, 2009)

기온 상승은 북극과 아북극 지역 영구동토층 온도 상승에 일부 기여한다. 그러나 적설량도 중요한 원인이다(Osterkamp, 2005; Zhang, 2005; T. Zhang

등, 2005; S.L. Smith 등, 2010). 가을철 조기 강설 경향과 겨울철 적설량 증가는 눈의 단열효과로 이어지며 결과적으로 북극지역의 영구동토층 온도가 기온보다 높아진다; 한편 기온 상승, 적설량 및 적설 지속기간 증가에도 불구하고 영구동토층의 온도가 감소할 수 있다(Taylor 등, 2006). 융해가 일어나는 계절의 장기화와 여름철 기온의 상승은 활동층 두께 변화로 이어졌다. 모델 모의는 21세기 이후 활동층의 두께 증가와 영구동토층 경계의 북쪽 이동, 영구동토층 지역 감소, 영구동토층 온도 증가를 전망했다(Saito 등, 2007; Schaefer 등, 2011). 전망된 영구동토층 감소는 영구동토층 내에서 현재 얼음 안에 있는 고대의 탄소를 대기중으로 방출시킴으로써 기후시스템에 양의 되먹임을 나타내게 할 수 있다(Schaefer 등, 2011). 연속적인 영구동토층 지대에서 호수의 확장은 얼음이 풍부한 영구동토층의 해빙과 광대한 지하 얼음의 해빙이 원인일 수 있다; 한편 불연속적인 영구동토층지대의 호수 감소는 호수 바닥의 배수 때문일 수 있다(Smith 등, 2005). 종합적으로 살펴보면, 고위도 지역의 기온 상승이 열카르스트 지형 및 융해호 형성에 일차적인 책임이 있다.

결론적으로 최근 수십 년간 영구동토층이 따뜻해졌다. 영구동토층의 온도가 계속해서 증가하고 활동층의 두께가 증가하며 북극 및 아북극 지역의 영구동토층이 감소할 것이라는 전망의 신뢰수준은 높다.

3.5.8. 모래 및 먼지 폭풍

모래와 먼지 폭풍은 전세계적으로 광범위한 자연현상이다. 심한 먼지폭풍은 인간의 활동을 방해한다. 대기 중 먼지 에어로졸은 호흡기 문제를 비롯해 건강에 악영향을 줄 수 있다(Small 등, 2001). 먼지는 원거리 이동을 통해 먼지 진원지로부터 멀리 떨어져 있는 환경에 영향을 미칠 수 있으며 이는 육지, 대기, 대양의 생화학적 순환과 관련되어 있다(Martin and Gordon, 1988; Bergametti and Dulac, 1998; Kellogg and Griffin, 2006). 예를 들어, 사하라 지역과 아시아에서 출발한 먼지가 북아메리카와 남아메리카에 도달할 수 있다(McKendry 등, 2007). 일부 기후모델은 먼지 에어로졸을 모의한다(Textor 등, 2006). 토양 수분(3.5.1절 참고), 강수, 식생 피복 등과 같이 먼지 배출 및 이동에서 중요한 역할을 하는 기후 요소는 기후모델 모의에서 여전히 큰 불확실성을 갖는다. 결과적으로 모래와 먼지 폭풍 모의도 불확실성을 내포한다.

사하라(특히 차드의 Bodele Depression)와 동아시아는 세계적으로 최대의 먼지 진원지로 알려져 있다(Goudie, 2009). 1990년 이전 수십 년간 아프리카 사바나 등의 일부 지역에서 먼지 현상의 발생 빈도가 증가했지만(Goudie and Middleton, 1992), 중국 등의 지역에선 감소했다(Zhang 등, 2003). 중국에서는 최근 몇 년 사이 발생빈도가 증가한 것으로 보인다(Shao and Dong, 2006). 아프리카 먼지의 중요성에도 불구하고 사바나 지역 먼지의 장기적인 변화에 관한 연구들은 제한적이다; 그러나 진원지로부터 멀리 이동하는 먼지는 사바나 지역의 장기적인 변화에 관한 증거를 제공한다. 바베이도스로 이동하는 아프리카 먼지는 1960년대 후반부터 증가하기 시작해 1970년대 내내 그러한 현상이 관측되었다. 먼지 이동은 1980년대 초 최고조에 달했으며 현재까지 높은 수준을 유지하고 있다(Prospero and Lamb, 2003; Pro spero 등, 2009).

모래 및 먼지 폭풍이 발생하는 동안의 표토층의 먼지 농도는 여러 가지 요소에 의해 통제된다. 먼지 폭풍 생성의 원동력은 건조 및 반건조 지역 전역에 걸쳐져 있는 한랭전선에 의한 지상풍과 대기 중에 부유하는 토양 입자다. 먼지 배출도 진원지의 표면 조건(사막분포, 적설, 토양수분 등)에 의해 통제된다. 예를 들어, 1990년대 이전 사바나 지역에서 높은 수준으로 증가한 먼지 배출은 당시의 지속적인 가뭄과 NAO의 장기적인 변화와 관련이 있었다(Ginoux 등, 2004; Chiapello 등, 2005; Engelstaedter 등, 2006). 또한 북대서양 SST와도 관련이 있었을 가능성이 있다(Wong 등, 2008). 1960년 이후 40년간 중국의 사막 지역이 약 2-7% 증가했음에도 불구하고 같은 기간 먼지 폭풍의 발생 빈도는 감소했다. 이는 먼지 배출에 있어서 기후가 중요한 요소임을 시사하는 증거이다(Zhong, 1999). 1960년부터 2003년 사이 아시아 흙먼지에 관한 연구들에 의하면, 중국의 먼지배출 및 먼지폭풍 발생빈도 감소 경향에서 기후변화가 중요한 역할을 한다(Zhang 등, 2003; Zhou and Zhang, 2003; Zhao 등, 2004; Gong 등, 2006). 종합적으로, 먼지활동의 변화는 기후변화(먼지 진원지의 바람 및 수분 조건)에 의해 영향을 받는다. 대규모 순환 변화도 먼지의 원거리 이동에서 중요한 역할을 한다. 그러나 먼지활동의 장기적인 경향의 물리적 메커니즘에 대한 이해는 아직 불완전하다. 예를 들어, 먼지 빈도에 영향을 미치는 다양한 요소들의 상대적인 중요성은 위에서 언급한 것처럼 아직 불확실하다.

향후 먼지의 활동도는 다음 두 가지 요소에 좌우된다: 먼지 진원지의 토지 이용과 먼지 진원지의 기후변화 및 대규모 순환 변화로, 이들은 먼지의 원거리 이동에 영향을 미친다. 미래 먼지 활동에 관한 연구는 매우 제한적이다. 미래 토지이용을 전망하기 어렵다; 주요 먼지 진원지에서 강수, 토양수분, 유출이 감소할 것으로 전망되었다(Meehl 등, 2007b의 그림 10.12) Thomas 등(2005)은 21세기 온난화 결과 남아프리카 사구가 다시 활성화되고 모래가 크게 노출되어 이동할 것이라고 주장했다; 두 가지 기후모델을 이용한 모의를 토대로 중국의 건조 및 반건조 지역에서 사막화가 증가할 것(특히 21세기 후반)이라는 전망이 제시되었다(X.M. Wang 등, 2009). 그러나 바람의 변화에 대한 확실한 전망은 부족하다(3.3.3절).

결론적으로 미래 먼지 폭풍변화에 대한 전망의 신뢰수준은 낮다. 그러나 건조화가 증가하는 지역에서 먼지폭풍의 증가가 전망될 수 있다. 과거 변화에 관한 자료와 연구는 부족하다. 또한 먼지 폭풍에 영향을 미치는 기후 요소들의 상대적인 중요성과 같은 과정에 대한 이해가 부족할 뿐 아니라 토양수분, 강수, 바람과 같이 먼지 폭풍에 영향을 미치는 중요한 기후 요소들의 모의도 높은 수준의 불확실성을 내포한다.

표 3-2 | 별다른 언급이 없는 한 1950년 이후 관측되는 가뭄을 포함한 극한기온 및 강수의 변화로서 20세기 후반(일반적으로 1961-1990 사이 기간) 자료를 이용(Box 3-1). 지역에 대한 정의는 그림 3-1 참고 도서국가에 대한 평가는 Box 3-4 참고.

A. 북아메리카와 중앙아메리카

지역	Tmax [WD = 온난일, CD = 한랭일; Box 3-1 참고] (20세기 후반 극한 자료를 기준으로 이용. 예. 90/10 퍼센타일)	Tmin [WN = 온난야, CN = 한랭야; Box 3-1 참고] (20세기 후반 극한 자료를 기준으로 이용. 예. 90/10 퍼센타일)	열파(HW)/ 온파(WS) [WSDI = 온난기 지속일수 즉, Tmax >90퍼센타일의 날이 6일 이상 지속되는 기간에 속한 일수] (20세기후반 극한 값을 기준으로 이용)	호우(HP)(20세기후반 극한 값을 기준으로 이용. 예, 90퍼센타일)	건조상태 [CDD = 최대무강수 지속기간, SMA = (모의된) 토양수분 편차 PDSI = 파머 가뭄 지수; 정의는 Box 3-3 참고]
북아메리카와 중앙 아메리카 전체	높은 신뢰수준: 전반적으로 WD 상승, CD 감소 가능성이 높다(Aguilar 등, 2005; Alexander 등, 2006).	북높은 신뢰수준: 전반적으로 CN 감소, WN 증가 가능성이 높다(Aguilar 등, 2005; Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 1960년 이후 전반적인 증가(Kunkel 등, 2008). 일부 지역은 WSDI의 유의한 증가, 기타 지역은 WSDI의 유의하지 않은 증가 또는 감소(Alexander 등, 2006).	높은 신뢰수준: 1950년 이후 많은 지역에서 감소 (Aguilar 등, 2005; Alexander 등, 2006; Trenberth 등, 2007; Kunkel 등, 2008).	보통 신뢰수준: 1950년 이후 건조상태(SMA, PDSI, CDD)가 전반적으로 약간 감소; 지역적 변동성과 1930년대 가뭄이 지배적(Aguilar 등, 2005; Alexander 등, 2006; Kunkel 등, 2008; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
북서아메리카 (WNA,3)	높은 신뢰수준: WD의 큰 증가, CD의 큰 감소 가능성이 매우 높다(Robeson, 2004; Vincent and Mekis, 2006; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	높은 신뢰수준: WN의 큰 증가, CN의 큰 감소 가능성이 매우 높다(Robeson, 2004; Vincent and Mekis, 2006; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	보통 신뢰수준: WSDI 증가(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 전반적인 증가, 일부 지역에선 감소(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 1950년 이후 건조상태(SMA, PDSI, CDD)의 전반적인 또는 약간의 감소 없음; 큰 변동성, 1930년대 큰 가뭄이 지배적(Alexander 등, 2006; Kunkel 등, 2008; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
북아메리카 중부(CNA, 4)	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. CNA 북부에서 WD의 약한 증가, CD 감소. CNA 남부에서 WD의 약한 증가, CD 증가(Robeson, 2004; Vincent and Mekis, 2006; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. CNA 북부에서 CN의 약한 증가, WN 증가. CNA 남부에서 WN의 약한 증가, CN 증가(Robeson, 2004; Vincent and Mekis, 2006; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 일부 지역에서 WSID 증가, 기타 지역에서 WSDI 감소(Alexander 등, 2006).	높은 신뢰수준: 1950년 이후 증가했을 가능성이 매우 높다(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 1950년 이후 건조상태(SMA, PDSI, CDD) 감소 및 평균 강수량 증가; 큰 변동성, 1930년대 큰 가뭄이 지배적(Alexander 등, 2006; Kunkel 등, 2008; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
북동아메리카 (ENA, 5)	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. WD의 전반적인 증가, CD 감소; 극히 일부 지역에서 반대 시그널 또는 유의하지 않은 시그널 (Robeson, 2004; Vincent and Mekis, 2006; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	보통 신뢰수준: 약하고 공간적으로 다양한 경향(Robeson, 2004; Vincent and Mekis, 2006; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 많은 지역에서 WSDI 증가, 일부 지역에서 WSDI 감소(Alexander 등, 2006).	높은 신뢰수준: 1950년 이후 증가했을 가능성이 매우 높다(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 1950년 이후 건조상태(SMA, PDSI, CDD) 약간 감소 1930년대 큰 가뭄이 가뭄이 지배적 (Alexander 등, 2006; Kunkel 등, 2008; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
알래스카/북서캐나다(ALA,1)	높은 신뢰수준: WD의 큰 증가, CD의 큰 감소 가능성이 매우 높다(Robeson, 2004; Vincent and Mekis, 2006; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	높은 신뢰수준: WN의 큰 증가, CN의 큰 감소 가능성이 매우 높다(Robeson, 2004; Vincent and Mekis, 2006; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	낮은 신뢰수준: 충분하지 않은 증거	보통 신뢰수준: 알래스카 남부에서 약간의 증가 경향; 유의하지 않은 경향(Kunkel 등, 2008).	보통 신뢰수준: 경향 불일치; 1950년 이후 지역 일부에서 건조상태(SMA, PDSI, CDD) 증가(Alexander 등, 2006; Kunkel 등, 2008; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
캐나다 동부, 그린란드, 아이슬란드 (CGI, 2)	높은 신뢰수준: 일부 지역에서 WD 증가, 기타 지역에서 감소 가능성이 높다. 일부 지역에서 CD 감소, 기타지역에서 증가(Robeson, 2004; Alexander 등, 2006; Vincent and Mekis, 2006; Trenberth 등, 2007; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	보통 신뢰수준: 캐나다 북동부에서 일반적이지 않은 한랭야의 약간 증가, WN 감소 캐나다 남동부 및 남부 중앙에서 CN의 약한 증가, WN 증가(Robeson, 2004; Vincent and Mekis, 2006; Kunkel 등, 2008; Peterson 등, 2008a).	보통 신뢰수준: 일부 지역에서 WSDI 증가, 대부분의 다른 지역에서 WSDI 감소(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 극히 일부 지역에서 증가. (Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 충분하지 않은 증거
중앙 아메리카 및 멕시코(CAM,6)	보통 신뢰수준: WD 증가, CD 감소(Aguilar 등, 2005; Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: WN 증가, CN 감소(Aguilar 등, 2005; Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 극히 일부 지역에서 증가, 극히 일부 다른 지역에서 감소(Aguilar 등, 2005; Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 많은 지역에서 증가, 극히 일부 지역에서 감소(Aguilar 등, 2005; Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향, 건조상태(SMA, PDSI, CDD) 경향 불일치(Aguilar 등, 2005; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).

다음 페이지에 계속 →

표 3-2 | (계속)

B. 유럽과 지중해 지역

지역	Tmax	Tmin	열파/ 온파	호우	건조상태
유럽 및 지중해 지역 전체	높은 신뢰수준: 전반적으로 1950년 이후 대륙 대부분의 지역에서 WD 증가, CD 감소 가능성이 높다. 1976년 이후 대부분의 지역에서 WD의 강한 증가 경향; 같은 기간 CD의 작거나 유의하지 않은 감소(Alexander 등, 2006; 개별적인 하위지역에 대한 항목 참고).	높은 신뢰수준: 전반적으로 1950년 이후 대륙 대부분의 지역에서 WN 증가, CN 감소 가능성이 높다. 1976년 이후 대부분의 지역에서 WN의 강한 증가 경향; 같은 기간 CN의 작거나 유의하지 않은 감소(Klein Tank and Können, 2003; Alexander 등, 2006; 개별적인 하위지역에 대한 항목 참고).	보통 신뢰수준: 1950년 이후 HW 증가. 유럽 전역에서 일관적인 WSDI의 양의 경향. 그러나 어떤 지역도 일관되게 유의한 경향을 보이지 않는다(Alexander 등, 2006). 특정 지역에 대한 연구의 부족(아래 참고).	보통 신뢰수준: 지역 일부에서 증가(대부분 겨울철). 다른 지역(특히 여름철)에서 유의하지 않거나 일관되지 않는 변화. 연구들 사이의 전반적인 패턴 불일치는 고려된 지수들에 의존적이다. 서부유럽 중부와 유러시아에서 대부분 일관된 시그널(Klein Tank and Können, 2003; Haylock and Goodess, 2004; Alexander 등, 2006; Zolina 등, 2009).	보통 신뢰수준: 일관되지 않은 경향. 지역 일부에서 건조상태(SMA, PDSI, CDD)증가; 그 외 지역은 유의하지 않거나 일관되지 않는 변화 또는 변화 없음. 1950년 이후 중앙 및 남부 유럽에서 건조상태에 대해 대부분 일관된 시그널. 북유럽에서는 시그널 없음(Kiktev 등, 2003; Haylock and Goodess, 2004; Alexander 등, 2006; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
북유럽(NEU, 11)	보통 신뢰수준: WD 증가, CD 감소. 전체 지역에서 일관된 시그널, 그러나 지역규모에서는 대체로 유의하지 않음(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: WN 증가, CN 감소. 전체 지역에서 일관된 시그널, 그러나 지역규모에서는 대체로 유의하지 않음(Klein Tank and Können, 2003; Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: HW 증가. WSDI 증가에 대한 일관된 경향, 그러나 유의한 경향 없음(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 겨울철 일부 지역에서 증가, 그러나 하위 지역 규모에서 특히 여름철에 유의하지 않거나 일관되지 않는 경향(Fowler and Kilsby, 2003; Kiktev 등, 2003; Klein Tank and Können, 2003; Alexander 등, 2006; Maraun 등, 2008; Zolina 등, 2009).	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 전반적으로 건조상태(SMA, PDSI, CDD)의 약간의 증가 또는 증가 없음, 지역 일부에서 건조상태 약간 감소(Kiktev 등, 2003; Alexander 등, 2006; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
중부 유럽(CEU,12)	높은 신뢰수준: 1950년 이후 대부분의 지역에서 전반적으로 WD 증가, CD 감소 가능성이 높다. 일부 지역 및 시간 변동의 유의한 경향. 높은 신뢰수준: 중부 유럽의서부에서 1950년 이후 및 1901년, 1880년 WD 증가, 1950년 이후 및 1901년 CD 감소 가능성이 높다(Alexander 등, 2006; Della-Marta 등, 2007a; Laurent and Parey, 2007). 보통 신뢰수준: 중부 유럽의 동부경향에 대한 신뢰수준은 낮음, 이는 문헌 부족, 관측에 대한 부분적인 접근성 부족, 전반적으로 약한 신호, 1970년대 말/1980년대 초 경향의 변환 시점 등이 원인이다. 1976년 이후 WD의 강한 증가(Alexander 등, 2006; Bartholy and Pongracz, 2007; Hirschi 등, 2011).	높은 신뢰수준: 연 시간규모에서 전반적으로 WN 증가, 전반적으로 CN 감소 가능성이 높다. 유의한 일부 지역적 및 계절적 변동, 극히 일부 케이스에서 경향의 시그널 발견. 높은 신뢰수준: 1950년 이후 및 1901년 중부 유럽의 서부에서 WN 증가, CN 감소 가능성이 매우 높다(Kiktev 등, 2003; Alexander 등, 2006). 보통 신뢰수준: 중부 유럽의 동부경향에 대한 신뢰수준은 낮음, 이는 문헌 부족, 관측에 대한 부분적인 접근성 부족, 전반적으로 약한 신호, 1970년대 말/1980년대 초 경향의 변환 시점 등이 원인이다(Klein Tank and Können, 2003; Alexander 등, 2006; Bartholy and Pongracz, 2007).	보통 신뢰수준: 열파 증가 WSDI 증가에 대한 일관된 경향, 그러나 유의한 경향 없음(Alexander 등, 2006). 1880년 이후 중부 유럽의 서부에서 여름철(JJA) 최대 HW 지속기간의 유의한 증가(Della-Marta 등, 2007a). 변환 시점으로 인해, 동부 중앙 유럽에선 열파 지수의 덜 유의한 시그널(Bartholy and Pongracz, 2007; Hirschi 등, 2011).	보통 신뢰수준: 일부 지역(특히 중부 유럽의 서부 및 유럽 러시아 겨울)에서 증가 그 외 지역(특히 여름)에서의 유의하지 않거나 일치하지 않는 경향(Kiktev 등, 2003; Klein Tank and Können, 2003; Schmidli and Frei, 2005; Alexander 등, 2006; Bartholy and Pongracz, 2007; Kysely, 2009; Tomassini and Jacob, 2009; Zolina 등, 2009).	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 지역 일부에서 건조상태(SMA, PDSI, CDD) 증가, 그러나 일부 지역의 건조상태 경향 변화와 고려되는 연구에서의 경향 의존성(index, time period) (Kiktev 등, 2003; Alexander 등, 2006; Bartholy and Pongracz, 2007; Sheffield and Wood, 2008a; Brázdil 등, 2009; Dai, 2011).
유럽 남부 및 지중해(MED,13)	높은 신뢰수준: 대부분의 지역에서 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다. 일부 지역 및 시간 변동의 유의한 경향. 이베리아 반도 및 프랑스 남부의 경우 가장 강하고 유의한 경향의 가능성이 높다(Alexander 등, 2006; Brunet 등, 2007; Della-Marta 등, 2007a; Bartolini 등, 2008; Kuglitsch 등, 2010; Rodrfguez-Puebla 등, 2010; Hirschi 등, 2011). 보통 신뢰수준: 유럽 남동부와 이탈리아의 경우 1970년대 말/1980년대 초 경향의 변환시점으로 인해 더 작거나 덜 유의한 경향; 경우에 따라 경향의 시그널 변화와 관련이 있음: 1976년 이후 WD의 큰 증가(Bartholy and Pongracz, 2007; Bartolini 등, 2008; Toreti and Desiato, 2008; Kuglitsch 등, 2010; Hirschi 등, 2011).	높은 신뢰수준: 대부분의 지역에서 WN 증가, CN 감소 가능성이 높다. 유의한 경향에서 일부 지역적 차이 존재 유럽 남서부와 지중해 서부에서 WN의 전반적인 증가, CN의 전반적인 감소 가능성이 매우 높다: 스페인과 프랑스 남부에서 가장 강한 시그널 가능성이 높다(Kiktev 등, 2003; Klein Tank and Können, 2003; Alexander 등, 2006; Brunet 등, 2007; Rodrfguez-Puebla 등, 2010). 유럽 남동부와 지중해 동부에서 WN의 전반적인 증가, CN의 전반적인 감소 경향의 가능성이 높다(Kiktev 등, 2003; Klein Tank and Können, 2003; Alexander 등, 2006).	높은 신뢰수준: 여름철(JJA) HW의 전반적인 증가 가능성이 높다. 1880년 이후 이베리아 반도와 서부 중앙 유럽에서 여름철(JJA) 최대 HW 지속기간의 유의한 증가(Della-Marta 등, 2007a). 토스카나(이탈리아)에서 최대 HW 지속기간의 유의한 증가(Bartolini 등, 2008). 터키에서 HW 지수의 유의한 증가, 여름철(JJA) 남동 유럽 및 터키의 일부 지역에서 HW 지수의 유의한 증가(Kuglitsch 등, 2010). 경향의 변환시점으로 인해 남동 유럽의 HW 지수에서 덜 유의한 신호가 나타난다(Bartholy and Pongracz, 2007; Hirschi 등, 2011).	낮은 신뢰수준: 지역 내 경향 및 연구 상호간의 경향 불일치(Kiktev 등, 2003; Klein Tank and Können, 2003; Alexander 등, 2006; Garda 등, 2007; Pavan 등, 2008; Zolina 등, 2009; Rodrigo, 2010).	보통 신뢰수준: 건조상태(SMA, PDSI, CDD)의 전반적인 증가, 그러나 부분적으로 지수와 기간에 대한 의존성 존재(Kiktev 등, 2003; Alexander 등, 2006; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).

다음 페이지에 계속 →

표 3-2 | (계속)

C. 아프리카

지역	Tmax	Tmin	열파/ 온파	호우	건조상태
아프리카 전체	낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 많은 지역에서 증거 부족(문헌 부족)으로 인해 신뢰수준이 낮다. 대륙 남부지역에서 WD 빈도 증가 및 CD 빈도 감소에 대한 신뢰수준은 보통이다 지역 평가 참고.	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 많은 지역에서 증거 부족(문헌 부족)으로 인해 신뢰수준이 낮다. 대륙 북부 및 남부 지역에서 WN 빈도 증가에 대한 신뢰수준은 보통이다(Alexander 등, 2006). 대륙 북부 및 남부 지역에서 CN 빈도 감소에 대한 신뢰수준은 보통이다(Alexander 등, 2006). 지역 평가 참고.	낮은 신뢰수준: 증거 부족(문헌 부족) 국지 규모에 대한 일부 분석(지역 평가 참고).	낮은 신뢰수준: 부분적인 자료 및 문헌 부족, 기존 연구들의 일관되지 않은 패턴 (New 등, 2006; Aguilar 등, 2009). 지역 평가 참고.	보통 신뢰수준: 건조상태(SMA, PDSI)의 전반적인 증가; 지역적 변동성 존재, 1970년대 사헬에서의 장기화된 가뭄이 지배적이었다(Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011). 20세기 대륙 전역에 걸친 강수 변화 경향이 뚜렷하게 나타나지 않는다. 그러나 1983년, 1984년 대륙 전역에 걸친 가뭄이 발생했다(Hulme 등, 2001). 습윤계절이 9-21일 늦게 시작된다. 습윤계절 시작일의 경년변동성이 크다. 국지 규모의 지리적 변동성 존재(Kniveton 등, 2009).
서아프리카 (WAF,15)	보통 신뢰수준: 중앙 아프리카 서부, 기니 코나크리, 나이지리아, 감비아에서 최고온일과 최저온일 온도의 유의한 증가, WD 빈도의 유의한 증가, CD 빈도의 유의한 감소 (New 등, 2006; Aguilar 등, 2009). 낮은 신뢰수준: 그 외 지역에 관한 문헌 부족.	보통 신뢰수준: 중앙 아프리카 서부, 나이지리아, 감비아에서 CN 빈도 증가, 기니 코나크리에서 CN 빈도의 유의미하지 않은 감소(New 등, 2006; Aguilar 등, 2009). 낮은 신뢰수준: 기타 지역의 CN 변화에 관한 문헌 부족 보통 신뢰수준: WN 빈도 증가(Alexander 등, 2006; New 등, 2006; Aguilar 등, 2009).	낮은 신뢰수준: 대부분의 지역에서 증거 부족(문헌 부족), 나이지리아와 감비아에서 WSDI 증가.	보통 신뢰수준: 호우 감소(중앙 아프리카 서부, 기니 코나크리), 그러나 공간적으로 낮은 일관성(Aguilar 등, 2009), 강수 강도 증가(New 등, 2006).	보통 신뢰수준: 1970년대 사헬에서 가뭄의 장기화, 1950년대 습한 상태보다 훨씬 건조(SMA, PDSI, 강수 이상)하다(L'Hôte 등, 2002; Dai 등, 2004; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011). 1961년부터 2000년 사이 최대무강수 지속기간(CDD)의 전반적인 증가(New 등, 2006). 최근 몇 년 사이, 경년변동성이 이전 40년보다 크게 증가, 사헬 서부 지역은 여전히 건조하지만 사헬 동부 지역은 습한 조건으로 복귀(Ali and Lebel, 2009).
동아프리카 (EAF,16)	낮은 신뢰수준: 문헌 부족과 공간적으로 일관되지 않은 경향으로 인해 증거수준 부족. 1939-1992년 기간 동안, 주간 기온 에서 공간적으로 일관되지 않은 경향 존재, 일부 지역은 냉각 효과(King'uyu 등, 2000). 남단 지역에서 WD 증가, CD 증가(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 1939-1992년 기간 동안, 공간적으로 일관되지 않은 경향 존재, 몇몇 지역에서 야간 기온 상승, 그러나 많은 해안 지역과 대규모 수역 부근 지역은 유의한 감소를 나타낸다(King'uyu 등, 2000). 남단 지역에서 CN 감소, WN 증가(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 대부분의 지역에서 증거 부족(문헌 부족), 남단 지역에서 WSDI 증가(New 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 경향을 평가하기 위한 증거 부족(문헌 부족).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 건조상태(SMA, PDSI) 경향(Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
남아프리카 (SAF,17)	보통 신뢰수준: WD 증가, CD 감소 (Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: WN 증가, CN 감소(King'uyu 등, 2000; Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: WSDI 증가(New 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 극한강수 경향과 관련하여 공간적으로 일관되지 않은 패턴(Kruger, 2006; New 등, 2006; Trenberth 등, 2007).	보통 신뢰수준: 최대무강수 지속기간의 약간 증가 (Alexander 등, 2006; Kruger, 2006; New 등, 2006). 건조상태(SMA, PDSI) 의 전반적인 증가(Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
사하라(SAH,14)	낮은 신뢰수준: 문헌 부족.	보통 신뢰수준: WN 증가(Alexander 등, 2006). 낮은 신뢰수준: CN 경향에 관한 문헌 부족.	낮은 신뢰수준: 증거 부족(문헌 부족)	낮은 신뢰수준: 충분하지 않은 증거	낮은 신뢰수준: 제한적인 자료, 경향의 공간적인 변동성(Dai, 2011).

다음 페이지에 계속 →

표 3-2 | (계속)

D. 남아메리카

지역	Tmax	Tmin	열파/ 온파	호우	건조상태
남아메리카 전체	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 대륙 북부를 중심으로 많은 지역에서 증거 부족으로 인해 WD 및 CD 경향에 대한 신뢰수준이 낮다. 대륙 남부 경향에 대한 신뢰수준은 보통이다. 그러나 경향의 공간적인 변동성이 존재한다. 대륙 평가의 기준 및 구체적인 내용에 대해서는 지역 평가 참고.	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 대륙 북부를 중심으로 많은 지역에서 증거 부족으로 인해 WN 및 CN 경향에 대한 신뢰수준이 낮다. 대륙 남부에서 CN 감소 및 WN 증가에 대한 신뢰수준은 보통이다. 대륙 평가의 기준 및 구체적인 내용에 대해서는 지역 평가 참고.	낮은 신뢰수준: 증거 부족(대륙의 대부분 지역) 또는 일관된 시그널 부족(남아메리카 남동부) 대륙 평가의 기준 및 구체적인 내용에 대해서는 지역 평가 참고.	낮은 신뢰수준: 증거 부족 또는 경향의 공간적인 변동성 존재. 대륙 평가의 기준 및 구체적인 내용에 대해서는 지역 평가 참고.	낮은 신뢰수준: 경향의 공간적인 변동성, 연구 간의 불일치(Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
아마존(AMZ,7)	낮은 신뢰수준: 산발적이고 부족한 증거(Alexander 등, 2006; Dufek 등, 2008).	낮은 신뢰수준: 산발적이고 부족한 증거(Alexander 등, 2006; Dufek 등, 2008).	낮은 신뢰수준: 충분하지 않은 증거	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 많은 지역에서 증가, 극히 일부 지역에서 감소(Alexander 등, 2006; Haylock 등, 2006b).	낮은 신뢰수준: 공간적인 변동성, 상반된 결과. CDD 약간 감소(Dufek 등, 2008). 많은 지역에서 건조상태 감소 경향, 그러나 연구들 간의 상반된 경향 및 불일치 존재(Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
브라질 북동부 (NEB,8)	보통 신뢰수준: WD 증가(Silva and Azevedo, 2008).	보통 신뢰수준: WN 증가(Silva and Azevedo, 2008).	낮은 신뢰수준: 충분하지 않은 증거	보통 신뢰수준: 많은 지역에서 증가, 극히 일부 지역에서 감소(Alexander 등, 2006; Haylock 등, 2006b; Santos and Brito, 2007; Silva and Azevedo, 2008; Santos 등, 2009).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. CDD의 일관되지 않은 경향(Santos and Brito, 2007; Dufek 등, 2008; Silva and Azevedo, 2008; Santos 등, 2009). 건조상태(SMA, PDSI)와 관련하여 연구들 간의 일관되지 않은 경향(Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
남아메리카 남동부 (SSA. 10)	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 일부 지역에서 WD 증가, 그 외 지역에서 감소 일부 지역에서 CD 감소, 그 외 지역에서 증가(Rusticucci and Barrucand, 2004; Vincent 등, 2005; Alexander 등, 2006; Rusticucci and Renom, 2008; Marengo 등, 2009b)	보통 신뢰수준: CD 감소, WN 증가(Rusticucci and Barrucand, 2004; Vincent 등, 2005; Alexander 등, 2006; Rusticucci and Renom, 2008; Marengo 등, 2009b)	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 일부 지역에서 증가, 그 외 지역에서 감소(Alexander 등, 2006).	하위 지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 중간 신뢰수준: 보통 신뢰수준: 북부 지역에서 증가(Alexander 등, 2006; Dufek 등, 2008; Sugahara 등, 2009; Penalba and Robledo, 2010). 남부 지역에 대한 신뢰수준은 낮다: 충분하지 않은 증거	낮은 신뢰수준: 건조상태 약간 증가, 큰 변동성 존재(Haylock 등, 2006b; Dufek and Ambrizzi, 2008; Dufek 등, 2008; Llano and Penalba, 2011). 많은 지역에서 건조상태(SMA, PDSI) 감소(Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
남아메리카 서부 연안(WSA. 9)	보통 신뢰수준: 일부 지역에서 WD 증가, 그 외 지역에서 감소, 일부 지역에서 CD감소, 그 외 지역에서 증가(Rosenbluth 등, 1997; Vincent 등, 2005; Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: CD 감소, WN 증가(Rosenbluth 등, 1997; Vincent 등, 2005; Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 충분하지 않은 증거	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 많은 지역에서 감소, 극히 일부 지역에서 증가(Alexander 등, 2006; Haylock 등, 2006b).	낮은 신뢰수준: 전반적인 불일치, 신호(SMA, PDSI, CDD)의 공간적인 변동성 존재(Dufek 등, 2008; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).

E. 아시아

지역	Tmax	Tmin	열파/ 온파	호우	건조상태
아시아 전체	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서부터 높은 신뢰수준: 대륙 규모에서 전반적인 WD 증가 및 CD 감소에 대한 신뢰수준은 보통이다(Alexander 등, 2006). 개별 지역 항목 참고.	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서부터 높은 신뢰수준: 대륙 규모에서 전반적인 WN 증가 및 CN 감소에 대한 신뢰수준은 보통이다(Alexander 등, 2006). 개별 지역 항목 참고.	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 몇몇 지역의 증거부족으로 인해 신뢰수준이 낮다; 그 외 지역에서 경향에 대한 신뢰수준은 보통이다(Alexander 등, 2006). 개별 지역 항목 참고.	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 몇몇 지역의 증거부족 및 경향의 불일치로 인해 신뢰수준이 낮다; 극히 일부 지역에서 HP 경향에 대한신뢰수준은 보통이다(Alexander 등, 2006). 개별 지역 항목 참고.	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향으로 인해 대부분의 지역에서 신뢰수준이 낮다. 일부 지역에서 일관된 증가를 나타냈다. 그러나 다른 지역들은 다른 척도에 의한 건조상태(SMA, PDSI, CDD)의 감소를 나타낸다(Alexander 등, 2006; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).
북아시아 (NAS, 18)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과, CD 감소 가능성이 높다(Alexander 등, 2006).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성과 WN 증가 가능성이 높다(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 전반적으로 WSDI 증가, 극히 일부 지역에서 WSDI 감소(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 일부 지역에서 증가, 그러나 공간적 변동성 존재(Alexander 등, 2006). 1950년-2000년 사이 러시아 서부지역에서 특히 겨울철(D)F)에 일부 증가(Zolina 등, 2009).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 북아시아 중앙 및 북동 지역에서 건조상태(SMA, PDSI, CDD) 증가 경향, 기타 지역에서 건조상태 감소(Alexander 등, 2006; Sheffield and Wood, 2008a; Dai, 2011).

다음 페이지에 계속 →

표 3-2 | (계속)

E. 아시아(계속)

지역	Tmax	Tmin	열파/ 온파	호우	건조상태
중앙 아시아 (CAS, 20)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(Alexander 등, 2006).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성과 WN 증가 가능성이 높다(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 극히 일부 지역에서 WSDI 증가, 그 외 지역은 증거 부족(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 극히 일부 지역에서 증가, 극히 일부 지역에서 감소(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 건조상태(SMA, PDSI, CDD) 경향; 일부 연구에서 다루는 범위의 부분적인 부족(Alexander 등, 2006: Sheffield and Wood, 2008a: Dai, 2011).
동아시아(EAS, 22)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(Alexander 등, 2006: Ding 등, 2010).	보통 신뢰수준: CN 감소, WN 증가(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 중국에서 온난한 계절 에서의 열파 증가(Ding 등, 2010); 중국 북부에서 WSDI 증가, 중국 남부에서 WSDI 감소(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 극히 일부 지역에서 증가, 극히 일부 지역에서 감소(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 전반적으로 건조상태(SMA, PDSI, CDD) 증가 경향; 극히 일부 지역의 경우 반대 경향(Alexander 등, 2006: Sheffield and Wood, 2008a: Dai, 2011).
동남아시아 (SEA, 24)	보통 신뢰수준: WD 증가, CD 감소 북부 지역에서 WD 증가, CD 감소(Alexander 등, 2006). 낮은 신뢰수준: 말레이에 군도에 대한 증거 부족	보통 신뢰수준: 북부 지역에서 CN 감소, WN 증가(Alexander 등, 2006). 낮은 신뢰수준: 말레이 군도에 대한 증거 부족	낮은 신뢰수준: 충분하지 않은 증거	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향. 부분적으로 증거 부족. 일부 지역에서 증가, 일부 지역에서 감소(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향, 건조상태(SMA, PDSI)와 관련하여 연구들 간의 일관되지 않은 경향
남아시아(SAS, 23)	보통 신뢰수준: WD 증가, CD 감소(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: CN 감소, WN 증가(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 충분하지 않은 증거	낮은 신뢰수준: 인도에서 상반된 신호(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 다양한 연구와 지수에서 일관되지 않은 시그널. 인도 전역에서 CDD 감소(Alexander 등, 2006). 인도 중앙 지역에서 건조상태(SMA, PDSI) 증가(Sheffield and Wood, 2008a: Dai, 2011).
아시아 서부 (WAS, 19)	높은 신뢰수준: CD 감소 가능성과 WD 증가 가능성이 매우 높다(Rahimzadeh 등, 2009; Rehman, 2010).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성과 WN 증가 가능성이 높다(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: WSDI 증가(Alexander 등, 2006).	보통 신뢰수준: 호우의 감소(Kwarteng 등, 2009; Rahimzadeh 등, 2009).	낮은 신뢰수준: 일부 지역에 관한 연구 부족; 상반된 결과(Sheffield and Wood, 2008a: Rahimzadeh 등, 2009).
티벳고원(TIB, 21)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(Alexander 등, 2006).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성과 WN 증가 가능성이 높다(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 공간적으로 다양한 경향(Alexander 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 충분하지 않은 증거	낮은 신뢰수준: 연구 부족. Dai(2011)에서 건조상태(PDSI, SMA) 감소 경향

F. 오스트레일리아/뉴질랜드

지역	Tmax	Tmin	열파/ 온파	호우	건조상태
오스트레일리아 및 뉴질랜드 전체	높은 신뢰수준: 전반적으로 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다. 평가 기준 및 구체적인 내용에 대해서는 개별 지역 항목 참고.	높은 신뢰수준: 전반적으로 CN 감소 가능성과 WN 증가 가능성이 높다. 평가 기준 및 구체적인 내용에 대해서는 개별 지역 항목 참고.	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 평가 기준 및 구체적인 내용에 대해서는 개별 지역 항목 참고.	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서부터 높은 신뢰수준 오스트레일리아 북부 지역 평가에 관한 연구 부족, 오스트레일리아 남부의 많은 지역에서 HP 감소 가능성이 높다. 평가 기준 및 구체적인 내용에 대해서는 개별 지역 항목 참고	보통 신뢰수준: 일부 지역에서 건조상태 감소, 다른 지역에서 건조상태 증가. 평가 기준 및 구체적인 내용에 대해서는 개별 지역 항목 참고.
오스트레일리아 북부(NAU, 25)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다. 북서부 지역의 약한 경향(Alexander 등, 2006).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성과 WN 증가 가능성이 높다(Alexander 등, 2006; Alexander and Arblaster, 2009).	낮은 신뢰수준: 평가에 관한 문헌 부족.	낮은 신뢰수준: 평가에 관한 연구 부족.	보통 신뢰수준: 많은 지역에서 건조상태(SMA, PDSI) 감소 20세기 중반 이후 북서부에서 건조상태(SMA, PDSI) 감소(Sheffield and Wood, 2008a: Dai, 2011).
오스트레일리아 남부/뉴질랜드 (SAU, 26)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 매우 높다(Alexander 등, 2006). 순환 변화와 관련하여 NZ에서 양의 경향이 국가 전역에 걸쳐 다양하게 나타난다(Chambers and Griffiths, 2008; Mullan 등, 2008).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성과 WN 증가 가능성이 매우 높다(Alexander 등, 2006; Alexander and Arblaster, 2009). NZ에서 서리의 전반적인 감소. 그러나 순환변화와 관련하여 국가 전역에 걸쳐 다양한 경향이 나타난다(Chambers and Griffiths, 2008; Mullan 등, 2008).	보통 신뢰수준: 오스트레일리아 남부 전역에 걸쳐 온파 증가 (Alexander and Arblaster, 2009).	높은 신뢰수준: 많은 지역(특히 평균 강수가 감소한 지역)에서 호우감소 가능성이 높다(CSIRO, 2007; Gallant 등, 2007; Alexander and Arblaster, 2009). NZ 에서의 경향은 북섬의 서부와 남섬에서 양의 경향을, 동부지역에서 음의 경향을 나타내며, 이는 평균강수량의 변화와 강한 상관관계를 갖는다(Mullan 등, 2008).	보통 신뢰수준: 20세기 중반 이후 오스트레일리아 남서부 지역 상단 및 남동부 지역에서 건조상태(SMA, PDSI, CDD) 증가. 오스트레일리아 중부 지역에서 건조상태 감소(Alexander 등, 2006: Sheffield and Wood, 2008a: Dai, 2011).

다음 페이지에 계속 →

표 3-3 | 극한기온 및 강수(건조상태 포함)의 지역적 변화 전망 지역의 정의에 관해선 그림 3-1 참고(숫자는 옆의 지역 이름을 가리킨다). 도서국가에 대한 평가는 Box 3-4 참고. 전망은 20세기 말 대비 21세기 말을 기준으로 이뤄졌으며(예: 1961-1990년 또는 1980-2000년 대비 2071-2100년 또는 2080-2100년), A2/A1B 배출 시나리오를 이용했다(별다른 언급이 없는 한). 20세기 후반 극한값이(일반적으로 1961-1990년 또는 1980-2000년) 기준으로 이용되었다(Box 3-1 참고). 모델 증거 출처 코드: G: 다중 GCM; R: 단일 GCM에 의한 단일 RCM 강제력; fi.: 단일 GCM에 의한 다중 RCM 강제력; B.: 다중 GCM에 의한 다중 RCM 강제력 T06은 Tebaldi 등(2006), SW08b는 Sheffield and Wood(2008b)를, OS11은 Orlowsky and Seneviratne(2011)를 나타내는 약어이다.

A. 북아메리카와 중앙아메리카

지역	Tmax [WD = 온난일, CD = 한랭일, RV20AHD: 연 최대 최고고온일 20년 재현값](20세기 후반 극한값을 기준으로 이용; Box 3-1 참고))	Tmin [WN = 온난야, CN = 한랭야](20세기 후반 극한값을 기준으로 이용; Box 3-1 참고))	열파(HW)/온파(WS)(20세기 후반 극한값을 기준으로 이용; Box 3-1 참고))	Heavy Precipitation(HP) [HPD = 호우일, 예. 강수 >95퍼센타일(p) %DP10 = 강수> 10mm가 발생한 날의 백분율 HPC = 호우 비중, 일반적으로 95 퍼센타일 초과부분 RV20HP = 연 최대 일 강수율 20년 재현값](20세기 후반 극한값을 기준으로 이용; Box 3-1 참고))	건조상태 [CDD = 최대무강수 지속기간, SMA = (모의된) 토양수분 편차; 정의는 Box 3-3 참고]
북아메리카와 중앙 아메리카 전체	높은 신뢰수준: 모든 지역에서 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높거나 매우 높다(Christensen 등, 2007; Meehl 등, 2007b; Karl 등, 2008; 그림 3-3). CAM을 제외하고 모든 지역에서 RV20AHD가 증가할 가능성이 매우 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: 여름과 가을(특히 미국)에 WD가 가장 크게 증가; 가을과 겨울 캐나다에서 CD가 가장 크게 감소(OS11).	높은 신뢰수준: 하위지역에 따라 WN 증가 가능성과 CN 감소 가능성이 높거나 매우 높다(T06: Christensen 등, 2007; Kharin 등, 2007; Meehl 등, 2007b; Karl 등, 2008; 그림 3-4) 보통 신뢰수준: 여름철(특히 미국)에 WN이 가장 크게 증가하고 CN이 감소(OS11).	하위 지역에 따라 높은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준. 높은 신뢰수준: 북아메리카 하위 지역 전반에 걸쳐 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다 중앙 아메리카 일부 지역에서 열파 증가에 대한 신뢰수준은 중간이다. 그러나 열파 변화 신호에 대한 동의수준은 부족하다(T06: Christensen 등, 2007: Karl 등, 2008: Clark 등, 2010: OS11).	지역 및 지수에 따라 낮은 신뢰수준에서부터 높은 신뢰수준 캐나다와 알래스카에서 HPD, HPC, RV20HP를 포함해 HP 증가 가능성이 높다; 변화가 작거나 일관되지 않으며 %DP10(겨울과 봄에 감소)과 다른 지수들 간의 불일치로 인해 낮은 신뢰수준에서 중간 신뢰수준(T06: Christensen 등, 2007; Kharin 등, 2007: Meehl 등, 2007b; Karl 등, 2008: OS11; 그림 3-6).	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 텍사스와 멕시코 북부에서 CDD 및 SMA의 증가에 대한 신뢰수준은 보통이다(T06: SW08b; 그림 3-10). 낮은 신뢰수준: 다른 지역에서 일관되지 않은 변화(SMA. CDD) (T06: SW08b: 그림 3-10).
	G	**G**	**G**	**G**	**G**
북서아메리카 (WNA,3)	높은 신뢰수준: 모든 계절에서 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 매우 높다(Christensen 등, 2007; Karl 등, 2008; Clark 등, 2010; 그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: CD 및 WD와 관련하여 봄철과 겨울철의 전반적으로 약한 시그널 2030년-2039년 RCM 모의는 장기적인 WD 증가 전망과 일치한다 (Diffenbaugh and Ashfaq, 2010).	높은 신뢰수준: WN 증가 및 CN 감소 가능성이 매우 높다(T06: Christensen 등, 2007: Kharin 등, 2007: Meehl 등, 2007b: Karl 등, 2008: 그림 3-4) 보통 신뢰수준: 여름철 WN이 가장 크게 증가하고 CN이 가장 크게 감소(OS11).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: Christensen 등, 2007: Meehl 등, 2007b: Karl 등, 2008: Clark 등, 2010: OS11). 보통 신뢰수준: 2030-2039년 및 2090-2099년 RCM 모의는 HW의 빈도 및/또는 강도의 장기적인 증가 전망과 일치한다(Diffenbaugh and Ashfaq, 2010: Kunkel 등, 2010).	하위지역과 지수에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 북부 지역(캐나다)의 HPD/HPC 증가에 대한 신뢰수준은 중간이다; 남부지역의 경우 HPD/HPC 변화의 일관되지 않은 시그널 또는 시그널 없음으로 인해 신뢰수준은 낮다(T06: 그림 3-6). RV20HP 증가에 대한 신뢰수준은 보통이다(그림 3-7).	낮은 신뢰수준: CDD 및 SMA 변화의 일관되지 않은 시그널(T06: SW08b: 그림 3-10).
	G R	**G**	**G R**	**G**	**G**
북아메리카 중부 (CNA, 4)	높은 신뢰수준: 모든 계절에서 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 매우 높다(Christensen 등, 2007; Karl 등, 2008; Clark 등, 2010; 그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: 봄철과 겨울철에서 CD의 약한 시그널(OS11). 2030 -2039년 RCM 모의는 장기적인 WD 증가 전망과 일치한다(Diffenbaugh and Ashfaq, 2010).	높은 신뢰수준: WN 증가 및 CN 감소 가능성이 매우 높다(T06: Christensen 등, 2007; Kharin 등, 2007; Meehl 등, 2007b: Karl 등, 2008: 그림 3-4)	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: Christensen 등, 2007; Meehl 등, 2007b: Karl 등, 2008: Clark 등, 2010; OS11). 보통 신뢰수준: 2030-2039년 및 2090-2099년 RCM 모의는 HW의 빈도 및/또는 강도의 장기적인 증가 전망과 일치한다(Diffenbaugh and Ashfaq, 2010: Kunkel 등, 2010).	지수에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 일관되지 않은 시그널 또는 시그널 없음으로 인해 HPD/HPC 변화에 대한 신뢰수준은 낮다(T06: 그림 3-6). RV20HP 증가에 대한 신뢰수준은 보통이다(그림 3-7).	보통 신뢰수준: 남부지역에서 CDD 증가, SMA 감소(SW08b: 그림 3-10). 낮은 신뢰수준: 다른 지역의 일관되지 않은 시그널(그림 3-10).

다음 페이지에 계속 →

표 3-3 | (계속)

A. 북아메리카와 중앙아메리카(계속)

지역	Tmax	Tmin	열파/온파	호우	건조상태
북동아메리카 (ENA, 5)	높은 신뢰수준: 모든 계절에서 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 매우 높다(Christensen 등, 2007: Karl 등, 2008: Clark 등, 2010: 그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: 여름과 가을에 WD가 가장 크게 증가; 봄에 CD의 약한 감소(OS11). 2030-2039년에 대한 RCM 모의는 WD으 장기적인 증가 전망과 일치 (Diffenbaugh and Ashfaq, 2010).	높은 신뢰수준: WN 증가 및 CN 감소 가능성이 매우 높다(T06: Christensen 등, 2007: Kharin 등, 2007; Meehl 등, 2007b: Karl 등, 2008; 그림 3-4) 보통 신뢰수준: 여름철 WN이 가장 크게 증가하고 CN이 가장 크게 감소(OS11).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: Christensen 등, 2007; Meehl 등, 2007b: Karl 등, 2008: Clark 등, 2010; OS11). 보통 신뢰수준: 2030-2039년 및 2090-2099년에 대한 RCM 모의는 HW의 장기적인 빈도 증가 전망과 일치 (Diffenbaugh and Ashfaq, 2010: Kunkel 등, 2010).	보통 신뢰수준: 북부 지역에서 HPD/HPC의 증가, 그러나 나부 지역에서 시그널 없음 또는 일관되지 않은 신호 (T06: 그림 3-6) RV20HP 증가에 대한 신뢰수준은 보통이다(그림 3-7).	낮은 신뢰수준: CDD 신호의 일관되지 않은 시그널, 일부 일관된 SMA의 감소(SW08b: 그림 3-10).
	G R	**G**	**G R**	**G**	**G**
알라스카/ 북서캐나다 (ALA, 1)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 매우 높다(Christensen 등, 2007; Karl 등, 2008: 그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: 가을철 WD의 가장 강한 증가 (OS11).	높은 신뢰수준: WN 증가 및 CN 감소 가능성이 매우 높다(T06: Christensen 등, 2007: Kharin 등, 2007: Meehl 등, 2007b: Karl 등, 2008: 그림 3-4)	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: Christensen 등, 2007: Meehl 등, 2007b: Karl 등, 2008: OS11).	높은 신뢰수준: HPD 및 HPC의 증가 가능성이 높다 (T06: 그림 3-6). RV20HP의 증가 가능성이 높다(그림 3-7).	낮은 신뢰수준: CDD 및 SMA 변화의 일관되지 않은 신호(T06: SW08b: 그림 3-10).
	G	**G**	**G**	**G**	**G**
동캐나다, 그린란드, 아이슬란드 (CGI, 2)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 매우 높다(Christensen 등, 2007: Karl 등, 2008: 그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: 가을(그린란드의 경우 여름)에 WD가 가장 강하게 증가, CD는 봄에 가장 약하게, 여름에 약하게 증가(OS11)	높은 신뢰수준: WN 증가 및 CN 감소 가능성이 매우 높다(T06: Christensen 등, 2007: Kharin 등, 2007: Meehl 등, 2007b: 그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: OS11).	높은 신뢰수준: HPD 및 HPC의 증가 가능성이 높다 (T06: 그림 3-6). RV20HP의 증가 가능성이 높다(그림 3-7).	낮은 신뢰수준: CDD 및/또는 SMA 변화의 일관적이지 않은 신호(T06: SW08b: 그림 3-10).
	G	**G**	**G**	**G**	**G**
중앙 아메리카와 멕시코 (CAM,6)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06: 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	지역에 따라 중간에서 높은 신뢰수준: 대부분의 지역에서 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다; 중앙아메리카 일부 지역에서 온파 증가에 대한 신뢰수준은 중간이다. 그러나 열파 변화에 대한 동의수준은 부족 (T06: OS11: Clark 등, 2010).	낮은 신뢰수준: %DP10, HPC, RV20HP, 기타 HP 지표의 변화와 관련하여 모델들과 지수들 간의 동의수준 부족(Kamiguchi 등, 2006: T06: Campbell 등, 2011: 그림 3-6 및 3-7).	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 중앙아메리카와 멕시코에서 건조상태(CDD, SMA) 증가; 일관되지 않은 시그널 로 인해 남단 지역에서 건조상태(CDD, SMA) 변화에 대한 신뢰수준은 낮다(Kamiguchi 등, 2006: T06: Campbell 등, 2011: 그림 3-10)
	G	**G**	**G**	**G R**	**G R**

다음 페이지에 계속 →

표 3-3 | (계속)

B. 유럽과 지중해 지역

지역	Tmax	Tmin	열파/온파	호우	건조상태
유럽과 지중해 지역 전체	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성이 매우 높으며(특히 중앙/남부 유럽 여름철에 가장 크게 증가하고 북부 유럽(스칸디나비아)에서 가장 작게 증가)(Goubanova and Li, 2007; Kjellström 등, 2007; Koffi and Koffi, 2008; Fischer and Schär, 2010; 그림 3-3), CD 감소 가능성이 매우 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: 중부 유럽과 지중해 지역 여름철에서 일반적으로 Tmax의 낮은 퍼센타일의 변화보다 높은 퍼센타일의 변화가 더 크다(Diffenbaugh 등, 2007; Kjellström 등, 2007; Fischer and Schär, 2009, 2010; OS11).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성이 매우 높다 – 특히 유럽 동부 및 스칸디나비아에서 겨울철에 가장 크게 감소(Goubanova and Li, 2007; Kjellström 등, 2007; Sillmann and Roeckner, 2008). WN 증가 가능성이 매우 높다(T06; 그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다. 그러나 스칸디나비아의 경우 변화가 적다(Beniston 등, 2007; Koffi and Koffi, 2008; Clark 등, 2010; OS11).	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서부터 높은 신뢰수준 HPD, %DP10, RV20HP의 전반적인 증가, 긴 재현기간(5일) 및 짧은 재현기간(1일)의 감소 가능성이 높다. 북부 유럽(특히 겨울)에서 강한 신호, 그러나 중앙 유럽(특히 지중해) 변화에 대한 신뢰수준은 낮다(T06: Beniston 등, 2007; Fowler 등, 2007a; Sillmann and Roeckner, 2008; Kendon 등, 2010; 그림 3-6 및 3-7). 일부 지역에서 HPC 증가 가능성이 높다(Boberg 등, 2009b; Kendon 등, 2010). 많은 지역의 평균보다 극한기후의 큰 변화 가능성이 높다. HP 강도 증가(HPC 증가), 그러나 일부 지역의 경우 여름철 평균 강도 감소 – 예: 중부 유럽(Beniston 등, 2007; Fowler 등, 2007a; Haugen and Iversen, 2008; May, 2008; Kysely and Beranova, 2009).	보통 신뢰수준: 강한 건조상태(SMA 및 CDD 감소)에 의해 영향을 받는 유럽 지역, 지중해 지역의 가장 크고 일관된 변화(T06; Burke and Brown, 2008; May, 2008; SW08b; Sillmann and Roeckner, 2008; 그림 3-10).
	G R	G R	G R	G R	GR
북유럽(NEU,11)	높은 신뢰수준: WD 빈도 증가 가능성이 매우 높다. 그러나 중부 유럽과 남유럽에서보다 작다(Fischer and Schar, 2010; 그림 3-3). CD 감소 가능성이 매우 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: 스칸디나비아와 북동유럽에서 가을, 겨울, 봄에 일반적으로 Tmax의 낮은 퍼센타일의 변화가 Tmax의 높은 퍼센타일의 변화보다 크다(OS11).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성이 매우 높다(Kjellström 등, 2007; Sillmann and Roeckner, 2008; 그림 3-4); WN 증가 가능성이 매우 높다(T06; 그림 3-4). 보통 신뢰수준: 스칸디나비아와 북동유럽에서 일반적으로 Tmin의 낮은 퍼센타일의 변화가 Tmin의 높은 퍼센타일의 변화보다 크다(Kjellström 등, 2007; OS11).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다. 그러나 남유럽에서보다 여름철 증가가 작으며 스칸디나비아 전역에서 변화가 거의 없다(Beniston 등, 2007; Koffi and Koffi, 2008; Fischer and Schar, 2010; OS11). 보통 신뢰수준: HW 강도증가 전망에 있어서 일부 모수화 선택에 대한 의존성(Clark 등, 2010).	높은 신뢰수준: 겨울철 북반구 45° N 지역에서 HP(강도와 빈도)와 %DP10의 증가 가능성이 매우 높다(Frei 등, 2006; T06; Beniston 등, 2007; Kendon 등, 2008; 그림 3-6). RV20HP 증가 가능성이 높다(그림 3-7).	보통 신뢰수준: 북유럽에서 건조상태(CDD, SMA)의 큰 변화는 없다(T06; SW08b; Sillmann and Roeckner, 2008; 그림 3-10).
	G R	G R	G R	G R	G
중부 유럽 (CEU, 12)	높은 신뢰수준: WD의 빈도 및 강도 증가(Fischer and Schar, 2010; 그림 3-3), CD의 빈도 감소(그림 3-3) 가능성이 매우 높다 RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: 여름철에 Tmax의 낮은 퍼센타일의 변화보다 높은 퍼센타일의 변화가 더 크다; 결과적으로 Tmax 변동이 매우 증가(Diffenbaugh 등, 2007; Kjellström 등, 2007; Fischer and Schar, 2009, 2010; OS11).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성이 매우 높다(Goubanova and Li, 2007; Kjellstrőm 등, 2007; Sillmann and Roeckner, 2008); WN 증가 가능성이 매우 높다(T06; 그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다(Beniston 등, 2007; Koffi and Koffi, 2008; Clark 등, 2010; Fischer and Schar, 2010; OS11). 보통 신뢰수준: HW 강도증가 전망에 있어서 일부 모수화 선택에 대한 의존성(Clark 등, 2010).	높은 신뢰수준: 대부분의 지역에서 겨울철에 HP(강도와 빈도) 증가 가능성이 높다(Frei 등, 2006; Beniston 등, 2007; Kendon 등, 2008; Kysely and Beranova, 2009; 그림 3-6). Likely increase in RV20HP(그림 3•7). 보통 신뢰수준: 여름철 일관되지 않은 증거: RCM의 여름철 증거에서 HP 증가(Christensen and Christensen, 2003; Frei 등, 2006), GCM 시그널 없음(그림. 3-6).	보통 신뢰수준: 중앙 유럽에서 건조상태(CDD, SMA) 증가(Seneviratne 등, 2006a; T06; 그림. 3-10). 보통 신뢰수준: 단기 가뭄 증가(SW08b).
	G R	G R	G R	G R	GR

다음 페이지에 계속 →

표 3-3 | (계속)

B. 유럽과 지중해 지역(계속)

지역	Tmax	Tmin	열파/온파	호우	건조상태
남유럽과 지중해 (MED,13)	높은 신뢰수준: WD 빈도 및 증가 가능성이 매우 높고 (Fischer and Schar, 2009, 2010; Giannakopoulos 등, 2009; 그림. 3-3), CD 감소 가능성이 매우 높다(그림. 3-4). RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5). 높은 신뢰수준: 무더운 여름일(>35℃) 과 열대야(>20℃) 가 함께 나타나는 날의 수가 증가할 가능성이 매우 높다(Fischer and Schar, 2010). 보통 신뢰수준: 여름철에 Tmax의 낮은 퍼센타일의 변화보다 높은 퍼센타일의 변화가 더 크다 (Diffenbaugh 등, 2007; Kjellstrbm 등, 2007; Fischer and Schar, 2009, 2010; OS11).	높은 신뢰수준: CN 감소 가능성이 매우 높다 (Goubanova and Li, 2007; Kjellstrbm 등, 2007; Sillmann and Roeckner, 2008). 높은 신뢰수준: WN 증가 가능성이 매우 높다 (T06; Sillmann and Roeckner, 2008; Giannakopoulos 등, 2009; 그림 3-4). 높은 신뢰수준: 열대야 증가 가능성이 매우 높다(Sillmann and Roeckner, 2008). 무더운 여름일(>35℃)과 열대야(>20℃)가 함께 나타나는 날의 수가 증가할 가능성이 매우 높다(Fischer and Schar, 2010). 보통 신뢰수준: 여름철에 지중해지역 여름철에서 일반적으로 Tmin의 낮은 퍼센타일의 변화보다 높은 퍼센타일의 변화가 더 크다(Diffenbaugh 등, 2007; OS11).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 지역 및 계절에 의존적임, 여름 철 일부 지역을 제외하고 모든 계절에서 HP강도 증가, 그러나 다른 일부 지역의 경우 감소 (예: 이베리아 반도) (T06; Goubanova and Li, 2007; Giorgi and Lionel, 2008; Giannakopoulos 등, 2009; 그림 3-6). RV20HP 변화에 대한 낮은 신뢰수준 RV20HP(그림 3-7).	낮은 신뢰수준: HP 강도 및 %D10의 일관되지 않은 증가, 지역 및 계절에 의존적임, 여름 철 일부 지역을 제외하고 모든 계절에서 HP강도 증가, 그러나 다른 일부 지역의 경우 감소 (예: 이베리아 반도) (T06; Goubanova and Li, 2007; Giorgi and Lionel, 2008; Giannakopoulos 등, 2009; 그림 3-6). RV20HP 변화에 대한 낮은 신뢰수준 RV20HP(그림 3-7).	보통 신뢰수준: 지중해 지역에서 건조상태(CDD, SMA) 증가 Mediterranean(T06; Beniston 등, 2007; SW08b; Sillmann and Roeckner, 2008; Giannakopoulos 등, 2009; 그림 3-10). 가뭄지역의 일관된 증가(Burke and Brown, 2008).
	G R	G R	G R	G R	GR

C. 아프리카

지역	Tmax	Tmin	열파/온파	호우	건조상태
아프리카 전체	높은 신뢰수준: 모든 지역에서 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). 모든 지역에서 RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5). 보통 신뢰수준: 여름과 가을에 WD가 가장 크게 증가(OS11).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06; Kharin 등, 2007; 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06; OS11).	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서부터 높은 신뢰수준: 대륙의 많은 지역에서 HP 지표의 일관되지 않은 변화 또는 시그널 없음 가장 강하고 일관된 시그널은 아프리카 동부의 HP 증가일 가능성이 높다(T06: 그림 3-6, 3-7; Shongwe 등, 2011).	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 대부분의 지역에서 낮은 신뢰수준, 동부 지역을 제외한 아프리카 남부에서 건조상태(CDD, SMA) 증가에 대한 신뢰수준은 보통(T06; SW08b; 그림 3-10).
	G	G	G	G	G
서아프리카 (WAF,15)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06; 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06; OS11).	하위 지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 보통 신뢰수준: 대부분의 지역에서 HP 지표의 약간의 변화 또는 변화 없음, 이에 대한 신뢰수준은 보통임; 지역의 북부에서 모델 간의 동의수준이 낮다는 점에서 신뢰수준이 낮음(T06; 그림. 3-6, 3-7).	낮은 신뢰수준: CDD 및 SMA의 일관되지 않은 변화신호(T06; 그림 3-10).
	G	G	G	G	G
동아프리카 (EAF,16)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06; 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: OS11).	높은 신뢰수준: HP 지표의 증가 가능성이 높다(T06: 그림 3-6; 그림 3-7: Shongwe 등, 2011).	보통 신뢰수준: 특히 SMA 및 CDD(부분적으로) 변화를 토대로 지역의 대부분에서 건조상태 감소(T06: 그림 3-10: Shongwe 등, 2011).
	G	G	G	G	G
남아프리카 (SAF,17)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다 (그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가(T06; 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: OS11).	낮은 신뢰수준: %DP10 및 기타 HP 지표에 대한 동의수준/신호 부족 RV20HP 증가에 대한 일부 모델 간의 일치(그림 3-7). 남서 지역에서 HP 강도 증가에 대한 일부 증거 존재(Hewitson and Crane, 2006; Rocha 등, 2008; Shongwe 등, 2009).	보통 신뢰수준: 동부 지역을 제외하고 건조상태(CDD, SMA) 증가(T06: Shongwe 등, 2009; 그림 3-10). 가뭄 지역의 일관된 증가(Burke and Brown, 2008).
	G	G	G	G	G
사하라(SAH,14)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06; 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: OS11).	낮은 신뢰수준: %DP10, RV20HP, 기타 HP 지표에 대한 낮은 동의수준/신호 없음(T06; 그림 3-6, 3-7).	낮은 신뢰수준: CDD 및 SMA의 일관되지 않은 변화 시그널 (T06; 그림 3-10).
	G	G	G	G	G

다음 페이지에 계속 →

표 3-3 | (계속)

D. 남아메리카

지역	Tmax	Tmin	열파/온파	호우	건조상태
남아메리카 전체	높은 신뢰수준: 모든 지역에서 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). 모든 지역에서 RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06: Kharin 등, 2007; Marengo 등, 2009a; 그림 3-4) CN 감소 가능성이 높다(Marengo 등, 2009a; 그림 3-4).	지역에 따라 중간에서 높은 신뢰수준: 연 시간규모에서 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다; 남아메리카 남동 지역에서 HW 지속시간 증가에 대한 신뢰수준은 보통에 그친다(T06: OS11).	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 중간 신뢰수준 일부 지역에서 HP 지표 변화의 일관되지 않은 신호; 일부 지역에 대해 모델간의 일치(T06: 그림 3-6, 3-7).	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 중간 신뢰수준 브라질 북동부 지역에서 건조상태(CDD 및 SMA) 증가를 제외하고 일관되지 않은 신호(SW08b: 그림 3-10)
	G	**G R**	**G**	**G**	**G**
아마존(AMZ,7)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가(T06: Marengo 등, 2009a: 그림 3-4) 및 CN 감소 가능성이 매우 높다.	높은 신뢰수준: 다중 모델 평가를 토대로, 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06, OS11); Uchiyama 등에 의한 단일 모델 및 단일 지수 연구에서 유의한 신호 없음(2006)	보통 신뢰수준: 강수 > 95퍼센타일 p 및 RV20HP 증가 경향, 그러나 일부 HP 지표의 일관성이 낮은 증가 및 단일 연구들(Kamiguchi 등, 2006: T06: Marengo 등, 2009a: Sorensson 등, 2010: 그림. 3-6 및 3-7).	낮은 신뢰수준: SMA의 일관되지 않은 신호(SW08b: 그림 3-10) 및 CDD의 일관되지 않은 신호(Kamiguchi 등, 2006; T06: Marengo 등, 2009a: Sorensson 등, 2010: 그림 3-10).
	G	**G R**	**G**	**G R**	**G R**
브라질 북동부 (NEB, 8)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가(T06: Marengo 등, 2009a: 그림 3-4), CN 감소(그림 3-4) 가능성이 높다.	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: OS11).	낮은 신뢰수준: %DP10 및 기타 HP 지표의 약한 변화 또는 변화 없음(Kamiguchi 등, 2006: T06: Marengo 등, 2009a: Sorensson 등, 2010: 그림 3-6 및 3-7).	보통 신뢰수준: 건조상태(CDD, SMA) 증가(Kamiguchi 등, 2006; T06; SW08b: Marengo 등, 2009a: Sorensson 등, 2010: 그림 3-10).
	G	**G R**	**G**	**G R**	**G R**
남아메리카 남동부 (SSA, 10)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가(T06: Marengo 등, 2009a: 그림 3-4) 및 CN 감소 가능성이 매우 높다.	보통 신뢰수준: 연 시간규모에서 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다; 다른 지역과 비교해 약한 신호, 그러나 주요 모델 전반에 걸쳐 강한 신호(증가) (T06: OS11).	보통 신뢰수준: 북부 지역에서 %DP10, 강수강도, 강수)95퍼센타일 p, RV20HP 증가 남부지역에 대한 신뢰수준은 낮다; HP 지표의 일관되지 않은 변화 또는 신호 없음(Kamiguchi 등, 2006: T06: Marengo 등, 2009a: Nunez 등, 2009: 그림 3-6 및 3-7).	낮은 신뢰수준: SMA의 일관되지 않은 신호(SW08b). 낮은 신뢰수준: 건조상태(CDD, SMA) 증가(Kamiguchi 등, 2006; T06: Marengo 등, 2009a: Sorensson 등, 2010: 그림 3-10).
	G	**G R**	**G**	**G R**	**G R**
남아메리카 서부연안(WSA, 9)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가(T06: Marengo 등, 2009a: 그림 3-4), CN 감소(그림 3-4) 가능성이 높다	높은 신뢰수준: 연 시간규모에서 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: OS11).	보통 신뢰수준: 열대 지역에서 %DP10, 강수)95퍼센타일 p, 기타 HP 지표 증가. 온대지역에 대한 신뢰수준은 낮다(Kamiguchi 등, 2006: T06: Marengo 등, 2009a: Sorensson 등, 2010: 그림 3-6). RV20HP 변화에 대한 낮은 신뢰수준 RV20HP(그림. 3-7).	낮은 신뢰수준: 지역 전반에 걸쳐 일관되지 않은 SMA 변화(그림 3-10), 열대지역에서 CDD 감소, 온대지역에서 CDD 증가(Kamiguchi 등, 2006; T06: Marengo 등, 2009a: Sorensson 등, 2010: 그림 3-10). 보통 신뢰수준: 남아메리카 남서 지역에서 CDD 증가 및 SMA 감소(SW08b: 그림 3-10).
	G	**GR**	**G**	**G R**	**G R**

다음 페이지에 계속 →

표 3-3 | (계속)

E. 아시아

지역	Tmax	Tmin	열파/온파	호우	건조상태
아시아 전체	높은 신뢰수준: 모든 지역에서 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). 모든 지역에서 RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06: Kharin 등, 2007; 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서부터 높은 신뢰수준 대부분의 지역(대륙)에서 연 시간규모에서 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 가능성이 높다: 인도네시아, 필리핀, 말레이시아, 파푸아뉴기니, 인근 섬 지역에서 일부 HW 지수의 일관되지 않은 신호로 인해 신뢰수준이 낮다(T06: OS11).	지역 및 지수에 따라 낮은 신뢰수준에서부터 높은 신뢰수준 아시아 북부 지역의 HP 증가 가능성에 대한 신뢰수준은 높다: 동남아시아와 티벳고원의 HP 증가에 대한 신뢰수준은 보통이다: 아시아 남부 및 서부 지역의 HP 증가에 대한 신뢰수준은 낮다(T06: 그림 3-6, 3-7).	낮은 신뢰수준: 많은 지역에서 모델들 간의 일관되지 않은 CDD 및 SMA 변화(T06: 그림 3-10).
	G	**G**	**G**	**G**	**G**
북아시아 (NAS, 18)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06: 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: OS11).	높은 신뢰수준: 대부분의 지역에서 HP 증가 가능성이 높다(T06: 그림. 3-6 및 3-7). 여기엔 HPD의 빈도와 강도 증가가 포함된다(Emori and Brown, 2005: Kamiguchi 등, 2006).	낮은 신뢰수준: 많은 지역에서 모델들 간의 일관되지 않은 건조상태(CDD, SMA) 변화(T06: SW08b: 그림 3-10).
	G	**G**	**G**	**G**	**G**
중앙 아시아 (CAS, 20)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06: 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다(T06: Clark 등, 2010: OS11).	낮은 신뢰수준: HP 변화와 관련하여 모델들의 일관되지 않은 시그널(T06: 그림 3-6). RV20HP전망에 대한 일부 모델의 일관성(그림 3-7).	낮은 신뢰수준: 지수(CDD, SMA) 전반의 일관되지 않은 시그널(T06: SW08b: 그림 3-10).
	G	**G**	**G**	**G**	**G**
동아시아(EAS, 22)	높은 신뢰수준: 지역 전반에 걸쳐 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(Clark 등, 2010: 그림 3-3). 이러한 지역에는 대한민국도 포함된다(Boo 등, 2006; Im and Kwon, 2007; Im 등, 2008, 2011; Koo 등, 2009). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06: 그림 3-4), CN은 감소할 가능성이 높다(그림 3-4). 여기에는 대한민국도 포함된다(Boo 등, 2006; Koo 등, 2009; Im 등, 2011).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다(T06: Clark 등, 2010: OS11).	보통 신뢰수준: 지역 전역에 걸쳐 HP 증가 (다른 지표보다 %DP10의 일관성이 낮다(T06: 그림. 3-6 및 3-7). 이러한 지역에는 대한민국과 일본이 포함된다(Emori and Brown, 2005; Kimoto 등, 2005; Boo 등, 2006; Kamiguchi 등, 2006; Kusunoki and Mizuta, 2008; Kitoh 등, 2009; Su 등, 2009; Kim 등, 2010; Im 등, 2011).	낮은 신뢰수준: 지수(CDD, SMA) 전반에 걸쳐 일관된 시그널(T06; SW08b; 그림 3-10).
	G R	**G R**	**G**	**G R**	**G**
동남아시아 (SEA, 24)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06: 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	하위 지역 및 지수에 따라 낮은 신뢰수준에서부터 높은 신뢰수준: 대륙 지역 전역에 걸쳐 연 시간규모에서 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다: 일부 HW 지수 변화에 대한 신뢰수준은 낮지만 인도네시아, 필리핀, 말레이시아, 파푸아뉴기니, 인근 섬 지역에서 WS 지수 증가와 관련하여 모델 간의 일치 존재(T06: OS11).	보통 신뢰수준: 모델 전반에 걸쳐 일관되지 않은 %DP10 변화 신호 T06: 그림 3-6) 그러나 HPD 빈도 및 강도 증가(RV20HP 증가 포함), 이는 비대륙 지역을 중심으로 대부분의 지역의 다른 지표들에 의해 뒷받침된다 (Emori and Brown, 2005: Kamiguchi 등, 2006: 그림. 3-6 및 3-7).	낮은 신뢰수준: CDD 및/또는 SMA의 일관되지 않은 변화신호(T06: SW08b: 그림 3-10).
	G	**G**	**G**	**G**	**G**
남아시아(SAS, 23)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(Kumar 등, 2006: Rajendran and Kitoh, 2008: 그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(T06: 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4). 보통 신뢰수준: 주간보다 야간의 극한기온의 상승률이 더 크다(Kumar 등, 2006).	높은 신뢰수준: 연 시간규모에서 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가 가능성이 높다(T06: OS11). 보통 신뢰수준: 지수 선택에 관한 일부 의존성 신호(OS11).	낮은 신뢰수준: %DP10의 약간의 증가 또는 증가 없음(T06: 그림 3-6). RV20HP 증가와 관련하여 일부 모델간의 일관성(그림 3-7). 낮은 신뢰수준: 아시아 남부 일부 지역에서 HPD 빈도 및 강도 증가(Emori and Brown, 2005: Kamiguchi 등, 2006: Kharin 등, 2007: Rajendran and Kitoh, 2008).	낮은 신뢰수준: CDD 및 SMA의 일관되지 않은 변화 시그널(T06: SW08b: 그림 3-10).
	G R	**G R**	**G**	**G R**	**G**

다음 페이지에 계속 →

표 3-3 | (계속)

E. 아시아 (계속)

지역	Tmax	Tmin	건조상태	열파/온파
서아시아 (WAS, 19)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(TO6: 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	낮은 신뢰수준: CDD 및 SMA의 일관되지 않은 변화 시그널(TO6: SW08b: 그림 3-10).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다(TO6: Clark 등, 2010: OS11). 보통 신뢰수준: 저수 선택에 관한 일부 의존성 시그널(OS11).
	G	G	G	
티벳 고원(TIB, 21)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 높다(그림 3-3), RV20AHD 증가 가능성이 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(TO6: 그림 3-4), CN 감소 가능성이 높다(그림 3-4).	낮은 신뢰수준: CDD의 일관되지 않은 변화 시그널(TO6: SW08b: 그림 3-10).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다(TO6: Clark 등, 2010: OS11).
	G	G	G	

F. 오스트레일리아/뉴질랜드

지역	Tmax	Tmin	건조상태	열파/온파
오스트레일리아 및 뉴질랜드 전체	높은 신뢰수준: 모든 지역에서 WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 매우 높다(CSIRO, 2007; Mullan 등, 2008: 그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: 모든 지역에서 WN 증가(TO6: Kharin 등, 2007; Alexander and Arblaster, 2009: 그림 3-4) 및 CN 감소 가능성이 매우 높다(그림 3-4). 보통 신뢰수준: 모든 지역에서 WN 증가 남부와 비교해 북부에서 WN이 가장 크게 증가, 내륙지역에서 가장 일관된 변화(Alexander and Arblaster, 2009).	낮은 신뢰수준: CDD 및 SMA의 일관되지 않은 시그널(TO6: SW08b: 그림 3-10).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다(TO6: Alexander and Arblaster, 2009; OS11). 보통 신뢰수준: 남서부에서 HW 지속기간의 가장 강한 증가, 내륙에서 대부분 일관된 증가(Alexander and Arblaster, 2009).
	G	G	G	
오스트레일리아 동부(NAU, 25)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 매우 높다(CSIRO, 2007: 그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(TO6; Alexander and Arblaster, 2009: 그림 3-4), CN 감소 가능성이 매우 높다(그림 3-4). 보통 신뢰수준: 오스트레일리아 남부에서보다 내륙의 대부분 일관된 증가(Alexander and Arblaster, 2009).	낮은 신뢰수준: CDD 및 SMA의 일관되지 않은 시그널(TO6: SW08b: 그림 3-10).	높은 신뢰수준: 열파와 온파의 빈도 증가 및/또는 기간 증가, 강도증가 가능성이 높다(TO6: Alexander and Arblaster, 2009; OS11). 보통 신뢰수준: 남서부에서 HW 지속기간의 가장 강한 증가, 내륙에서 대부분 일관된 증가(Alexander and Arblaster, 2009).
	G	G	G	
오스트레일리아 남부/뉴질랜드 (SAU, 26)	높은 신뢰수준: WD 증가 가능성과 CD 감소 가능성이 매우 높다(CSIRO, 2007: 그림 3-3). RV20AHD 증가 가능성이 매우 높다(그림 3-5). 낮은 신뢰수준에서 증간 신뢰수준: 뉴질랜드 북섬에서 WD의 가장 강한 증가, 남섬에서 시리얼수가 가장 크게 감소 (Mullan 등, 2008).	높은 신뢰수준: WN 증가 가능성과(TO6: Alexander and Arblaster, 2009: 그림 3-4), CN 감소 가능성이 매우 높다(그림 3-4). 보통 신뢰수준: 오스트레일리아 남부에서보다 작은 변화(Alexander and Arblaster, 2009).	지역에 따라 낮은 신뢰수준에서 중간 신뢰수준 오스트레일리아 남부의 CDD 증가와 관련하여 모델들의 결론 일치, 그러나 오스트레일리아 남부 대부분의 지역에서 SMA의 일관되지 않은 신호: 오스트레일리아 북부에서 CDD 및 SMA의 일관되지 않은 시그널(TO6; SW08b: 그림 3-10). 오스트레일리아 서부에서 CDD의 가장 강한 증가(Alexander and Arblaster, 2009). 이용되 자수에 따라 기둠지역의 일관되지 않은 변화(Burke and Brown, 2008).	보통 신뢰수준: 오스트레일리아 남부/남서부 포함의 CDD 증가와 관련하여 모델들의 결론이 일치한다(TO6; Alexander and Arblaster, 2009; 그림 3-10). 그러나 대부분의 지역에서 SMA의 일관되지 않은 시그널, 남서부에서 약간의 감소(SW08b: 그림 3-10).
	G R	G	G	

참고문헌

본장에인용된, 일반인이쉽게열람하기어려운비-저널문헌의디지털라이브러리는 IPCC 검토및초고과정의일부로서취합되었고, IPCC 사무국또는 IPCC 실무그룹 II 웹사이트를통해접근할수있다.

Abbs, D., and T. Rafter, 2008: The Effect of Climate Change on Extreme Rainfall Events in the Western Port Region. CSIRO Marine and Atmospheric Research, Aspendale, Australia, 23 pp.

Abeysirigunawardena, D.S. and I.J. Walker, 2008: Sea level responses to climatic variability and change in northern British Columbia. Atmosphere-Ocean, 46(3), 277-296.

Abeysirigunawardena, D.S., E. Gilleland, D. Bronaugh, and W. Wong, 2009: Extreme wind regime responses to climate variability and change in the inner south coast of British Columbia, Canada. Atmosphere-Ocean, 47(1), 41-62.

Adams, P.N., D.L. Imnan, and N.E. Graham, 2008: Southern California deep-water wave climate: Characterization and application to coastal processes. Journal of Coastal Research, 24(4), 1022-1035.

Aguilar, E., IC Peterson, P. Ramirez Obando, R. Frutos, JA Retana, M. Solera, J. Soley, I. Gonzalez Garcia, R.M.Araujo,A Rosa Santos, V.E. Valle, M. Brunet, L.Aguilar, L. Alvarez, M. Bautista, C Castafion, L. Herrara, E. Ruano, J.J. Sinay, E. Sanchez, G.1. Hernandez Oviedo, F. Obed, H. Salgado, J.L. Vazquez, M. Baca, M. Gutierrez, C Centella, J. Espinosa, D. Martinez, B. Olmedo, CE. Ojeda Espinoza, R. Nunez, M. Haylock, H. Benavides, and R. Mayorga, 2005: Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961- 2003. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 110, D231 07.

Aguilar, E.,AAziz Barry, M. Brunet, L. Ekang,A Fernandes, M. Massoukina, J. Mbah, A. Mhanda, D.J. do Nascimento, IC Peterson, M. Thamba Umba, M. Tomou, and x. Zhang, 2009: Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955-2006. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 114, D02115.

Aizen, V.B., VA Kuzmichenok,AB. Surazakov, and E.M.Aizen, 2007: Glacier changes in the Tien Shan as determined from topographic and remotely sensed data. Global and Planetary Change, 56(3-4), 328-340.

Alexander, L.V. and J.M. Arblaster, 2009: Assessing trends in observed and modelled climate extremes over Australia in relation to future projections. International Journal of Climatology, 29(3),417-435.

Alexander, L.V. and S. Power, 2009: Severe storms inferred from 150 years of sub¬daily pressure observations along Victoria's "Shipwreck Coast." Australian Meteorological and Oceanographic Journal, 58(2), 129-133.

Alexander, t.v, X. Zhang, IC Peterson, J. Caesar, B. Gleason, AM.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A Tagipour, K.R. Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D.B. Stephenson, J. Burn, E.Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, and J.L. Vazquez-Aguirre, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 111, D051 09.

Alexander, l.V, P. Uotila, and N. Nicholls, 2009: Influence of sea surface temperature variability on global temperature and precipitation extremes. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 114, D18116.

Alexander, l.v., X.L. Wang, H. Wan, and B. Trewin, 2011: Significant decline in storminess over southeast Australia since the late 19th century. Australian Meteorological and Oceanographic Journal, 61(1), 23-30.

Ali, A. and I Lebel, 2009: The Sahelian standardized rainfall index revisited. International Journal of Climatology, 29(12), 1705-1714.

Allamano, P., P. Claps, and F. Laio, 2009: Global warming increases flood risk in mountainous areas. Geophysical Research Letters, 36, L24404.

Allan, J.C and P.D. Komar, 2006: Climate controls on US West Coast erosion processes. Journal of Coastal Research, 22(3), 511-529.

Allan, R., S. Tett, and L. Alexander, 2009: Fluctuations in autumn-winter severe storms over the British Isles: 1920 to present. International Journal of Climatology, 29(3),357-371.

Allan, R.P. and B.J. Soden, 2008: Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. Science, 321 (5895), 1481-1484.

Allen, M., 2003: Liability for climate change: will it ever be possible to sue anyone for damaging the climate? Nature, 421(6926), 891-892.

Allen, M.R., D.J. Frame, C Huntingford, CD. Jones, JA Lowe, M. Meinshausen, and N. Meinshausen, 2009: Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. Nature, 458(7242), 1163-1166.

Allen, S.K., S.C Cox, and I.F. Owens, 2011: Rock-avalanches and other landslides in the central Southern Alps of New Zealand: A regional assessment of possible climate change impacts. Landslides, 8(1), 33-48.

An, S.I.,A. Timmermann, L. Bejarano, F.F. Jin, F. Justino, Z. Liu, and AW. Tudhope, 2004: Modeling evidence for enhanced EI Nino-Southern Oscillation amplitude during the Last Glacial Maximum. Paleoceanography, 19, PA4009.

Anders, I., and B. Rockel, 2009: The influence of prescribed soil type distribution on the representation of present climate in a regional climate model. Climate Dynamics, 33(2-3), 177-186.

Andersen, O.B., S.1. Seneviratne, J. Hinderer, and P. Viterbo, 2005: GRACE-derived terrestrial water storage depletion associated with the 2003 European heat wave. Geophysical Research Letters, 32, L 18405.

Anderson, c.J., R.w.Arritt, E.S. Takle, Z.I Pan, w.J. Gutowski, F.O. Otieno, R. da Silva, D. Caya, J.H. Christensen, D. Luthi, MA Gaertner, C Gallardo, F. Giorgi, S.Y. Hong, C Jones, H.M.H. Juang, J.J. Katzfey, W.M. Lapenta, R. Laprise, J.w. Larson, G.E. Liston, J.L. McGregor, R.A. Pielke, J.O. Roads, and JA Taylor, 2003: Hydrological processes in regional climate model simulations of the central United States flood of June-July 1993. Journal of Hydrometeorology, 4(3),584-598.

Andrade, C, H.O. Pires, R. Taborda, and M.C Freitas, 2007: Projecting future changes in wave climate and coastal response in Portugal by the end of the 21 st century. Journal of Coastal Research, S150, 253-257.

Andreadis, K.M. and D.P. Lettenmaier, 2006: Trends in 20th century drought over the continental United States. Geophysical Research Letters, 33, L 10403.

Andreadis, K.M., EA Clark, AW. Wood, AF. Hamlet, and D.P. Lettenmaier, 2005: Twentieth-century drought in the conterminous United States. Journal of Hydrometeorology, 6(6), 985-1001.

Arblaster, J.M., G.A. Meehl, and D.J. Karoly, 2011: Future climate change in the Southern Hemisphere: Competing effects of ozone and greenhouse gases. Geophysical Research Letters, 38, L02701.

Arriaga-Ramirez, S. and I Cavazos, 2010: Regional trends of daily precipitation indices in Northwest Mexico and the Southwest United States. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 115, D14111.

Aryal, S.K., B.C Bates, E.D. Campbell, Y. u M.J. Palmer, and N.R. Viney, 2009: Characterizing and modeling temporal and spatial trends in rainfall extremes. Journal of Hydrometeorology, 10(1), 241-253.

Ashfaq, M., Y. Shi, w.w. Tung, R.J. Trapp, X. Gao, S.J. Pal, and N.S. Diffenbaugh, 2009: Suppression of south Asian summer monsoon precipitation in the 21 st century. Geophysical Research Letters, 36, L01704.

Asokan, S.M., and D. Dutta, 2008:Analysis of water resources in the Mahanadi River Basin, India under projected climate conditions. Hydrological Processes, 22(18),3589-3603.

Augustinus, P., 1995: Rock mass strength and the stability of some glacial valley slopes.leitschrift Für Geomorphologie, 39(1), 55-68.

Aunan, K., and B. Romstad, 2008: Strong coasts and vulnerable communities: Potential implications of accelerated sea-level rise for Norway. Journal of Coastal Research, 24(2),403-409.

Bader, J., M.D.S. Mesquita, K.1. Hodges, N. Keenlyside, S. Osterhus, and M. Miles, 2011: A review on Northern Hemisphere sea-ice, storminess and the North Atlantic Oscillation: Observations and projected changes. Atmospheric Research, 101(4), 809-834, doi:1 0.1 016/j.atmosres.2011.1 004.1 007.

Bajracharya, S.R. and P. Mool, 2009: Glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst floods in the Mount Everest region, Nepal. Annals of Glaciology, 50(53), 81-86.

Ballester, J., F. Giorgi, and X. Rodo, 2010: Changes in European temperature extremes can be predicted from changes in PDF central statistics. Climatic Change, 98(1-

2), 277-284.

Barla, G., F. Dutto, and G. Mortara, 2000: Brenva glacier rock avalanche of 18 January 1997 on the Mount Blanc range, northwest Italy. Landslide News, 13, 2-5.

Barnett, D.N., S.J. Brown, J.M. Murphy, D.M.H. Sexton, and M.J. Webb, 2006: Quantifying uncertainty in changes in extreme event frequency in response to doubled C02 using a large ensemble of GCM simulations. Climate Dynamics, 26(5),489-511.

Barnett, IP., D.W Pierce, H.G. Hidalgo, C. Bonfils, B.D. Santer, 1 Das, G. Bala, AW Wood, 1 Nozawa, AA Mirin, D.R. Cayan, and M.D. Dettinger, 2008: Human¬induced changes in the hydrology of the western United States. Science, 319(5866),1080-1083.

Barring, L. and K. Fortuniak, 2009: Multi-indices analysis of southern Scandinavian storminess 1780-2005 and links to interdecadal variations in the NW Europe¬North Sea region. International Journal of Climatology, 29(3),373-384.

Barring, L., and H. von Storch, 2004: Scandinavian storminess since about 1800. Geophysical Research Letters, 31, L20202.

Barring, L., 1 Holt, M.L. Linderson, M. Radziejewski, M. Moriondo, and J.P. Palutikof, 2006: Defining drylwet spells for point observations, observed area averages, and regional climate model gridboxes in Europe. Climate Research, 31(1), 35-49.

Barriopedro, D., E.M. Fischer, J. Luterbacher, R.M. Trigo, and R. Garcia-Herrera, 2011: The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. Science, 332(6026), 220-224.

Barros, V., L. Chamorro, G. Coronel, and J. Baez, 2004: The major discharge events in the Paraguay River: Magnitudes, source regions, and climate forcings. Journal of Hydrometeorology, 5(6), 1161-1170.

Bartholy, J., and R. Pongracz, 2007: Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. Global and Planetary Change, 57, 83-95.

Bartolini, G., M. Morabito, A Crisci, D. Grifoni, 1 Torrigiani, M. Petralli, G. Maracchi, and S. Orlandini, 2008: Recent trends in Tuscany (Italy) summer temperature and indices of extremes. International Journal of Climatology, 28(13), 1751-1760.

Bates, B.C., Z.W Kundzewics, S. Wu, and J.P. Palutikof, 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change.IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland, 210 pp.

Beaulant,AL., B. Joly, O. Nuissier, S. Sornot, V. Ducrocq,A Joly, F. Sevault, M. Deque, and D. Ricard, 2011: Statistico-dynamical downscaling for Mediterranean heavy precipitation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137(656), 736-748.

Begueria, S., S.M. Vicente-Serrano, and M. Angulo-Martinez, 2010: A multiscalar global drought dataset: The SPEIbase: A new gridded product for the analysis of drought variability and impacts. Bulletin of the American Meteorological Society, 91(10), 1351-1354.

Beirlant, J., Y. Goegebeur, J. Teugels, and J. Segers, 2004: Statistics of Extremes: Theory and Applications. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, England, 498 pp.

Beltaos, S. and 1 Prowse, 2009: River-ice hydrology in a shrinking cryosphere. Hydrological Processes, 23(1), 122-144.

Bender, MA, lR. Knutson, R.E. Tuleya, J.J. Sirutis, GA Vecchi, S.l Garner, and I.M. Held, 2010: Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes. Science, 327(5964), 454-458.

Benestad, R.E., 2001: A comparison between two empirical downscaling strategies. International Journal of Climatology, 21 (13), 1645-1668.

Benestad, R.E., 2003: How often can we expect a record event? Climate Research, 25(1),3-13.

Benestad, R.E., 2006: Can we expect more extreme precipitation on the monthly time scale? Journal of Climate, 19(4), 630-637.

Benestad, R.E., 2007: Novel methods for inferring future changes in extreme rainfall over Northern Europe. Climate Research, 34(3),195-210.

Benestad, R.E., and H. Haugen, 2007: On complex extremes: flood hazards and combined high spring-time precipitation and temperature in Norway. Climatic Change, 85(3-4), 381-406.

Benestad, R.E., I. Hanssen-Bauer, and E.J. Forland, 2007: An evaluation of statistical models for downscaling precipitation and their ability to capture long-term trends. International Journal of Climatology, 27(5), 649-665.

Bengtsson, L., S. Hagemann, and K.1. Hodges, 2004: Can climate trends be calculated from reanalysis data? Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 109, D11111.

Bengtsson, L., K.1. Hodges, and E. Roeckner, 2006: Storm tracks and climate change. Journal of Climate, 19(15),3518-3543.

Bengtsson, L., K.1. Hodges, M. Esch, N. Keenlyside, L. Kornblueh, J.J. Luo, and 1 Yamagata, 2007: How may tropical cyclones change in a warmer climate? Tellus Series A - Dynamic Meteorology and Oceanography, 59(4), 539-561.

Bengtsson, L., K.1. Hodges, and N. Keenlyside, 2009: Will extratropical storms intensify in a warmer climate? Journal of Climate, 22(9), 2276-2301.

Beniston, M., 2004: The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. Geophysical Research Letters, 31, L02202.

Beniston, M., 2009a: Decadal-scale changes in the tails of probability distribution functions of climate variables in Switzerland. International Journal of Climatology, 29(10),1362-1368.

Beniston, M., 2009b: Trends in joint quantiles of temperature and precipitation in Europesince 1901 and projected for 2100. Geophysical Research Letters, 36, L07707.

Beniston, M., D.B. Stephenson, O.B. Christensen, CAl Ferro, C. Frei, S. Goyette, K. Halsnaes, 1 Holt, K. Jylha, B. Koffi, J. Palutikof, R. Schoell, 1 Semmler, and K. Woth, 2007: Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. Climatic Change, 81, 71-95.

Benito, G., A Diez-Herrero, and M.F. de Villa Ita, 2003: Magnitude and frequency of flooding in the Tagus basin (Central Spain) over the last millennium. Climatic Change, 58(1-2), 171-192.

Benito, G., M. Barriendos, C. l.lasat, M. Machado, and V. Thorndycraft, 2005: Impacts on natural hazards of climatic origin. Flood risk. In: A Preliminary General Assessment of the Impacts in Spain Due to the Effects of Climate Change [Moreno, J.M. (ed.)]. Ministry of Environment, Spain, pp. 507-527.

Benito, G., V.R. Thorndycraft, M. Rico, Y. Sanchez-Moya, and A Sopena, 2008: Palaeoflood and floodplain records from Spain: Evidence for long-term climate variability and environmental changes. Geomorphology, 101(1-2), 68-77.

Bergametti, G. and F. Dulac, 1998: Mineral aerosols: Renewed interest for climate forcing and tropospheric chemistry studies.IGACtivities Newsletter, 11, 13-17.

Bernier, N.B., K.R. Thompson, J. Ou, and H. Ritchie, 2007: Mapping the return periods of extreme sea levels: Allowing for short sea level records, seasonality, and climate change. Global and Planetary Change, 57(1-2), 139-150.

Betts, RA, O. Boucher, M. Collins, P.M. Cox, P.D. Falloon, N. Gedney, D.L. Hemming, C. Huntingford, C.D. Jones, D.M.W Sexton, and M.J. Web, 2007: Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. Nature, 448(7157), 1037-1041.

Bevan, S.L.N., P. R. J. North, WM.F. Grey, S.O. Los, and S.E. Plummer, 2009: Impact of atmospheric aerosol from biomass burning on Amazon dry-season drought. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 114, D09204.

Bhutiyani, M.R., V.S. Kale, and N.J. Pawar, 2008: Changing streamflow patterns in the rivers of northwestern Himalaya: Implications of global warming in the 20th century. Current Science, 95(5), 618-626.

Biasutti, M., AH. Sobel, and S.J. Camargo, 2009: The role of the Sahara Low in summertime Sahel rainfall variability and change in the CMIP3 models. Journal of Climate, 22(21), 5755-5771.

Bindoff, N.L., J. Willebrand, V.Artale,A Cazenave, J.M. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Ouere, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley, and AS. Unnikrishnan, 2007: Observations: Oceanic climate change and sea level. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 385-432.

Bister, M. and KA Emanuel, 1998: Dissipative heating and hurricane intensity. Meteorology and Atmospheric Physics, Vienna, Austria, 65(3-4), 233-240.

Bister, M. and KA Emanuel, 2002: Low frequency variability of tropical cyclone potential intensity 2. Climatology for 1982-1995. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 107(022),4621-4624.

Björnsson, H., 2003: Subglacial lakes and jokulhlaups in Iceland. Global and Planetary Change, 35(3-4), 255-271.

Blenkinsop, S. and H.J. Fowler, 2007a: Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. Journal of Hydrology, 342, 50-71.

Blenkinsop, S. and H.J. Fowler, 2007b: Changes in European drought characteristics projected by the PRUDENCE regional climate models. International Journal of Climatology, 27(12), 1595-1610.

Blewitt, G., Z. Altamimi, J. Davis, R. Gross, e.-Y. Kuo, F.G. Lemoine, AW, Moore, R.E. Neilan, H.-P. Plag, M. Rothacher, e.K. Shum, M.G. Sideris, T. Schone, P. Tregoning, and S. Zerbini, 2010: Geodetic observations and global reference frame contributions to understanding sea-level rise and variability. In: Understanding Sea-Level Rise and Variability [Church, J.A., P.L. Woodworth, T. Aarup, and W,S. Wilson (eds.)]. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, pp. 256-284.

Boberg, F., P. Berg, P. Thejll, w,J. Gutowski, and J.H. Christensen, 2009a: Improved confidence in climate change projections of precipitation evaluated using daily statistics from the PRUDENCE ensemble. Climate Dynamics, 32(7-8),1097-1106.

Boberg, F., P. Berg, P. Thejll, w,J. Gutowski, and J.H. Christensen, 2009b: Improved confidence in climate change projections of precipitation further evaluated using daily statistics from the PRUDENCE ensemble. Climate Dynamics, 35(7-8), 1509-1520.

Boe, J., and L. Terray, 2008: Uncertainties in summer evapotranspiration changes over Europeand implications for regional climate change. Geophysical Research Letters, 35, L05702.

Boer, G.J., 2009: Changes in interannual variability and decadal potential predictability under global warming. Journal of Climate, 22,3098-3109.

Bollasina, M., and S. Nigam, 2009: Indian Ocean SST, evaporation, and precipitation during the South Asian summer monsoon in IPCC-AR4 coupled simulations. Climate Dynamics, 33(7-8), 1017-1032.

Bonan, G.B., 2008: Forests and climate change: Forcing, feedbacks, and the climate benefit of forests. Science, 320, 1444-1449.

Bondi, F. and L. Salvatori, 2003: The 5-6 May 1998 mudflows in Campania, Italy. In: Lessons Learnt from Landslide Disasters in Europe[Hervas, J. (ed.)]. European Commission, Brussels, Belgium, pp. 102.

Bongaerts, P., T. Ridgway, E. Sampayo, and O. Hoegh-Guldberg, 2010: Assessing the 'deep reef refugia' hypothesis: focus on Caribbean reefs. Coral Reefs, 29(2), 309-327.

Boo, K.O., w,T. Kwon, and H.J. Baek, 2006: Change of extreme events of temperature and precipitation over Korea using regional projection of future climate change. Geophysical Research Letters, 33, L01701.

Brabson, B.B., D.H. Lister, P.D. Jones, and J.P. Palutikof, 2005: Soil moisture and predicted spells of extreme temperatures in Britain. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 110, D051 04.

Branstator, G., and F. Selten, 2009: "Modes of Variability" and climate change. Journal of Climate, 22(10), 2639-2658.

Brayshaw, D.J., B. Hoskins, and M. Blackburn, 2008: The storm-track response to idealized SST perturbations in an aquaplanet GCM. Journal of the Atmospheric Sciences, 65(9), 2842-2860.

Brazdil, R., e. Pfister, H. Wanner, H. Von Storch, and J. Luterbacher, 2005: Historical climatology in Europe- The state of the art. Climatic Change, 70(3),363-430.

Brazdil, R., Z.w' Kundzewicz, and G. Benito, 2006: Historical hydrology for studying flood risk in Europe. Hydrological Sciences Journal, 51(5), 739-764.

Brazdil, R., M. Trnka, P. Dobrovolny, K. Chromi, P. Hlavinka, and Z. Zalud, 2009: Variability of droughts in the Czech Republic, 1881-2006. Theoretical and Applied Climatology, 97(3-4), 297-315.

Breda, N., and V. Badeau, 2008: Forest tree responses to extreme drought and some biotic events: Towards a selection according to hazard tolerance? Comptes Rendus Geoscience, 340(9-10), 651-662.

Brockhaus, P., D. Luthi, and e. Schar, 2008: Aspects of the diurnal cycle in a regional climate model. Meteorologische leitschrift, 17(4), 433-443.

Bromirski, P.D., R.E. Flick, and D.R. Cayan, 2003: Storminess variability along the California coast: 1858-2000. Journal of Climate, 16(6), 982.

Brooks, H.E., and N. Dotzek, 2008: The spatial distribution of severe convective storms and an analysis of their secular changes. In: Climate Extremes and Society [Diaz, H.F., and R. Murnane (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, NY, pp. 35-53.

Brovkin, V., T. Raddatz, e.H. Reick, M. Claussen, and V. Gayler, 2009: Global biogeophysical interactions between forest and climate. Geophysical Research Letters, 36, L07405.

Brown, J., M. Collins, and A. Tudhope, 2006: Coupled model simulations of mid¬Holocene EN SO and comparisons with coral oxygen isotope record. Advances in Geosciences, 6, 29-33.

Brown, J.M., AJ. Souza, and J. Wolf, 2010: Surge modelling in the eastern Irish Sea: present and future storm impact. Ocean Dynamics, 60(2), 227-236.

Brown, R.D., and P.w' Mote, 2009: The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. Journal of Climate, 22(8), 2124-2145.

Brown, S.J., J. Caesar, and CAT. Ferro, 2008: Global changes in extreme daily temperature since 1950. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 113, D05115.

Brunet, M., P.D. Jones, J. Siqro, O. Saladie, E. Aguilar, A Moberg, P.M. Della-Marta, D. Lister, A Walther, and D. Lopez, 2007: Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 112, D12117.

Bryan, K.R., P.S. Kench, and D.E. Hart, 2008: Multi-decadal coastal change in New Zealand: Evidence, mechanisms and implications. New lealand Geographer, 64(2),117-128.

Buntgen, U., V. Irouet, D. Frank, H.H. Leuschner, D. Friedrichs, J. Luterbacher, and J. Esper, 2010: Tree-ring indicators of German summer drought over the last millennium. Quaternary Science Reviews, 29(7-8), 1005-1016.

Burke, E.J., and S.J. Brown, 2008: Evaluating uncertainties in the projection of future drought. Journal of Hydrometeorology, 9(2), 292-299.

Burke, E.J., S.J. Brown, and N. Christidis, 2006: Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre climate model. Journal of Hydrometeorology, 7(5), 1113-1125.

Burke, E.J., R.H.J. Perry, and S.J. Brown, 2010: An extreme value analysis of UK drought and projections of change in the future. Journal of Hydrology, 388(1-2), 131-143.

Burkholder, BA and D.J. Karoly, 2007: An assessment of US climate variability using the Climate Extremes Index. In: Proceedings of the Nineteenth Conference on Climate Variability and Change, San Antonio, TX, 15-18 January 2007, pp. 2B.9.

Burton, A, e.G. Kilsby, H.J. Fowler, P.S.P. Cowpertwait, and P.E. O'Connell, 2008: RainSim: A spatial-temporal stochastic rainfall modelling system. Environmental Modelling & Software, 23(12), 1356-1369. Caesar, J., L. Alexander, and R. Vose, 2006: Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 111, D051 01. Caesar, J., L.V. Alexander, B. Trewin, K. Tse-ring, L. Sorany, V. Vuniyayawa, N. Keosavang, A Shim ana, M.M. Htay, J. Karmacharya, DA Jayasinghearachchi, J. Sakkamart, A Soares, L.T. Hung, L.T. Thuong, e.T. Hue, N.n. Dung, P.V. Hung, H.D. Cuong, N.M. Cuong, and S. Sirabaha, 2011: Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo-Pacific region from 1971 to 2005. International Journal of Climatology, 31(6),791-801.

Callaghan, J., and S. Power, 2011: Variability and decline in the number of severe tropical cyclones making land-fall over eastern Australia since the late nineteenth century. Climate Dynamics, 37(3-4), 647-662, doi:1 0.1 007/s00382- 00010-00883-00382.

Camberlin, P., V. Moron, R. Okoola, N. Philippon, and W, Gitau, 2009: Components of rainy seasons' variability in Equatorial East Africa: onset, cessation, rainfall frequency and intensity. Theoretical and Applied Climatology, 98(3-4), 237-249.

Cambers, G., 2009: Caribbean beach changes and climate change adaptation. Aquatic Ecosystem Health & Management, 12(2), 168-176.

Cameron, D., 2006:An application ofthe UKCIP02 climate change scenarios to flood estimation by continuous simulation for a gauged catchment in the northeast of Scotland, UK (with uncertainty). Journal of Hydrology, 328(1-2), 212-226.

Camilloni, I.A. and V.R. Barros, 2003: Extreme discharge events in the Parana River

and their climate forcing. Journal of Hydrology, 278(1-4), 94-106.

Campbell, J.D., M.A. Taylor, IS. Stephenson, R.A. Watson, and F.S. Whyte, 2011: Future climate of the Caribbean from a regional climate model. International Journal of Climatology, 31 (12), 1866-1878, doi:1 0.1 002/joc.2200.

Camuffo, D., C. Bertolin, M. Barriendos, F. Dominguez-Castro, C. Cocheo, S. Enzi, M. Sghedoni, A della Valle, E. Garnier, M.J. Alcoforado, E. Xoplaki, J. Luterbacher, N. Diodato, M. Maugeri, M.F. Nunes, and R. Rodriguez, 2010: 500-year temperature reconstruction in the Mediterranean Basin by means of documentary data and instrumental observations. Climatic Change, 101(1-2), 169-199.

Cane, M.A., 2005: The evolution of El Nino, past and future. Earth and Planetary Science Letters, 230(3-4), 227-240.

Cao, Z., 2008: Severe hail frequency over Ontario, Canada: Recent trend and variability. Geophysical Research Letters, 35, L 14803.

Caplan-Auerbach, J., and C. Huggel, 2007: Precursory seismicity associated with frequent, large ice avalanches on Iliamna volcano, Alaska, USA Journal of Glaciology, 53(180), 128-140.

Capra, L., 2006: Abrupt climatic changes as triggering mechanisms of massive volcanic collapses. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 155(3-4), 329-333.

Carey, M., 2005: Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. Global and Planetary Change, 47(2-4), 122-134.

Carey-Smith, I, S. Dean, J. Vial, and C. Thompson, 2010: Changes in precipitation extremes for New Zealand: climate model predictions. Weather and Climate, 30, 23-48.

Carter, IR., R.N. Jones, X. I.u, S. Bhadwal, C. Conde, L.O. Mearns, B.C. O'Neill, M.D.A. Rounsevell, and M.B. Zurek, 2007: New assessment methods and the characterisation of future conditions. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 133-171.

Cassou, c., L. Terray, and AS. Phillips, 2005: Tropical Atlantic influence on European heat waves. Journal of Climate, 18(15), 2805-2811.

Catto, J.L., L.C. Shaffrey, and K.I. Hodges, 2010: Can climate models capture the structure of extratropical cyclones? Journal of Climate, 23(7), 1621-1635.

Cavazos, I, C. Iurrent, and D.P. Lettenmaier, 2008: Extreme precipitation trends associated with tropical cyclones in the core of the North American monsoon. Geophysical Research Letters, 35, L21703.

Cayan, D.R., P.D. Bromirski, K. Hayhoe, M. Tyree, M.D. Dettinger, and R.E. Flick, 2008: Climate change projections of sea level extremes along the California coast. Climatic Change, 87(S1), 57-73.

Cayan, D.R., I Das, D.w. Pierce, IP. Barnett, M. Tyree, and A Gershunov, 2010: Future dryness in the southwest US and the hydrology of the early 21 st century drought. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(50), 21271-21276.

Cazenave, A and W. Llovel, 2010: Contemporary sea level rise. Annual Review of Marine Science, 2, 145-173.

CCSP, 2008: Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research [Karl, IR., G.A. Meehl, D.M. Christopher, S.J. Hassel, AM. Waple, and W.L. Murray (eds.)]. Department of Commerce, NOAA's National Climatic Data Center, Wash ington, DC. 164 pp.

Chambers, L.E. and G.M. Griffiths, 2008: The changing nature of temperature extremes in Australia and New Zealand. Australian Meteorological Magazine, 57(1),13-35.

Chan, J.C.L. and M. Xu, 2009: Inter-annual and inter-decadal variations of landfalling tropical cyclones in EastAsia. Part I: Time series analysis. International Journal of Climatology, 29(9), 1285-1293.

Chang, E.K.M., 2007: Assessing the Increasing Trend in Northern Hemisphere Winter Storm Track Activity Using Surface Ship Observations and a Statistical Storm Track Model. Journal of Climate, 20, 5607-5628.

Chang, E.K.M., 2009: Are band-pass variance statistics useful measures of storm track activity? Re-examining storm track variability associated with the NAO using multiple storm track measures. Climate Dynamics, 33(2-3), 277-296.

Chang, E.K.M. and Y. Guo, 2007: Is the number of North Atlantic tropical cyclones significantly underestimated prior to the availability of satellite observations? Geophysical Research Letters, 34, L 14801.

Chauvin, F., H. Royer, and M. Deque, 2006: Response of hurricane-type vortices to global warming as simulated by ARPEGE-Climat at high resolution. Climate Dynamics, 27(4), 377-399.

Chen, C.-I and I Knutson, 2008: On the verification and comparison of extreme rainfall indices from climate models. Journal of Climate, 21(7), 1605-1621.

Chen, J., F.P. Brissette, and R. Leconte, 2011: Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. Journal of Hydrology, 401 (3-4), 190-202.

Chen, J.L., C.R. Wilson, B.D. Tapley, Z.L. Yang, and G.Y. Niu, 2009: 2005 drought event in the Amazon River basin as measured by GRACE and estimated by climate models. Journal of Geophysical Research - Solid Earth, 114, B05404.

Chenoweth, M. and M. Devine, 2008: A document-based 318-year record of tropical cyclones in the Lesser Antilles, 1690-2007. Geochemistry Geophysics Geosystems, 9, Q08013.

Cherchi, A, S. Masina, and A. Navarra, 2008: Impact of extreme CO_2levels on tropical climate: a CGCM study. Climate Dynamics, 31(7-8), 743-758.

Cherry, N.J., 1988: Comment on long-term associations between wind speeds and the urban heat-island of Phoenix, Arizona. Journal of Applied Meteorology, 27(7), 878-880.

Chiapello, I., C. Moulin, and J.M. Prospero, 2005: Understanding the long-term variability of African dust transport across the Atlantic as recorded in both Barbados surface concentrations and large-scale Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) optical thickness. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 110, D18S1 O.

Chiarle, M., S. Iannotti, G. Mortara, and P. Deline, 2007: Recent debris flow occurrences associated with glaciers in the Alps. Global and Planetary Change, 56(1-2), 123-136.

Chini, N., P. Stansby, J. Leake, J. Wolf, J. Roberts-Jones, and J. Lowe, 2010: The impact of sea level rise and climate change on inshore wave climate: A case study for East Anglia (UK). Coastal Engineering, 57(11-12), 973-984.

Choi, G., D. Collins, R. Guoyu, B. Trewin, M. Baldi, Y. Fukuda, M. Afzaal, I Pianmana, P. Gomboluudev, P.T.T. Huong, N. Lias, W.I Kwon, K.O. Boo, Y.M. Cha, and Y. Zhou, 2009: Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955-2007. International Journal of Climatology, 29(13), 1956-1975.

Chowdhury, M.R., P.S. Chu, and I Schroeder, 2007: ENSO and seasonal sea-level variability - A diagnostic discussion for the US-affiliated Pacific Islands. Theoretical and Applied Climatology, 88(3-4), 213-224.

Christensen, J.H. and O.B. Christensen, 2003: Climate modeling: Severe summertime flooding in Europe. Nature, 421,805-806.

Christensen, J.H. and O.B. Christensen, 2007: A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. Climatic Change, 81(S1), 7-30.

Christensen, J.H., B. Hewitson,A Busuioc,A Chen, X. Gau, I. Held, R. Jones, R. Kolli, W. Kwon, R. Laprise, V. Magana Rueda, L. Mearns, C. Menendez, J. Raisanen, A Rinke, A San; and P. Whetton, 2007: Regional climate projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 847-940.

Christidis, N., P.A. Stott, S. Brown, G. Hegerl, and J. Caesar, 2005: Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century. Geophysical Research Letters, 32, L20716.

Christi dis, N., P.A. Stott, G.S. Jones, H. Shiogama, I Nozawa, and J. Luterbacher, 2011 a: Human activity and anomalously warm seasons in Europe. International Journal of Climatology, doi:1 0.1 002/joc.2262.

Christi dis, N., PA Stott, and S.J. Brown, 2011 b: The role of human activity in the recent warming of extremely warm daytime temperatures. Journal of Climate, 24(7), 1922-1930.

Church, JA and N.J. White, 2011: Sea-level rise from the late 19th to the early 21 st century. Surveys in Geophysics, 32(4-5), 585-602, doi:1 0.1 007/s1 0712-1 0011- 19119-10711.

Church, JA, J.R. Hunter, K.L. Mcinnes, and N.J. White, 2006a: Sea-level rise around the Australian coastline and the changing frequency of extreme sea-level events. Australian Meteorological Magazine, 55(4), 253-260.

Church, JA, N.J. White, and J.R. Hunter, 2006b: Sea-level rise at tropical Pacific and Indian Ocean Islands. Global and Planetary Change, 53(3), 155-168.

Church, JA, N.J. White, J.R. Hunter, K.L. Mcinnes, P. J. Cowell, and S.P. O'Farrell, 2008: Sea-level rise. In: Transitions: Pathways Towards Sustainable Urban Development in Australia [Newton, E.P. (ed.)]. CSIRO Publishing and Springer Science, Collingwood, Australia, pp. 691.

Church, JA, D. Roemmich, C.M. Domingues, J.K. Willis, N.J. White, H. Gilson, D. Stammer, A Köhl, D.P. Chambers, F.W, Landerer, J. Marotzke, J.M. Gregory, I Suzuki, A Cazenave, and P.-y' Le Traon, 2010: Ocean temperature and salinity contributions to global and regional sea-level change. In: Understanding Sea¬Level Rise and Variability [Church, JA, P. L. Woodworth, I Aarup, and w'S. Wilson (eds.)]. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, pp. 143-176.

Church, J.A., J.M. Gregory, N.J. White, S.M. Platten, and J.X. Mitrovica, 2011: Understanding and projecting sea level change. Oceanography, 24(2), 130-143.

Chust, G., A Borja, P. Liria, I. Galparsoro, M. Marcos, A Caballero, and R. Castro, 2009: Human impacts overwhelm the effects of sea-level rise on Basque coastal habitats (N Spain) between 1954 and 2004. Estuarine Coastal and Shelf Science, 84(4), 453-462.

Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogee, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, C. Bernhofer, A Carrara, F. Chevallier, N. De Noblet, A Friend, P. Friedlingstein, I Grunwald, B. Heinesch, P. Keronen, A Knohl, G. Krinner, D. Loustau, G. Manca, G. Matteucci, F. Miglietta, J. Ourcival, D. Papale, K. Pilegaard, S. Rambal, G. Seufert, J. Soussana, M. Sanz, E. Schulze, I Vesala, and R. Valentini, 2005: Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. Nature, 437(7058), 529-533.

Clague, J.J. and S.G. Evans, 2000: A review of catastrophic drainage of moraine¬dammed lakes in British Columbia. Quaternary Science Reviews, 19(17-18), 1763-1783.

Clark, R.I, S.J. Brown, and J.M. Murphy, 2006: Modeling northern hemisphere summer heat extreme changes and their uncertainties using a physics ensemble of climate sensitivity experiments. Journal of Climate, 19(17), 4418-4435.

Clark, R.I, J.M. Murphy, and S.J. Brown, 2010: Do global warming targets limit heatwave risk? Geophysical Research Letters, 37, L 17703.

Clarke, G.K.C., 1982: Glacier outburst floods from 'Hazard Lake: Yukon Territory, and the problem of flood magnitude prediction. Journal of Glaciology, 28(98), 3-21.

Clarke, M.L., and H.M. Rendell, 2009: The impact of North Atlantic storminess on western European coasts: A review. Quaternary International, 195, 31-41.

Clemmensen, L.B., M. Bjornsen, A Murray, and K. Pedersen, 2007: Formation of aeolian dunes on Anholt, Denmark since AD 1560: A record of deforestation and increased storminess. Sedimentary Geology, 199(3-4), 171-187.

Clow, D.W" 2010: Changes in the timing of snowmelt and streamflow in Colorado: a response to recent warming. Journal of Climate, 23(9), 2293-2306.

Cobb, K.M., C.D. Charles, H. Cheng, and R.L. Edwards, 2003: El Nirio/Southern Oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. Nature, 424, 271-276.

Coelho, c., R. Silva, F. Veloso-Gomes, and F. Taveira-Pinto, 2009: Potential effects of climate change on northwest Portuguese coastal zones. ICES Journal of Marine Science, 66(7), 1497-1507.

Coles, S., 2001: An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer¬Verlag, Heidelberg, Germany, 208 pp.

Collini, EA, E.H. Berbery, V. Barros, and M. Pyle, 2008: How does soil moisture influence the early stages of the South American monsoon? Journal of Climate, 21(2),195-213.

Collins, M., B.B.B. Booth, G.R. Harris, J.M. Murphy, D.M.H. Sexton, and M.J. Webb, 2006: Towards quantifying uncertainty in transient climate change. Climate Dynamics, 27(2-3), 127-147.

Collins, M., S.I. An, w,J. Cai, A Ganachaud, E. Guilyardi, F.F. Jin, M. Jochum, M. Lengaigne, S. Power, A Timmermann, G. Vecchi, and A Wittenberg, 2010: The impact of global warming on the tropical Pacific ocean and El Nino. Nature Geoscience, 3(6), 391-397.

Compo, G.P., J.S. Whitaker, and P.D. Sardeshmukh, 2006: Feasibility of a 100-year reanalysis using only surface pressure data. Bulletin of the American Meteorological Society, 87(2), 175-190.

Conroy, J.L., A Restrepo, J.T. Overpeck, M. Seinitz-Kannan, H. Cole, M.B. Bush, and PA Colinvaux, 2009: Unprecedented recent warming of surface temperatures in the eastern tropical Pacific Ocean. Nature Geoscience, 2(1), 46-50.

Conway, D., C.E. Hanson, R. Doherty, and A. Persechino, 2007: GCM simulations of the Indian Ocean dipole influence on East African rainfall: Present and future. Geophysical Research Letters, 34, L03705.

Conway, D., A Persechino, S. Ardoin-Bardin, H. Hamandawana, C. Dieulin, and G. Mahe, 2009: Rainfall and water resources variability in sub-Saharan Africa during the twentieth century. Journal of Hydrometeorology, 10(1),41-59.

Cook, B.I., G.B. Bonan, and S. Levis, 2006: Soil moisture feedbacks to precipitation in southern Africa. Journal of Climate, 19(17), 4198-4206.

Cook, K.H. and E.K. Vizy, 2006: Coupled model simulations of the west African monsoon system: Twentieth- and twenty-first-century simulations. Journal of Climate, 19(15), 3681-3703.

Coppola, E. and F. Giorgi, 2005: Climate change in tropical regions from high¬resolution time-slice AGCM experiments. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 131(612), 3123-3145.

Cordero, E.C. and P.M.D. Forster, 2006: Stratospheric variability and trends in models used for the IPCC AR4. Atmospheric Chemistry and Physics, 6(12), 5369-5380.

Corti, I, V. Muccione, P. Köllner-Heck, D. Bresch, and S.I. Seneviratne, 2009: Simulating past droughts and associated building damages in France. Hydrology and Earth System Sciences, 13(9), 1739-1747.

Costa,AC., and A Soares, 2009: Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal. International Journal of Climatology, 29(13), 1956-1975.

CSIRO, 2007: Climate Change in Australia. CSIRO, Australia, 148 pp.

Cubasch, U., J. Waszkewitz, G. Hegerl, and J. Perlwitz, 1995: Regional climate changes as simulated in time-slice experiments. Climatic Change, 31(2-4), 273-304.

Cullen, N.J., I Molg, G. Kaser, K. Hussein, K. Steffen, and D.R. Hardy, 2006: Kilimanjaro Glaciers: Recent areal extent from satellite data and new interpretation of observed 20th century retreat rates. Geophysical Research Letters, 33, L 16502.

Cunderlik, J.M., and IB.M.J. Ouarda, 2009: Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. Journal of Hydrology, 375(3-4), 471-480.

Cunningham, P., and M.J. Reeder, 2009: Severe convective storms initiated by intense wildfires: Numerical simulations of pyro-convection and pyro-tornado¬genesis. Geophysical Research Letters, 36, L 12812.

da Silva, AE. and L.M.V. de Carvalho, 2007: Large-scale index for South America Monsoon (LISAM). Atmospheric Science Letters, 8(2), 51-57.

Dai, A, T.T. Qian, K.E. Trenberth, and J.D. Milliman, 2009: Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. Journal of Climate, 22(10), 2773-2792.

Dai, A, 2011: Drought under global warming: a review. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2(1),45-65.

Dai, AG., K.E. Trenberth, and T.T. Qian, 2004: A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. Journal of Hydrometeorology, 5(6), 1117-1130.

Dairaku, K., S. Emori, and H. Higashi, 2008: Potential changes in extreme events under global climate change. Journal of Disaster Research, 3(1), 39-50.

Danard, M.B., S.K. Dube, G. Gonnert, A. Munroe, lS. Murty, P. Chittibabu, AD. Rao, and P.e. Sinha, 2004: Storm surges from extra-tropical cyclones. Natural Hazards, 32(2), 177-190.

Dankers, R., O.B. Christensen, L. Feyen, M. Kalas, and A de Roo, 2007: Evaluation of very high-resolution climate model data for simulating flood hazards in the Upper Danube Basin. Journal of Hydrology, 347(3-4), 319-331.

Dankers, R. and L. Feyen, 2008: Climate change impact on flood hazard in Europe: An

assessment based on high-resolution climate simulations. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 113, D191 05.

Dankers, R. and L. Feyen, 2009: Flood hazard in Europein an ensemble of regional climate scenarios. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 114, D16108.

Dasgupta, 5., B. Laplante, e. Meisner, D. Wheeler, and J. Yan, 2009: The impact of sea level rise on developing countries: a comparative analysis. Climatic Change, 93(3-4),379-388.

Dawson, J.L., and S.G. Smithers, 2010: Shoreline and beach volume change between 1967 and 2007 at Raine Island, Great Barrier Reef, Australia. Global and Planetary Change, 72(3), 141-154.

de Elia, R., D. Caya, H. Cote, A Frigon, S. Biner, M. Giguere, D. Paquin, R. Harvey, and D. Plummer, 2008: Evaluation of uncertainties in the CRCM-simulated North American climate. Climate Dynamics, 30(2-3), 113-132.

de Jong, R., S. Bjorck, L. Bjorkman, and L.B. Clemmensen, 2006: Storminess variation during the last 6500 years as reconstructed from an ombrotrophic peat bog in Halland, southwest Sweden. Journal of Quaternary Science, 21(8), 905-919. de Jong, R., K. Schoning, and S. Bjorck, 2007: Increased aeolian activity during humidity shifts as recorded in a raised bog in south-west Sweden during the past 1700 years. Climate of the Past, 3(3), 411-422.

Dean, S.M. and PA Stott, 2009: The effect of local circulation variability on the detection and attribution of New Zealand temperature trends. Journal of Climate, 22(23), 6217-6229.

Debernard, J.B. and L.P. Roed, 2008: Future wind, wave and storm surge climate in the Northern Seas: a revisit. Tel/us Series A - Dynamic Meteorology and Oceanography, 60(3), 427-438.

Deeming, K.R., B. McGuire, and P. Harrop, 2010: Climate forcing of volcano lateral collapse: evidence from Mount Etna, Sicily. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 368(1919), 2559-2577.

Defeo, 0., A McLachlan, D.S. Schoeman, lA Schlacher, J. Dugan, A Jones, M. Lastra, and F. Scapini, 2009: Threats to sandy beach ecosystems: A review. Estuarine Coastal and Shelf Science, 81(1),1-12.

DeGaetano, A.l, 2009: Time-dependent changes in extreme-precipitation return¬period amounts in the Continental United States. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48, 2086-2099.

Delaloye, R., 1 Strozzi, e. Lambiel, E. Perruchoud, and H. Raetzo, 2008: Landslide-like development of rockglaciers detected with ERS-1/2 SAR interferometry. In: Proceedings of the FRINGE 2007 Symposium at ESRIN [Lacoste, H., and L. Ouwehand (eds.)]. Frascati, Italy, 26-30 November 2007, ESA Communication Production Office, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, pp. 1-6.

Delgado, J.M., H.Apel, and B. Merz, 2009: Flood trends and variability in the Mekong River. Hydrology and Earth System Sciences, 6(3), 6691-6719.

Della-Marta, P.M. and H. Wanner, 2006: A method of homogenizing the extremes and mean of daily temperature measurements. Journal of Climate, 19, 4179-4197.

Della-Marta, P.M., M.R. Haylock, J. Luterbacher, and H. Wanner, 2007a: Doubled length of western European summer heat waves since 1880. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 112, D151 03.

Della-Marta, P.M., J. Luterbacher, H. von Weissenfluh, E. Xoplaki, M. Brunet, and H. Wanner, 2007b: Summer heat waves over western Europe1880-2003, their relationship to large-scale forcings and predictability. Climate Dynamics, 29(2-3), 251-275.

Della-Marta, P.M., H. Mathis, e. Frei, MA Liniger, J. Kleinn, and e. Appenzeller, 2009: The return period of wind storms over Europe. International Journal of Climatology, 29(3), 437-459.

DeMaria, M., JA Knaff, and B.H. Connell, 2001: A tropical cyclone genesis parameter for the tropical Atlantic. Weather and Forecasting, 16(2), 219-233.

Deo, R.e., J.I. Syktus, e.A McAlpine, P.J. Lawrence, HA McGowan, and S.R. Phinn, 2009: Impact of historical land cover change on daily indices of climate extremes including droughts in eastern Australia. Geophysical Research Letters, 36, L08705.

Department of Climate Change, 2009: Climate Change Risks to Australia's Coast. A First Pass National Assessment. Report published by the Department of Climate Change, Australian Government, Canberra, Australia, 172 pp.

Deque, M., S. Sornot, E. Sanchez-Gomez, e. Goodess, D. Jacob, G. Lenderink, and O. Christensen, 2011: The spread amongst ENSEMBLES regional scenarios: regional climate models, driving general circulation models and interannual variability. Climate Dynamics, doi:1 0.1 007/s00382-00011-01 053-x.

Deser, e., RA Tomas, and s. Peng, 2007: The transient atmospheric circulation response to North Atlantic SST and sea ice anomalies. Journal of Climate, 20(18),4751-4767.

Di Baldassarre, G., A Montanari, H. Lins, D. Koutsoyiannis, L. Brandimarte, and G. Blöschl, 2010: Flood fatalities in Africa: From diagnosis to mitigation. Geophysical Research Letters, 37, L22402.

Dibike, Y.B., P. Gachon, A St-Hilaire, 1 Ouarda, and V.IV. Nguyen, 2008: Uncertainty analysis of statistically downscaled temperature and precipitation regimes in Northern Canada. Theoretical and Applied Climatology, 91(1-4), 149-170.

Diffenbaugh, N.S. and M. Ashfaq, 2010: Intensification of hot extremes in the United States. Geophysical Research Letters, 37(15), L 15701.

Diffenbaugh, N.S., J.S. Pal, F. Giorgi, and X. Gao, 2007: Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. Geophysical Research Letters, 34, L11706.

Diffenbaugh, N.S., R.J. Trapp, and H. Brooks, 2008: Does global warming influence tornado activity? Eos Transactions (AGU), 89(53), 553.

Ding, I. W. Qian, and Z. Yan, 2010: Changes in hot days and heat waves in China during 1961-2007. International Journal of Climatology, 30(10), 1452-1462.

Dirmeyer, PA, R.D. Koster, and Z. Guo, 2006: Do global models properly represent the feedback between land and atmosphere? Journal of Hydrometeorology, 7(6), 1177-1198.

Dobrovolny, P.,A Moberg, R. Brazdil, e. Pfister, R. Glaser, R. Wilson,A van Engelen, D. Limanowka,A. Kiss, M. Halickova, J. Mackova, D. Riemann, J. Luterbacher, and R. Bohm, 2010: Monthly, seasonal and annual temperature reconstructions for Central Europederived from documentary evidence and instrumental records since AD 1500. Climatic Change, 101(1-2), 69-107.

Dodet, G., X. Bertin, and R. Taborda, 2010: Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. Ocean Modelling, 31(3-4), 120-131.

Dole, R., M. Hoerling, J. Perlwitz, J. Eischeid, P. Pegion, 1 Zhang, X.-w. Quan, 1 Xu, and D. Murray, 2011: Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? Geophysical Research Letters, 38, L06702.

Donat, M.G., G.e. Leckebusch, J.G. Pinto, and U. Ulbrich, 2010a: European storminess and associated circulation weather types: future changes deduced from a multi¬model ensemble of GCM simulations. Climate Research, 42(1), 27-43.

Donat, M.G., G.e. Leckebusch, J.G. Pinto, and U. Ulbrich, 2010b: Examination of wind storms over Central Europewith respect to circulation weather types and NAO phases. International Journal of Climatology, 30(9), 1289-1300.

Donat, M.G., G.e. Leckebusch, S. Wild, and U. Ulbrich, 2011: Future changes of European winter storm losses and extreme wind speeds in multi-model GCM and RCM simulations. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11(5), 1351-1370.

Dong, B., R. Sutton, and 1 Woollings, 2011: Changes of interannual NAO variability in response to greenhouse gases forcing. Climate Dynamics, 37(7-8), 1621-1641, doi:1 0.1 007/s00382-0001 0-00936-00386.

Donnelly, J.P., and J.D. Woodruff, 2007: Intense hurricane activity over the past 5,000 years controlled by El Nino and the West African monsoon. Nature, 447, 465-468.

D'Onofrio, A, J.P. Boulanger, and E.e. Segura, 2010: CHAC: a weather pattern classification system for regional climate downscaling of daily precipitation. Climatic Change, 98(3-4), 405-427.

Donohue, R.J., T.R. McVicar, and M.L. Roderick, 2010: Assessing the ability of potential evaporation formulations to capture the dynamics in evaporative demand within a changing climate. Journal of Hydrology, 386(1-4),186-197.

Doser, D.I., K.R. Wiest, and J. Sauber, 2007: Seismicity of the Bering Glacier region and its relation to tectonic and glacial processes. Tectonophysics, 439(1-4), 119-127.

Douglas, E.M., R.M. Vogel, and e.N. Kroll, 2000: Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. Journal of Hydrology, 240(1-2), 90-105.

Dragani, We., P.B. Martin, e.G. Simionato, and M.I. Campos, 2010: Are wind wave heights increasing in south-eastern south American continental shelf between 32°S and 400S? Continental Shelf Research, 30(5), 481-490.

Dufek, AS. and T. Ambrizzi, 2008: Precipitation variability in Sao Paulo State, Brazil. Theoretical and Applied Climatology, 93(3-4), 167-178.

Dufek, AS., T. Ambrizzi, and R.P. da Rocha, 2008: Are reanalysis data useful for calculating climate indices over South America? In: Trends and Directions in Climate Research [Gimeno, L., R. GarciaHerrera, and R.M. Trigo (eds.)]. Vol. 1146, Annals of the New York Academy of Sciences, New York, NY, USA, pp. 87-104.

Durante, F., and G. Salvadori, 2010: On the construction of multivariate extreme value models via copulas. Environmetrics, 21(2), 143-161.

Durao, R.M., M.J. Pereira, Ae. Costa, J. Delgado, G. del Barrio, and A Soares, 2010: Spatial-temporal dynamics of precipitation extremes in southern Portugal: a geostatistical assessment study. International Journal of Climatology, 30(10), 1526-1537.

Durre, I., J.M. Wallace, and D.P. Lettenmaier, 2000: Dependence of extreme daily maximum temperatures on antecedent soil moisture in the contiguous United States during summer. Journal of Climate, 13(14), 2641-2651.

Durre, I., M.J. Menne, and R.S. Vose, 2008: Strategies for evaluating quality assurance procedures. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 47(6), 1785-1791.

Dussaillant, A, G. Benito, W Buytaert, P. Carling, e. Meier, and F. Espinoza, 2010: Repeated glacial-lake outburst floods in Patagonia: an increasing hazard? Natural Hazards, 54(2), 469-481.

Dutton, H., c.J. Poulsen, and J.L. Evans, 2000: The effect of global climate change on the regions of tropical convection in CSM1. Geophysical Research Letters, 27(19),3049-3052.

Easterling, D.R., D.M. Anderson, S.J. Cohen, WJ. Gutowski, G.J. Holland, K.E. Kunkel, Ie. Peterson, R.S. Pulwarty, R.J. Stouffer, and M.F. Wehner, 2008: Measures to improve our understanding of weather and climate extremes. In: Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. [Karl, T.R., GA Meehl, D.M. Christopher, S.J. Hassel, AM. Waple, and WL. Murray (eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC. pp. 117-126.

Eichler, T., and W Higgins, 2006: Climatology and ENSO-related variability of North American extratropical cyclone activity. Journal of Climate, 19(10), 2076-2093.

Elsner, J.B., J.P. Kossin, and T.H. Jagger, 2008: The increasing intensity ofthe strongest tropical cyclones. Nature, 455(7209), 92-95.

Eltahir, E.A.B. and P.A.J.F. Yeh, 1999: On the asymmetric response of aquifer water level to floods and droughts in Illinois. Water Resources Research, 35(4), 1199-1217.

Ely, L.L., Y. Enzel, V.R. Baker, and D.R. Cayan, 1993: A 5000-year record of extreme floods and climate-change in the southwestern United-States. Science, 262(5132),410-412.

Emanuel, KA, 1987: Dependence of hurricane intensity on climate. Nature, 326(61112),483-485.

Emanuel, KA, 2000: A statistical analysis of tropical cyclone intensity. Monthly Weather Review, 128(4), 1139-1152.

Emanuel, KA, 2007: Environmental factors affecting tropical cyclone power dissipation. Journal of Climate, 20(22), 5497-5509.

Emanuel, KA, 2010: Tropical cyclone activity downscaled from NOAA-CIRES reanalysis, 1908-1958. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2, 1, doi:1 0.3894/JAMES.2010.2.1.

Emanuel, KA, R. Sundararajan, and J. Williams, 2008: Hurricanes and global warming: Results from downscaling IPCC AR4 simulations. Bulletin of the American Meteorological Society, 89(3), 347-367.

Emori, S. and S.J. Brown, 2005: Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate. Geophysical Research Letters, 32, L17706.

Engelstaedter, S., I. Tegen, and R. Washington, 2006: North African dust emissions and transport. Earth-Science Reviews, 79(1-2), 73-100.

Essery, R., N. Rutter, J. Pomeroy, R. Baxter, M. Stahli, D. Gustafsson,A Barr, P. Bartlett, and K. Elder, 2009: An evaluation of forest snow process simulations. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(8), 1120-1135.

Evan, A.T., D.J. Vimont, AK. Heidinger, J.P. Kossin, and R. Bennartz, 2009: The role of aerosols in the evolution of tropical North Atlantic Ocean temperature anomalies. Science, 324(5928),778-781.

Evans, S.G., and J.J. Clague, 1998: Rock avalanche from Mount Munday, Waddington Range, British Columbia, Canada. Landslide News, 11, 23-25.

Favre, A, and A Gershunov, 2006: Extra-tropical cyclonictanticyclonic activity in North-Eastern Pacific and air temperature extremes in Western North America. Climate Dynamics, 26(6), 617-629.

Favre, A, and A Gershunov, 2009: North Pacific cyclonic and anticyclonic transients in a global warming context: possible consequences for Western North American daily precipitation and temperature extremes. Climate Dynamics, 32(7-8), 969-987.

Fedorov, A and P. Konstantinov, 2003: Observations of surface dynamics with thermokarst initiation, Yukechi site, central Yukutia. In: Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost [Philips, M., S.M. Springman, and L.U. Arenson (eds.)]. Zurich, Switzerland, 21-25 July 2003, Balkema, Netherlands, pp. 239-243.

Fekete, B.M., c.J. Vörösmarty, J.O. Roads, and c.J. Willmott, 2004: Uncertainties in precipitation and their impacts on runoff estimates. Journal of Climate, 17(2), 294-304.

Feyen, L., and R. Dankers, 2009: Impact of global warming on streamflow drought in Europe. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 114, D17116.

Findell, K.L. and T.L. Delworth, 2005: A modeling study of dynamic and thermodynamic mechanisms for summer drying in response to global warming. Geophysical Research Letters, 32, L 16702.

Findell, K.L. and EAB. Eltahir, 2003a: Atmospheric controls on soil moisture-boundary layer interactions. Part I: Framework development. Journal of Hydrometeorology, 4(3), 552-569.

Findell, K.L. and EAB. Eltahir, 2003b:Atmospheric controls on soil moisture-boundary layer interactions. Part II: Feedbacks within the continental United States. Journal of Hydrometeorology, 4(3), 570-583.

Finnis, J., M.M. Holland, M.e. Serreze, and J.J. Cassano, 2007: Response of Northern Hemisphere extratropical cyclone activity and associated precipitation to climate change, as represented by the Community Climate System Model. Journal of Geophysical Research - Biogeosciences, 112, G04S42.

Fiore, M.M.E., E.E. D'Onofrio, J.L. Pousa, E.J. Schnack, and G.R. Bertola, 2009: Storm surges and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina. Continental Shelf Research, 29(14), 1643-1649.

Fischer, E.M. and e. Schar, 2009: Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role for temperature extremes. Climate Dynamics, 33(7-8), 917-935.

Fischer, E.M., and e. Schar, 2010: Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. Nature Geoscience, 3(6), 398-403.

Fischer, E.M., S.I. Seneviratne, D. Luthi, and e. Schar, 2007a: The contribution of land¬atmosphere coupling to recent European summer heatwaves. Geophysical Research Letters, 34, L06707.

Fischer, E.M., S.I. Seneviratne, P.L. Vida le, D. Luthi, and e. Schar, 2007b: Soil moisture¬atmosphere interactions during the 2003 European summer heatwave. Journal of Climate, 20(20), 5081-5099.

Fischer, L., H. Eisenbeiss, A Kaab, e. Huggel, and W Haeberli, 2011: Monitoring topographic changes in a periglacial high-mountain face using high-resolution DTMs, Monte Rosa East Face, Italian Alps. Permafrost and Periglacial Processes, 22(2),140-152.

Fleig, A.K., L.M. Tallaksen, H. Hisdal, and D.M. Hannah, 2011: Regional hydrological drought in north-western Europe: linking a new Regional Drought Area Index with weather types. Hydrological Processes, 25(7), 1163-1179.

Fogt, R.L., J. Perlwitz, AJ. Monaghan, D.H. Bromwich, J.M. Jones, and G.J. Marshall, 2009: Historical SAM variability. Part II: Twentieth-century variability and trends from reconstructions, observations, and the IPCC AR4 models. Journal of Climate, 22(20), 5346-5365.

Fontaine, B., P. Roucou, M. Gaetani, and R. Marteau, 2011: Recent changes in pre-

cipitation, ITCZ convection and northern tropical circulation over North Africa (1979-2007). International Journal of Climatology, 31(5), 633-648.

Forbes, D.L., G.S. Parkes, G.K. Manson, and LA Ketch, 2004: Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of st. Lawrence. Marine Geology, 210(1-4), 169-204.

Founda, D., and e. G iannakopoulos, 2009: The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece - A typical summer in the future climate? Global and Planetary Change, 67(3-4), 227-236.

Fowler, H.J., and M. Ekstrom, 2009: Multi-model ensemble estimates of climate change impacts on UK seasonal precipitation extremes. International Journal of Climatology, 29(3), 385-416.

Fowler, H.J., and e.G. Kilsby, 2003: A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000.IntlJournal of Climatology, 23(11), 1313-1334.

Fowler, H.J., and R.L. Wilby, 2010: Detecting changes in seasonal precipitation extremes using regional climate model projections: Implications for managing fluvial flood risk. Water Resources Research, 46, W0525.

Fowler, H.J., M. Ekstrom, S. Blenkinsop, and A.P. Smith, 2007a: Estimating change in extreme European precipitation using a multi model ensemble. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 112, D181 04.

Fowler, H.J., S. Blenkinsop, and e. Tebaldi, 2007b: Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. International Journal of Climatology, 27(12), 1547-1578.

Francou, B., E. Ramirez, B. Caceres, and J. Mendoza, 2000: G lacier evolution in the tropical Andes during the last decades of the 20th century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador. Ambio, 29(7),416-422.

Frappier,AB.,I Knutson, K.B. Liu, and K. Emanuel, 2007a: Perspective: Coordinating paleoclimate research on tropical cyclones with hurricane-climate theory and modelling. Tel/us Series A - Dynamic Meteorology and Oceanography, 59(4), 529-537.

Frappier, AB., D. Sahagian, S.J. Carpenter, LA Gonzalez, and B.R. Frappier, 2007b: Stalagmite stable isotope record of recent tropical cyclone events. Geology, 35(2), 111-114.

Frederiksen, J.S., and e.s. Frederiksen, 2007: Interdecadal changes in southern hemisphere winter storm track modes. Tel/us Series A - Dynamic Meteorology and Oceanography, 59(5), 599-617.

Frei, C. and e. Schar, 2001: Detection of probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. Journal of Climate, 14(7), 1568-1584.

Frei, C., J.H. Christensen, M. Deque, D. Jacob, R.G. Jones, and P.L. Vida le, 2003: Daily precipitation statistics in regional climate models: Evaluation and intercomparison for the European Alps. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 108,4124.

Frei, C., R. Scholl, S. Fukutome, J. Schmidli, and P.L. Vidale, 2006: Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 111, D061 05.

Frey, H., W, Haeberli, A Linsbauer, e. Huggel, and F. Paul, 2010: A multi-level strategy for anticipating future glacier lake formation and associated hazard potentials. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(2),339-352.

Frich, P., L.V.Alexander, P.M. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock,AM.G. Klein Tank, and 1 Peterson, 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. Climate Research, 19(3), 193-212.

Friedlingstein, P., P. Cox, R. Betts, L. Bopp, W, von Bloh, V. Brovkin, P. Cadule, S. Doney, M. Eby, I. Fung, G. Bala, J. John, e. Jones, F. Joos, 1 Kato, M. Kawamiya, W, Knorr, K. Lindsay, H.D. Matthews, 1 Raddatz, P. Rayner, e. Reick, E. Roeckner, K.G. Schnitzler, R. Schnur, K. Strassmann, AJ. Weaver, e. Yoshikawa, and N. Zeng, 2006: Climate-carbon cycle feedback analysis: Results from the C4MIP model intercomparison. Journal of Climate, 19(14), 3337-3353.

Fu, e.B., S.Y. Wang, Z. Xiong, w,J. Gutowski, D.K. Lee, J.L. McGregor, Y. Sato, H. Kato, J.w' Kim, and M.S. Suh, 2005: Regional climate model intercomparison project for Asia. Bul/etin of the American Meteorological Society, 86(2), 257-266.

Fujibe, F., N. Yamazaki, and K. Kobayashi, 2006: Long-term changes of heavy precipitation and dry weather in Japan (1901-2004). Journal of the Meteorological Society of Japan, 84(6), 1033-1046.

Fujihara, Y., K. Tanaka, 1 Watanabe, 1 Nagano, and 1 Kojiri, 2008: Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulations. Journal of Hydrology, 353(1-2), 33-48.

Funk, e., M.D. Dettinger, J.e. Michaelsen, J.P. Verdin, M.E. Brown, M. Barlow, and A Hoell, 2008: Warming of the Indian Ocean threatens eastern and southern African food security but could be mitigated by agricultural development. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(32), 11081-11086.

Fyfe, J.e., 2003: Extratropical southern hemisphere cyclones: Harbingers of climate change? Journal of Climate, 16(17), 2802-2805.

Gallant, AJ.E., and D.J. Karoly, 2010: A combined climate extremes index for the Australian region. Journal of Climate, 23(23), 6153-6165.

Gallant, AJ.E., K.J. Hennessy, and J. Risbey, 2007: Trends in rainfall indices for six Australian regions: 1910-2005. Australian Meteorological Magazine, 56(4), 223-239.

Gan, MA, V.B. Rao, and M.e.L. Moscati, 2006: South American monsoon indices. Atmospheric Science Letters, 6(4), 219-223.

Garcia, J., M.e. Gallego, A Serrano, and J. Vaquero, 2007: Trends in block-seasonal extreme rainfall over the Iberian Peninsula in the second half of the twentieth century. Journal of Climate, 20(1), 113-130.

Gastineau, G., and B.J. Soden, 2009: Model projected changes of extreme wind events in response to global warming. Geophysical Research Letters, 36, L1 081 O.

Gavriliev, P.P., and P.V. Efremov, 2003: Effects of cryogenic processes on Yakutian landscapes under climate warming. In: Permafrost [Philips, M., S.M. Springman, and L.U. Arenson (eds.)]. Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost, Zurich, Switzerland, 21-25 July 2003, Balkema, The Netherlands, pp. 277-282.

Gedney, N., P.M. Cox, RA Betts, O. Boucher, e. Huntingford, and PA Stott, 2006: Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. Nature, 439(7078), 835-838.

Geertsema, M., J.J. Clague, J.w' Schwab, and S.G. Evans, 2006: An overview of recent large catastrophic landslides in northern British Columbia, Canada. Engineering Geology, 83(1-3), 120-143.

Gehrels, w'R., D.F. Belknap, B.R. Pearce, and B. Gong, 1995: Modeling the contribution of M(2) tidal amplification to the holocene rise of mean high water in the Gulf of Maine and the Bay of Fundy. Marine Geology, 124(1-4), 71-85.

Geng, Q. and M. Sugi, 2001: Variability of the North Atlantic cyclone activity in winter analyzed from NCEP-NCAR reanalysis data. Journal of Climate, 14(18), 3863-3873.

Gerten, D., S. Rost, W, von Bloh, and W, Lucht, 2008: Causes of change in 20th century global river discharge. Geophysical Research Letters, 35, L20405.

Giannakopoulos, e., P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou, and e.M.

Goodess, 2009: Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 global warming. Global and Planetary Change, 68(3), 209-224.

Giannini, A, R. Saravanan, and P. Chang, 2003: Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales. Science, 302(5647),1027-1030.

Giannini, A, M. Biasutti, and M.M. Verstraete, 2008: A climate model-based review of drought in the Sahel: Desertification, the re-greening and climate change. Global and Planetary Change, 64(3-4), 119-128.

Gibelin, AL., and M. Deque, 2003: Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. Climate Dynamics, 20(4), 327-339.

Gillett, N.P. and PA Stott, 2009: Attribution of anthropogenic influence on seasonal sea level pressure. Geophysical Research Letters, 36, L23709.

Gillett, N.P., R.J. Allan, and 1J. Ansell, 2005: Detection of external influence on sea level pressure with a multi-model ensemble. Geophysical Research Letters, 32, L19714.

Gillett, N.P., PA Stott, and B.D. Santer, 2008a: Attribution of cyclogenesis region sea surface temperature change to anthropogenic influence. Geophysical Research Letters, 35, L09707.

Gillett, N.P., DA Stone, PA Stott, 1 Nozawa, AY. Karpechko, G.c. Hegerl, M.F. Wehner, and P.D. Jones, 2008b: Attribution of polar warming to human influence. Nature Geoscience, 1, 750-754.

Ginoux, P., J.M. Prospero, O. Torres, and M. Chin, 2004: Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation. Environmental Modelling & Software, 19(2), 113-128.

Giorgi, F., 2006: Climate change hot-spots. Geophysical Research Letters, 33, L08707. Giorgi, F. and P. Lionello, 2008: Climate change projections for the Mediterranean region. Global and Planetary Change, 63(2-3), 90-104.

Giorgi, F., C. Jones, and G.R. Asra, 2009: Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. WMO Bulletin, 58(3), 175-183.

Glade, I. 1998: Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand. Environmental Geology, 55(2), 160-174.

Gleason, K.L., J.H. Lawrimore, D.H. Levinson, and lR. Karl, 2008: A revised U.S. climate extremes index. Journal of Climate, 21(10), 2124-2137.

Gong, S.L., x.Y. Zhang, T.L. Zhao, X.B. Zhang, LA Barrie, I.G. McKendry, and c.s. Zhao, 2006: A simulated climatology of Asian dust aerosol and its trans-Pacific transport. Part II: Interannual variability and climate connections. Journal of Climate, 19(1), 104-122.

Goodkin, N.F., KA Hughen, S.c. Doney, andW,B. Curry, 2008: Increased multidecadal variability of the North Atlantic Oscillation since 1781. Nature Geoscience, 1, 844-848.

Goubanova, K. and L. Li, 2007: Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations. Global and Planetary Change, 57(1-2), 27-42.

Goudie, A.5., 2009: Dust storms: Recent developments. Journal of Environmental Management, 90(1), 89-94.

Goudie, AS., and N.J. Middleton, 1992: The changing frequency of dust storms through time. Climatic Change, 20(3), 197-225.

Grabemann, I., and R. Weisse, 2008: Climate change impact on extreme wave conditions in the North Sea: an ensemble study. Ocean Dynamics, 58(3-4), 199-212.

Graham, L.P., J. Andreasson, and B. Carlsson, 2007: Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods - a case study on the Lule River basin. Climatic Change, 81(S1), 293-307.

Graham, N.E. and H.F. Diaz, 2001: Evidence for intensification of North Pacific winter cyclones since 1948. Bulletin of the American Meteorological Society, 82(9), 1869-1893.

Gravelle, G. and N. Mimura, 2008: Vulnerability assessment of sea-level rise in Viti Levu, Fiji Islands. Sustainability Science, 3(2), 171-180.

Green, D., L. Alexander, K.L. Mcinnes, J. Church, N. Nicholls, and W, White, 2009: An assessment of climate change impacts and adaptation for the Torres Strait Islands, Australia. Climatic Change, 102(3-4),405-433.

Greene, AM., A Giannini, and S.E. Zebiak, 2009: Drought return times in the Sahel: A question of attribution. Geophysical Research Letters, 36, L 12701.

Greeves, C.Z., V.D. Pope, RA Stratton, and G.M. Martin, 2007: Representation of Northern Hemisphere winter storm tracks in climate models. Climate Dynamics, 28(7-8),683-702.

Grell, GA, L. Schade, R. Knoche, A Pfeiffer, and J. Egger, 2000: Nonhydrostatic climate simulations of precipitation over complex terrain. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 105(024), 29595-29608.

Griffiths, G.M., M.J. Salinger, and I. Leleu, 2003: Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. International Journal of Climatology, 23(8), 847-869.

Griffiths, G.M., L.E. Chambers, M.R. Haylock, M.J. Manton, N. Nicholls, H.J. Baek, Y. Choi, P.M. Della-Marta, A. Gosai, N. Iga, R. Lata, V. Laurent, L. Maitrepierre, H. Nakamigawa, N. Ouprasitwong, D. Solofa, L. Tahani, D.l Thuy, L. Tibig, B. Trewin, K. Vediapan, and P. Zhai, 2005: Change in mean temperature as a predictor of extreme temperature change in the Asia-Pacific region. International Journal of Climatology, 25(10), 1301-1330.

Grimm, AM. and R.G. Tedeschi, 2009: ENSO and extreme rainfall events in South America. Journal of Climate, 22(7), 1589-1609.

Grimm, AM., J. Pal, and F. Giorgi, 2007: Connection between spring conditions and peak summer monsoon rainfall in South America: Role of soil moisture, surface temperature, and topography in eastern Brazil. Journal of Climate, 20(24), 5929-5945.

Grinsted, A, AJ. Moore, and S. Jevrejeva, 2010: Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 21 00 AD. Climate Dynamics, 34(4), 461-472.

Groisman, P.Y., and R.W, Knight, 2008: Prolonged dry episodes over the conterminous United States: New tendencies emerging during the last 40 years. Journal of Climate, 21(9), 1850-1862.

Gruber, S., and W, Haeberli, 2007: Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. Journal of Geophysical Research - Earth Surface, 112, F02S18.

Gruber, S., M. Hoelzle, and W, Haeberli, 2004: Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. Geophysical Research Letters, 31, L13504.

Gualdi, S., E. Scoccimarro, and A Navarra, 2008: Changes in tropical cyclone activity due to global warming: Results from a high-resolution coupled general circulation model.1ournal of Climate, 21(20), 5204-5228.

Guilyardi, E.,A Wittenberg, A Fedorov, M. Collins, C.Z. Wang,A Capotondi, G.J. van Oldenborgh, and 1 Stockdale, 2009: Understanding EI Nino in ocean¬atmosphere General Circulation Models: Progress and challenges. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(3), 325-340.

Gulev, S.K. and V. Grigorieva, 2004: Last century changes in ocean wind wave height from global visual wave data. Geophysical Research Letters, 31, L24302.

Gulev, S.K., O. Zolina, and S. Grigoriev, 2001: Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data. Climate Dynamics, 17(10), 795-809.

Guo, H., M. Xu, and Q. Hu, 2011: Changes in near-surface wind speed in China: 1969-2005. International Journal of Climatology, 31(2), 349-358.

Gutowski, w'J., L.E. Branscome, and D.A. Stewart, 1992: Life-cycles of moist baroclinic eddies. Journal of the Atmospheric Sciences, 49(4), 306-319.

Gutowski, w'J., S.G. Decker, RA Donavon, z.t Pan, R.w. Arritt, and E.S. Takle, 2003: Temporal-spatial scales of observed and simulated precipitation in central U.S. climate. Journal of Climate, 16(22), 3841-3847.

Gutowski, w'J., G.c. Hegerl, G.J. Holland, lR. Knutson, L.O. Mearns, R.J. Stouffer, P.J. Webster, M.F. Wehner, and F.W, Zwiers, 2008a: Causes of observed changes in extremes and projections of future changes. In: Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. [Karl, lR., GA Meehl, D.M. Christopher, S.J. Hassol,AM. Waple, and w'L. Murray (eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC. pp.81-116.

Gutowski, w'J., S.S. Willis, J.c. Patton, B.R.J. Schwedler, R.W, Arritt, and E.S. Takle, 2008b: Changes in extreme, cold-season synoptic precipitation events under global warming. Geophysical Research Letters, 35, L2071 O.

Haarsma, R.J., F. Selten, B.V. Hurk, W, Hazeleger, and X.L. Wang, 2009: Drier Mediterranean soils due to greenhouse warming bring easterly winds over summertime central Europe. Geophysical Research Letters, 36, L04705.

Haeberli, w', 1983: Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps. Annals of Glaciology, 4, 85-90.

Haeberli, w', and C.R. Burn, 2002: Natural hazards in forests: glacier and permafrost effects as related to climate change. In: Environmental Change and Geomorphic Hazards in Forests, IUFRO Research Series 9 [Sidle, R.C. (ed.)]. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 167-202.

Haeberli, W, and M. Funk, 1991: Borehole temperatures at the Colle Gnifetti core¬drilling site (Monte Rosa, Swiss Alps). Journal of Glaciology, 37(125), 37-46.

Haeberli, W, and R. Hohmann, 2008: Climate, glaciers and permafrost in the Swiss Alps 2050: scenarios, consequences and recommendations. In: Permafrost on a Warming Planet: Impacts on Ecosystems, Infrastructure and Climate [Kane, D. L., and K.M. Hinkel (eds.)]. Proc. of the 9th Intl. Conf. on Permafrost at University of Alaska, Fairbanks, 9 June - 3 July 2008, Inst. of Northern Engineering, pp. 607-612.

Haeberli, W, M. Wegmann, and D. Vonder Muhll, 1997: Slope stability problems related to glacier shrinkage and permafrost degradation in the Alps. Ec/ogae Geologicae Helvetiae, 90(3), 407-414.

Haeberli, W,A Kaab, D. Vonder Muhll, and P. Teysseire, 2001: Prevention of outburst floods from periglacial lakes at Grubengletscher, Valais, Swiss Alps. Journal of Glaciology, 47(156), 111-122.

Haeberli, W, e. Huggel, A Kaab, S. Zgraggen-Oswald, A Polkvoj, I. Galushkin, I. Zotikov, and N. Osokin, 2004: The Kolka-Karmadon rock/ice slide of 20 September 2002: an extraordinary event of historical dimensions in North Ossetia, Russian Caucasus. Journal of Glaciology, 50(171), 533-546.

Haerter, J.O. and P. Berg, 2009: Unexpected rise in extreme precipitation caused by a shift in rain type? Nature Geoscience, 2(6),372-373.

Haigh, I., R. Nicholls, and N. Wells, 2009: Mean sea level trends around the English Channel over the 20th century and their wider context. Continental Shelf Research, 29(17), 2083-2098.

Haigh, I., R. Nicholls, and N. Wells, 2010: Assessing changes in extreme sea levels: Application to the English Channel, 1900-2006. Continental Shelf Research, 30(9),1042-1055.

Hall, A, X. Qu, and J.D. Neelin, 2008: Improving predictions of summer climate change in the United States. Geophysical Research Letters, 35, L01702.

Hampel, A, R. Hetzel, and G. Maniatis, 2010: Response of faults to climate-driven changes in ice and water volumes on Earth's surface. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 368(1919), 2501-2517.

Hanna, E., J. Cappelen, R. Allan, I Jonsson, F. Le Blancq, I Lillington, and K. Hickey, 2008: New insights into North European and North Atlantic surface pressure variability, storminess, and related climatic change since 1830. Journal of Climate, 21 (24), 6739-6766.

Hannaford, J., and IJ. Marsh, 2008: High-flow and flood trends in a network of undisturbed catchments in the UK. International Journal of Climatology, 28(10),1325-1338.

Hanson, e.E., J.P. Palutikof, and ID. Davies, 2004: Objective cyclone climatologies of the North Atlantic - a comparison between the ECMWF and NCEP Reanalyses. Climate Dynamics, 22(6-7). 757-769.

Harper, B., I Hardy, L. Mason, and R. Fryar, 2009: Developments in storm tide modelling and risk assessment in the Australian region. Natural Hazards, 51(1), 225-238.

Harris, e., L.U. Arenson, H.H. Christiansen, B. Etzelrnuller, R. Frauenfelder, S. Gruber, W Haeberli, e. Hauck, M. Holzle, O. Humlum, K. Isaksen, A Kaab, MA Kern¬lutschq, M. Lehning, N. Matsuoka, J.B. Murton, J. Notzli, M. Phillips, N. Ross, M. Seppala, S.M. Springman, and D. Vonder Muhll, 2009: Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. Earth-Science Reviews, 92(3-4), 117-171.

Haug, G.H., KA Hughen, D.M. Sigman, L.e. Peterson, and U. Rohl, 2001: Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene. Science, 293(5533), 1304-1308.

Haugen, H. and I Iversen, 2008: Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios. Tellus Series A - Dynamic Meteorology and Oceanography, 60(3),411-426.

Hawkins, E. and R. Sutton, 2009: The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(8), 1 095-11 07.

Hawkins, E. and R. Sutton, 2011: The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. Climate Dynamics, 37(1-2), 407-418.

Hay, L.E., M.P. Clark, M. Pagowski, G.H. Leavesley, andWJ. Gutowski, 2006: One-way coupling of an atmospheric and a hydrologic model in Colorado. Journal of Hydrometeorology, 7(4), 569-589.

Haylock, M.R. and e.M. Goodess, 2004: Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. International Journal of Climatology, 24(6), 759-776.

Haylock, M.R., G.e. Cawley, e. Harpham, R.L. Wilby, and e.M. Goodess, 2006a: Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. International Journal of Climatology, 26(10), 1397-1415.

Haylock, M.R., Ie. Peterson, L.M. Alves, I Ambrizzi, Y.M.I Anunciacao, J. Baez, V.R. Barros, MA Berlato, M. Bidegain, G. Coronel, V. Corradi, V.J. Garcia, AM. Grimm, D. Karoly, JA Marengo, M.B. Marino, D.F. Moncunill, D. Nechet, J. Quintana, E. Rebello, M. Rusticucci, J.L. Santos, I. Trebejo, and LA Vincent, 2006b: Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. Journal of Climate, 19(8), 1490-1512.

Haylock, M.R., N. Hofstra, A Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, and M. New, 2008: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 113(020119).

Hegerl, G.e., F.W Zwiers, PA Stott, and V.V. Kharin, 2004: Detectability of anthropogenic changes in annual temperature and precipitation extremes. Journal of Climate, 17(19),3683-3700.

Hegerl, G.e., F.w. Zwiers, P. Braconnot, N.P. Gillett, Y. luo, JA Marengo Orsini, N. Nicholls, H. Penner, and PA Stott, 2007: Understanding and Attributing Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 663-745.

Hegerl, G.e., O. Hoegh-Guldberg, G. Casassa, M.P. Hoerling, R.S. Kovats, e. Parmesan, D.W Pierce, and PA Stott, 2010: Good practice guidance paper on detection and attribution related to anthropogenic climate change. In: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Detection and Attribution of Anthropogenic Climate Change [Stocker, T.F., e.B. Field, D. Qin, V. Barros, G.-K. Plattner, M. Tignor, P.M. Midgley, and K.L. Ebi (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland.

Hegglin, E. and e. H uggel, 2008: An integrated assessment of vulnerability to glacial hazards. Mountain Research and Development, 28(3), 299-309.

Heim Jr., R.R., 2002: A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), 1149-1165.

Held, I.M. and B.J. Soden, 2006: Robust responses of the hydrological cycle to global warming. Journal of Climate, 19(21), 5686-5699.

Hemer, MA, 2010: Historical trends in Southern Ocean storminess: Long-term variability of extreme wave heights at Cape Sorell, Tasmania. Geophysical Research Letters, 37, L 18601.

Hemer, MA, JA Church, and J.R. Hunter, 2010: Variability and trends in the directional wave climate of the Southern Hemisphere. International Journal of Climatology, 30(4), 475-491.

Hendon, H.H., D.WJ. Thompson, and M.e. Wheeler, 2007: Australian rainfall and surface temperature variations associated with the Southern Hemisphere annular mode. Journal of Climate, 20(11), 2452-2467.

Herath, S. and U. Ratnayake, 2004: Monitoring rainfall trends to predict adverse impacts - a case study from Sri Lanka (1964-1993). Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions, 14(1), 71-79.

Hewitson, B.e. and R.G. Crane, 2006: Consensus between GCM climate change projections with empirical downscaling: Precipitation downscaling over South Africa. International Journal of Climatology, 26(10), 1315-1337.

Hidalgo, H.G., I Das, M.D. Dettinger, D.R. Cayan, D.W Pierce, lP. Barnett, G. Bala,A Mirin, AW Wood, e. Bonfils, B.D. Santer, and I Nozawa, 2009: Detection and attribution of streamflow timing changes to climate change in the western United States. Journal of Climate, 22(13),3838-3855.

Hinkel, J. and R.n Klein, 2009: Integrating knowledge to assess coastal vulnerability to sea-level rise: The development of the DIVA tool. Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions, 19(3), 384-395.

Hinzman, L.D., N.D. Bettez, WR. Bolton, F.S. Chapin, M.B. Dyurgerov, B.G. Fastie, B. Griffith, R.D. Hollister, A Hope, H.P. Huntington, AM. Jenson, G.J. Jia, R. Jorgenson, D. Kane, D.R. Klein, G. Kofinas,AH. Lynch,A.H. Lloyd, D. McGuire, F.E. Nelson, We. Oechel, IE. Osterkamp, e.H. Racine, V.E. Romanovsky, R.S. Stone, DA Stow, M. Sturm, cr. Tweedies, G.L. Vourlitis, M.D. Walker, DA Walker, P.J. Webber, J.M. Welker, K.S. Winker, and K. Yoshikawa, 2005: Evidence and implications of recent climate change in northern Alaska and other arctic regions. Climatic Change, 72(3), 251-298.

Hirabayashi, Y., S. Kanae, K. Motoya, K. Masuda, and P. Doll, 2008a: A 59-year (1948-2006) global meteorological forcing data set for land surface models. Part II: Global snowfall estimation. Hydrological Research Letters, 2, 65-69.

Hirabayashi, Y., S. Kanae, S. Emori, lOki, and M. Kimoto, 2008b: Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. Hydrological Sciences Journal, 53(4), 754-772.

Hirsch, M.E., Al DeGaetano, and S.J. Colucci, 2001: An East Coast winter storm climatology. Journal of Climate, 14(5), 882-899.

Hirschi, M., S.I. Seneviratne, V. Alexandrov, F. Boberg, e. Boroneant, O.B. Christensen, H. Formayer, B. Orlowsky, and P. Stepanek, 2011: Observational evidence for soil-moisture impact on hot extremes in southeastern Europe. Nature Geoscience, 4(1), 17-21.

Hodges, K.I., B.J. Hoskins, J. Boyle, and e. Ihorncroft, 2003: A comparison of recent reanalysis datasets using objective feature tracking: Storm tracks and tropical easterly waves. Monthly Weather Review, 131 (9), 2012-2037.

Hoegh-Guldberg, 0., 1999: Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. Marine and Freshwater Research, 50(8), 839-866.

Hoelzle, M., G. Darms, and S. Suter, 2010: Evidence of accelerated englacial warming in the Monte Rosa area, Switzerland/Italy. The Cryosphere Discussions, 4(4), 2277-2305.

Hoerling, M., J. Hurrell, J. Eischeid, and A Phillips, 2006: Detection and attribution of twentieth-century northern and southern African rainfall change. Journal of Climate, 19(16), 3989-4008.

Hohenegger, e., P. Brockhaus, and e. Schar, 2008: Towards climate simulations at cloud-resolving scales. Meteorology leitschrift, 17(4), 383-394.

Hohenegger, e., P. Brockhaus, e.s. Bretherton, and e. Schar, 2009:The soil moisture¬precipitation feedback in simulations with explicit and parameterized convection. Journal of Climate, 22(19), 5003-5020.

Holland, G.J. and P.J. Webster, 2007: Heightened tropical cyclone activity in the North Atlantic: Natural variability or climate trend? Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365, 2695-2716.

Hope, P.K., W. Drosdowsky, and N. Nicholls, 2006: Shifts in the synoptic systems influencing southwest Western Australia. Climate Dynamics, 26(7-8), 751-764.

Horton, R., e. Herweijer, e. Rosenzweig, J. Liu, V. Gornitz, and Ae. Ruane, 2008: Sea level rise projections for current generation CGCMs based on the semi-empirical method. Geophysical Research Letters, 35, L02715.

Hossain, F., I. Jeyachandran, and R. Pielke Jr, 2009: Have large dams altered extreme precipitation patterns. EOS Transactions (AGU), 90(48), 453.

Hourdin, F., I. Musat, F. Guichard, P.M. Ruti, F. Favot, MA Filiberti, M. Pham, J.Y. Grandpeix, J. Polcher, P. Marquet, A Boone, J.P. Lafore, J.L. Redelsperger, A. Dell'aquila, T.L. Doval, AK. Traore, and H. Gallee, 2010: AMMA-model intercomparison project. Bulletin of the American Meteorological Society, 91(1),95-104.

Huebener, H., U. Cubasch, U. Langematz, 1 Spangehl, F. Niehoerster, I. Fast, and M. Kunze, 2007: Ensemble climate simulations using a fully coupled ocean¬troposphere-stratosphere general circulation model. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365(1857), 2089-2101.

Huggel, e., 2009: Recent extreme slope failures in glacial environments: effects of thermal perturbation. Quaternary Science Reviews, 28(11-12), 1119-1130.

Huggel, e., w. Haeberli, A Kaab, D. Bieri, and S. Richardson, 2004: An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. Canadian Geotechnical Journal, 41(6),1068-1083.

Huggel, e., S. Zgraggen-Oswald, W. Haeberli, A Kaab, A. Polkvoj, I. Galushkin, and S.G. Evans, 2005: The 2002 rock/ice avalanche at Kolka/Karmadon, Russian Caucasus: assessment of extraordinary avalanche formation and mobility, and application of QuickBird satellite imagery. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5(2), 173-187.

Huggel, e., J. Caplan-Auerbach, e.F. Way thomas, and R.L. Wessels, 2007: Monitoring and modeling ice-rock avalanches from ice-capped volcanoes: A case study of frequent large avalanches on Iliamna Volcano, Alaska. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 168(1-4), 114-136.

Huggel, e., J. Caplan-Auerbach, and R. Wessels, 2008: Recent extreme avalanches: Triggered by climate change. Eos Transactions (AGU), 89(47), 469-470.

Huggel, e., N. Salzmann, S. Allen, J. Caplan-Auerbach, L. Fischer, W. Haeberli, e. Larsen, D. Schneider, and R. Wessels, 2010: Recent and future warm extreme events and high-mountain slope failures. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 368, 2435-2459.

Hulme, M., R. Doherty, 1 Ngara, M. New, and D. Lister, 2001: African climate change: 1900-2100. Climate Research, 17(2), 145-168.

Hundecha, Y. and A Bardossy, 2008: Statistical downscaling of extreme of daily precipitation and temperature and construction of their future scenarios. International Journal of Climatology, 28(5), 589-610.

Hundecha, Y., A St-Hilaire, IB.M.J. Ouarda, S. El Adlouni, and P. Gachon, 2008: A nonstationary extreme value analysis for the assessment of changes in extreme annual wind speed over the Gulf of st. Lawrence, Canada. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 47(11), 2745-2759.

Hungate, BA, J.S. Dukes, M.R.L.Y. Shaw, and e.B. Field, 2003: Nitrogen and climate change. Science, 302(5650), 1512-1513.

Hunter, J., 2010: Estimating sea-level extremes under conditions of uncertain sea¬level rise. Climatic Change, 99(3-4), 331-350.

Huss, M., D. Farinotti, A Bauder, and M. Funk, 2008: Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate. Hydrological Processes, 22(19), 3888-3902.

Im, E.S. and w.- 1 Kwon, 2007: Characteristics of extreme climate sequences over Korea using a regional climate change scenario. SOLA, 3, 17-20.

Im, E.S., J.B. Ahn, W.I Kwon, and F. Giorgi, 2008: Multi-decadal scenario simulation over Korea using a one-way double-nested regional climate model system. Part 2: Future climate projection (2021-2050). Climate Dynamics, 30(2-3), 239-254. 1m, E.S., I.w. Jung, and D. H. Bae, 2011 : The temporal and spatial structures of recent and future trends in extreme indices over Korea from a regional climate projection. International Journal of Climatology, 31 (1), 72-86.

Inoue, J., J.P. Liu, J.O. Pinto, and JA Curry, 2006: Intercomparison of Arctic Regional Climate Models: Modeling clouds and radiation for SHEBA in May 1998.Journal of Climate, 19(17), 4167-4178.

IPee, 2007a: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 pp.

IPee, 2007b: 정책결정자를 위한 요약 In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 1-18.

Irish, J.L. and D.I Resio, 2010: A hydrodynamics-based surge scale for hurricanes. Ocean Engineering, 37(1), 69-81.

Iverson, R.M., 2000: Landslide triggering by rain infiltration. Water Resources Research, 36(7), 1897-1910.

Jakob, D., 2010: Challenges in developing a high-quality surface wind-speed data set for Australia. Australian Meteorological and Oceanographic Journal, 60(4), 227-236.

Jakob, M. and H. Weatherly, 2003: A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia. Geomorphology, 54(3-4),137-156.

Janicot, S., 2009: A comparison of Indian and African monsoon variability at different time scales. Comptes Rendus Geoscience, 341 (8-9), 575-590.

Jansen, E., J. Overpeck, K.R. Briffa, J.e. Duplessy, F. Joos, V. Masson-Delmotte, V. Olago, B. Otto-Bliesner, W.R. Peltier, S. Rahmstorf, R. Ramesh, D. Raynaud, D. Rind, O. Solomina, R. Villalba, and D. Zhang, 2007: Palaeoclimate. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 433-497.

Jiang, I. Z.w. Kundzewicz, and B. Su, 2008: Changes in monthly precipitation and flood hazard in the Yangtze River Basin, China. International Journal of Climatology, 28(11), 1471-1481.

Jiang, Y., Y. Luo, z.e. Zhao, and S.W Tao, 2010a: Changes in wind speed over China during 1956-2004. Theoretical and Applied Climatology, 99(3-4), 421-430.

Jiang, Y., Y. luo, z.e. Zhao, Y. Shi, Y.L. Xu, and J.H. Zhu, 2010b: Projections of wind changes for 21 st century in China by three regional climate models. Chinese

Geographical Science, 20(3), 226-235.

Johnson, N.e. and S.-P. Xie, 2010: Changes in the sea surface temperature threshold for tropical convection. Nature Geoscience, 3(12), 842-845.

Joly, M. and A Voldoire, 2010: Role of the Gulf of Guinea in the inter-annual variability oftheWestAfrican monsoon: what do we learn from CMIP3 coupled simulations? International Journal of Climatology, 30(12), 1843-1856.

Jomelli, V., V.P. Pech, e. Chochillon, and D. Brunstein, 2004: Geomorphic variations of debris flows and recent climatic change in the French Alps. Climatic Change, 64(1),77-102.

Jones, B.M., c.n Arp, M.l Jorgenson, K.M. Hinkel, JA Schmutz, and P.L. Flint, 2009: Increase in the rate and uniformity of coastline erosion in Arctic Alaska. Geophysical Research Letters, 36, L03503.

Jones, G.S., PA Stott, and N. Christidis, 2008: Human contribution to rapidly increasing frequency of very warm Northern Hemisphere summers. Journal of Geophysical Research, 113, D021 09.

Jorgenson, M.I, Y.L. Shur, and E.R. Pullman, 2006: Abrupt increase in permafrost degradation in Arctic Alaska. Geophysical Research Letters, 33, L02503.

Joseph, R. and S. Nigam, 2006: ENSO evolution and teleconnections in IPCC's twentieth-century climate simulations: realistic representation? Journal of Climate, 19(17),4360-4377.

Jull, M. and D. McKenzie, 1996: The effect of deglaciation on mantle melting beneath Iceland. Journal of Geophysical Research - Solid Earth, 101(810), 21815-21828.

Jung, M., M. Reichstein, P. Ciais, S.I. Seneviratne, J. Sheffield, M.L. Goulden, G. Bonan, A Cescatti, J.Q. Chen, R. de Jeu,A.J. Dolman, W Eugster, D. Gerten, D. Gianelle, N. Gobron, J. Heinke, J. Kimball, B.E. Law, L. Montagnani, Q.Z. Mu, B. Mueller, K. Oleson, D. Papale, AD. Richardson, O. Roupsard, S. Running, E. Tomelleri, N. Viovy, U. Weber, e. Williams, E. Wood, S. Zaehle, and K. Zhang, 2010: Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. Nature, 467(7318), 951-954.

Jung, I. S.K. Gulev, I. Rudeva, and V. Soloviov, 2006: Sensitivity of extratropical cyclone characteristics to horizontal resolution in the ECMWF model. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 132(619), 1839-1857.

Kääb, A, R. Frauenfelder, and I. Roer, 2007: On the response of rockglacier creep to surface temperature increase. Global and Planetary Change, 56(1-2), 172-187.

Kallis, G., 2008: Droughts. Annual Review of Environment and Resources, 33, 85-118. Kamiguchi, K., A Kitoh, 1 Uchiyama, R. Mizuta, and A Noda, 2006: Changes in precipitation-based extremes indices due to global warming projected by a global 20-km-mesh atmospheric model. SOLA, 2, 64-67.

Kanada, S., M. Nakano, and 1 Kato, 2010a: Changes in mean atmospheric structures around Japan during July due to global warming in regional climate experiments using a cloud system resolving model. Hydrological Research Letters, 4,11-14.

Kanada, S., M. Nakano, and 1 Kato, 2010b: Climatological characteristics of daily precipitation over Japan in the Kakushin regional climate experiments using a non-hydrostatic 5-km-mesh model: Comparison with an outer global 20-km¬mesh atmospheric climate model. SOLA, 6, 117-120.

Kang, 1.5. and J. Shukla, 2006: Dynamic seasonal prediction and predictability of the monsoon. In: The Asian Monsoon [Wang, B. (ed.)]. SpringerlPraxis, New York, NY, pp. 585-612.

Karl, IR., G.A. Meehl, D.M. Christopher, S.J. Hassel, AM. Waple, and WL. Murray, 2008: Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC, 164 pp.

Karl, IR., J.M. Melillo, and le. Peterson (eds.), 2009: Global Climate Change Impacts in the United States. Cambridge University Press, New York, NY, 189 pp.

Karoly, D.J. and Q.G. Wu, 2005: Detection of regional surface temperature trends. Journal of Climate, 18(21),4337-4343.

Kaser, G., J.G. Cogley, M.B. Dyurgerov, MJ. Meier, and A Ohmura, 2006: Mass balance of glaciers and ice caps: Consensus estimates for 1961-2004. Geophysical Research Letters, 33, L 19501.

Kay, AL., H.N. Davies, VA Bell, and R.G. Jones, 2009: Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. Climatic Change, 92(1-2), 41-63.

Kay, G. and R. Washington, 2008: Future southern African summer rainfall variability related to a southwest Indian Ocean dipole in HadCM3. Geophysical Research Letters, 35, L 12701.

Keeling, R.F.,A Kortzinger, and N. Gruber, 2010: Ocean deoxygenation in a warming world. Annual Review of Marine Science, 2, 199-229.

Keenlyside, N.S., M. Latif, J. Jungclaus, L. Kornblueh, and E. Roeckner, 2008: Advancing decadal-scale climate prediction in the North Atlantic sector. Nature, 453,84-88.

Kellogg, e.A and D.w. Griffin, 2006: Aerobiology and the global transport of desert dust. Trends in Ecology & Evolution, 21(11), 638-644.

Kendon, E.J., D.P. Rowell, R.G. Jones, and E. Buonomo, 2008: Robustness of future changes in local precipitation extremes. Journal of Climate, 21 (17),4280-4297.

Kendon, E.J., D.P. Rowell, and R.G. Jones, 2010: Mechanisms and reliability of future projected changes in daily precipitation. Climate Dynamics, 35(2-3), 489-509.

Kenyon, J., and G.e. Hegerl, 2008: Influence of modes of climate variability on global temperature extremes. Journal of Climate, 21(15), 3872-3889.

Kershaw, JA, J.J. Clague, and S.G. Evans, 2005: Geomorphic and sedimentological signature of a two-phase outburst flood from moraine-dammed Queen Bess Lake, British Columbia, Canada. Earth Surface Processes and Landforms, 30(1), 1-25.

Kharin, V., F.W Zwiers, X. Zhang, and G.e. Hegerl, 2007: Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. Journal of Climate, 20(8), 1419-1444.

Khon, V.e., 1.1. Mokhov, E. Roeckner, and VA Semenov, 2007: Regional changes of precipitation characteristics in Northern Eurasia from simulations with global climate model. Global and Planetary Change, 57(1-2), 118-123.

Kidston, J., and E.P. Gerber, 2010: Intermodel variability of the poleward shift of the austral jet stream in the CMIP3 integrations linked to biases in 20th century climatology. Geophysical Research Letters, 37(9), L09708.

Kiktev, D., D.M.H. Sexton, L. Alexander, and e.K. Folland, 2003: Comparison of modeled and observed trends in indices of daily climate extremes. Journal of Climate, 16(22), 3560-3571.

Kiktev, D.M., J. Caesar, and L. Alexander, 2009: Temperature and precipitation extremes in the second half of the twentieth century from numerical modeling results and observational data.Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics, 45, 284-293.

Kilsby, e., P. Jones,A Burton,A Ford, H. Fowler, e. Harpham, P. James,A Smith, and R. Wilby, 2007: A daily weather generator for use in climate change studies. Environmental Modelling and Software, 22(12), 1705-1719.

Kim, H.J., R.e. Sidle, R.D. Moore, and R. Hudson, 2004: Throughflow variability during snowmelt in a forested mountain catchment, coastal British Columbia, Canada. Hydrological Processes, 18(7), 1219-1236.

Kim, H.J., B. Wang, and Q.H. Ding, 2008: The global monsoon variability simulated by CMIP3 coupled climate models. Journal of Climate, 21(20), 5271-5294.

Kim, S., E. Nakakita, Y. Tachikawa, and K. Takara, 2010: Precipitation changes in Japan under the A1B climate change scenario. Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 54, 127-132.

Kim, S.K., WP. Hong, and Y.M. Kim, 1991: Prediction of rainfall-triggered landslides in Korea. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Landslides, Christchurch, New lealand [Bell, D.H. (ed.)]. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 989-994.

Kimoto, M., N. Yasutomi, e. Yokoyama, and S. Emori, 2005: Projected changes in precipitation characteristics around Japan under the global warming. SOLA, 1, 85-88.

King'uyu, S.M., L.A. Ogallo, and E.K. Anyamba, 2000: Recent trends of minimum and maximum surface temperatures over eastern Africa. Journal of Climate, 13(16), 2876-2886.

Kitoh, A and 1 Uchiyama, 2006: Changes in onset and withdrawal of the EastAsian summer rainy season by multi-model global warming experiments. Journal of the Meteorological Society of Japan, 84(2), 247-258.

Kitoh, A, lOse, K. Kurihara, S. Kusunoki, M. Sugi, and KAKUSHIN Team-3 Modeling Group, 2009: Projection of changes in future weather extremes using super¬high-resolution global and regional atmospheric models in the KAKUSHIN Program: Results of preliminary experiments. Hydrological Research Letters, 3, 49-53.

Kitoh, A, S. Kusunoki, and 1 Nakaegawa, 2011: Climate change projections over South America in the late 21 st century with the 20 and 60 km mesh Meteorological Research Institute atmospheric general circulation model (MRI¬AGCM). Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 116, D061 05.

Kjellström, E. and P. Lind, 2009: Changes in the water budget in the Baltic Sea drainage basin in future warmer climates as simulated by the regional climate model RCA3. Boreal Environment Research, 14(1), 114-124.

Kjellström, E., L. Barring, D. Jacob, R. Jones, G. Lenderink, and e. Schar, 2007: Modelling daily temperature extremes: recent climate and future changes over Europe. Climatic Change, 81(S1), 249-265.

Klein Tank, AM.G., and G.P. Können, 2003: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-1999. Journal of Climate, 16(22), 3665-3680.

Klein Tank,AM.G., le. Peterson, DA Quadir, S. Dorji, X. Zou, H. Tang, K. Santhosh, U.R. Joshi,A.K. Jaswal, R.K. Kolli,AB. Sikder, N.R. Deshpande, J.V. Revadekar, K. Yeleuova, S. Vandasheva, M. Faleyeva, P. Gomboluudev, K.P. Budhathoki, A Hussain, M. Afzaal, L. Chandrapala, H. Anvar, D. Amanmurad, V.S. Asanova, P.D. Jones, M.G. New, and 1 Specktorman, 2006: Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia. Journal of Geophysical Research, 111, D161 05.

Knapp, K.R. and J.P. Kossin, 2007: A new global tropical cyclone data set from ISCCP B1 geostationary satellite observations. Journal of Applied Remote Sensing, 1, 013505.

Knapp, K.R. and M.e. Kruk, 2010: Quantifying inter-agency differences in tropical cyclone best track wind speed estimates. Monthly Weather Review, 138(4), 1459-1473.

Kniveton, D.R., R. Layberry, c.J.R. Williams, and M. Peck, 2009: Trends in the start of the wet season over Africa. International Journal of Climatology, 29(9), 1216-1225.

Knowles, N., M.D. Dettinger, and D.R. Cayan, 2006: Trends in snowfall versus rainfall in the western United States. Journal of Climate, 19(18), 4545-4559.

Knox, J.e., 2000: Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change. Quaternary Science Reviews, 19(1-5), 439-457.

Knutson, IR. and R.E. Tuleya, 2004: Impact of COr induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: Sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization. Journal of Climate, 17(18), 3477-3495.

Knutson, IR., T.L. Delworth, K.W. Dixon, I.M. Held, J. l.u, V. Ramaswamy, M.D. Schwarzkopf, G. Stenchikov, and R.J. Stouffer, 2006: Assessment of twentieth¬century regional surface temperature trends using the GFDL CM2 coupled models. Journal of Climate, 19(9), 1624-1651.

Knutson, IR., J.J. Sirutis, S.l Garner, I.M. Held, and R.E. Tuleya, 2007: Simulation of the recent multidecadal increase of Atlantic hurricane activity using an 18-km¬grid regional model. Bulletin of the American Meteorological Society, 88(10), 1549-1565.

Knutson, IR., J.J. Sirutis, S.l Garner, GA Vecchi, and I.M. Held, 2008: Simulated reduction in Atlantic hurricane frequency under twenty-first- century warming conditions. Nature Geoscience, 1(6), 359-364.

Knutson, IR., J.L. McBride, J. Chan, K. Emanuel, G. Holland, e. Landsea, I. Held, J.P.

Kossin, AK. Srivastava, and M. Sugi, 2010: Tropical cyclones and climate change. Nature Geoscience, 3(3), 157-163.

Knutti, R., 2010: The end of model democracy? Climatic Change, 102(3-4), 395-404.

Knutti, R., R. Furrer, e. Tebaldi, J. Cermak, and GA Meehl, 2010a: Challenges in combining projections from multiple climate models. Journal of Climate, 23(10), 2739-2758.

Knutti, R., G. Abramowitz, M. Collins, V. Eyring, P.J. Glecker, B. Hewitson, and L. Mearns, 2010b: Good practice guidance paper on assessing and combining multi model climate projections. In: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi¬Model Climate Projections [Stocker, T.F., Q. Dahe, G.-K. Plattner, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 1-13.

Kochel, R.e., and V.R. Baker, 1982: Paleoflood hydrology. Science, 215(4531),353-361. Kodama, e. and 1 Iwasaki, 2009: Influence of the SST rise on baroclinic instability wave activity under an aquaplanet condition. Journal of the Atmospheric Sciences, 66(8), 2272-2287.

Koffi, B. and E. Koffi, 2008: Heat waves across Europeby the end of the 21 st century: multiregional climate simulations. Climate Research, 36(2),153-168.

Komar, P.D. and J.e. Allan, 2008: Increasing hurricane-generated wave heights along the US East Coast and their climate controls. Journal of Coastal Research, 24(2),479-488.

Kont, A, J. Jaagus, R. Aunap, U. Ratas, and R. Rivis, 2008: Implications of sea-level rise for Estonia. Journal of Coastal Research, 24(2),423-431.

Koo, G.S., K.O. Boo, and W.l Kwon, 2009: Projection of temperature over Korea using an MM5 regional climate simulation. Climate Research, 40(2-3), 241-248.

Kossin, J.P., 2008: Is the NorthAtlantic hurricane season getting longer? Geophysical Research Letters, 35, L23705.

Kossin, J.P. and D.J. Vimont, 2007: A more general framework for understanding Atlantic hurricane variability and trends. Bulletin of the American Meteorology Society, 88(11), 1767-1781.

Kossin, J.P., K.R. Knapp, D.J. Vimont, R.J. Murnane, and BA Harper, 2007: A globally consistent reanalysis of hurricane variability and trends. Geophysical Research Letters, 34, L04815.

Kossin, J.P., S.J. Camargo, and M. Sitkowski, 2010: Climate modulation of North Atlantic hurricane tracks. Journal of Climate, 23(11), 3057-3076.

Koster, R.D. and M.J. Suarez, 2001: Soil moisture memory in climate models. Journal of Hydrometeorology, 2(6), 558-570.

Koster, R.D., M.J. Suarez, P. Liu, U. Jambor, A Berg, M. Kistler, R. Reichle, M. Rodell, and J. Famiglietti, 2004a: Realistic initialization of land surface states: Impacts on subseasonal forecast skill. Journal of Hydrometeorology, 5(6), 1049-1063.

Koster, R.D., PA Dirmeyer, Z.e. Guo, G. Bonan, E. Chan, P. Cox, c.t Gordon, S. Kanae, E. Kowalczyk, D. Lawrence, P. Liu, e.H. l.u, S. Malyshev, B. McAvaney, K. Mitchell, D. Mocko, lOki, K. Oleson,A. Pitman, Y.e. Sud, e.M. Taylor, D. Verseghy, R. Vasic, Y.K. Xue, and 1 Yamada, 2004b: Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. Science, 305, 1138-1140.

Koster, R.D., Z.e. Guo, R.Q. Yang, PA Dirmeyer, K. Mitchell, and M.J. Puma, 2009: On the nature of soil moisture in land surface models. Journal of Climate, 22(16), 4322-4335.

Kotlyakov, V.M., O.V. Rototaeva, and GA Nosenko, 2004: The September 2002 Kolka glacier catastrophe in North Ossetia, Russian Federation: evidence and analysis. Mountain Research and Development, 24(1), 78-83.

Kripalani, R.H., J.H. Oh, A Kulkarni, S.S. Sabade, and H.S. Chaudhari, 2007: South Asian summer monsoon precipitation variability: Coupled climate model simulations and projections under IPCC AR4. Theoretical and Applied Climatology, 90(3-4), 133-159.

Krishnamurthy, e.K.B., U. Lall, and H.H. Kwon, 2009: Changing frequency and intensity of rainfall extremes over India from 1951 to 2003. Journal of Climate, 22(18),4737-4746.

Kruger, Ae., 2006: Observed trends in daily precipitation indices in South Africa: 1910-2004. International Journal of Climatology, 26(15), 2275-2285.

Kubota, H. and J.e.L. Chan, 2009: Interdecadal variability of tropical cyclone landfall in the Philippines from 1902 to 2005. Geophysical Research Letters, 36, L 12802.

Kürbis, K., M. Mudelsee, G. Tetzlaff, and R. Brazdil, 2009: Trends in extremes of temperature, dewpoint, and precipitation from long instrumental series from central Europe. Theoretical and Applied Climatology, 98(1-2), 187-195.

Kuglitsch, F.G., A Toreti, E. Xoplaki, P.M. Della-Marta, J. Luterbacher, and H. Wanner, 2009: Homogenization of daily maximum temperature series in the Mediterranean. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 114, D151 08.

Kuglitsch, F.G., A Toreti, E. Xoplaki, P.M. Della-Marta, e. Zerefos, M. Turkes, and J. Luterbacher, 2010: Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. Geophysical Research Letters, 37, L04802.

Kuleshov, Y., L. Qi, R. Fawcett, and D. Jones, 2008: On tropical cyclone activity in the Southern Hemisphere: Trends and the ENSO connection. Geophysical Research Letters, 35, L 14508.

Kumar, K.R., AK. Sahai, K.K. Kumar, S.K. Patwardhan, P.K. Mishra, J.V. Revadekar, K.

Kamala, and G.B. Pant, 2006: High-resolution climate change scenarios for India for the 21 st century. Current Science, 90(3), 334-345.

Kundzewicz, Z.W, L.J. Mata, N.W Arnell, P. Doll, P. Kabat, B. Jimenez, KA Miller, I Oki, Z. Sen, and IA Shiklomanov, 2007: Freshwater resources and their management. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and e.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 173-210.

Kunkel, K.E., P.D. Bromirski, H.E. Brooks, I Cavazos,AV. Douglas, D.R. Easterling, KA Emanuel, P.Y. Groisman, G.J. Holland, IR. Knutson, J.P. Kossin, P.D. Komar, D.H. Levinson, and R.L. Smith, 2008: Observed changes in weather and climate extremes. In: Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. [Karl, IR., GA Meehl, D.M. Christopher, S.J. Hassol, AM. Waple, and WL. Murray (eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC. pp. 222.

Kunkel, K.E., x.-z. Liang, and J. Zhu, 2010: Regional climate model projections and uncertainties of U.S. summer heat waves. Journal of Climate, 23(16), 4447-4458.

Kunz, M., J. Sander, and e. Kottmeier, 2009: Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. International Journal of Climatology, 29(15), 2283-2297.

Kusunoki, S. and R. Mizuta, 2008: Future changes in the Baiu rain band projected by a 20-km mesh global atmospheric model: sea surface temperature dependence. SOLA, 4, 85-88.

Kwarteng, AY., AS. Dorvlo, and G.IV. Kumar, 2009: Analysis of a 27-year rainfall data (1977-2003) in the Sultanate of Oman. International Journal of Climatology, 29(4), 605-617.

Kysely, J., 2009: Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961-2005. International Journal of Climatology, 29(12), 1745-1758.

Kysely, J. and R. Beranova, 2009: Climate-change effects on extreme precipitation in central Europe: uncertainties of scenarios based on regional climate models. Theoretical and Applied Climatology, 95(3-4), 361-374.

Laine, A, M. Kageyama, D. Salas-Melia, G. Ramstein, S. Planton, S. Denvil, and S. Tyteca, 2009: An energetics study of wintertime Northern Hemisphere storm tracks under 4 x C02 conditions in two ocean-atmosphere coupled models. Journal of Climate, 22(3), 819-839.

Lambeck, K., e.D. Woodroffe, F. Antonioli, M. Anzidei, WR. Gehrels, J. Laborel, and AJ. Wright, 2010: Paleoenvironmental records, geophysical modeling, and reconstruction of sea-level trends and variability on centennial and longer timescales. In: Understanding Sea-Level Rise and Variability [Church, JA, P.L. Woodworth, I Aarup, and WS. Wilson (eds.)]. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, pp.61-121.

Landsea, e.W, 1993: A climatology of intense (or major) Atlantic hurricanes. Monthly Weather Review, 121 (6),1703-1713.

Landsea, e.W, 2007: Counting Atlantic tropical cyclones back to 1900. EOS Transactions (AGU), 88(18), 197-202.

Landsea, e.W, e. Anderson, N. Charles, G. Clark, J. Dunion, J. Fernandez-Partagas, P. Hungerford, e. Neumann, and M. Zimmer, 2004: The Atlantic hurricane database re-analysis project: Documentation for the 1851-1910 alterations and additions to the HURDAT database. In: Hurricanes and Typhoons: Past, Present and Future [Murnane, R.J. and K.B. Liu (eds.)]. Columbia University Press, New York, NY, pp. 177-221.

Landsea, e.W, B.A. Harper, K. Hoarau, and J.A. Knaff, 2006: Can we detect trends in extreme tropical cyclones? Science, 313(5786), 452-454.

Lantz, le., and s.v. Kokelj, 2008: Increasing rates of retrogressive thaw slump activity in the Mackenzie Delta region, N.WI, Canada. Geophysical Research Letters, 35, L06502.

Laprise, R., R. de Elia, D. Caya, S. Biner, P. Lucas-Picher, E. Diaconescu, M. Leduc, A Alexandru, L. Separovic, and e. Canadian Network Regional, 2008: Challenging some tenets of regional climate modelling. Meteorology and Atmospheric Physics, 100(1-4),3-22.

Larsen, e.F., R.J. Motyka, AA Arendt, KA Echelmeyer, and P.E. Geissler, 2007: Glacier changes in southeast Alaska and northwest British Columbia and contribution to sea level rise. Journal of Geophysical Research, 112, F01007.

Lau, K.M. and H.I Wu, 2007: Detecting trends in tropical rainfall characteristics, 1973-2003. International Journal of Climatology, 27(8), 979-988.

Lau, K.M., M.K. Kim, and K.M. Kim, 2006: Asian summer monsoon anomalies induced by aerosol direct forcing: the role of the Tibetan Plateau. Climate Dynamics, 26(7-8), 855-864.

Lau, K.M., Y.P. Zhou, and H.I Wu, 2008a: Have tropical cyclones been feeding more extreme rainfall? Journal of Geophysical Research, 113, D23113.

Lau, N.e., A Leetma, and M.J. Nath, 2008b: Interactions between the responses of North American climate to El Nirio-La Nina and to the secular warming trend in the Indian-Western Pacific Oceans. Journal of Climate, 21(3),476-494.

Laurent, e. and S. Parey, 2007: Estimation of 1 OO-year return-period temperatures in France in a non-stationary climate: Results from observations and IPCC scenarios. Global and Planetary Change, 57(1-2), 177-188.

Le Cozannet, G., S. Lecacheux, E. Delvallee, N. Desramaut, e. Oliveros, and R. Pedreros, 2011: Teleconnection pattern influence on sea-wave climate in the Bay of Biscay. Journal of Climate, 24(3), 641-652.

Le Quesne, e., D.W Stahle, M.K. Cleaveland, M.D. Therrell, J.e. Aravena, and J. Barichivich, 2006: Ancient Austrocedrus tree-ring chronologies used to reconstruct central Chile precipitation variability from A.D. 1200 to 2000. Journal of Climate, 19(22), 5731-5744.

Le Quesne, e., e. Acuna, JA Boninsegna, A Rivera, and J. Barichivich, 2009: Long¬term glacier variations in the Central Andes of Argentina and Chile, inferred from historical records and tree-ring reconstructed precipitation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 281(3-4), 334-344.

Leake, J., J. Wolf, J. Lowe, P. Stansby, G. Jacoub, R. Nicholls, M. Mokrech, S. Nicholson¬Cole, M. Walkden, A Watkinson, and S. Hanson, 2007: Predicted wave climate for the UK: towards an integrated model of coastal impacts of climate change. In: Estuarine and Coastal Modeling Congress 2007 [Spaulding, M. (ed.)]. Proceedings of the Tenth International Conference on Estuarine and Coastal Modeling Congress 2007, Newport, Rhode Island, 5-7 Nov 2007, American Society of Civil Engineers, pp 393-406.

Leander, R., IA Buishand, B.J.J.M. van den Hurk, and M.J.M. deWit, 2008: Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output. Journal of Hydrology, 351 (3-4),331-343.

Leckebusch, G.e., B. Koffi, U. Ulbrich, J.G. Pinto, I Spangehl, and S. Zacharias, 2006: Analysis of frequency and intensity of European winter storm events from a multi-model perspective, at synoptic and regional scales. Climate Research, 31(1),59-74.

Leckebusch, G.e., D. Renggli, and U. Ulbrich, 2008: Development and application of an objective storm severity measure for the Northeast Atlantic region. Meteorologische Zeitschrift, 17(5), 575-587.

Leclercq, P., J. Oerlemans, and J. Cogley, 2011: Estimating the glacier contribution to sea-level rise for the period 1800-2005. Surveys in Geophysics, 32(4-5), 519-535, doi:1 0.1 007/s1 0712-1 0011-19121-1 0717.

Lee, I and M.J. McPhaden, 2010: Increasing intensity of El Nino in the central¬equatorial Pacific. Geophysical Research Letters, 37, L 14603.

Legates, D.R., H.F. Lins, and G.J. McCabe, 2005: Comments on "Evidence for global runoff increase related to climate warming" by Labat ? Advances in Water Resources, 28(12), 1310-1315.

Lehmann, A, K. Getzlaff, and J. Harlass, 2011: Detailed assessment of climate variability in the Baltic Sea area for the period 1958 to 2009. Climate Research, 46(2), 185-196.

Lehner, B., P. Doll, J. Alcamo, 1 Henrichs, and F. Kaspar, 2006: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe:A continental, integrated analysis. Climatic Change, 75(3), 273-299.

Leloup, J., M. Lengaigne, and J.-P. Boulanger, 2008: Twentieth century ENSO characteristics in the I PCC database. Climate Dynamics, 30(2-3), 227-291.

Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R.H. Thomas, and 1 Zhang, 2007: Observations: Changes in snow, ice and frozen ground. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, pp. 337-383.

Lenderink, G. and E. Van Meijgaard, 2008: Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. Nature Geoscience, 1(8), 511-514.

Lenderink, G. and E. van Meijgaard, 2009: Unexpected rise in extreme precipitation caused by a shift in rain type? Nature Geoscience, 2(6), 373-373.

Lenton, 1M., H. Held, E. Kriegler, J.W Hall, W Lucht, S. Rahmstorf, and H.J. Schellnhuber, 2008: Tipping elements in the Earth's climate system. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(6), 1786-1793.

Leslie, L.M., M. Leplastrier, and B.W Buckley, 2008: Estimating future trends in severe hailstorms over the Sydney Basin: A climate modelling study. Atmospheric Research, 87(1), 37-57.

Lewis, S.L., P.M. Brando, O.L. Phillips, G.M.F. van der Heijden, and D. Nepstad, 2011: The 2010 Amazon Drought. Science, 331(6017),554.

Lewkowicz, AG. and e. Harris, 2005: Morphology and geotechnique of active-layer detachment failures in discontinuous and continuous permafrost, northern Canada. Geomorphology, 69(1-4), 275-297.

L'Hote, Y., G. Mahe, B. Some, and J.P. Iriboulet, 2002: Analysis of a Sahel ian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. Hydrological Sciences Journal, 47(4), 563-572.

Li, H., A Dai, 1 Zhou, and J. l.u, 2008: Responses of East Asian summer monsoon to historical SST and atmospheric forcing during 1950-2000. Climate Dynamics, 34(4), 501-514.

Li, X.Y., L.Y. Liu, and J.H. Wang, 2004: Wind tunnel simulation of aeolian sandy soil erodibility under human disturbance. Geomorphology, 59(1-4), 3-11.

Liggins, F., RA Betts, and B. McGuire, 2010: Projected future climate changes in the context of geological and geomorphological hazards. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 368(1919), 2347-2367.

Lim, E.-P., and I. Simmonds, 2009: Effect of tropospheric temperature change on the zonal mean circulation and SH winter extratropical cyclones. Climate Dynamics, 33(1),19-32.

Lin, J.L., B.E. Mapes, K.M. Weickmann, G.N. Kiladis, S.D. Schubert, M.J. Suarez, J.T. Bacmeister, and M.I. Lee, 2008a: North American monsoon and convectively coupled equatorial waves simulated by IPCC AR4 coupled GCMs. Journal of Climate, 21(12), 2919-2937.

Lin, J.L., K.M. Weickman, G.N. Kiladis, B.E. Mapes, S.D. Schubert, M.J. Suarez, J.T. Bacmeister, and M.I. Lee, 2008b: Subseasonal variability associated with Asian summer monsoon simulated by 14 IPCC AR4 coupled GCMs. Journal of Climate, 21(18),4541-4567.

Lindstrom, G. and S. Bergstrom, 2004: Runoff trends in Sweden 1807-2002. Hydrological Sciences Journal, 49(1), 69-83.

Lins, H.F. and J.R. Slack, 1999: Streamflow trends in the United States. Geophysical Research Letters, 26(2), 227-230.

Lionello, P., S. Cogo, M.B. Galati, and A Sanna, 2008: The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations. Global and Planetary Change, 63(2-3), 152-162.

Lipovsky, P., S. Evans, J. Clague, e. Hopkinson, R. Couture, P. Bobrowsky, G. Ekstrom, M. Demuth, K. Delaney, N. Roberts, G. Clarke, and A Schaeffer, 2008: The July 2007 rock and ice avalanches at Mount Steele, st. Elias Mountains, Yukon, Canada. Landslides, 5(4), 445-455.

Liu, B., M. Xu, and M. Henderson, 2011: Where have all the showers gone? Regional declines in light precipitation events in China, 1960-2000. International Journal of Climatology, 31(8), 1177-1191.

Llano, M.P. and O. Penalba, 2011: A climatic analysis of dry sequences in Argentina. International Journal of Climatology, 31 (4), 504-513.

Llasat, M.e., M. Barriendos, A. Barrera, and 1 Rigo, 2005: Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. Journal of Hydrology, 313(1-2), 32-47.

Lloyd-Hughes, B., and M.D. Saunders, 2002: A drought climatology for Europe. International Journal of Climatology, 22(13), 1571-1592.

Lobell, D.B., c.J. Bonfils, L.M. Kueppers, and MA Snyder, 2008: Irrigation cooling effect on temperature and heat index extremes. Geophysical Research Letters, 35, L09705.

Loeptien, U., O. Zolina, S. Gulev, M. Latif, and V. Soloviov, 2008: Cyclone life cycle characteristics over the Northern Hemisphere in coupled GCMs. Climate Dynamics, 31 (5), 507-532.

Lohmann, U. and J. Feichter, 2007: Global indirect aerosol effects: a review. Atmospheric Chemistry and Physics, 5(3), 715-737.

Long, Z., W Perrie, J. Gyakum, R. Laprise, and D. Caya, 2009: Scenario changes in the climatology of winter midlatitude cyclone activity over eastern North America and the Northwest Atlantic. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 114, D12111.

Lorenz, D.J., and E.1 DeWeaver, 2007: Tropopause height and zonal wind response to global warming in the IPCC scenario integrations. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 112, D1 0119.

Lorenz, D.J. and D.L. Hartmann, 2003: Eddy-zonal flow feedback in the Northern Hemisphere winter. Journal of Climate, 16(8), 1212-1227.

Lorenz, R., E.B. Jaeger, and S.I. Seneviratne, 2010: Persistence of heat waves and its link to soil moisture memory. Geophysical Research Letters, 37, L09703.

Lowe, JA, P.L. Woodworth, 1 Knutson, R.E. McDonald, K.L. Mcinnes, K. Woth, H. von Storch, J. Wolf, V. Swail, N.B. Bernier, S. Gulev, K.J. Horsburgh,AS. Unnikrishnan, J.R. Hunter, and R. Weisse, 2010: Past and future changes in extreme sea levels and waves. In: Understanding Sea-Level Rise and Variability [Church, JA, P.L. Woodworth, 1 Aarup, and WS. Wilson (eds.)]. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, pp.326-375.

Lu, J., GA Vecchi, and 1 Reichler, 2007: Expansion of the Hadley cell under global warming. Geophysical Research Letters, 34, L06805.

Lugon, R. and M. Stoffel, 2010: Rock-glacier dynamics and magnitude-frequency relations of debris flows in a high-elevation watershed: Ritigraben, Swiss Alps. Global and Planetary Change, 73(3-4), 202-210.

Lupikasza, E., 2010: Spatial and temporal variability of extreme precipitation in Poland in the period 1951-2006. International Journal of Climatology, 30(7), 991-1007.

Luterbacher, J., D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean, and H. Wanner, 2004: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. Science, 303(5663), 1499-1503.

Lynch, AH., JA Curry, R.D. Brunner, and JA Maslanik, 2004: Toward an integrated assessment of the impacts of extreme wind events on Barrow, Alaska. Bulletin of the American Meteorological Society, 85(2), 209-221.

Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida, 2005a: Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region. Part I: Case of the Northern Hemisphere summer. Journal of Climate, 18(3), 410-428.

Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida, 2005b: Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region. Part II: Case of the Northern Hemisphere winter and impact on the extratropical circulation. Journal of Climate, 18(3),429-446.

Mann, M.E. and KA Emanuel, 2006: Atlantic hurricane trends linked to climate change. Eos Transactions (AGU), 87(24), 233-241.

Mann, M.E., KA Emanuel, G.J. Holland, and P.J. Webster, 2007a: Atlantic tropical cyclones revisited. Eos Transactions (AGU), 88, 349-350.

Mann, M.E., 1A Sabbatelli, and U. Neu, 2007b: Evidence for a modest undercount bias in early historical Atlantic tropical cyclone counts. Geophysical Research Letters, 34, L22707.

Mann, M.E., J.D. Woodruff, J.P. Donnelly, and Z. Zhang, 2009: Atlantic hurricanes and climate over the past 1,500 years. Nature, 460, 880-883.

Manson, G.K., and S.M. Solomon, 2007: Past and future forcing of Beaufort Sea coastal change. Atmosphere-Ocean, 45(2), 107-122.

Manton, M.J., P.M. Della-Marta, M.R. Haylock, K.J. Hennessy, N. Nicholls, L.E. Chambers, DA Collins, G. Daw, A. Finet, D. Gunawan, K. Inape, H. Isobe, lS. Kestin, P. Lefale, e.H. Leyu, 1 Lwin, L. Maitrepierre, N. Ouprasitwong, e.M. Page, J. Pahalad, N. Plummer, M.J. Salinger, R. Suppiah, V.L. Iran, B. Trewin, I. Tibig, and D. Yee, 2001: Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. International Journal of Climatology, 21 (3), 269-284.

Maraun, D., IJ. Osborn, and N.P. Gillet, 2008: United Kingdom daily precipitation inten-

sity: improved early data, error estimates and an update from 2000 to 2006. International Journal of Climatology, 28(6), 833-842.

Maraun, D., F. Wetterhall, AM. Ireson, R.E. Chandler, E.J. Kendon, M. Widmann, S. Brienen, H.W Rust, 1 Sauter, M. Themessl, V.K.e. Venema, K.P. Chun, e.M. Goodess, R.G. Jones, e. Onof, M. Vrac, and I. Thiele-Eich, 2010: Precipitation downscaling under climate change. Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. Reviews of Geophysics, 48, RG3003.

Marcos, M., M.N. Tsimplis, and AG.P. Shaw, 2009: Sea level extremes in southern Europe. Journal of Geophysical Research - Oceans, 114, C01 007.

Marengo, JA, R. Jones, L.M. Alves, and M.e. Valverde, 2009a: Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system.Internationa/Journal of Climatology, 29(15), 2241-2255.

Marengo, JA, M. Rusticucci, O. Penalba, and M. Renom, 2009b:An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. Climatic Change, 98(3-4), 509-529.

Marengo, JA, J. Tomasella, W Soares, L. Alves, and e. Nobre, 2011: Extreme climatic events in the Amazon basin. Theoretical and Applied Climatology, doi:1 0.1 007/s00704-00011-00465-00701.

Mariotti, A, N. Zeng, J.H. Yoon, V. Artale, A. Navarra, P. Alpert, and L.Z.X. Li, 2008: Mediterranean water cycle changes: transition to drier 21 st century conditions in observations and CMIP3 simulations. Environmental Research Letters, 3(4), 044001.

Marques, e., A Rocha, and J. Corte-Real, 2011: Global diagnostic energetics of five state-of-the-art climate models. Climate Dynamics, 36(9-10),1767-1794.

Martin, J.H., and R.M. Gordon, 1988: Northeast Pacific iron distributions in relation to phytoplankton productivity. Deep-Sea Research Part A - Oceanographic Research Papers, 35(2), 177-196.

Mastin, L.G., 1994: Explosive tephra emissions at Mount St. Helens, 1989-1991: The violent escape of magmatic gas following storms? Geological Society of America Bulletin, 106(2), 175-185.

Mastrandrea, M.D., e.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W Yohe, and F.w. Zwiers, 2010: Guidance Note for Lead Authors of the !PCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland.

Matthews, AJ., J. Barclay, S. Carn, G. Thompson, J. Alexander, R. Herd, and e. Williams, 2002: Rainfall-induced volcanic activity on Montserrat. Geophysical Research Letters, 29(13), 1644.

Matulla, e., W Schoener, H. Alexandersson, H. von Storch, and X.L. Wang, 2008: European storminess: late nineteenth century to present. Climate Dynamics, 31(2-3),125-130.

Maue, R.N., 2009: Northern Hemisphere tropical cyclone activity. Geophysical Research Letters, 36, L05805.

May, W, 2008: Potential future changes in the characteristics of daily precipitation in Europesimulated by the HIRHAM regional climate model. Climate Dynamics, 30(6), 581-603.

McCabe, G.J., and D.M. Wolock, 2002: A step increase in streamflow in the conterminous United States. Geophysical Research Letters, 29(24), 2185.

McDonald, R., 2011: Understanding the impact of climate change on Northern Hemisphere extra-tropical cyclones. Climate Dynamics, 37(7-8), 1399-1425, doi:1 0.1 007/s00382-0001 0-00916-x.

McGranahan, G., D. Balk, and B. Anderson, 2007: The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. Environment and Urbanization, 19(1), 17-37.

McGuire, B., 2010: Potential for a hazardous geospheric response to projected future climate changes. Philosophical Transactions of the Royal SocietyA, 368(1919), 2317-2345.

Mcinnes, K.L., K.J.E. Walsh, G.D. Hubbert, and 1 Beer, 2003: Impact of sea-level rise and storm surges on a coastal community. Natural Hazards, 30(2), 187-207.

Mcinnes, K.L., I. Macadam, and J.G. O'Grady, 2009a: The Effect of Climate Change on Extreme Sea Levels along Victoria's Coast. A Project Undertaken for the Department of Sustainability and Environment, Victoria as part of the 'Future Coasts' Program. CSIRO, Victoria,Australia, 55 pp.

Mcinnes, K.L., I. Macadam, G.D. Hubbert, and J.G. O'Grady, 2009b: A modelling approach for estimating the frequency of sea level extremes and the impact of climate change in southeast Australia. Natural Hazards, 51(1), 115-137.

Mcinnes, K.L., IA Erwin, and J.M. Bathols, 2011: Global Climate Model projected changes in 10m wind speed and direction due to anthropogenic climate change. Atmospheric Science Letters, doi:1 0.1 002/as1.1341.

McKee, lB., N.J. Doesken, and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17-22 Jan 1993, pp. 179-184.

McKendry, I.G., K.B. Strawbridge, N.l O'Neill, AM. Macdonald, P.S.K. Liu, WR. Leaitch, K.G. Anlauf, L. Jaegle, ID. Fairlie, and D.L. Westphal, 2007: Trans-Pacific transport of Saharan dust to western North America: A case study. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 112, D011 03.

McVicar, IR., lG. Van Niel, L.l u M.L. Roderick, D.P. Rayner, L. Ricciardulli, and R.J. Donohue, 2008: Wind speed climatology and trends for Australia, 1975-2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison with near-surface reanalysis output. Geophysical Research Letters, 35, L20403.

Mearns, L.O., W Gutowski, R. Jones, R. Leung, S. McGinnis, A Nunes, and Y. Qian, 2009: A regional climate change assessment program for North America. Eos Transactions (AGU), 90(36), 311.

Meehl, GA and e. Tebaldi, 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21 st century. Science, 305(5686), 994-997.

Meehl, GA, J.M. Arblaster, and e. Tebaldi, 2005: Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model simulations. Geophysical Research Letters, 32, L 18719.

Meehl, GA, e. Covey, 1 Delworth, M. Latif, B. McAvaney, H.B. Mitchell, R.J. Stouffer, and K.E. Taylor, 2007a: The WCRP CMIP3 multimodel dataset - A new era in cl imate change research. Bulletin of the American Meteorological Society, 88(9), 1383-1394.

Meehl, GA, T.F. Stocker, WD. Collins, P. Friedlingstein, Al Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A Noda, S.e.B. Raper, I.G. Watterson,AJ. Weaver, and z.e. Zhao, 2007b: Global climate projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, pp. 747-845.

Meehl, GA, J.M. Arblaster, and WD. Collins, 2008: Effects of black carbon aerosols on the Indian monsoon. Journal of Climate, 21 (12), 2869-2882.

Meehl, GA, J.M. Arblaster, K. Matthes, F. Sassi, and H. van Loon, 2009a: Amplifying the Pacific climate system response to a small 11-year solar cycle forcing. Science, 325(5944), 1114-1118.

Meehl, GA,A Hu, and B.D. Santer, 2009b: The mid-1970s climate shift in the Pacific and the relative roles of forced versus inherent decadal variability. Journal of Climate, 22(3), 780-792.

Meehl, GA, e. Tebaldi, G. Walton, D. Easterling, and L. McDaniel, 2009c: The relative increase of record high maximum temperatures compared to record low minimum temperatures in the U.S. Geophysical Research Letters, 36, L23701.

Meinshausen, M., N. Meinshausen, W. Hare, S.e.B. Raper, K. Frieler, R. Knutti, D.J. Frame, and M.R. Allen, 2009: Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2□. Nature, 458(7242), 1158-1162.

Menendez, e.G., M. de Castro, J.P. Boulanger, A D'Onofrio, E. Sanchez, AA Sorensson, J. Blazquez, A Elizalde, D. Jacob, H. Le Ireut, z.x. Li, M.N. Nunez, N. Pessacg, S. Pfeiffer, M. Rojas, A Rolla, P. Samuelsson, SA Solman, and e. Teichmann, 2010: Downscaling extreme month-long anomalies in southern South America. Climatic Change, 98(3-4), 379-403.

Menendez, M. and P.L. Woodworth, 2010: Changes in extreme high water levels based on a quasi-global tide-gauge datasetJoumal of Geophysical Research, 115, C1 0011.

Menendez, M., F.J. Mendez, I.J. Losada, and N.E. Graham, 2008: Variability of extreme wave heights in the northeast Pacific Ocean based on buoy measurements. Geophysical Research Letters, 35, L22607.

Menne, M.J., and e.N. Williams Jr., 2009: Homogenization of temperature series via pairwise comparisons. Journal of Climate, 22(7), 1700-1717.

Merrifield, MA, Y.L. Firing, and J.J. Marra, 2007: Annual climatologies of extreme water levels. In: Aha Hulikoa: Extreme Events. Proceedings of the Hawaiian Winter Workshop, University of Hawaii at Manoa, 23 -26 Jan 2007. SO EST, University of Hawaii, Manoa, HI, pp. 27-32.

Miller, R., G. Schmidt, and D. Shindell, 2006: Forced annular variations in the 20th century Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report models. Journal of Geophysical Research, 111, D181 01.

Mills, GA, 2005: A re-examination of the synoptic and mesoscale meteorology of Ash Wednesday 1983. Australian Meteorological Magazine, 54(1), 35-55.

Milly, P.e.D. and KA Dunne, 2011: Hydrologic adjustment of climate-model projections: The potential pitfall of potential evapotranspiration. Earth Interactions, 15(1), 1-14.

Milly, P.e.D., R.T. Wetherald, KA Dunne, and T.L. Delworth, 2002: Increasing risk of great floods in a changing climate. Nature, 415(6871), 514-517.

Mimura, N., 1999: Vulnerability of island countries in the South Pacific to sea level rise and climate change. Climate Research, 12(2-3), 137-143.

Min, S.-K., X. Zhang, and F. Zwiers, 2008: Human-induced arctic moistening. Science, 320(5875),518-520.

Min, S.-K., X. Zhang, F.W. Zwiers, and G.e. Hegerl, 2011: Human contribution to more intense precipitation extremes. Nature, 470(7334), 378-381.

Min, S.K., and A. Hense, 2007: A Bayesian assessment of climate change using multimodel ensembles. Part II: Regional and seasonal mean surface temperatures. Journal of Climate, 20(12), 2769-2790.

Mitrovica, J.X., M.E. Tamisiea, E.R. Ivins, L.L.A. Vermeersen, G.A. Milne, and K. Lambeck, 2010: Surface mass loading on a dynamic earth: complexity and contamination in the geodetic analysis of global sea-level trends. In: Understanding Sea-Level Rise and Variability [Church, JA, P.L. Woodworth, T. Aarup, and W.S. Wilson (eds.)]. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, pp. 285-325.

Moberg, A, P.D. Jones, D. Lister, A Walther, M. Brunet, J. Jacobeit, L.V. Alexander, P.M. Della-Marta, J. Luterbacher, P. Yiou, D. Chen, AM.G.K. Tank, O. Saladie, J. Sigro, E. Aguilar, H. Alexandersson, e. Almarza, I. Auer, M. Barriendos, M. Begert, H. Bergstroem, R. Boehm, c.J. Butler, J. Caesar,A Drebs, D. Founda, F.-w. Gerstengarbe, G. Micela, M. Maugeri, H. Osterle, K. Pandzic, M. Petrakis, L. Srnec, R. Tolasz, H. Tuomenvirta, P.e. Werner, H. Linderholm,A Philipp, H. Wanner, and E. Xoplaki, 2006: Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europeanalyzed for the period 1901-2000. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 111, D221 06.

Moise, AF., and R. Colman, 2009: Tropical Australia and the Australian Monsoon: general assessment and projected changes. In: 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New lealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation, July 2009 [Anderssen, R.S., R.D. Braddock, and L.T.H. Newham (eds.)]. pp. 2042-2048.

Morgenstern, 0., H. Akiyoshi, S. Bekki, P. Braesicke, N. Butchart, M.P. Chipperfield, D. Cugnet, M. Deushi, S.S. Dhomse, R.R. Garcia, A Gettelman, N.P. Gillett, S.e. Hardiman, J. Jumelet, D.E. Kinnison, J.F. Lamarque, F. Lott, M. Marchand, M. Michou, T. Nakamura, D. Olivie, T. Peter, D. Plummer, JA Pyle, E. Rozanov, D. Saint-Martin, J.F. Scinocca, K. Shibata, M. Sigmond, D. Smale, H. Teyssedre, W. Tian, A Voldoire, and Y. Yamashita, 2010: Anthropogenic forcing of the Northern Annular Mode in CCMVal-2 models. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 115, DOOM03.

Mori, N., T. Yasuda, H. Mase, T. Tom, and Y. Oku, 2010: Projection of extreme wave climate change under global warming. Hydrological Research Letters, 4, 15-19.

Mudelsee, M., M. Borngen, G. Tetzlaff, and U. Grunewald, 2003: No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. Nature, 425(6954), 166-169.

Muir-Wood, R., 2000: Deglaciation Seismotectonics: a principal influence on intraplate seismogenesis at high latitudes. Quaternary Science Reviews, 19(14-15), 1399-1411.

Mullan, B., D. Wratt, S. Dean, M. Hollis, S. Allan, T. Williams, and G. Kenny, 2008: Climate Change Effects and Impacts Assessment: A Guidance Manual for Local Government in New lealand. 2nd ed. Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand, 149 pp.

Müller, WA and E. Roeckner, 2008: ENSO teleconnections in projections of future climate in ECHAM5/MPI-OM. Climate Dynamics, 31(5),533-549.

Murakami, H., B. Wang, and A Kitoh, 2011: Future change of western North Pacific typhoons: Projections by a 20-km-mesh global atmospheric model. Journal of Climate, 24(4), 1154-1169.

Murphy, J.M., B.B.B. Booth, M. Collins, G.R. Harris, D.M.H. Sexton, and M.J. Webb, 2007: A methodology for probabilistic predictions of regional climate change from perturbed physics ensembles. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365(1857), 1993-2028.

Murphy, J.M., D.M. Sexton, G.J. Jenkins, B.B.B. Booth, e.e. Brown, R.T. Clark, M. Collins, G.R. Harris, E.J. Kendon, RA Betts, S.J. Brown, KA Humphrey, M.P. McCarthy, R.E. McDonald,A Stephens, e. Wallace, R. Warren, R. Wilby, and RA Wood, 2009: UK Climate Projections Science Report: Climate change projections. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.

Nakaegawa, T. and W. Vergara, 2010: First projection of climatological mean river discharges in the Magdalena River Basin, Colombia, in a changing climate during the 21 st century. Hydrological Research Letters, 4, 50-54.

Nakamura, M., S. Kanada, Y. Wakazuki, e. Muroi, A Hashimoto, T. Kato, A Noda, M. Yoshizaki, and K. Yasunaga, 2008: Effects of global warming on heavy rainfall during the Baiu season projected by a cloud-system-resolving model.1ournal of Disaster Research, 3(1),15-24.

Nandintsetseg, B., J.S. Greene, and e.E. Goulden, 2007: Trends in extreme daily precipitation and temperature near lake HÖvsgÖl, Mongolia. International Journal of Climatology, 27(3),341-347.

Narama, e., Y. Shimamura, D. Nakayama, and K. Abdrakhmatov, 2006: Recent changes of glacier coverage in the western Terskey-Alatoo range, Kyrgyz Republic, using Corona and Landsat. Annals of Glaciology, 43(1), 223-229.

National Climate Centre, 2009: The Exceptional January-February 2009 Heatwave in Southeastern Australia. Special Climate Statement 17 (www.bom.gov.au/climate/currentstatements/scs17d.pdf), Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.

Neill, S.P., J.D. Scourse, G.R. Bigg, and K. Uehara, 2009: Changes in wave climate over the northwest European shelf seas during the last 12,000 years. Journal of Geophysical Research - Oceans, 114, C06015.

Neu, U., 2008: Is recent major hurricane activity normal? Nature, 451(7181), E5. New, M., B. Hewitson, D.B. Stephenson, A Tsiga, A Kruger, A Manhique, B. Gomez, CAS. Coelho, D.N. Masisi, E. Kulunaga, E. Mbambalala, F. Adesina, H. Saleh, J. Kanyanga, J. Adosi, L. Bulane, L. Fortunata, M.L. Mdoka, and R. Lajoie, 2006: Evidence of trends in daily climate extremes over southern and west Africa. Journal of Geophysical Research, 111, D141 02.

Newhall, e.G. and R.S. Punongbayan (eds.), 1996: Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines. University of Washington Press, Seattle, WA,1126pp.

Niall, S. and K. Walsh, 2005: The impact of climate change on hailstorms in southeastern Australia. International Journal of Climatology, 25(14), 1933-1952.

Nicholls, N., 1995: Long-term climate monitoring and extreme events. Climatic Change, 31 (2-4), 231-245.

Nicholls, N., 2008: Recent trends in the seasonal and temporal behaviour of the EI Nino Southern Oscillation. Geophysical Research Letters, 35, L 19703.

Nicholls, N., 2010: Local and remote causes of the southern Australian autumn¬winter rainfall decline, 1958-2007. Climate Dynamics, 34(6),835-845.

Nicholls, N. and L. Alexander, 2007: Has the climate become more variable or extreme? Progress 1992-2006. Progress in Physical Geography, 31(1), 77-87.

Nicholls, R.J., 2010: Impacts of and responses to sea-level rise. In: Understanding Sea-Level Rise and Variability [Church, JA, P.L. Woodworth, 1 Aarup, and w'S. Wilson (eds.)]. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, pp. 17-51.

Nicholls, R.J. and Ae. de la Vega-Leinert, 2008: Implications of sea-level rise for Europe's coasts: An introduction. Journal of Coastal Research, 24(2), 285-287.

Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, H. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden, and e.D. Woodroffe, 2007: Coastal systems and low-lying areas. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of

Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linden, and e.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 315-356.

Nieto-Ferreira, R. and 1 Rickenbach, 2011: Regionality of monsoon onset in South America: a three stage conceptual model. International Journal of Climatology, 31(9),1309-1321.

Nissen, K.M., G.e. Leckebusch, J.G. Pinto, D. Renggli, S. Ulbrich, and U. Ulbrich, 2010: Cyclones causing wind storms in the Mediterranean: characteristics, trends and links to large-scale patterns. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(7), 1379-1391.

Niu, F., G. Cheng, W, Ni, and D. Jin, 2005: Engineering-related slope failure in permafrost regions of the Qinghai-Tibet Plateau. Cold Regions Science and Technology, 42(3), 215-225.

Noetzli, J., S. Gruber, 1 Kohl, N. Salzmann, and W, Haeberli, 2007: Three-dimensional distribution and evolution of permafrost temperatures in idealized high¬mountain topography. Journal of Geophysical Research - Earth Surface, 112, F02S13.

Noetzli, J. and S. Gruber, 2009: Transient thermal effects in Alpine permafrost. The Cryosphere, 3(1),85-99.

Nott, J., J. Haig, H. Neil, and D. Gillieson, 2007: Greater frequency variability of landfalling tropical cyclones at centennial compared to seasonal and decadal scales. Earth and Planetary Science Letters, 255(3-4),367-372.

Nott, J., S. Smithers, K. Walsh, and E. Rhodes, 2009: Sand beach ridges record 6000 year history of extreme tropical cyclone activity in northeastern Australia. Quaternary Science Reviews, 28(15-16), 1511-1520.

Nunez, M.N., SA Solman, and M.F. Cabre, 2009: Regional climate change experiments over southern South America. II: Climate change scenarios in the late twenty¬first century. Climate Dynamics, 32(7-8), 1081-1095.

Nyberg, J., BA Malmgren, A Winter, M.R. Jury, K. Halimeda Kilbourne, and lM. Quinn, 2007: Low Atlantic hurricane activity in the 1970s and 1980s compared to the past 270 years. Nature, 447(7145), 698-701.

O'Gorman, PA, 2010: Understanding the varied response of the extratropical storm tracks to climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(45), 19176-19180.

O'Gorman, P.A. and 1 Schneider, 2008: Energy of midlatitude transient eddies in idealized simulations of changed climates. Journal of Climate, 21(22), 5797-5806.

O'Gorman, PA and 1 Schneider, 2009a: The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21 st-century climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(35), 14773-14777.

O'Gorman, PA, and 1 Schneider, 2009b: Scaling of precipitation extremes over a wide range of climates simulated with an idealized GCM. Journal of Climate, 22(21),5676-5685.

Oki, I. 1 Nishimura, and P. Dirmeyer, 1999: Assessment of annual runoff from land surface models using Total Runoff Integrating Pathways (TRIP). Journal of the Meteorological Society of Japan, 77(1), 235-255.

Okin, G.S., DA Gillette, and H. Herrick, 2006: Multi-scale controls on and consequences of aeolian processes in landscape change in arid and semi-arid environments. Journal of Arid Environments, 65(2), 253-275.

Oouchi, K., J. Yoshimura, H. Yoshimura, R. Mizuta, S. Kusunoki, and A Noda, 2006: Tropical cyclone climatology in a global-warming climate as simulated in a 20 km-mesh global atmospheric model: Frequency and wind intensity analyses. Journal of the Meteorological Society of Japan, 84(2), 259-276.

Oppikofer, I. M. Jaboyedoff, and H.R. Keusen, 2008: Collapse at the eastern Eiger flank in the Swiss Alps. Nature Geoscience, 1(8), 531-535.

Orlowsky, B. and S.I. Seneviratne, 2011: Global changes in extremes events: Regional and seasonal dimension. Climatic Change, doi:1 0.1 007/s1 0584-011-0122-9.

Orsolini, Y. and A Sorteberg, 2009: Projected changes in Eurasian and Arctic Summer cyclones under global warming in the Bergen Climate Model. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2(1), 62.

Osterkamp, lE., 2005: The recent warming of permafrost in Alaska. Global and Planetary Change, 49, 187-202.

Osterkamp, lE., 2007: Characteristics of the recent warming of permafrost in Alaska. Journal of Geophysical Research, 112, F02S02.

Osterkamp, lE., M.l Jorgenson, EAG. Schuur, Y.L. Shur, M.Z. Kanevskiy, J.G. Vogel, and V.E. Tumskoy, 2009: Physical and ecological changes associated with warming permafrost and thermokarst in Interior Alaska. Permafrost and Periglacial Processes, 20(3), 235-256.

Osti, R., and S. Egashira, 2009: Hydrodynamic characteristics of the Tam Pokhari glacial lake outburst flood in the Mt. Everest region, Nepal. Hydrological Processes, 23(20), 2943-2955.

Otto-Bliesner, B.L., R. Schneider, E.e. Brady, M. Kucera, A Abe-Ouchi, E. Bard, P. Braconnot, M. Crucifix, e.D. Hewitt, M. Kageyama, O. Marti, A Paul, A Rosell¬Mele, e. Waelbroeck, S.L. Weber, M. Weinelt, and Y. Yu, 2009: A comparison of PMI P2 model simulations and the MARGO proxy reconstruction for tropical sea surface temperatures at last glacial maximum. Climate Dynamics, 32(6), 799-815.

Paciorek, c.J., J.S. Risbey, V. Ventura, and R.D. Rosen, 2002: Multiple indices of Northern Hemisphere cyclone activity, winters 1949-99. Journal of Climate, 15(13),1573-1590.

Paeth, H. and H.-P. Thamm, 2007: Regional modelling of future African climate north of 15 degrees S including greenhouse warming and land degradation. Climatic Change, 83(3), 401-427.

Pagli, e. and F. Sigmundsson, 2008: Will present day glacier retreat increase volcanic activity? Stress induced by recent glacier retreat and its effect on magmatism at the Vatnajokull ice cap, Iceland. Geophysical Research Letters, 35, L09304.

Pall, P., M.R. Allen, and DA Stone, 2007: Testing the Clausius-Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under CO_2 warming. Climate Dynamics, 28(4),351-363.

Pall, P., 1 Aina, DA Stone, PA Stott, 1 Nozawa, AG.J. Hilbberts, D. Lohmann, and M.R. Allen, 2011: Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. Nature, 470(7334), 382-385.

Palmer, w'e., 1965: Meteorological Drought. Report 45, US Weather Bureau, Washington, De.

Pan, z.r, R.w. Arritt, E.S. Takle, w,J. Gutowski, c.J. Anderson, and M. Segal, 2004: Altered hydrologic feedback in a warming climate introduces a "warming hole." Geophysical Research Letters, 31, L 17109.

Pattanaik, D.R. and M. Rajeevan, 2010: Variability of extreme rainfall events over India during southwest monsoon season. Meteorological Applications, 17(1), 88-104.

Paul, F. and W, Haeberli, 2008: Spatial variability of glacier elevation changes in the Swiss Alps obtained from two digital elevation models. Geophysical Research Letters, 35, L21502.

Paul, F.,A. Kaab, M. Maisch, 1 Kellenberger, and W, Haeberli, 2004: Rapid disintegration of Alpine glaciers observed with satellite data. Geophysical Research Letters, 31, L21402.

Pavan, V., R. Tomozeiu, e. Cacciamani, and M. Di Lorenzo, 2008: Daily precipitation observations over Emilia-Romagna: mean values and extremes. International Journal of Climatology, 28(15), 2065-2079.

Peel, M.e. and lA McMahon, 2006: Continental runoff: A quality-controlled global runoff data set. Nature, 444(E14-E15).

Penalba, O.e. and FA Robledo, 2010: Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. Climate Change, 98(3-4), 531-550.

Perkins, S.E., AJ. Pitman, and SA Sisson, 2009: Smaller projected increases in 20- year temperature returns over Australia in skill-selected climate models. Geophysical Research Letters, 36, L0671 O.

Peters, E., P.J.J.F. Torfs, HAJ. van Lanen, and G. Bier, 2003: Propagation of drought through groundwater - a new approach using linear reservoir theory. Hydrological Processes, 17(15), 3023-3040.

Peterson, Ie. and M.J. Manton, 2008: Monitoring changes in climate extremes-A tale of international collaboration. Bulletin of the American Meteorological Society, 89(9), 1266-1271.

Peterson, tc, MA Taylor, R. Demerritte, D.L. Duncombe, S. Burton, F. Thompson,A.

Porter, M. Mercedes, E. Villegas, R.S. Fils, A. Klein Tank, A. Martis, R. Warner, A Joyette, W Mills, L. Alexander, and B. Gleason, 2002: Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 107,4601.

Peterson, Ie., X. Zhang, M. Brunet-India, and J.L. Vazquez-Aguirre, 2008a: Changes in North American extremes derived from daily weather data. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 113, D07113.

Peterson, tc, D. Anderson, S.J. Cohen, M. Cortez, R. Murname, e. Parmesan, D.

Phillips, R. Pulwarty, and J. Stone, 2008b: Why weather and climate extremes matter. In: Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. [Karl, IR., GA Meehl, D.M. Christopher, S.J. Hassol, AM. Waple, and WL. Murray (eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC, pp. 11-33.

Petoukhov, V. and VA Semenov, 2010: A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 115, D21111.

Petrow, I and B. Merz, 2009: Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951-2002. Journal of Hydrology, 371(1-4), 129-141.

Pezza, AB., and I. Simmonds, 2008: Large-scale factors in tropical and extratropical cyclone transition and extreme weather events. Trends and Directions in Climate Research:Annals of the New York Academy of Sciences, 1146, 189-211.

Pezza,AB., I. Simmonds, and JA Renwick, 2007: Southern Hemisphere cyclones and anticyclones: Recent trends and links with decadal variability in the Pacific Ocean. International Journal of Climatology, 27(11), 1403-1419.

Pfeffer, WI, J.T. Harper, and S. O'Neel 2008: Kinematic constraints on glacier contributions to 21 st-century sea-level rise. Science, 321 (5894), 1340-1343.

Philander, S.G., 1990: El Nino, La Nina and the Southern Oscillation. Academic Press, San Diego, CA, 293 pp.

Piani, e., J.O. Haerter; and E. Coppola, 2010: Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. Theoretical and Applied Climatology, 99(1-2), 187-192.

Piao, S., P. Friedlingstein, P. Ciais, N. de Noblet-Ducoudre, D. Labat, and S. Zaehle, 2007: Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising C02 on global river runoff trends. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(39), 15242-15247.

Pielke Jr., RA, J. Gratz, e.W Landsea, D. Collins, M. Saunders, and R. Musulin, 2008: Normalized hurricane damages in the United States. Natural Hazards Review, 9(1), 29-42.

Pinto, J.G., I Spangehl, U. Ulbrich, and P. Speth, 2006: Assessment of winter cyclone activity in a transient ECHAM4-0PYC3 GHG experiment. Meteorologische leitschrift, 15(3), 279-291.

Pinto, J.G., U. Ulbrich, G.e. Leckebusch, I Spangehl, M. Reyers, and S. Zacharias, 2007a: Changes in storm track and cyclone activity in three SRES ensemble experiments with the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. Climate Dynamics, 29(2-3), 195-210.

Pinto, J.G., E.L. Frohlich, G.e. Leckebusch, and U. Ulbrich, 2007b: Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. Natural Hazards and Earth System Sciences, 7(1), 165-175.

Pinto, J.G., S. Zacharias, AH. Fink, G.e. Leckebusch, and U. Ulbrich, 2009: Factors contributing to the development of extreme North Atlantic cyclones and their relationship with the NAO. Climate Dynamics, 32(5), 711-737.

Pinto, J.G., M. Reyers, and U. Ulbrich, 2011: The variable link between PNA and NAO in observations and in multi-century CGCM simulations. Climate Dynamics, 36(1),337-354.

Pirazzoli, PA, and A Tomasin, 2003: Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas.Intemational Journal of Climatology, 23(8), 963-973.

Pitman,AJ., N. de Noblet-Ducoudre, F.I Cruz, E. Davin, G.B. Bonan, V. Brovkin, e. M., D. e., V. Gayler, B.J.J.M. van den Hurk, P.J. Lawrence, M.K. van der Molen, e. Muller, e.H. Reick, S.I. Seneviratne, B.J. Strengers, and A Voldoire, 2009: Uncertainties in climate responses to past land cover change: first results from the LUCID intercomparison study. Geophysical Research Letters, 36, L 14814.

Planton, S., M. Deque, F. Chauvin, and L. Terray, 2008: Expected impacts of climate change on extreme climate events. Comptes Rendus Geoscience, 340(9-10), 564-574.

Portmann, R.W, S. Solomon, and G.e. Hegerl, 2009: Linkages between climate change, extreme temperature and precipitation across the United States. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(18), 7324-7329.

Poulter, B., F. Hattermann, E.D. Hawkins, S. Zaehle, S. Sitch, N. Restrepo-Coupe, U. Heyder, and W Cramer, 2010: Robust dynamics of Amazon dieback to climate change with perturbed ecosystem model parameters. Global Change Biology, 16(9), 2476-2495.

Power, S.B. and I.N. Smith, 2007: Weakening of the Walker Circulation and apparent dominance of El Nino both reach record levels, but has ENSO really changed? Geophysical Research Letters, 34, L 18702.

Prospero, J.M. and P.J. Lamb, 2003: African droughts and dust transport to the Caribbean: Climate change implications. Science, 302(5647), 1024-1027.

Prospero, J.M., E. Blades, R. Naidu, and M.e. Lavoie, 2009: Reply to: African dust and asthma in the Caribbean-medical and statistical perspectives by MA Monteil and R. Antoine. International Journal of Biometeorology, 53(5),383-385.

Prudhomme, e. and H. Davies, 2009: Assessing uncertainties in climate change impact analyses on the river flow regimes in the UK. Part 2: future climate. Climatic Change, 93(1-2), 197-222.

Pruszak, Z., and E. Zawadzka, 2008: Potential implications of sea-level rise for Poland. Journal of Coastal Research, 24(2),410-422.

Pryor, S.e., R.J. Barthelmie, and E.S. Riley, 2007: Historical evolution of wind climates in the USA Journal of Physics: Conference Series, 75, 012065.

Pryor, S.e., JA Howe, and K.E. Kunkel, 2009: How spatially coherent and statistically robust are temporal changes in extreme precipitation in the contiguous USA? International Journal of Climatology, 29(1),31-45.

Purvis, M.J., P.D. Bates, and e.M. Hayes, 2008:A probabilistic methodology to estimate future coastal flood risk due to sea level rise. Coastal Engineering, 55(12), 1062-1073.

Qian, B., S. Gameda, and H. Hayhoe, 2008: Performance of stochastic weather generators LARS-WG and AAFC-WG for reproducing daily extremes of diverse Canadian climates. Climate Research, 37(1),17-33.

Raff, DA, I Pruitt, and L.D. Brekke, 2009: A framework for assessing flood frequency based on climate projection information. Hydrology and Earth System Sciences, 13(11), 2119-2136.

Rahimzadeh, F., A Asgari, and E. Fattahi, 2009: Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. International Journal of Climatology, 29(3), 329-343.

Rahmstorf, S., 2007: A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. Science, 315(5810), 368-370.

Rahmstorf, S., M. Crucifix, A Ganopolski, H. Goosse, I. Kamenkovich, R. Knutti, G. Lohmann, R. Marsh, L.A. Mysak, Z.M. Wang, and A.J. Weaver, 2005: Thermohaline circulation hysteresis: A model intercomparison. Geophysical Research Letters, 32, L23605.

Raia, A, and I. F. D. Cavalcanti, 2008: The life cycle of the South American monsoon system. Journal of Climate, 21 (23), 6227-6246.

Raible, e.e., 2007: On the relation between extremes of midlatitude cyclones and the atmospheric circulation using ERA40. Geophysical Research Letters, 34, Lon03.

Raible, e.e., P.M. Della-Marta, e. Schwierz, H. Wernli, and R. Blender, 2008: Northern hemisphere extratropical cyclones: A comparison of detection and tracking methods and different reanalyses. Monthly Weather Review, 136(3), 880-897.

Räisänen, J., 2007: How reliable are climate models? Tellus Series A - Dynamic Meteorology and Oceanography, 59, 2-29.

Raje, D., and P.P. Mujumdar, 2010: Constraining uncertainty in regional hydrologic impacts of climate change: Nonstationarity in downscaling. Water Resources Research, 46, W07543.

Rajeevan, M., J. Bhate, and AK. Jaswal, 2008: Analysis of variability and trends of extreme rainfall events over India using 104 years of gridded daily rainfall data. Geophysical Research Letters, 35, L 18707.

Rajendran, K., and A Kitoh, 2008: Indian summer monsoon in future climate projection by a super high-resolution global model. Current Science, 95(11), 1560-1569.

Ramsay, HA, and AH. Sobel, 2011: The effects of relative and absolute sea surface temperature on tropical cyclone potential intensity using a single column model. Journal of Climate, 24(1), 183-193.

Ranasinghe, R., and M. Stive, 2009: Rising seas and retreating coastlines. Climatic Change, 97(3), 465-468.

Ranasinghe, R., R. McLoughlin, A Short, and G. Symonds, 2004: The Southern Oscillation Index, wave climate, and beach rotation. Marine Geology, 204(3-4), 273-287.

Randall, DA, R.A. Wood, S. Bony, R. Colman, 1 Fichefet, J. Fyfe, V. Kattsov, A Pitman, J. Shukla, J. Srinivasan, R.J. Stouffer, A Sumi, and K.E. Taylor, 2007: Climate models and their evaluation. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, pp. 589-662.

Rappaport, E.N., 2000: Loss of life in the United States associated with recent Atlantic tropical cyclones. Bulletin of the American Meteorological Society, 81(9), 2065-2073.

Rauthe, M., M. Kunz, and e. Kottmeier, 2010: Changes in wind gust extremes over Central Europederived from a small ensemble of high resolution regional climate models. Meteorologische leitschrift, 19(3), 299-312.

Ravanel, L. and P. Deline, 2011: Climate influence on rockfalls in high-Alpine steep rockwalls: The north side of the Aiguilles de Chamonix (Mont Blanc massif) since the end of the 'Little Ice Age'. The Holocene, 21(2),357-365.

Re, M., and V. Ricardo Barros, 2009: Extreme rainfalls in SE South America. Climatic Change, 96(1-2), 119-136.

Rebetez, M., O. Dupont, and M. Giroud, 2008:An analysis ofthe July 2006 heatwave extent in Europecompared to the record year of 2003. Theoretical and Applied Climatology, 95(1-2), 1-7.

Redmond, K.l, Y. Enzel, P.K. House, and F. Biondi, 2002: Climate impact on flood frequency at the decadal to millennial time scales. In: Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology [H ouse, P. K., R. H. Webb, V.R. Baker, and D.R. Levish (eds.)]. Vol. 5. American Geophysical Union Water Science and Applications, AGU, Washington, DC. pp. 21-46.

Regonda, S.K., B. Rajagopalan, M. Clark, and J. Pitlick, 2005: Seasonal cycle shifts in hydroclimatology over the western United States. Journal of Climate, 18(2), 372-384.

Rehman, S., 2010: Temperature and rainfall variation over Dhahran, Saudi Arabia, (1970-2006). International Journal of Climatology, 30(3), 445-449.

Reichert, B.K., L. Bengtsson, and J. Oerlemans, 2002: Recent glacier retreat exceeds internal variability. Journal of Climate, 15(21), 3069-3081.

Reichstein, M., P. Ciais, D. Papale, R. Valentini, S. Running, N. Viovy, W Cramer, A Granier, J. Oqee, V. Allard, M. Aubinet, e. Bernhofer, N. Buchmann, A Carrara, 1 Grunwald, M. Heimann, B. Heinesch,A Knohl, W Kutsch, D. Loustau, G. Manca, G. Matteucci, F. Miglietta, J.M. Ourcival, K. Pilegaard, J. Pumpanen, S. Rambal, S. Schaphoff, S. Seufert, J.F. Soussana, M.J. Sanz, 1 Vesala, and M. Zhao, 2007: Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and modeling analysis. Global Change Biology, 13(3), 634-651.

Rein, B., A l.uckqe, L. Reinhardt, F. Sirocko, A Wolf, and we. Dullo, 2005: EI Nino variability off Peru during the last 20,000 years. Paleoceanography, 20, PA4003.

Renard, B., and M. Lang, 2007: Use of a Gaussian copula for multivariate extreme value analysis: Some case studies in hydrology. Advances in Water Resources, 30(4),897-912.

Renard, B., M. Lang, P. Bois,A Dupeyrat, O. Mestre, H. Niel, E. Sauquet, e. Prudhomme, S. Parey, E. Paquet, L. Neppel, and J. Gailhard, 2008: Regional methods for trend detection: Assessing field significance and regional consistency. Water Resources Research, 44, W08419.

Reynolds, J.M., 1998: High-altitude glacial lake hazard assessment and mitigation: a Himalayan perspective. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 15(1), 25-34.

Reynolds, J. M., A Dolecki, and e. Porto carrero, 1998: The construction of a drainage tunnel as part of glacial lake hazard mitigation at Hualcan, Cordillera Blanca, Peru. Engineering Geology Special Publications, 15(1), 41-48.

Richardson, S.D. and J.M. Reynolds, 2000: An overview of glacial hazards in the Himalayas. Quaternary International, 65, 31-47.

Rickenmann, D. and M. Zimmermann, 1993: The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis. Geomorphology (Amsterdam), 8(2-3), 175-189.

Rignot, E., I. Velicogna, M.R. van den Broeke, A. Monaghan, and J. Lenaerts, 2011: Acceleration of the contribution of the Greenland and Antarctic ice sheets to sea level rise. Geophysical Research Letters, 38(L05503).

Rist, A, and M. Phillips, 2005: First results of investigations on hydrothermal processes within the active layer above alpine permafrost in steep terrain. Norsk Geografisk Tidsskrfit, 59(2), 177-183.

Robeson, S., 2004: Trends in time-varying percentiles of daily minimum and maximum temperature over North America. Geophysical Research Letters, 31, L04203.

Robinson, WA, 2000: A baroclinic mechanism for the eddy feedback on the zonal index. Journal of the Atmospheric Sciences, 57(3), 415-422.

Robock,A, K.Y. Vinnikov, G. Srinivasan, J.K. Entin, S.E. Hollinger, N.A. Speranskaya, S. Liu, and A Namkhai, 2000: The global soil moisture data bank. Bulletin of the American Meteorological Society, 81 (6), 1281-1299.

Robson,AJ., lK. Jones, D.W Reed, and Ae. Bayliss, 1998: A study of national trend and variation in UK floods. International Journal of Climatology, 18(2), 165-182.

Rocha,A, P. Melo-Goncalves, e. Marques, J. Ferreira, and J.M. Castanheira, 2008: High¬frequency precipitation changes in southeastern Africa due to anthropogenic forcing. International Journal of Climatology, 28(9), 1239-1253.

Rockel, B., and K. Woth, 2007: Extremes of near-surface wind speed over Europeand their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations Climatic Change, 81(S1), 267-280.

Rodda, J.e., MA Little, H.J.E. Rodda, and P.E. McSharry, 2010: A comparative study of the magnitude, frequency and distribution of intense rainfall in the United Kingdom. International Journal of Climatology, 30(12), 1776-1783.

Rodier, JA, and M. Roche, 1984: World Catalogue of Maximum Observed Floods. IAHS Pub. No. 143, IAHS Press, Wallingford, UK.

Rodrigo, F.S., 2010: Changes in the probability of extreme daily precipitation observed from 1951 to 2002 in the Iberian Peninsula. International Journal of Climatology, 30(10), 1512-1525.

Rodriguez-Puebla, e., A Encinas, L. Garcia-Casado, and S. Nieto, 2010: Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: relationships to large¬scale variables. Climatic Change, 100(3),667-684.

Roer, I., W Haeberli, and M. Avian, 2008: Observations and considerations on destabilizing active rock glaciers in the European Alps. In: Permafrost on a Warming Planet: Impacts on Ecosystems, Infrastructure and Climate [Kane, D.L. and K.M. Hinkel (eds.)]. Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost at University of Alaska, Fairbanks, 29 June - 03 July 2008, Institute of Northern Engineering, pp 1505-1510.

Roesch, A, 2006: Evaluation of surface albedo and snow cover in AR4 coupled climate models. Journal of Geophysical Research, 111, D15111.

Romanovsky, V.E., D.S. Drozdov, N.G. Oberman, G.V. Malkova, AL. Kholodov, S.S. Marchenko, N.G. Moskalenko, D.O. Sergeev, N.G. Ukraintseva, AA. Abramov, DA Gilichinsky, and AA Vasiliev, 2010: Thermal state of permafrost in Russia. Permafrost and Periglacial Processes, 21 (2),136-155.

Ropelewski, c.F., and MA Bell, 2008: Shifts in the statistics of daily rainfall in South America conditional on ENSO phase. Journal of Climate, 21(5), 849-865.

Rosenbluth, B., HA Fuenzalida, and P. Aceituno, 1997: Recent temperature variations in southern South America. International Journal of Climatology, 17(1), 67-85.

Rosenzweig, c., G. Casassa, D.J. Karoly, A Imeson, C. Liu,A Menzel, S. Rawlins, U.

Root, B. Seguin, and P. Try janowski, 2007: Assessment of Observed Changes and Responses in Natural and Managed Systems. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 79-131.

Rotstayn, L.D., M.D. Keywood, B.W Forgan, AJ. Gabric, I.E. Galbally, J.L. Gras, AK. l.uhar; G.H. McTainsh, R.M. Mitchell, and SA Young, 2009: Possible impacts of anthropogenic and natural aerosols on Australian climate: A review. International Journal of Climatology, 29(4), 461-479.

Rott, H., S.H. Yueh, D.W Cline, C. Duguay, R. Essery, C. Haas, F. Heliere, M. Kern, G. Macelloni, E. Maines, 1 Nagler, J. Pulliainen, H. Rebhan, andA. Thompson, 2010: Cold regions hydrology high-resolution observatory for snow and cold land processes. IEEE Proceedings, 98(5), 752-765.

Rowell, D.P. and R.G. Jones, 2006: Causes and uncertainty of future summer drying over Europe. Climate Dynamics, 27(2-3), 281-299.

Ruckstuhl, C. and J.R. Norris, 2009: How do aerosol histories affect solar "dimming" and "brightening" over Europe? IPCC-AR4 models versus observations. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 114, DOOD04.

Rusticucci, M. and M. Barrucand, 2004: Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. Journal of Climate, 17(20), 4099-41 07.

Rusticucci, M. and M. Renom, 2008: Variability and trends in indices of quality¬controlled daily temperature extremes in Uruguay. International Journal of Climatology, 28(8), 1083-1095.

Rusticucci, M., J. Marengo, O. Penalba, and M. Renom, 2010: An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Part 1: mean values and variability. Climate Change, 98(3-4), 493-508.

Ryan, B.F., I.G. Watterson, and J.L. Evans, 1992: Tropical cyclone frequencies inferred from Gray's yearly genesis parameter - Validation of GCM tropical climates. Geophysical Research Letters, 19(18), 1831-1834.

Sailor, D.J., M. Smith, and M. Hart, 2008: Climate change implications for wind power resources in the Northwest United States. Renewable Energy, 33(11), 2393-2406.

Saito, K., M. Kimoto, 1 Zhang, K. Takata, and S. Emori, 2007: Evaluating a high¬resolution climate model: Simulated hydrothermal regimes in frozen ground regions and their change under the global warming scenario. Journal of Geophysical Research - Earth Surface, 112, F02S11.

Santer, B.D., IM.L. Wigley, P.J. Glecker, C. Bonfils, M.F. Wehner, K. AchutaRoa, lP. Barnett, J.S. Boyle, W Bruqqernann, M. Fiorino, N. Gillet, H. Hansen, P.D. Jones, SA Klein, GA Meehl, S.C.B. Raper, R.W Reynolds, K.E. Taylor, and WM. Washington, 2006: Forced and unforced ocean temperature changes in Atlantic and Pacific tropical cyclogenesis regions. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(38),13905-13910.

Santer, B.D., C. Mears, F.J. Wentz, K.E. Taylor, P.J. Gleckler, IM.L. Wigley, lP. Barnett, J.S. Boyle, W Bruggemann, N.P. Gillett, SA Klein, GA Meehl, 1 Nozawa, D.W Pierce, PA Stott, WM. Washington, and M.F. Wehner, 2007: Identification of human-induced changes in atmospheric moisture content. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(39), 15248-15253.

Santos, C.A., and J.l.B. Brito, 2007: Analise dos indices de extremos para 0 semi¬arido do Brasil e suas relacoes com TSM e IVDN. Revista Brasileira de Meteorologia, 22(3),303-312.

Santos, CAC., J. Brito, I, B., lV.R. Rao, and EA Meneses, 2009: Tendencias dos Indices de precipitacao no Estado do Ceara. Revista Brasileira de Meteorologia, 24(1),39-47.

Sasaki, W, and H. Toshiyuki, 2007: Interannual variability and predictability of summertime significant wave heights in the western North Pacific. Journal of Oceanography, 63(2), 203-213.

Sauber, J.M., and BJ. Molnia, 2004: Glacier ice mass fluctuations and fault instability in tectonically active Southern Alaska. Global and Planetary Change, 42(1-4), 279-293.

Sauber, J.M., and NA Ruppert, 2008: Rapid ice mass loss: does it have an influence on earthquake occurrence in southern Alaska? In: Active Tectonics and Seismic Potential of Alaska [Freymueller, J.T., P.J. Haeussler, R. Wesson, and G. Ekstrom (eds.)]. American Geophysical Union, Washington, DC.

Scaife,AA., C.K. Folland, L.V.Alexander,A Moberg, and J.R. Knight, 2008: European climate extremes and the North Atlantic Oscillation. Journal of Climate, 21(1), 72-83.

Scaife, AA, F. Kucharski, C.K. Folland, J. Kinter, S. Bronnimann, D. Fereday, A.M. Fischer, S. Grainger, E.K. Jin, 1.5. Kang, J.R. Knight, S. Kusunoki, N.C. Lau, M.J. Nath, 1 Nakaegawa, P. Pegion, S. Schubert, P. Sporyshev, J. Syktus, J.H. Yoon, N. Zeng, and 1 Zhou, 2009: The CLIVAR C20C project: selected twentieth century cI imate events. Climate Dynamics, 33(5), 603-614.

Scaife, AA, 1 Spangehl, D. Fereday, U. Cubasch, U. Langematz, H. Akiyoshi, S. Bekki, P. Braesicke, N. Butchart, M. Chipperfield, A Gettelman, S. Hardiman, M. Michou, E. Rozanov, and 1 Shepherd, 2011: Climate change projections and stratosphere-troposphere interaction. Climate Dynamics, doi:1 0.1 007/s00382-00011-01080-00387.

Schaefer, K., 1 Zhang, L. Bruhwiler, and AP. Barrett, 2011: Amount and timing of permafrost carbon release in response to climate warming. Tel/us Series B - Chemical and Physical Meteorology, 63(2), 165-180.

Schar, c., and G. Jendritzky, 2004: Climate change: Hot news from summer 2003. Nature, 432(7017), 559-560.

Schar, c., P.L. Vida le, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, MA Liniger, and C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, 427(322), 332-336.

Scheffer, M., J. Bascompte, WA Brock, V. Brovkin, S.R. Carpenter, V. Dakos, H. Held, E.H. van Nes, M. Rietkerk, and G. Sugihara, 2009: Early-warning signals for critical transitions. Nature, 461(7260), 53-59.

Schiefer, E., B. Menounos, and R. Wheate, 2007: Recent volume loss of British Columbian glaciers, Canada. Geophysical Research Letters, 34, L 16503.

Schmidli, J., and C. Frei, 2005: Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. International Journal of Climatology, 25(6), 753-771.

Schmidli, J., C.M. Goodess, C. Frei, M.R. Haylock, Y. Hundecha, J. Ribalaygua, and 1 Schmith, 2007: Statistical and dynamical downscaling of precipitation: An evaluation and comparison of scenarios for the European Alps. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 112, D041 05.

Schneidereit,A, R. Blender, K. Fraedrich, and F. lunkeit, 2007: Icelandic climate and north Atlantic cyclones in ERA-40 reanalyses. Meteorologische leitschrift, 16(1), 17-23.

Scholzel, c., and P. Friederichs, 2008: Multivariate non-normally distributed random variables in climate research - introduction to the copula approach. Nonlinear Processes in Geophysics, 15(5), 761-772.

Schubert, S.D., M.J. Suarez, P.J. Pegion, R.D. Koster, and J.T. Bacmeister, 2004: On the cause of the 1930s Dust Bowl. Science, 303(5665), 1855-1859.

Schubert, S.D., Y. Chang, M.J. Suarez, and P.J. Pegion, 2008a: ENSO and wintertime extreme precipitation events over the contiguous united states. Journal of Climate, 21(1), 22-39.

Schubert, S.D., M.J. Suarez, P.J. Pegion, R.D. Koster, and J.T. Bacmeister, 2008b: Potential predictability of long-term drought and pluvial conditions in the US Great Plains. Journal of Climate, 21(4), 802-816.

Schubert, S.D., D. Gutzler, H.L. Wang, A Dai, 1 Delworth, C. Deser, K. Findell, R. Fu, W Higgins, M. Hoerling, B. Kirtman, R. Koster, A Kumar, D. Legler, D. Lettenmaier, B. Lyon, V. Magana, K. Mo, S. Nigam, P. Pegion, A Phillips, R. Pulwarty, D. Rind, A. Ruiz-Barradas, J. Schemm, R. Seager, R. Stewart, M. Suarez, J. Syktus, M.F. Ting, C.Z. Wang, S. Weaver, and N. Zeng, 2009: A US CLIVAR project to assess and compare the responses of global climate models to drought-related SST forcing patterns: Overview and results. Journal of Climate, 22(19), 5251-5272.

Scileppi, E., and J.P. Donnelly, 2007: Sedimentary evidence of hurricane strikes in western Long Island, New York. Geochemistry Geophysics Geosystems, 8, Q06011.

Scott, K.M., J.W Vallance, N. Kerle, J. Luis Macias, W Strauch, and G. Devoli, 2005: Catastrophic precipitation-triggered lahar at Casita volcano, Nicaragua: occurrence, bulking and transformation. Earth Surface Processes and Landforms, 30(1), 59-79.

Seager, R., M.F. Ting, I. Held, Y. Kushnir, J. l.u, G. Vecchi, H.P. Huang, N. Harnik, A Leetmaa, N.C. Lau, C.H. Li, J. Velez, and N. Naik, 2007: Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. Science, 316(5828), 1181-1184.

Seager, R., A Tzanova, and J. Nakamura, 2009: Drought in the southeastern United States: Causes, variability over the last millennium, and the potential for future hydroclimate change. Journal of Climate, 22(19), 5021-5045.

Seierstad, I.A, D.B. Stephenson, and N.G. Kvamsto, 2007: How useful are teleconnection patterns for explaining variability in extratropical storminess? Tel/us Series

A - Dynamic Meteorology and Oceanography, 59(2), 170-181.

Seleshi, Y. and P. Camberlin, 2006: Recent changes in dry spell and extreme rainfall events in Ethiopia. Theoretical and Applied Climatology, 83(1-4), 181-191.

Semenov, MA, 2008: Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research, 35(3), 203-212.

Semmler, I. S. Varghese, R. McGrath, P. Nolan, S. Wang, P. Lynch, and C. O'Dowd, 2008: Regional model simulation of North Atlantic cyclones: Present climate and idealized response to increased sea surface temperature. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 113, D021 07.

Sen Roy,S., 2009: A spatial analysis of extreme hourly precipitation patterns in India. International Journal of Climatology, 29(3),345-355.

Seneviratne, 5.1., D. Luthi, M. Litschi, and C. Schar, 2006a: Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. Nature, 443(7108), 205-209.

Seneviratne, 5.1., R.D. Koster, Z.c. Guo, PA Dirmeyer, E. Kowalczyk, D. Lawrence, P. Liu, C.H. l.u, D. Mocko, K.W. Oleson, and D. Verseghy, 2006b: Soil moisture memory in AGCM simulations: Analysis of global land-atmosphere coupling experiment (G LACE) data. Journal of Hydrometeorology, 7(5), 1090-1112.

Seneviratne, 5.1., 1 Corti, E.L. Davin, M. Hirschi, E. Jaeger, I. Lehner, B. Orlowsky, and AJ. Teuling, 2010: Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. Earth Science Reviews, 99(3-4), 125-161.

Sepp, M., and J. Jaagus, 2011: Changes in the activity and tracks of Arctic cyclones. Climatic Change, 105(3-4), 577-595.

Shanahan, IM., J.T. Overpeck, K.J.Anchukaitis, J.w. Beck, H. Cole, D.L. Dettman, JA Peck, C.A Scholz, and J.w. King, 2009: Atlantic forcing of persistent drought in West Africa. Science, 324(5925), 377-380.

Shao, Y., and C.H. Dong, 2006: A review on EastAsian dust storm climate, modelling and monitoring. Global and Planetary Change, 52(1-4), 1-22.

Shaw, S.B., and S.J. Riha, 2011: Assessing temperature-based PET equations under a changing climate in temperate, deciduous forests. Hydrological Processes, 25(9),1466-1478.

Sheffield, J., and E.F. Wood, 2008a: Global trends and variability in soil moisture and drought characteristics, 1950-2000, from observation-driven simulations of the terrestrial hydrologic cycle. Journal of Climate, 21(3), 432-458.

Sheffield, J., and E.F. Wood, 2008b: Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. Climate Dynamics, 31(1), 79-105.

Sheppard, c., D.J. Dixon, M. Gourlay,A Sheppard, and R. Payet, 2005: Coral mortality increases wave energy reaching shores protected by reef flats: Examples from the Seychelles. Estuarine Coastal and Shelf Science, 64(2-3), 223-234.

Sherwood, S.c., and M. Huber, 2010: An adaptability limit to climate change due to heat stress. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(21), 9552-9555.

Shiklomanov, Al., R.B. Lammers, MA Rawlins, L.C. Smith, and IM. Pavelsky, 2007: Temporal and spatial variations in maximum river discharge from a new Russian data set. Journal of Geophysical Research - Biogeosciences, 112, G04S53.

Shiklomanov, N.I., DA Streletskiy, F.E. Nelson, R.D. Hollister, V.E. Romanovsky, C.E. Tweedie, J.G. Bockheim, and J. Brown, 2010: Decadal variations of active-layer thickness in moisture-controlled landscapes, Barrow, Alaska. Journal of Geophysical Research - Biogeosciences, 115, GOOI04.

Shongwe, M.E., G.J. van Oldenborgh, B.J.J.M. van den Hurk, B. de Boer, CAS. Coelho, and M.K. van Aalst, 2009: Projected changes in mean and extreme precipitation in Africa under global warming. Part I: Southern Africa. Journal of Climate, 22(13), 3819-3837.

Shongwe, M.E., G.J. van Oldenborgh, B.J.J.M. van den Hurk, B. de Boer, CAS. Coelho, and M.K. van Aalst, 2011: Projected changes in mean and extreme precipitation in Africa under global warming. Part II: East Africa. Journal of Climate, 24(14), 3718-3732.

Shukla, J., 2007: Monsoon mysteries. Science, 318(5848), 204-205.

Shulmeister, J., D.l Rodbell, M.K. Gagan, and G.O. Seltzer, 2006: Inter-hemispheric linkages in climate change: paleo-perspectives for future climate change. Climates of the Past, 2(2), 167-185.

Sidle, R.C., and H. Ochiai, 2006: Landslides: processes.prediction, and land use. Water Resources Monograph 18,American Geophysical Union, Washington, DC. 312 pp.

Sigmundsson, F., V. Pinel, B. Lund, F. Albino, C. Pagli, H. Geirsson, and E. Sturkell, 2010: Climate effects on volcanism: influence on magmatic systems of loading and unloading from ice mass variations, with examples from Iceland. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 368(1919), 2519-2534.

Sillmann, J. and E. Roeckner, 2008: Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. Climatic Change, 86(1-2), 83-104.

Silva, AG., and P. Azevedo, 2008: Indices de tendencias de Mudan~as Clirnaticas no Estado da Bahia. Engenheiria Ambiental, 5, 141-151.

Silva Oias, MAF., S. Rutledge, P. Kabat, P.L. Silva Dias, C. Nobre, G. Fisch, AJ. Dolman, E. Zipser, M. Garstang,AO. Manzi, J.D. Fuentes, H.R. Rocha, J. Marengo, A. Plana-Fattori, L.D.A. Sa, R.C.S.Alvala, M.O.Andreae, P.Artaxo, R. Gielow, and L. Gatti, 2002: Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in theAmazon Region.Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 107(020), 8072.

Silvestri, G.E. and C.S. Vera, 2009: Nonstationary impacts of the Southern Annular Mode on Southern Hemisphere climate. Journal of Climate, 22(22), 6142-6148.

Simmonds, I. and K. Keay, 2002: Surface fluxes of momentum and mechanical energy overthe North Pacific and NorthAtlantic Oceans. MeteorologyandAtmospheric Physics, 80(1), 1-18.

Simmonds, I., C. Burke, and K. Keay, 2008: Arctic climate change as manifest in cyclone behavior. Journal of Climate, 21(22), 5777-5796.

Simmons, AJ., K.M. Willett, P.D. Jones, P.w. Thorne, and D.P. Dee, 2010: Low-frequency variations in surface atmospheric humidity, temperature, and precipitation: Inferences from reanalyses and monthly gridded observational data sets. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 115, D0111 O.

Sinha, A, K.G. Cannariato, L.D. Stott, H. Cheng, R.L. Edwards, M.G. Yadava, R. Ramesh, and I.B. Singh, 2007: A 900-year (600 to 1500 A D.) record of the Indian summer monsoon precipitation from the core monsoon zone of India. Geophysical Research Letters, 34, L 16707.

Sinton, J., K. Grönvold, and K. Saemundsson, 2005: Postglacial eruptive history of the Western Volcanic Zone, Iceland. Geochemistry Geophysics Geosystems, 6, Q12009.

Sjogren, P., 2009: Sand mass accumulation rate as a proxy for wind regimes in the SW Barents Sea during the past 3 ka. Holocene, 19(4), 591-598.

Small, I., J. van der Meer, and R.E.G., Upshur, 2001: Acting on an environmental health disaster: The case of the Aral Sea. Environmental Health Perspectives, 109(6),547-549.

Smith, J.M., MA Cialone, lV. Wamsley, and lO. McAlpin, 2010: Potential impact of sea level rise on coastal surges in southeast Louisiana. Ocean Engineering, 37(1),37-47.

Smith, K., and R. Ward, 1998: Floods. Physical Processes and Human Impacts. John Wiley, Chichester, UK, 382 pp.

Smith, L.C., 2000: Trends in Russian Arctic river-ice formation and breakup, 1917 to 1994. Physical Geography, 21(1), 46-56.

Smith, L.C., Y. Sheng, G.M. MacDonald, and L.D. Hinzman, 2005: Disappearing Arctic lakes. Science, 308(5727), 1429.

Smith, S.L., SA Wolfe, D.W. Riseborough, and F.M. Nixon, 2009: Active-layer characteristics and summer climatic indices, Mackenzie Valley, Northwest Territories, Canada. Permafrost and Periglacial Processes, 20(2), 201-220.

Smith, S.L., V.E. Romanovsky, AG. Lewkowicz, C.R. Burn, M. Allard, G.D. Clow, K. Yoshikawa, and J. Throop, 2010: Thermal state of permafrost in North America: a contribution to the international polar year. Permafrost and Periglacial Processes, 21(2), 117-135.

Smits, A, AM.G.K. Tank, and G.P. Konnen, 2005: Trends in storminess over the Netherlands, 1962-2002.International Journal of Climatology, 25(10), 1331-1344.

Soares, WR., and JA Marengo, 2009: Assessments of moisture fluxes east of the Andes in South America in a global warming scenario. International Journal of Climatology, 29(10), 1395-1414.

Son, S.W, L.M. Polvani, D.w. Waugh, H. Akiyoshi, R. Garcia, D. Kinnison, S. Pawson, E. Rozanov, lG. Shepherd, and K. Shibata, 2008: The impact of stratospheric ozone recovery on the Southern Hemisphere westerly jet. Science, 320(5882), 1486-1489.

Son, S.W, E.P. Gerber, J. Perlwitz, L.M. Polvani, N.P. Gillett, K.H. Seo, V. Eyring, lG. Shepherd, D. Waugh, H. Akiyoshi, J. Austin, A Baumgaertner, S. Bekki, P. Braesicke, C. Bruhl, N. Butchart, M.P. Chipperfield, D. Cugnet, M. Dameris, S. Dhomse, S. Frith, H. Garny, R. Garcia, S.c. Hardiman, P. Jockel, H. Lamarque, E. Mancini, M. Marchand, M. Michou, 1 Nakamura, O. Morgenstern, G. Pitari, D.A. Plummer, J. Pyle, E. Rozanov, H. Scinocca, K. Shibata, D. Smale, H. Teyssedre, W Tian, and Y. Yamashita, 2010: Impact of stratospheric ozone on Southern Hemisphere circulation change: A multimodel assessment. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 115, DOOM07.

Sorensen, L.S., S.B. Simonsen, K. Nielsen, P. Lucas-Picher, G. Spada, G. Adalgeirsdottir, R. Forsberg, and C.S. Hvidberg, 2011: Mass balance of the Greenland ice sheet (2003-2008) from ICESat data - the impact of interpolation, sampling and firn density. The Cryosphere, 5(1), 173-186.

Sorensson, AA, c.G. Menendez, R. Ruscica, P. Alexander, P. Samuelsson, and U. Willen, 2010: Projected precipitation changes in South America: a dynamical downscaling within CLARIS. Meteorologische Zeitschrift, 19(4),347-355.

Sorteberg,A. and H. Walsh, 2008: Seasonal cyclone variability at 70 degrees Nand its impact on moisture transport into the Arctic. Tel/us Series A - Dynamic Meteorology and Oceanography, 60(3), 570-586.

Sosio, R., G.B. Crosta, and O. Hungr, 2008: Complete dynamic modeling calibration for the Thurwieser rock avalanche (Italian Central Alps) Engineering Geology, 100(1-2), 11-26.

Stahl, K., H. Hisdal, J. Hannaford, L.M. Tallaksen, HAJ. van Lanen, E. Sauquet, S. Demuth, M. Fendekova, and J. J6dar, 2010: Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments. Hydrology and Earth System Sciences Discussion, 7(4), 5769-5804.

Stephenson, D.B., H.F. Diaz, and R.J. Murnane, 2008: Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events. In: Climate Extremes and Society [Murnane, R.J. and H.F. Diaz (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.11-23.

Stephenson, lS., C.M. Goodess, M.R. Haylock, AA Chen, and MA Taylor, 2008: Detecting inhomogeneities in Caribbean and adjacent Caribbean temperature data using sea-surface temperatures. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 113, D21116.

Sterl, A, C. Severijns, H. Dijkstra, W Hazeleger, G.J. van Oldenborgh, M. van den Broeke, G. Burgers, B. van den Hurk, P.J. van Leeuwen, and P. van Velthoven, 2008: When can we expect extremely high surface temperatures? Geophysical Research Letters, 35, L 14703.

Sterl, A, H. van den Brink, H. de Vries, R. Haarsma, and E. van Meijgaard, 2009: An ensemble study of extreme storm surge related water levels in the North Sea in a changing climate. Ocean Science, 5(3), 369-378.

Sterr, H., 2008: Assessment of vulnerability and adaptation to sea-level rise for the coastal zone of Germany. Journal of Coastal Research, 24(2), 380-393.

Stewart, 1.5., J. Sauber, and J. Rose, 2000: Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity. Quaternary Science Reviews, 19(14-15), 1367-1389.

Stive, M.J.F., Z.B. Wang, and C. Lakhan, 2003: Morphodynamic modeling of tidal basins and coastal inlets. In: Advances in Coastal Modeling [Lakhan, V.c. (ed.)]. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 367-392.

Stoffel, M., I. lievre, D. Conus, M.A. Grichting, H. Raetzo, H.W Gartner, and M. Monbaron, 2005: 400 years of debris-flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 37(3), 387-395.

Stott, PA, DA Stone, and M.R. Allen, 2004: Human contribution to the European heatwave of 2003. Nature, 432(7017), 610-614.

Stott, PA, N.P. Gillett, G.c. Hegerl, D. Karoly, D. Stone, X. Zhang, and F.W Zwiers, 2010: Detection and attribution of climate change: a regional perspective. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1(2), 192-211.

Su, B., Z.w. Kundzewicz, and 1 Jiang, 2009: Simulation of extreme precipitation over the Yangtze River Basin using Wakeby distribution. Theoretical and Applied Climatology, 96(3-4), 209-219.

Sugahara, S., R.P. da Rocha, and R. Silveira, 2009: Non-stationary frequency analysis of extreme daily rainfall in Sao Paulo, Brazil. International Journal of Climatology, 29(9), 1339-1349.

Sugi, M., A Noda, and N. Sato, 2002: Influence of the global warming on tropical cyclone climatology: An experiment with the JMA global model. Journal of the Meteorological Society of Japan, 80(2), 249-272.

Sugi, M., H. Murakami, and J. Yoshimura, 2009:A reduction in global tropical cyclone frequency due to global warming. SOLA, 5, 164-167.

Sugiyama, M., H. Shiogama, and S. Emori, 2010: Precipitation extreme changes exceeding moisture content increases in MIROC and IPCC climate models. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(2), 571-575.

Suppiah, R., K. Hennessy, P.H. Whetton, K. Mcinnes, I. Macadam, J. Bathols, J. Ricketts, and C.M. Page, 2007: Australian climate change projections derived from simulations performed for the IPCC 4th Assessment Report. Australian Meteorological Magazine, 56(3), 131-152.

Suter, S., M. Laternser, W Haeberli, R. Frauenfelder, and M. Hoelzle, 2001: Cold firn and ice of high-altitude glaciers in the Alps: measurements and distribution modelling. Journal of Glaciology, 47(156), 85-96.

Sutton, R.l, B. Dong, and J.M. Gregory, 2007: Land/sea warming ratio in response to climate change: IPCC AR4 model results and comparison with observations. Geophysical Research Letters, 34, L02701.

Suursaar, U., and 1 Kullas, 2009: Decadal variations in wave heights off Cape Kelba, Saaremaa Island, and their relationships with changes in wind climate. Oceanologia, 51 (1),39-61.

Svensson, c., and D.A. Jones, 2002: Dependence between extreme sea surge, river flow and precipitation in eastern Britain. International Journal of Climatology, 22(10),1149-1168.

Swanson, K.L., 2008: Non-locality of Atlantic tropical cyclone intensities. Geochemistry Geophysics Geosysterns, 9, Q04V01.

Syvitski, J.P.M., AJ. Kettner, I. Overeem, E.WH. Hutton, M.l Hannon, G.R. Brakenridge, J. Day, C. Vorosmarty, Y. Saito, L. Giosan, and R.J. Nicholls, 2009: Sinking deltas due to human activities. Nature Geoscience, 2(10), 681-686.

Tallaksen, L.M., H. Hisdal, and HAJ. Van Lanen, 2009: Space-time modelling of catchment scale drought characteristics. Journal of Hydrology, 375(3-4), 363-372.

Tamura, t. K. Horaguchi, Y. Saito, L.N. Van, M. Tateishi, K.O.l Thi, F. Nanayama, and K. Watanabe, 2010: Monsoon-influenced variations in morphology and sediment of a mesotidal beach on the Mekong River delta coast. Geomorphology, 116(1-2), 11-23.

Tanaka, H.L., N. Ishizaki, and D. Nohara, 2005: Intercomparison ofthe intensities and trends of Hadley, Walker and monsoon circulations in the global warming projections. SOLA, 1, 77-80.

Taschetto,A.S., c.c. Ummenhofer,A. Sen Gupta, and M.H. England, 2009: The effect of anomalous warming in the central Pacific on the Australian monsoon. Geophysical Research Letters, 36, L 12704.

Taye, M.l, V. Ntegeka, N.P. Ogiramoi, and P. Willems, 2011: Assessment of climate change impact on hydrological extremes in two source regions of the Nile River Basin. Hydrology and Earth System Sciences, 15(1), 209-222.

Taylor,AE., K. Wang, S.L. Smith, M.M. Burgess, and AS. Judge, 2006: Canadian Arctic Permafrost Observatories: Detecting contemporary climate change through inversion of subsurface temperature time series. Journal of Geophysical Research - Solid Earth, 111, B02411.

Tebaldi, C. and R. Knutti, 2007: The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365(1857), 2053-2075.

Tebaldi, C. and B. Sanso, 2009: Joint projections of temperature and precipitation change from multiple climate models: a hierarchical Bayesian approach. Journal of the Royal Statistical Society Series A - Statistics in Society, 172(1), 83-106.

Tebaldi, c., K. Hayhoe, J.M. Arblaster, and GA Meehl, 2006: Going to the extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. Climatic Change, 79(3-4), 185-211.

Teng, H., W.M. Washington, and GA Meehl, 2008: Interannual variations and future change of wintertime extratropical cyclone activity over North America in CCSM3. Climate Dynamics, 30(7-8), 673-686.

Teuling,AJ., M. Hirschi, A Ohmura, M. Wild, M. Reichstein, P. Ciais, N. Buchmann, C. Ammann, L. Montagnani, AD. Richardson, G. Wohlfahrt, and S.I. Seneviratne, 2009: A regional perspective on trends in continental evaporation. Geophysical Research Letters, 36, L02404.

Teuling,A.J., S.I. Seneviratne, R. Stockli, M. Reichstein, E. Moors, P. Ciais, S. Luyssaert, B. van den Hurk, C. Ammann, C. Bernhofer, E. Dellwik, D. Gianelle, B. Gielen, 1 Grunwald, K. Klumpp, L. Montagnani, C. Moureaux, M. Sottocornola, and G. Wohlfahrt, 2010: Contrasting response of European forest and grassland energy exchange to heatwaves. Nature Geoscience, 3(10),722-727.

Textor, c., M. Schulz, S. Guibert, S. Kinne, Y. Balkanski, S. Bauer, 1 Berntsen, 1 Berglen, O. Boucher, M. Chin, F. Dentener, 1 Diehl, R. Easter, H. Feichter, D. Fillmore, S. Ghan, P. Ginoux, S. Gong, H. Krist jansson, M. Krol, A Lauer, J.F. Lamarque, X. Liu, V. Montanaro, G. Myhre, J. Penner, G. Pitari, S. Reddy, O. Seland, P. Stier, 1 Takemura, and X. Tie, 2006: Analysis and quantification of the diversities of aerosol life cycles within AeroCom. Atmospheric Chemistry and Physics, 6(7), 1777-1813.

Themeβl. M.J., A. Goblet, and A. l.euprecht, 2011: Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. International Journal of Climatology, 31(10), 1530-1544, doi: 10.1002/joc.2168.

Thodsen, H., 2007: The influence of climate change on stream flow in Danish rivers. Journal of Hydrology, 333(2-4), 226-238.

Thomas, D.S.G., M. Knight, and G.F.S. Wiggs, 2005: Remobilization of southern African desert dune systems by twenty-first century global warming. Nature, 435(7046), 1218-1221.

Thompson, L.G., E. Mosley-Thompson, H. Brecher, M. Davis, B. Leon, D. Les, P.N. Lin, 1 Mashiotta, and K. Mountain, 2006: Abrupt tropical climate change: Past and present. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(28), 10536-10543.

Tietsche, S., D. Notz, J.H. Jungclaus, and J. Marotzke, 2011: Recovery mechanisms of Arctic summer sea ice. Geophysical Research Letters, 38, L02707.

Timbal, B., P. Hope, and S. Charles, 2008: Evaluating the consistency between statistically downscaled and global dynamical model climate change projections. Journal of Climate, 21(22), 6052-6059.

Timbal, B., E. Fernandez, and Z. Li, 2009: Generalization of a statistical downscaling model to provide local climate change projections for Australia. Environmental Modelling & Software, 24(3),341-358.

Timmermann, A, S. McGregor, and F.F. Jin, 2010: Wind effects on past and future regional sea level trends in the southern Indo-Pacific. Journal of Climate, 23(16),4429-4437.

Tolika, K., P. Maheras, and I. Tegoulias, 2009: Extreme temperatures in Greece during 2007: Could this be a "return to the future"? Geophysical Research Letters, 36, L 10813.

Tomassini, L. and D. Jacob, 2009: Spatial analysis of trends in extreme precipitation events in high-resolution climate model results and observations for Germany. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 114, D12113.

Toreti,A and F. Desiato, 2008: Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. International Journal of Climatology, 28(6), 733-745.

Toreti, A, E. Xoplaki, D. Maraun, F.G. Kuglitsch, H. Wanner, and J. Luterbacher, 2010: Characterisation of extreme winter precipitation in Mediterranean coastal sites and associated anomalous atmospheric circulation patterns. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(5), 1037-1050.

Trenberth, K.E., D. Stepaniak, J. Hurrell, and M. Fiorino, 2001: Quality of reanalyses in the tropics. Journal of Climate, 14(7), 1499-1510.

Trenberth, K.E., J. Fasullo, and L. Smith, 2005: Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. Climate Dynamics, 24(7-8), 741-758.

Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, JA Renwick, M. Rusticucci, B. Solden, and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and atmospheric climate change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, pp. 235-336.

Trewin, B. and H. Vermont, 2010: Changes in the frequency of record temperatures in Australia, 1957-2009. Australian Meteorological and Oceanographic Journal, 60(2), 113-119.

Trigo, I. F., 2006: Climatology and interannual variability of storm-tracks in the Euro¬Atlantic sector: a comparison between ERA-40 and NCEP/NCAR reanalyses. Climate Dynamics, 26(2-3), 127-143.

Trömel, S. and C.D. Schönwiese, 2005: A generalized method of time series decomposition into significant components including probability assessments of extreme events and application to observed German precipitation data. Meteorologische Zeitschrift, 14, 417-427.

Trouet, V., J. Esper, N.E. Graham, A Baker, J.D. Scourse, and D.C. Frank, 2009: Persistent positive North Atlantic Oscillation mode dominated the medieval climate anomaly. Science, 324(5923), 78-80.

Tsimplis, M.N., M. Marcos, and S. Sornot, 2008: 21 st century Mediterranean sea level rise: Steric and atmospheric pressure contributions from a regional model. Global and Planetary Change, 63(2-3), 105-111.

Tu, M., M.J. Hall, P.J.M. de l.aat, and M.J.M. de Wit, 2005: Extreme floods in the Meuse river over the past century: aggravated by land-use changes? Physics and Chemistry of the Earth, 30(4-5), 267-276.

Tudhope,AW., c.P. Chilcott, M.l McCulloch, E.R. Cook, J. Chappell, R.M. Ellam, D.w. Lea, J.M. Lough, and G.B. Shimmield, 2001: Variability in the EI Nino-Southern Oscillation through a glacial-interglacial cycle. Science, 291(5508), 1511-1517.

Tuffen, H., 2010: How will melting of ice affect volcanic hazards in the twenty-first century? Philosophical Transactions of the Royal Society A, 368(1919), 2535-2558.

Turner,AG. and J.M. Slingo, 2009: Subseasonal extremes of precipitation and active¬break cycles of the Indian summer monsoon in a climate-change scenario. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 135(640), 549-567.

Turner, J., S.R. Colwell, G.J. Marshall, lA Lachlan-Cope, AM. Carleton, P.D. Jones, V. Lagun, PA Reid, and S. lagovkina, 2005: Antarctic climate change during the last 50 years. International Journal of Climatology, 25(3), 279-294.

Turpeinen, H.,A Hampel, 1 Karow, and G. Maniatis, 2008: Effect of ice sheet growth and melting on the slip evolution of thrust faults. Earth and Planetary Science Letters, 269(1-2), 230-241.

Uchiyama, I. R. Mizuta, K. Kamiguchi, A Kitoh, and A Noda, 2006: Changes in temperature-based extremes indices due to global warming projected by a global 20-km-mesh atmospheric model. SOLA, 2, 68-71.

Ulbrich, U., J.G. Pinto, H. Kupfer, G.c. Leckebusch, 1 Spangehl, and M. Reyers, 2008: Changing northern hemisphere storm tracks in an ensemble of IPCC climate change simulations. Journal of Climate, 21(8), 1669-1679.

Ulbrich, U., G.c. Leckebusch, and J.G. Pinto, 2009: Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review. Theoretical and Applied Climatology, 96(1-2), 117-131.

Ullmann, A, PA Pirazzoli, and A Tomasin, 2007: Sea surges in Camargue: Trends over the 20th century. Continental Shelf Research, 27(7), 922-934.

Ullmann, A, PA Pirazzoli, and V. Moron, 2008: Sea surges around the Gulf of Lions and atmospheric conditions. Global and Planetary Change, 63(2-3), 203-214.

Ummenhofer, c.c., A Sen Gupta, M.J. Pook, and M.H. England, 2008: Anomalous rainfall over southwest Western Australia forced by Indian Ocean sea surface temperatures. Journal of Climate, 21 (19), 5113-5134.

Ummenhofer, c.c., A Sen Gupta, M.H. England, and (,J.c. Reason, 2009a: Contributions of Indian Ocean sea surface temperatures to enhanced East African rainfall. Journal of Climate, 22(4), 993-1013.

Ummenhofer, c.c., A. Sen Gupta, A.5. Taschetto, and M.H. England, 2009b: Modulation of Australian precipitation by meridional gradients in East Indian Ocean sea surface temperature. Journal of Climate, 22(21), 5597-5610.

Ummenhofer, e.e., M.H. England, GA Meyers, P.e. Mcintosh, M.J. Pook, J.S. Risbey, A. Sen Gupta, and AS. Taschetto, 2009c: What causes Southeast Australia's worst droughts? Geophysical Research Letters, 36, L04706.

Vallee, S. and S. Payette, 2007: Collapse of permafrost mounds along a subarctic river over the last 1 00 years (northern Quebec). Geomorphology, 90(1-2), 162-170.

Vallve, M.B., and J. Martin-Vide, 1998: Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish Mediterranean coastal area (14th-19th centuries). Climatic Change, 38(4), 473-491.

Van den Brink, H.w., G.P. Konnen, J.D. Opsteegh, G.J. Van Oldenborgh, and G. Burgers, 2005: Estimating return periods of extreme events from ECMWF seasonal forecast ensembles. International Journal of Climatology, 25(10), 1345-1354.

van den Hurk, B.J.J.M., and E. van Meijgaard, 2010: Diagnosing land-atmosphere interaction from a Regional Climate Model simulation overWestAfrica. Journal of Hydrometeorology, 11(2), 467-481.

van der Linden, P. and H.B. Mitchell (eds.), 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 160 pp.

van der Schrier, G., K.R. Briffa, IJ. Osborn, and E.R. Cook, 2006a: Summer moisture availability across North America. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 111, D11102.

van der Schrier, G., K.R. Briffa, P.D. Jones, and IJ. Osborn, 2006b: Summer moisture variability across Europe. Journal of Climate, 19(12), 2818-2834.

van Oldenborgh, G.J., S. Philip, and M. Collins, 2005: El Nino in a changing climate: a multi-model study. Ocean Science, 1(2), 267-298.

van Oldenborgh, G.J., S. Drijfhout, A van Ulden, R. Haarsma, A Sterl, e. Severijns, W. Hazeleger, and H. Dijkstra, 2009: Western Europeis warming much faster than expected. Climate of the Past, 5(1), 1-12.

van Pelt, S.e., P. Kabat, H.W. ter Maat, B.J.J.M. van den Hurk, and AH. Weerts, 2009: Discharge simulations performed with a hydrological model using bias corrected regional climate model input. Hydrology and Earth System Sciences, 13(12), 2387-2397.

Vautard, R., P. Yiou, F. D'Andrea, N. de Noblet, N. Viovy, e. Cassou, J. Polcher, P. Ciais, M. Kageyama, and Y. Fan, 2007: Summertime European heat and drought waves induced by wintertime Mediterranean rainfall deficit. Geophysical Research Letters, 34, L07711.

Vautard, R., J. Cattiaux, P. Yiou, J.-N. Thepaut, and P. Ciais, 2010: Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness. Nature Geoscience, 3(11),756-761.

Vecchi, GA and IR. Knutson, 2008: On estimates of historical North Atlantic tropical cyclone activity. Journal of Climate, 21(14), 3580-3600.

Vecchi, GA and B.J. Soden, 2007a: Effect of remote sea surface temperature change on tropical cyclone potential intensity. Nature, 450(7172), 1066-1070.

Vecchi, GA and B.J. Soden, 2007b: Global warming and the weakening of the tropical circulation. Journal of Climate, 20(17), 4316-4340.

Vecchi, GA and B.J. Soden, 2007c: Increased tropical Atlantic wind shear in model projections of global warming. Geophysical Research Letters, 34, L08702.

Vecchi, GA, and Af Wittenberg, 2010: EI Nino and our future climate: where do we stand? Climate Change, 1(2), 260-270.

Vecchi, GA, B.J. Soden.A'I. Wittenberg, I.M. Held,A. Leetmaa, and M.J. Harrison, 2006: Weakening of tropical Pacific atmospheric circulation due to anthropogenic forcing. Nature, 441,73-76.

Vecchi, GA, K.L. Swanson, and B.J. Soden, 2008:Whither hurricane activity. Science, 322(5902),687-689.

Velicogna, I., 2009: Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by G RACE. Geophysical Research Letters, 36, L 19503.

Vera, e. and G. Silvestri, 2009: Precipitation interannual variability in South America from the WCRP-CMIP3 multi-model dataset. Climate Dynamics, 32(7-8), 1003-1014.

Vera, e., G. Silvestri, B. Liebmann, and P. Gonzalez, 2006: Climate change scenarios for seasonal precipitation in SouthAmerica from IPCC-AR4 models. Geophysical Research Letters, 33, L 13707.

Vermeer, M. and S. Rahmstorf, 2009: Global sea level linked to global temperature. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(51), 21527-21532.

Vicente-Serrano, S.M. and J.I. Lopez-Moreno, 2008: Nonstationary influence of the North Atlantic Oscillation on European precipitation. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 113, D20120.

Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria, and J.I. Lopez-Moreno, 2010: A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate, 23(7), 1696-1718.

Vidal, J.P., E. Martin, L. Franchisteguy, F. Habets, J.M. Soubeyroux, M. Blanchard, and M. Baillon, 2010: Multilevel and multiscale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite. Hydrology and Earth System Sciences, 14(3), 459-478.

Vilibic, I. and J. Sepic, 2010: Long-term variability and trends of sea level storminess and extremes in European Seas. Global and Planetary Change, 71 (1-2),1-12.

Villarini, G., F. Serinaldi, JA Smith, and W.F. Krajewski, 2009: On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century. Water Resources Research, 45, W08417.

Vincent, e., E. Le Meur, D. Six, M. Funk, M. Hoelzle, and S. Preunkert, 2007:Very high¬elevation Mont Blanc glaciated areas not affected by the 20th century climate change. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 112, D09120.

Vincent, e., S. Auclair, and E.L.e. Meur, 2010: Outburst flood hazard for glacier¬dammed Lac de Rochemelon, France. Journal of Glaciology, 56(195), 91-100.

Vincent, LA and E. Mekis, 2006: Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the 20th century. Atmosphere-Ocean, 44(2), 177-193.

Vincent, L.A., X. Zhang, B.R. Bonsai, and W.D. Hogg, 2002: Homogenization of daily temperatures over Canada. Journal of Climate, 15(11), 1322-1334.

Vincent, LA, Ie. Peterson, V.R. Barros, M.B. Marino, M. Rusticucci, G. Carrasco, E. Ramirez, L.M. Alves, I Ambrizzi, MA Berlato, A.M. Grimm, JA Marengo, J. Molion, D.F. Moncunill, E. Rebello, Y.M.I Anunciacao, J. Quintana, J.L. Santos, J. Baez, G. Coronel, J. Garcia, I. Trebejo, M. Bidegain, M.R. Haylock, and D. Karoly, 2005: Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. Journal of Climate, 18(23), 5011-5023.

Vinchon, e., S. Aubie, Y. Balouin, L. Closser, M. Garcin, D. Idier, and e. Mallet, 2009: Anticipate response of climate change on coastal risks at regional scale in Aquitaine and Languedoc Roussillon (France). Ocean & Coastal Management, 52(1),47-56.

Vinnikov, K.Y., A Robock, N.A. Speranskaya, and A Schlosser, 1996: Scales of temporal and spatial variability of midlatitude soil moisture. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 101(03), 7163-7174.

Voldoire, A, and J.F. Royer, 2004: Tropical deforestation and climate variability. Climate Dynamics, 22(8), 857-874.

Vose, R.S., D.R. Easterling, and B. Gleason, 2005: Maximum and minimum temperature trends for the globe: an update through 2004. Geophysical Research Letters, 32,L23822.

Vrac, M., M. Stein, and K. Hayhoe, 2007: Statistical downscaling of precipitation through nonhomogeneous stochastic weather typing. Climate Research, 34(3), 169-184.

Vuichard, D. and M. Zimmermann, 1987: The 1985 catastrophic drainage of a moraine-dammed lake, Khumbu Himal, Nepal: cause and consequences. Mountain Research and Development, 7(2), 91-110.

Wakazuki, Y., M. Nakamura, S. Kanada, and e. Muroi, 2008: Climatological reproducibility evaluation and future climate projection of extreme precipitation events in the Baiu season using a high-resolution non-hydrostatic RCM in comparison with an AGCM. Journal of the Meteorological Society of Japan, 86(6), 951-967.

Walkden, M. and M. Dickson, 2008: Equilibrium erosion of soft rock shores with a shallow or absent beach under increased sea level rise. Marine Geology, 251(1-2),75-84.

Walsh, J., 2005: Cryosphere and hydrology. In: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge Univesity Press, Cambridge, UK, pp. 183-242.

Wan, H., X.L. Wang, and V.R. Swail, 2010: Homogenization and trend analysis of Canadian near-surface wind speeds. Journal of Climate, 23(5), 1209-1225.

Wang, AH., IJ. Bohn, S.P. Mahanama, R.D. Koster, and D.P. Lettenmaier, 2009: Multimodel ensemble reconstruction of drought over the Continental United States. Journal of Climate, 22(10), 2694-2712.

Wang, B. and Q.H. Ding, 2006: Changes in global monsoon precipitation over the past 56 years. Geophysical Research Letters, 33, L06711.

Wang, B., Q.H. Ding, X.H. Fu, 1.5. Kang, K. Jin, J. Shukla, and F. Dobias-Reyes, 2005: Fundamental challenge in simulation and prediction of summer monsoon rain-

fall. Geophysical Research Letters, 32, L 15711.

Wang, G. and H.H. Hendon, 2007: Sensitivity of Australian rainfall to inter-EI Nino variations. Journal of Climate, 20(16), 4211-4226.

Wang, G.L., 2005: Agricultural drought in a future climate: results from 15 global climate models participating in the I PCC 4th assessment. Climate Dynamics, 25(7-8),739-753.

Wang, J. and X. Zhang, 2008: Downscaling and projection of winter extreme daily precipitation over North America. Journal of Climate, 21(5), 923-937.

Wang, S., R. McGrath, J. Hanafin, P. Lynch, I Semmler, and P. Nolan, 2008: The impact of climate change on storm surges over Irish waters. Ocean Modelling, 25(1-2), 83-94.

Wang, X., P. Zhai, and e. Wang, 2009: Variations in extratropical cyclone activity in northern East Asia. Advances in Atmospheric Sciences, 26(3), 471-479.

Wang, X.L., V.R. Swail, and F.w. Zwiers, 2006: Climatology and changes of extratropical cyclone activity: Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR reanalysis for 1958-2001. Journal of Climate, 19(13), 3145-3166.

Wang, X.L., \I.R. Swail, F.W Zwiers, X. Zhang, and Y. Feng, 2009a: Detection of external influence on trends of atmospheric storminess and northern oceans wave heights. Climate Dynamics, 32(2-3), 189-203.

Wang, X.L., F.w. Zwiers, V.R. Swail, and Y. Feng, 2009b: Trends and variability of storminess in the Northeast Atlantic region, 1874-2007. Climate Dynamics, 33(7-8), 1179-1195.

Wang, X.M., Y. Yang, Z.B. Dong, and e.x. Zhang, 2009: Responses of dune activity and desertification in China to global warming in the twenty-first century. Global and Planetary Change, 67(3-4), 167-185.

Wang, Y.Q., L.R. Leung, J.L. McGregor, D.K. Lee, We. Wang, Y.H. Ding, and F. Kimura, 2004: Regional climate modeling: Progress, challenges, and prospects. Journal of the Meteorological Society of Japan, 82(6), 1599-1628.

Wanner, H., J. Beer, J. Butikofer, IJ. Crowley, U. Cubasch, J. Fluckiger, H. Goosse, M. Grosjean, F. Joos, J.O. Kaplan, M. Kuttel, SA Muller, I.C. Prentice, O. Solomina, T.F. Stocker, P. Tarasov, M. Wagner, and M. Widmann, 2008: Mid- to Late Holocene climate change: an overview. Quaternary Science Reviews, 27(19-20), 1791-1828.

Watterson, I.G., 2006: The intensity of precipitation during extratropical cyclones in global warming simulations: a link to cyclone intensity? Tel/us Series A - Dynamic Meteorology and Oceanography, 58(1), 82-97.

Webb, A P. and P. Kench, 2010: The dynamic response of reef islands to sea level rise: Evidence from multi-decadal analysis of island change in the central Pacific. Global and Planetary Change, 72(3), 234-246.

Webster, P.J., 2008: Myanmar's deadly daffodil. Nature Geoscience, 1, 488-490. Webster, P.J., G.J. Holland, JA Curry, and H.R. Chang, 2005: Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. Science, 309(5742), 1844-1846.

Wehner, M.F., G. Bala, P. Duffy, AA Mirin, and R. Romano, 2010: Towards direct simulation of future tropical cyclone statistics in a high-resolution global atmospheric model. Advances in Meteorology, 2010, Article 915303.

Weisse, R. and H. Gunther, 2007: Wave climate and long-term changes for the Southern North Sea obtained from a high-resolution hindcast 1958-2002. Ocean Dynamics, 57(3), 161-172.

Weisse, R., H. Von Storch, and F. Feser, 2005: Northeast Atlantic and North Sea storminess as simulated by a regional climate model during 1958-2001 and comparison with observations. Journal of Climate, 18(3),465-479.

Wells, N., S. Goddard, and M.J. Hayes, 2004: A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. Journal of Climate, 17(12), 2335-2351.

Weng, H., S.K. Behera, and I Yamagata, 2009: Anomalous winter climate conditions in the Pacific Rim during recent EI Nino Modoki and EI Nino events. Climate Dynamics, 32(5), 663-674.

Wernli, H., S. Dirren, MA Liniger, and M. Zillig, 2002: Dynamical aspects of the life cycle of the winter storm 'Lothar' (24-26 December 1999). Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 128(580), 405-429.

Wettstein, J.J., and J.M. Wallace, 2010: Observed patterns of month-to-month storm¬track variability and their relationship to the background flow. Journal of the Atmospheric Sciences, 67(5), 1420-1437.

Whitney, FA, H.J. Freeland, and M. Robert, 2007: Persistently declining oxygen levels in the interior waters of the eastern subarctic Pacific. Progress in Oceanography, 75(2), 179-199.

Wieczorek, G.F., I Glade, M. Jakob, and O. Hungr, 2005: Climatic factors influencing occurrence of debris flows. In: Debris-Flow Hazards and Related Phenomena [Jakob, M. and O. Hungr (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 325-362.

Wiggs, G.F.S., AJ. Baird, and R.J. Atherton, 2004: The dynamic effects of moisture on the entrainment and transport of sand by wind. Geomorphology, 59(1-4), 13-30.

Wilby, R.L., K.J. Beven, and N.S. Reynard, 2008: Climate change and fluvial flood risk in the UK: more of the same? Hydrological Processes, 22(14), 2511-2523.

Willett, K.M., N.P. Gillett, P.D. Jones, and P.W Thorne, 2007: Attribution of observed surface humidity changes to human influence. Nature, 449(7163), 710-712.

Willett, K.M., P.D. Jones, N.P. Gillett, and P.w. Thorne, 2008: Recent changes in surface humidity: Development of the HadCRUH dataset. Journal of Climate, 21(20),5364-5383.

Willett, K.M., P.D. Jones, P.W Thorne, and N.P. Gillett, 2010: A comparison of large scale changes in surface humidity over land in observations and CMIP3 general circulation models. Environmental Research Letters, 5(2), 025210.

Wilson, P., J. McGourty, and M.D. Bateman, 2004: Mid- to late-Holocene coastal dune event stratigraphy for the north coast of Northern Ireland. Holocene, 14(3), 406-416.

Wing, AA, AH. Sobel, and S.J. Camargo, 2007: Relationship between the potential and actual intensities of tropical cyclones on interannual time scales. Geophysical Research Letters, 34, L0881 O.

Wittenberg, AI, 2009:Are historical records sufficientto constrain ENSO simulations? Geophysical Research Letters, 36, L 12702.

Wong, S.,AE. Dessler, N.M. Mahowald, P.R. Colarco, and A da Silva, 2008: Long-term variability in Saharan dust transport and its link to North Atlantic sea surface temperature. Geophysical Research Letters, 35, L07812.

Woodroffe, e.D., 2008: Reef-island topography and the vulnerability of atolls to sea-level rise. Global and Planetary Change, 62(1-2), 77-96.

Woodruff, J.D., J.P. Donnelly, KA Emanuel, and P. Lane, 2008a: Assessing sedimentary records of paleohurricane activity using modeled hurricane climatology. Geochemistry Geophysics Geosystems, 9, Q09V1 O.

Woodruff, J.D., J.P. Donnelly, D. Mohrig, and WR. Geyer, 2008b: Reconstructing relative flooding intensities responsible for hurricane-induced deposits from Laguna Playa Grande, Vieques, Puerto Rico. Geology, 36(5), 391-394.

Woodworth, P.L. and D.L. Blackman, 2004: Evidence for systematic changes in extreme high waters since the mid-1970s. Journal of Climate, 17(6), 1190-1197.

Woodworth, P.L., M. Menendez, and WR. Gehrels, 2011: Evidence for century¬timescale acceleration in mean sea levels and for recent changes in extreme sea levels. Surveys in Geophysics, 32(4-5), 603-618, doi: 10.1 007/s1 0712- 10011-19112-10718.

Woollings, IJ., B.J. Hoskins, M. Blackburn, and P. Berrisford, 2008: A new Rossby wave-breaking interpretation of the North Atlantic Oscillation. Journal of Atmospheric Science, 65(2), 609-626.

Woollings, IJ., A Hannachi, B. Hoskins, and A Turner, 2010: A regime view of the North Atlantic Oscillation and its response to anthropogenic forcing. Journal of Climate, 23(6), 1291-1307.

Wu, Q., and I Zhang, 2010: Changes in active layer thickness over the Qinghai¬Tibetan Plateau from 1995-2007. Journal of Geophysical Research, 115, D09107.

Wu, Y., M. Ting, R. Seager, H.-P. Huang, and M. Cane, 2011: Changes in storm tracks and energy transports in a warmer climate simulated by the GFDL CM2.1 model. Climate Dynamics, 37(1-2), 53-72.

Xie, B., Q. Zhang, and Y. Wang, 2008: Trends in hail in China during 1960-2005. Geophysical Research Letters, 35, L 13801.

Xie, S.-P., e. Deser, GA Vecchi, J. Ma, H. Teng, and Al Wittenberg, 2010: Global warming pattern formation: Sea surface temperature and rainfall. Journal of Climate, 23(4), 966-986.

Xin, W, L. Shiyin, G. Wanqin, and X. Junli, 2008:Assessment and simulation of glacier lake outburst floods for Longbasaba and Pida Lakes, China. Mountain Research and Development, 28(3),310-317.

Xoplaki, E., J.F. Gonzalez-Rouco, J. Luterbacher, and H. Wanner, 2003: Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SSTs. Climate Dynamics, 20(7-8), 723-739.

Xu, M., e.P. Chang, c.a Fu, Y. Qi, A Robock, D. Robinson, and H.M. Zhang, 2006: Steady decline of east Asian monsoon winds, 1969-2000: Evidence from direct ground measurements of wind speed. Joumal of Geophysical Research - Atmospheres, 111, D24111.

Yao, e., S. Yang, W Qian, Z. Lin, and M. Wen, 2008: Regional summer precipitation events in Asia and their changes in the past decades. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 113, D171 07.

Yeh, S.W, J.S. Kug, B. Dewitte, M.H. Kwon, B.P. Kirtman, and F.F. Jin, 2009: EI Nino in a changing climate. Nature, 461,511-514.

Yin, J., S.M. Griffies, and R.J. Stouffer, 2010: Spatial variability of sea level rise in twenty-first century projections. Joumal of Climate, 23(17), 4585-4607.

Yiou, P., P. Ribereau, P. Naveau, M. Nogaj, and R. Brazdil, 2006: Statistical analysis of floods in Bohemia (Czech Republic) since 1825. Hydrological Sciences Journal, 51(5),930-945.

Yoshimura, J., M. Sugi, and A Noda, 2006: Influence of greenhouse warming on tropical cyclone frequency. Journal of the Meteorological Society of Japan, 84(2),405-428.

You, Q., S. Kang, E. Aguilar, and Y. Yan, 2008: Changes in daily climate extremes in the eastern and central Tibetan Plateau during 1961-2005. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 113, D071 01.

You, Q., S. Kang, E. Aguilar, N. Pepin, WA Fluqel, Y. Yan, Y. Xu, Y. Zhang, and J. Huang, 2011: Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961-2003. Climate Dynamics, 36(11-12), 2399-2417.

Young, I.R., S. Zieger, and AV. Babanin, 2011: Global trends in wind speed and wave height. Science, 332(6028), 451-455.

Yu, J.Y. and H.Y. Kao, 2007: Decadal changes of ENSO persistence barrier in SST and ocean heat content indices: 1958-2001. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 112, D131 06.

Yu, K.F., J.X. Zhao, Q. Shi, and Q.S. Meng, 2009: Reconstruction of stormltsunami records over the last 4000 years using transported coral blocks and lagoon sediments in the southern South China Sea. Quaternary International, 195(1-2), 128-137.

Zahn, M. and H. von Storch, 2010: Decreased frequency of North Atlantic polar lows associated with future climate warming. Nature, 467(7313), 309-312.

Zemp, M., W Haeberli, M. Hoelzle, and F. Paul, 2006: Alpine glaciers to disappear within decades? Geophysical Research Letters, 33, L 13504.

Zemp, M., W Haeberli, and J. Eamer, 2007: Glaciers and ice caps. In: Global Outlook for Ice and Snow. UN EP/GRID, Arendal, Norway, pp. 115-152.

Zhai, P.M., X. Zhang, H. Wan, and X.H. Pan, 2005: Trends in total precipitation and frequency of da ily precipitation extremes over Ch ina. Journal of Climate, 18(7), 1096-1108.

Zhang, K.Q., B.e. Douglas, and S.P. Leatherman, 2004: Global warming and coastal erosion. Climatic Change, 64(1-2), 41-58.

Zhang, Q., Y. Guan, and H. Yang, 2008: ENSO amplitude change in observation and coupled models. Advances in Atmospheric Sciences, 25(3), 361-366.

Zhang, R. and T.L. Delworth, 2009: A new method for attributing climate variations over the Atlantic Hurricane Basin's main development region. Geophysical Research Letters, 36, L06701.

Zhang, I, 2005: Influence ofthe seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. Reviews of Geophysics, 43, RG4002.

Zhang, I, R.G. Barry, K. Knowles, JA Heginbottom, and J. Brown, 1999: Statistics and characteristics of permafrost and ground ice distribution in the Northern Hemisphere. Polar Geography, 23(2), 147-169.

Zhang, I, OW. Frauenfeld, M.e. Serreze, A Etringer, e. Oelke, J. McCreight, R.G. Barry, D. Gilichinsky, D. Yang, H. Ye, F. Ling, and S. Chudinova, 2005: Spatial and temporal variability of active layer thickness over the Russian Arctic drainage basin. Journal of Geophysical Research, 110, D161 01.

Zhang, X., K.D. Harvey, WD. Hogg, and IR. Yuzyk, 2001: Trends in Canadian streamflow. Water Resources Research, 37(4), 987-998.

Zhang, X., F.W Zwiers, and G. Li, 2004: Monte Carlo experiments on the detection of trends in extreme values. Journal of Climate, 17(10), 1945-1952.

Zhang, X., E. Aguilar, S. Sensoy, H. Melkonyan, U. Tagiyeva, N. Ahmed, N. Kutaladze, F. Rahimzadeh,A Taghipour, IH. Hantosh, P.Albert, M. Semawi, M.K.Ali, M.H.S. Al-Shabibi, Z. Al-Oulan, I Zatari, IA Khelet, S. Hamoud, R. Sagir, M. Demircan, M. Eken, M. Adiguzel, L. Alexander, Ie. Peterson, and I Wallis, 2005: Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. Journal of Geophysical Research -Atmospheres, 110, D221 04.

Zhang, X., F.W Zwiers, G.e. Hegerl, F.H. Lambert, N.P. Gillett, S. Solomon, P.A. Stott, and I Nozawa, 2007: Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. Nature, 448(7152), 461-465.

Zhang, X., J. Wang, F.W Zwiers, P. Ya, and P.Y. Groisman, 2010: The influence of large scale climate variability on winter maximum daily precipitation over North America. Journal of Climate, 23(11), 2902-2915.

Zhang, X.D., H. Walsh, J. Zhang, U.S. Bhatt, and M. Ikeda, 2004: Climatology and interannual variability of arctic cyclone activity: 1948-2002. Journal of Climate, 17(12), 2300-2317.

Zhang, X.D., A Sorteberg, J. Zhang, R. Gerdes, and J.e. Comiso, 2008: Recent radical shifts of atmospheric circulations and rapid changes in Arctic climate system. Geophysical Research Letters, 35, L22701.

Zhang, X.Y., S.L. Gong, T.L. Zhao, R. Arimoto, Y.Q. Wang, and Z.J. Zhou, 2003: Sources of Asian dust and role of climate change versus desertification in Asian dust emission. Geophysical Research Letters, 30(24), 2272.

Zhang, Y.Q., e.M. Liu, Y.H. Tang, and Y.H. Yang, 2007: Trends in pan evaporation and reference and actual evapotranspiration across the Tibetan Plateau. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 112, D1211 O.

Zhao, e.S., X. Dabu, and Y. Li, 2004: Relationship between climatic factors and dust storm frequency in Inner Mongolia of China. Geophysical Research Letters, 31, L01103.

Zhao, L., Q. Wu, S.S. Marchenko, and N. Sharkhuu, 2010: Thermal state of permafrost and active layer in Central Asia during the international polar year. Permafrost and Periglacial Processes, 21(2), 198-207.

Zhao, M., I.M. Held, S.J. Lin, and GA Vecchi, 2009: Simulations of global hurricane climatology, interannual variability, and response to global warming using a 50-km resolution GCM. Journal of Climate, 22(24), 6653-6678.

Zhong, D.e., 1999: The dynamic changes and trends of modern desert in China. Advance in Earth Sciences, 14(3), 229-234 (in Chinese).

Zhou, IJ., IX, Zhang, and H.M. Li, 2008a: Changes in global land monsoon area and total rainfall accumulation over the last half century. Geophysical Research Letters, 35, L 16707.

Zhou, IJ., R.e. Yu, H.M. Li, and B. Wang, 2008b: Ocean forcing to changes in global monsoon precipitation over the recent ha lf-century. Journal of Climate, 21 (15), 3833-3852.

Zhou, Z.J. and G.e. Zhang, 2003: Typical severe dust storms in northern China during 1954-2002. Chinese Science Bulletin, 48(21), 2366-2370.

Zimmermann, M., P. Mani, and H. Romang, 1997: Magnitude-frequency aspects of alpine debris flows. Ec/ogae Geologicae Helvetiae, 90(3), 415-420.

Zin, WZ.W, S. Jamaludin, S.M. Deni, and AA Jemain, 2009: Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971-2005. Theoretical and Applied Climatology, 99(3-4), 303-314.

Zolina, 0., e. Simmer, A Kapala, S. Bachner, S. Gulev, and H. Maechel, 2008: Seasonally dependent changes of precipitation extremes over Germany since 1950 from a very dense observational network. Journal of Geophysical Research -Atmos-

pheres, 113, D0611 O.

Zolina, 0., e. Simmer, K. Belyaev, A Kapala, and S. Gulev, 2009: Improving estimates of heavy and extreme precipitation using daily records from European rain gauges. Journal of Hydrometeorology, 10(3), 701-716.

Zlolina, 0., C. Simmer, S.K. Gulev, and S. Koller, 2010: Changing structure of European precipitation: Longer wet periods leading to more abundant rainfalls. Geophysical Research Letters, 37, L06704.

Zlorita, E., T.F. Stocker, and H. von Storch, 2008: How unusual is the recent series of warm years? Geophysical Research Letters, 35, L24706.

Zlou, X., L.V. Alexander, D. Parker, and J. Caesar, 2006: Variations in severe storms over China. Geophysical Research Letters, 33, L 17701.

Zlwiers, F.W., X. Zhang, and Y. Feng, 2011: Anthropogenic influence on long return period daily temperature extremes at regional scales. Journal of Climate, 24(3), 881-892.

4

극한 기후의 영향 변화: 인간 시스템와 생태계

총괄 대표저자
John Handmer (호주), Yasushi Honda (일본), Zbigniew W. Kundzewicz (폴란드/독일)

대표저자:
Nigel Arnell (영국), Gerardo Benito (스페인), Jerry Hatfield (미국), Ismail Fadl Mohamed (수단), Pascal Peduzzi (스위스), Shaohong Wu (중국), Boris Sherstyukov (러시아), Kiyoshi Takahashi (일본), Zheng Van (중국)

감수 편집자:
Sebastian Vicuna (칠레), Avelino Suarez (쿠바)

기여저자:
Amjad Abdulla (몰디브), Laurens M. Bouwer (네덜란드), John Campbell (뉴질랜드), Masahiro Hashizume (일본), Fred Hattermann (독일), Robert Heilmayr (미국), Adriana Keating (호주), Monique Ladds (호주), Katharine J. Mach (미국), Michael D. Mastrandrea (미국), Reinhard Mechler (독일), Carlos Nobre (브라질), Apurva Sang hi (세계은행), James Screen (호주), Joel Smith (미국), Adonis Velegrakis (그리스), Walter Vergara (세계은행), Anya M. Waite (호주), Jason Westrich (미국), Joshua Whittaker (호주), Yin Yunhe (중국), Hiroya Yamano (일본)

본 장을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

Handmer, J., Y. Honda, z.w. Kundzewicz, N. Arnell, G. Benito, J. Hatfield, I.F. Mohamed, P. Peduzzi, S. Wu, B. Sherstyukov, K. Takahashi, and Z. Yan, 2012: Changes in impacts of climate extremes: human systems and ecosystems. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 231–290.

목 차

본문 요약 220

4.1. 서론 222

4.2. 자연계와 사회경제시스템에서의 극한현상 222
4.2.1. 극한 기후는 인간 시스템와 자연계에 어떻게 영향을 끼치는가? 222
4.2.2. 기후 현상, 노출, 취약성 간 복잡한 상호작용 223

4.3. 시스템 및 부문 별 취약성, 노출 및 영향의 측면 224
4.3.1. 서론 224
4.3.2. 물 224
4.3.3. 생태계 228
4.3.3.1. 열파 230
4.3.3.2. 가뭄 230
4.3.3.3. 홍수 230
4.3.3.4. 기타 현상 230
4.3.4. 식량 시스템과 식량 안보 231
4.3.5. 인간 거주지, 기반시설 및 관광 231
4.3.5.1. 인간 거주지 231
4.3.5.2. 기반시설 232
4.3.5.3. 관광 234
4.3.6. 인간 보건, 복지 및 안보 234

4.4. 취약성, 노출 및 영향의 지역적 측면 236
4.4.1. 서론 236
4.4.2 아프리카(Africa) 236
4.4.2.1. 서론 236
4.4.2.2. 가뭄과 열파 236
4.4.2.3. 극한강수 현상과 홍수 237
4.4.2.4. 모래 폭풍 237
4.4.3. 아시아(Asia) 237
4.4.3.1. 열대저기압 (태풍 또는 허리케인) 237
4.4.3.2. 홍수 238
4.4.3.3. 극한기온 238
4.4.3.4. 가뭄 238
4.4.3.5. 산불(wildfire) 239
4.4.4. 중남 아메리카(Central and South America) 239
4.4.4.1. 남아메리카의 극한강수 239
4.4.4.2. 산불 239
4.4.4.3. 지역적 비용 239
4.4.5. 유럽(Europe) 239
4.4.5.1. 서론 239
4.4.5.2. 열파 239
4.4.5.3. 가뭄과 산불 239
4.4.5.4. 연안 홍수 240
4.4.5.5. 강풍(Gale Wind) 240
4.4.5.6. 홍수 241
4.4.5.7. 산사태 241
4.4.5.8. 눈 241
4.4.6. 북미(North America) 241
4.4.6.1. 서론 241
4.4.6.2. 열파 241
4.4.6.3. 가뭄과 산불 242
4.4.6.4. 내륙 홍수 242
4.4.6.5. 연안 폭풍과 홍수 242
4.4.7. 오세아니아(Oceania) 243
4.4.7.1. 서론 243
4.4.7.2. 극한기온 243
4.4.7.3. 가뭄 243
4.4.7.4. 산불 244
4.4.7.5. 집중 호우(Intense Precipitation) 및 홍수 244
4.4.7.6. 폭풍 해일 244
4.4.8. 외해(Open Ocean) 244
4.4.9. 극지방(Polar Region) 244
4.4.9.1. 서론 244
4.4.9.2. 빙권 온난화(Warming Cryosphere) 244
4.4.9.3. 홍수 245
4.4.9.4. 연안 침식(Coastal Erosion) 245
4.4.10. 군소 도서국들 245

4.5. 극한 기후 및 재해의 비용 246
4.5.1. 극한현상 및 재해의 비용 조명 247
4.5.2. 극한현상, 영향 및 개발 247
4.5.3. 극한현상 및 재해의 영향비용과 적응비용 평가방법 248
4.5.3.1. 영향의 비용추정을 위한 방법과 도구 248
4.5.3.2. 적응비용 평가를 위한 방법과 도구 249
4.5.3.3. 기후변화 영향의 원인규명: 관측과 한계 250
4.5.4. 영향비용 평가 251
4.5.4.1. 전지구적 및 지역적 재해비용의 추정 251
4.5.4.2. 주요 극한영향의 잠재적 추세 253
4.5.5. 적응비용 평가 255
4.5.6. 극한현상 및 재해의 경제비용 평가에서의 불확실성 256

참고문헌 257

본문 요약

극한 기후에 대한 영향은 극한 기상 및 기후 현상에서 기인할 수 있으나 극한현상이 없어도 발생할 수 있다. 4장에서는 인간 시스템와 생태계에 미치는 영향에 대한 광범위한 조사를 수행한다. 인간 시스템와 생태계는 기후, 취약성 및 노출의 변화에 의해 영향 받는다. 4장은 우선 주로 극한 기상 및 기후 현상에서 기인하는 영향에 초점을 맞추고, 두 번째로 덜 극한적인 기상 또는 기후 현상에 의해 유발되는 극한영향도 고려한다. 영향의 이러한 두 범주를 부문, 시스템, 지역에 걸쳐 조사한다. 극한현상은 생태계와 인간 활동에 긍정적 영향뿐 아니라 부정적 영향도 끼칠 수 있다.

기상 관련 재해와 기후 관련 재해로 인한 경제적 손실은 증가하였지만 공간 변동성과 연 변동성이 크다(높은 동의수준과 보통의 증거수준에 기초해 신뢰수준 높음). 지난 몇 십년 간 보고된 전지구 기상과 기후 관련 재해 손실은 주로 자산에 대하여 평가된 직접적 피해를 반영하며, 불균등하게 분포한다. 연간손실의 추정치는 1980년 이래 수십 억 달러 (미국달러)부터 2,000억 달러 (2010년 달러 기준) 이상이었고, 허리케인 카트리나가 발생했던 2005년에 가장 높은 손실을 기록했다. 2000년부터 2008년까지 기상과 기후 관련 재해는 아시아에서 가장 많이 발생하였다. 경제손실은 아메리카에서 가장 커서 총 손실의 54.6%를 차지하였고, 그 다음이 아시아 27.5%, 유럽 15.9% 순이었다. 아프리카는 전지구 경제손실의 0.6%를 차지하였다. 손실 추정치들은 하한 추정치 (lower-bound estimate)인데 그 이유는 인명 손실, 문화유산 및 생태계 서비스 같은 많은 영향들은 값어치와 금액으로 환산하기 어렵고, 그래서 손실 추정치에서 부실하게 반영되기 때문이다. 비공식 또는 문서화 되지 않은 경제에 대한 영향뿐 아니라 간접 효과도 일부 분야와 부문에서 매우 중요할 수 있으나 보고된 손실 추정치에서는 대체로 고려되지 않는다. [4.5.1, 4.5.3.3, 4.5.4.1]

기상, 기후 및 지구물리 현상에 관련된 경제적 (보험 포함) 재해손실은 선진국에서 더 크다. 사망률과 국민 총생산(GDP)의 비율로 표현된 경제손실은 개발도상국에서 더 크다(높은 신뢰수준). 1970년부터 2008년까지 자연재해로 인한 사망의 95% 이상이 개발도상국에서 발생하였다. 자산기반이 급속 팽창 중인 중소득 국가들이 가장 큰 부담을 져왔다. 한정된 증거에 의하면 2001년부터 2006년까지 중소득 국가들은 GDP의 약 1%에 달하는 손실을 입은 반면에 저소득 국가들은 GDP의 약 0.3%, 고소득 국가들은 GDP의 약 0.1%에 달하는 손실을 입었다. 노출된 작은 국가들, 특히 군소도서 개발도상국들에서는 1970년부터 2010년까지 재해가 있는 연도와 없는 연도를 평균할 때 GDP의 비율로 표현된 손실이 특히 높아서 1%를 넘는 경우가 많고 극단적인 경우에는 8%를 넘기도 하였다. [4.5.2, 4.5.4.1]

인적 및 경제적 자산의 노출 증가는 기상 및 기후 관련 재해로 인한 경제손실의 장기간 증가의 주요 원인이었다(높은 신뢰수준). 부와 인구의 증가에 맞춰 조정한 경제적 재해손실의 장기 추세는 기후변화가 원인이라고 규명되지는 않았으나, 기후변화의 역할이 제외되지는 않았다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 이 결론은 현재까지 연구들에서 많은 한계가 있다. 취약성은 재해손실의 주요 요인이지만 아직은 충분히 해명되지 않았다. 기타 한계는 다음과 같다.
(i) 자료의 가용성. 대부분의 자료는 선진국들의 표준 경제 부문에 이용할 수 있는 것들이다. (ii) 위험의 연구유형, 대부분의 연구는 저기압에 초점을 맞추지만 관측된 변화의 추세와, 변화의 원인을 인간의 영향력에 두는 것에 대한 신뢰수준은 낮다. 두 번째 결론의 추가적인 한계는 시간경과에 따는 손실 자료를 조정하고 자료 기록의 길이를 조정하는 데 사용되는 과정이다. [4.5.3.3]

정착 패턴, 도시화, 및 사회경제 조건의 변화는 모두 극한 기후에 대한 노출과 취약성의 관측된 추세에 영향을 주었다(높은 신뢰수준). 정착은 인간, 자산 및 활동의 노출을 집중시킨다. 가장 취약한 집단은 임시 주거지의 도시 빈곤층, 피난민, 국내 이재민(internally displaced people), 한계 지역(marginal area)에 사는 사람들 등이다. 인구 증가도 노출 및 취약성 변화를 일으키는 동인이다. [4.2.1, 4.2.2, 4.3.5.1]

상당수의 선진국들은 고령화 사회로 변하고 있으며 따라서 열파 같은 극한 기후에 더 취약할 수 있다. 예를 들어 유럽은 현재 고령화를 겪고 있으며 다른 대륙에서보다 인구밀도는 높고 출생률은 낮아지고 있다. 그럼에도 유럽에서 극한 기후에 대한 노출은 증가하였고, 반면에 정책, 규제, 위험 예방, 위험관리를 이행한 결과 취약성은 저감되었다. 도시열섬은 도시 주민들에게 추가적인 위험을 가하며 특히 고령자, 환자, 사회적으로 고립된 사람들에게 가장 크게 영향을 끼친다. [4.3.5.1, 4.3.6, 4.4.5]

교통, 기반시설, 물, 관광은 극한 기후에 민감한 부문이다. 교통 기반시설은 극한기온, 극한강수/하천 범람, 극한 폭풍해일에 취약하다. 이 극한현상들은 도로, 철도, 공항, 항구에 피해를 줄 수 있다. 송전 기반시설 역시 극한 폭우에 취약하다. 관광 수요에 있어서 전지구적으로 보여지는 계절성의 주된 동인은 기후이기 때문에 관광 부문은 기후에 민감하다. [4.3.5.2, 4.3.5.3]

농업 또한 극한 기후에 노출되어 있고 극한기후에 취약한 경제 부문이다. 개발도상국들의 경제는 소규모 영세 농업이 주를 이루는 농업에 크게 의존하고, 특히 농업 분야에서 생계는 극한 기후에 노출되어 있다. 아프리카에서 가뭄은 특히 1960년대 말부터 농업에 영향을 끼쳐왔고 상당한 기근을 초래하였다. [4.3.4, 4.4.2]

선진국과 개발도상국 모두에서 연안에 위치한 주거지는 극한 기후에 노출되어 있고 취약하다. 예를 들어, 북미에서 허리케인에 대한 노출과 취약성을 증가시키는 주요 요인은, 특히 미국의 걸프만 및 대서양 연안에서 보여지는 인구 증가와 부동산 가격의 상승으로 인한 것이다. 군소 도서국들은 극한 기후에 특히나 취약하고, 특히 도시 중심지나 섬 기반시설이 연안에 밀집된 국가들일수록 더하다. 아시아의 거대 삼각주 지역들도 홍수 같은 극한현상에 취약하고, 도시 지역을 확대하면서 취약 인구가 생기고 있다. 산간 주거지 역시 극한 기후에 노출되어 있고 취약하다. [4.3.5.1, 4.4.3, 4.4.6, 4.4.9, 4.4.10]

많은 지역에서, 극한 기후로 인한 향후 경제손실 증가의 주요 동인들은 사회경제적 성격의 것들일 것이다(보통의 동의수준과 제한적 증거수준에 기초해 신뢰수준 보통). 극한 기상 및 기후 현상의 빈도와 강도는 위험에 영향을 주는 유일한 요인이지만 인구, 사람 및 자산의 노출, 취약성에 있어서의 변화를 손실의 결정요인으로서 특정하게 정량화한 연구는 거의 없다. 그러나 이 연구들은 위험에 처한 인구와 자본의 예상 변화 (증가)의 중요한 역할을 강조한다. 또한 일부 연구자들은 더 가난한 개발도상국일수록 그리고 더 작은 규모의 경제일수록 선진국들보다 특히 극한영향에 관하여 미래에 발생하는 재해에 더 타격 받을 가능성이 더 높다고 주장한다. [4.5.2, 4.5.4.2]

노출 증가는 열대 저기압으로부터 더 많은 직접적 경제손실을 초래할 것이다. 손실은 열대저기압 빈도 및 강도의 미래 변화에 좌우될 것이다(높은 신뢰수준). 온대저기압으로 인한 종합 손실도 증가할 것이지만 일부 지역에서는 감소하거나 변화 없을 가능성이 있다(보통 신뢰수준). 추가적인 보호대책이 없으면 많은 지역에서 향후 홍수로 인한 손실이 증가할 것이지만(높은 동의수준, 보통 증거수준), 추정된 변화의 규모는 장소, 사용된 기후 시나리오, 하천 유량 및 홍수 발생에 대한 영향을 평가하는 데 사용된 방법에 따라 매우 가변적이다. [4.5.4.2]

극한 현상은 물, 농업, 식량 안보, 산림, 보건, 관광 등 기후와 밀접한 관계가 있는 분야에 더 큰 영향을 끼칠 것이다. 예를 들어 현재로서는 집수지 규모에서의 변화를 신뢰성 있게 예측하기가 불가능하지만 기후변화는 물 관리 체계에 심각하게 영향을 끼칠 잠재력이 있다(높은 신뢰수준). 그러나 기후변화는 공급 신뢰성의 미래 변화에 대한 동인 중 하나일 뿐 국지적 규모에서 가장 중요한 동인은 아니다. 홍수 특징의 변화가 끼치는 영향도 미래에 기후가 어떻게 변하는가에 크게 좌우된다. 3.5.2절에서 밝혔듯이, 홍수 규모나 빈도의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 하지만 문헌에 의하면, 일부 장소에서 기후변화는 홍수로 인한 손실에 상당한 영향을 끼칠 잠재력이 있다(높은 신뢰수준). 기후와 관련한 극한현상도 기반시설에 큰 영향을 끼칠 것으로 예상되지만 잠재 피해와 예상 피해의 상세 분석은 몇몇 국가, 기반시설 유형, 및 부문에 국한되어 있다. [4.3.2,4.3.5.2]

기후변화 적응비용의 추정치는 넓은 범위를 가지며 평가기간에 따라 다르다. 2030년 전지구 추정 비용은 연간 480억 ~ 1,710억 달러(2005년 미국달러 기준)이며 개발도상국 추정치는 이 범위의 평균으로서 연간 최대 1,000억 달러에 달한다. 개별적인 부문의 추정치는 단지 3개의 연구에서만 도출되었기 때문에 그 추정치들의 신뢰수준은 낮다. 이 연구는 극한 기후의 변화에 대한 적응비용을 다른 기후변화 영향과 뚜렷하게 구분하지 않았고, 모든 부문에서 발생하는 비용을 포함하지 않고 있으며, 상향식 평가의 외삽과 장소에 대한 특이성이 없는 하향식 분석에 기초하고 있다. [4.5.3, 4.5.5, 4.5.6]

4.1. 서론

3장은 극한 기상 및 기후 현상의 빈도, 강도, 공간범위, 및 지속기간에 대한 관측치와 예상치를 평가하였다. 이러한 물리적 기초는 기후변화와 극한현상을 파악하는 데 중요한 근간이 된다. 하지만 이 자체가 인간 또는 생태계가 경험한 영향을 암시하지는 않는다. 예를 들어 일부 부문과 집단은 상대적으로 경미한 기상 및 기후 현상으로부터도 심각한 영향을 받을 수 있다. 기상 및 기후 현상이 일으키는 영향을 이해하기 위해서는 인간 시스템와 생태계의 노출 및 취약성을 조사할 필요가 있다. 이 보고서가 극한현상 및 재해의 위험 관리에 초점을 맞추는 것과 마찬가지로, 본 장은 부정적인 영향에 초점을 맞춘다. 하지만 기상 및 기후 현상이 일부 인간과 생태계에게 긍정적 영향을 끼치는 경우도 종종 나타난다.

본 장에서는 인간 시스템와 생태계에 미치는 두 가지 영향을 조사한다: (i) 극한 기상 및 기후 현상의 영향; (ii) 덜 극한적인 기상 또는 기후 현상이 (높은 노출 또는 높은 취약성 같은 비기후 요인과 함께) 일으키는 극한영향. 자료가 존재하는 경우에는 부문별 및 지역적인 관점에서 영향을 조사하였다. 이 장을 통틀어 '극한 기후'라는 용어는 '극한 기상 현상과 극한 기후 현상'을 간략히 지칭하기 위해 사용되며, 이는 용어집과 3.1.2절에서 보다 자세히 다루었다.

재해위험저감의 일환으로 착수된 활동은 기후변화로 인한 극한 기후의 추세에 대한 적응으로 작용할 수 있다. 어떤 종류의 극한 기후의 위험을 저감하기 위한 전략은 다른 종류의 극한 기후의 위험을 증가 또는 저감시키는 작용을 할 수 있다. 뒷 장에서 적응에 대한 내용을 집중적으로 다루고 있으므로 본 장에서는 이에 대해 다루지 않는다. 본 장에서는 뒷 장에서 평가된 특정 적응전략이나 특정 재해위험저감 전략에 대한 고찰 없이 영향을 평가한다.

영향과 재해 추세에 대한 조사는 기상 및 기후 관련 재해의 추세에 대한 원인을 기후변화 탓으로 돌리는 데 어려움이 있음을 강조한다. 본 장에서는 노출 및 취약성의 추세와 노출 및 취약성과 극한 기후 간의 관계를 고찰한다. 그리고 취약성, 노출 및 영향의 관측치와 예상치를 시스템별 및 부문별로 조사한 뒤, 지역별 조사를 수행하고, 기상 관련 및 기후 관련 영향, 재해 및 적응 비용을 다루며 결론을 맺는다.

4.2. 자연계와 사회경제시스템에서의 극한현상

4.2.1. 극한 기후는 인간 시스템와 자연계에 어떻게 영향을 끼치는가?

극한 기상과 극한 기후의 영향은 주로 노출과 취약성에 의해 결정된다. 이것은 총 세 가지 요소, 즉 노출, 취약성 및 기후가 매우 역동적이며 지속적으로 변화하는 경우에 발생한다. 노출과 취약성의 어떤 변화들은 적응적 조치로 간주될 수 있다. 예를 들어, 고위험 지역(1장과 용어집의 '위험' 정의를 참고)을 떠나는 이주는 노출과 재해 발생 가능성을 저감하는 조치이며, 극한 기후의 위험증가에 대한 적응이기도 하다(Adger 등, 2001; Dodman and Satterthwaite, 2008; Revi, 2008). 이와 비슷한 적응 조치는 무엇보다도 건물 규제 변화와 생계 변화에 잘 반영된다.

인간과 생태계에 대한 극한영향은 '재해' 또는 '비상상태(emergency)'로서 개념화할 수 있다. 오늘날 대다수의 정의는 그 영향이 커서 현지의 대응능력을 초과할 때 또는 정상적인 활동을 심각하게 방해할 때 재해가 발생한다고 강조한다. 규모와 비가역성 요인을 포함하는 정의와 관련된 문헌이 다수 존재한다(Quarantelli, 1998; Handmer and Dovers, 2007). 재해를 초래하는 영향은 기후 현상에 대한 노출과 노출된 사람들의 위험 민감성을 필요로 한다. 영향은 자산 파괴, 경제부문 교란, 인명 손실, 정신건강 영향, 그리고 동식물 및 생태계 서비스에 대한 손실 또는 영향을 포함한다. 이 장에 사용된 재해의 정의는 용어집에 나와 있다.

노출은 극한 기후에 의해 영향 받은 지역에 인간과 생태계의 유형 및 무형 자산과 활동(서비스 포함)이 존재하는 것이라고 개념화할 수 있다(이 정의에 관한 고찰은 1.1.2절과 2.2절 및 용어집 참고). 노출이 없으면 영향도 없다. 시간 범위와 공간 범위도 중요하다. 노출은 다소 영구적일 수 있다. 예를 들어 노출은 방문자들에 의해 증가되거나 경보(warning) 이후에 사람과 가축이 대피하면 줄일 수 있다. 인간 활동과 정착이 노출 지역으로 확대됨에 따라 더 많은 사람들이 국지적 극한 기후에 노출되고 영향 받을 것이다. 인구 증가는 개발도상국에서 지배적으로 나타난다(Peduzzi 등, 2011; UNISDR, 2011). 도시 지역의 주변이나 그 안에 새로 점유된 지역들은 극한위험이 발생하기 쉬워 과거에 비어 있던 곳들이었다(Handmer and Dovers, 2007; Satterthwaite 등, 2007;Wilbanks 등, 2007). 예를 들어 홍수(Huq 등, 2007)나 산사태 (Anderson 등, 2007)가 나기 쉬운 지역에 불법 점유자가 모여들고 임시 거주지가 형성되었다. '임시 거주지(informal settlement)'는 계획, 건설, 또는 기반시설에 정부 개입이 없고 안전에 대한 보장이 없는 것이 특징이다. 또한 연안 수로의 사유지(coastal canal estate), 강변, 풀숲(bush)을 통해 환경 편의 시설을 추구하는 부유한 사람들도 있는데 이런 곳들은 홍수 및 화재 위험이 높은 경우가 많다(Handmer and Dovers, 2007).

노출은 영향의 필요조건이지만 충분조건은 아니다. 노출된 지역이 기상 또는 기후 현상의 영향을 크게 받으려면 취약해야 한다. 취약성은 (i) 현상으로부터의 위험(손실 또는 피해)에 노출되는 주체의 민감성과 (ii) 그 주체의 회복 능력으로 구성된다(Cutter and Emrich, 2006; 1.1.2절, 2.2절 및 용어집 참고). 이 보고서의 용어집에서 취약성은 악영향을 받기 쉬운 성향 또는 소인으로 정의된다. 예를 들어, 기상에 의존하는 생계를 가진 사람 또는 기상현상으로부터 적절히 보호해주지 못하는 집을 가진 사람들은 위험에 특히 취약할 것이다(Dodman and Satterthwaite, 2008). 회복능력이 한정된 기타 집단으로는 현상 후에 개인적인 회복 자원이 부족하거나 보조금 같은 외부 자원을 받을 수 없는 사람, 그리고 개인적인 지원망이 제한된 사람 등이 있다(Handmer and Dovers, 2007). 지식, 보건, 그리고 응급 서비스와 정치적 지원을 비롯한 각종 서비스에 대한 접근권은 취약성의 두 가지 핵심측면을 감소한다.

'복원력' 개념 (Holling (1978)에 의한 생태계의 맥락에서; Handmer and Dovers (2007)에 의한 사회적 민감성의 맥락에서; 그리고 Adger, 2000; Folke 등, 2002에 의해 개발된 개념; 용어집 참고)은 어떠한 현상에 처했을 때 내성 또는 적응성의 긍정적인 요소 그리고 대응하고 복구할 능력을 강조한다. 이러한 '복원력' 개념은 '취약성'이라는 용어에 포함된 것과 비슷한 개념을 표현하는 긍정적 방식으로 간주되곤 한다(Handmer, 2003).

난민, 국내의 이재민, 폭력의 결과로 한계지역(marginal area)으로 밀려난 이들은 기상 및 기후 현상의 부정적인 영향, 대응 매커니즘과 지원 네트워크의 부재에 영향받는 집단을 나타내는 좋은 예이다(Handmer and Dovers, 2007). 전쟁으로 인한 취약성이 증가하는 원인에는 기반시설(예: 교통, 통신, 보건, 교육)과 피난처의 파괴나 유기; 사회적 목적에서 정치적 목적으로 자원의 사용 방향 변경; 무역 및 통상의 붕괴; 영세 농장의 유기; 무법; 사회적 네트워크의 교란 등이 있다(Levy and Sidel, 2000; Collier 등, 2003). 무기와 지뢰밭의 증가, 기초 보건 및 교육의 부재, 생계 붕괴 등은 비록 일부에게는 이득을 줄 수도 있으나 재해 취약성에 대한 전쟁의 영향을 지속할 수 있다(Korf, 2004). 이 지역들도 훈련된 사람들의 탈출 및 내부투자의 부재가 특징이다.

대다수의 생태계는 극한 기후에 의존해서 번식(예: 산불과 홍수를 통해), 질병 통제, 일반 생태계 건강(예: 산불 또는 폭풍으로 기존의 것이 밀려나고 새로운 것이 자라남)을 유지한다. 그러한 극한현상들이 다른 추세 및 환경과 어떻게 상호작용을 하는지는 결과에 매우 중요할 수 있다. 예를 들어 홍수는 대개 유칼리나무의 번식에 필수적이지만 질병과 수초를 옮길 수도 있다 (Rogers and Ralph, 2010).

극한 기후는 개별 종들의 상당한 사망을 유발할 수 있고 어떤 종들이 생태계에 존재할지 결정하는 데 기여할 수 있다(Parmesan 등, 2000). 예를 들어 가뭄은 산림에서 나무들의 사망률에 중대한 영향을 끼치는 중요한 역할을 한다(Villalba and Veblen, 1997; Breshears and Allen, 2002; Breshears 등, 2005).

4.2.2. 기후 현상, 노출, 취약성 간 복잡한 상호작용

규모 의존적인 복잡한 영향을 야기할 잠재력을 가진 서로 다른 기후 및 비기후성 위험, 노출 및 취약성 사이에는 복잡한 상호작용이 존재한다. 대기 시스템의 인위적 변화는 많은 기후 변수들의 변화와 그에 따른 물리적 영향을 좌우한다(3장 참고). 하지만 극한 기후가 인간과 생태계 (인간에 의해 변화된 생태계 포함)에 끼치는 영향은 몇몇 비기후 요인들에 의해서도 좌우된다 (Adger, 2006). 이 절에서는 홍수와 가뭄의 예를 이용해서 이 요인들을 탐구한다.

사회경제적 지위의 변화는 노출의 핵심 구성요소이다. 특히 인구증가는 노출 및 취약성 변화의 중대한 동인이다(Downton 등, 2005; Barredo, 2009). 사람들은 인구압(human pressure)을 비롯하여 보다 적합하고 이용가능한 토지의 부족과 같은 이유로 효과적인 수방대책이 보장되지 않는 홍수가 많이 발생하는 지역에 주로 모여들었다(McGranahan 등, 2007; Douglas 등, 2008). 종종 농촌의 빈곤에 의해 유발되는 도시화에 따라 이러한 이주가 나타난다(Douglas 등, 2008). 그러한 지역에서는 인구와 부가 축적되어 홍수피해 잠재력을 증가시킨다. 많은 선진국에서 인구 및 재산의 증가는 생활 양식이나 저비용 등의 이유로 위험다발 지역에서 일어난다(예: Radeloff 등, 2005). 여기서 기후변화 적응과 개발 사이의 긴장이 나타난다. 이런 지역에서 적절한 적응능력 없이 사는 것은 기후변화 관점에서 부적응으로 간주될 수 있다. 하지만 사람들의 경제적 상황을 고려하면 이것은 그들이 기꺼이 감수하는 위험 또는 다른 선택의 여지가 별로 없는 위험일 수 있다(Wisner 등, 2004). 더욱이 수방시스템과 제방이 제공하는 안전 수준에 대한 그릇된 믿음으로 인해 위험인지가 부족한 경우도 많다(Grothmann and Patt, 2005) (예: 2005년 허리케인 카트리나 때 뉴올리언스).

경제발전과 토지이용 변화도 자연계의 변화로 이어질 수 있다. 토지피복(land cover) 변화는 강우-유출 패턴 변화를 유발하는데 이것은 홍수 강도 및 빈도에 영향을 줄 수 있다(예: Kundzewicz and Schellnhuber, 2004). 벌채, 도시화, 습지의 감소, 하천 정비사업(river regulation)(예: 수로 강화, 단축 및 제방)은 가용 저수용량을 감소시켜 강수 중에서 유출수가 되는 비율을 변화시킨다(Few, 2003; Douglas 등, 2008). 불투수 면적 (예: 지붕, 뜰, 도로, 포장길, 주차장 등)의 비율과 유출 계수값이 증가된다. 그 결과, 물은 더 빠르게 하천이나 바다로 흘러들고, 유량 수문곡선(flow hydrograph)은 더 높은 최대값과 최대에 이르는 시간이 더 짧아져서 (Cheng and Wang, 2002; Few, 2003; Douglas 등, 2008) 경보와 비상조치를 취할 시간적 여유가 짧아진다. 산간지역에서 구릉이 많은 비탈면에 들어선 개발지들은 잠재적으로 산사태 위험이 있고 집중호우에 의해 토석류(debris flow)가 일어날 가능성이 있다. 이러한 변화가 덜 극한적이지만 심각한 영향으로 이어지는 강수를 초래하였다(Crozier, 2010).

이와 비슷하게, 가뭄의 사회경제적 영향은 자연 조건과 인간의 물 사용 간 상호작용으로부터 발생할 수 있다. 이러한 상호작용은 공급과 수요의 조합으로 개념화할 수 있다. 인간 활동(예: 과다경작, 과다목축, 벌채 등)은 아프리카와 아시아에서 취약한 지역의 사막화를 악화시켰고 이 지역들의 토양과 생물생산 자원(bio-productive resource)은 영구적으로 퇴화되었다(Dregne, 1986). 인위적 극한현상의 한 예인 확연한 수문학적 가뭄이 중앙아시아의 아랄 해 유역에서 일어난다 그 지류들 (시르 다리야 강(Syr Darya)과 아무 다리야 강(Amu Darya))에서 일어난 과도하고 계속 유지될 수 없는 취수로 인해 그 지류들에서 아랄 해로 유입되는 유량이 75% 감소하였고 (Micklin, 2007; Rodell 등, 2009), 결국 심각한 경제적, 생태학적 영향을 끼쳤다.
극한 기후가 물이나 식량 같은 부문에 미치는 영향의 변화는 그 부문의 기후 관련 변수의 특징의 변화뿐 아니라 그 부문의 비기후적 스트레스원, 관리 특징(조직 및 제도 측면 포함), 적응능력에도 좌우된다(Kundzewicz, 2003). 위험의 상호작용에서 오는 위험도 증가 중일 수 있다(Cruz, 2005; 상호작용과 되먹임에 관한 고찰은 3.1.4절 참고). 위험은 다른 위험에 영향을 주거나 규모에 따라서는 다른 위험의 효과를 악화시킬 수도 있다(Buzna 등, 2006). 예를 들어, 기온 상승은 영구동토층의 융해, 사면의 안정성 감소, 및 건물의 피해를 일으킬 수 있다. 또 다른 예로서 집중 호우는 돌발 홍수, 산사태, 그리고 다리, 도로, 건물, 정전, 급수 중단 같은 기반시설 피해를 일으킬 수 있다. 필리핀에서는 2004년에 루손 섬(Luzon Island) 남부에 태풍이 두 차례 강타하여 상당한 홍수 재해뿐 아니라 산사태도 발생하여 900명이 사망하였다 (Pulhin 등, 2010). 다단적 시스템(cascading system)의 실패(예: 기반시설들)는 상호의존적인 성격으로 인해 급속하게 그리고 방대한 지역에 걸쳐 일어날 수 있다.

Box 4-1 | 기후, 노출 및 취약성의 진화 – 2009년 2월 7일 멜버른 화재

호주 빅토리아주에서 2009년 2월 7일 발생한 화재는 10년 간 이어진 가뭄, 기록적인 극한열, 기록적인 낮은 습도 5% (Karoly, 2010; Trewin and Vermont, 2010)라는 기상현상과 기후 현상 간 관계를 통해 위험이 급속한 노출 증가와 상호작용하며 진화하는 것을 보여준다. 이와 함께 기후 현상은 통제 불가능한 큰 산불이 발생하는 조건도 형성하였다(Victorian Bushfires Royal Commission, 2010).

장기간 이어진 가뭄, 기록적인 더위, 그리고 35일간 비가 오지 않았던 환경에서 화재가 발생하자 낮거나 중간정도의 산불 위험을 보이던 지역들은 매우 건조한 고위험도 지역으로 변하였다. 급속히 팽창한 도시와 미개간지(urban–bush)의 접점지대와 중요한 기반시설들(Berry, 2003; Burnley and Murphy, 2004; Costello, 2007, 2009)의 주요 부분들이 노출되었고 극한영향에 대한 잠재성을 제공하였다. 이에 결국 173명이 사망하고 상당한 유무형의 피해가 발생하였다. 자연적 인화원과 인위적 인화원이 혼재하였고, 이는 인간의 힘이 이러한 산불과 극한의 영향을 야기할 수 있음을 보여주었다.

대다수의 사람들이 산불에 물리적, 심리적으로 무감했던 것도 손실과 피해 수준에 영향을 주었다. 신체 및 정신 건강의 수준도 사람들의 취약성에 영향을 주었다. 질병이 있던 사람, 나이 때문에 각별한 주의가 필요했던 사람, 또는 기타 손상이 있던 많은 사람들이 극한더위에 대처하느라 분투하였고 안전하게 대응하기 위해 다른 사람들에게 의존하였다(Handmer 등, 2010). 그러나 일반적으로 보험, 정부 지원, 민간 기부금, 비정부 기구(NGO)를 통해 인간 및 인간 활동의 회복 능력은 높았고, 영향 받은 미개간지의 회복 능력은 다양하지만 일부 종들과 생태계는 이익을 보았다(Lindenmayer 등, 2010; Banks 등, 2011; 9.2.2절의 사례 연구 참고).

산불위험 증가 가능성, 특히 극한의 온난함, 열파, 및 건조 증가 가능성이 존재하는 이 지역의 극한 기후 예상 변화는 3장에서 상세하게 다루었다(요약은 표 3-3 참고).

4.3. 시스템 및 부문 별 취약성, 노출 및 영향의 측면

4.3.1. 서론

이 절에서는 영향 받는 중요 부문과 시스템에 대한 극한현상의 영향 및 위험 평가 연구를 조사한다. 이에 포함된 부문과 시스템은 생태계; 식량시스템과 식량안보; 인간 주거지와 기반시설 및 관광; 인간의 건강, 복지 및 안보이다. 극한 기후의 영향은 극한 기후 자체뿐 아니라 노출과 취약성에 의해서도 결정된다. 극한 기후, 노출 및 취약성에 있어서 불확실성과 지속적인 변화를 특징으로 들 수 있으며, 이러한 위험 요소 중 한 가지라도 변동이 생길 경우, 극한현상의 영향에도 큰 변화가 생길 것이다. 일반적으로 극한현상의 향후 잠재적 영향에 관한 문헌은 많지 않다. 대부분의 문헌은 극한현상의 현재 영향을 분석한다. 이러한 초점은 부분적으로는 일부 극한현상의 미래 변화에 대한 불완전한 지식과 불확실성 때문(3.2.3절과 표 3-1 및 3-3 참고)뿐 아니라 미래의 노출 및 취약성에 대한 불확실성 때문일 수 있다. 그럼에도 현재의 영향을 이해하는 일은 미래 위험에 대비하는 의사결정자들에게 중요할 수 있다. 그래서 극한 기후 및 기상 현상으로 인한 영향 관측치와 예상치의 분석결과를 평가한다. 4.3.2절부터 4.3.6절은 노출과 취약성에 대한 이해를 기반으로 하여, 부문별, 시스템별로 극한현상의 현재 및 미래 위험에 대한 지식을 평가한다.

4.3.2. 물

물 분야에서 극한 기후에 대한 노출과 취약성의 과거 및 미래 변화는 가용 수자원의 양, 시기 및 수질의 변화와 그 수자원을 사용하거나 물 관련 위험에 노출되는 재산, 생물 및 시스템의 변화에 의해 유발된다(Aggarwal and Singh, 2010). 자원 또는 물리적 위험이 거듭될 때, 노출과 취약성의 변화를 이끄는 서로 상반된 두 동인이 있다. 한편으로는 자원 수요가 증가 (예를 들어 물소비 증가 또는 오염수 배출 증가로 인해) 할수록 취약성이 증가하거나, 홍수를 겪는 재산, 자산, 생물이 증가할수록 노출이 증가한다. 다른 한편으로는, 자원 및 위험 관리를 개선하기 위해 그리고 극한현상으로부터 회복할 능력을 강화하기 위해 대책들이 이행될수록 취약성은 저감된다. 예를 들어, 물 공급의 강화, 유출수 처리 개선, 홍수관리대책 (보험 또는 재해구제금 제공)의 이용은 모두 물 분야에서 취약성 저감으로 이어질 것이다. 그런 대책들은 널리 이용되어 왔고, 많은 하천의 유출에 관한 제도 체제(runoff regime)가 상당히 변경되어 왔다(Vörösmarty, 2002). 어떤 곳에서든 노출과 취약성의 변화는 서로 상반되고 서로 상호작용하는 두 동인의 관계의 함수이다. 홍수 또는 물관리 대책은 단기적으로는 취약성을 저감할 수 있으나, 안보의 증가는 더 많은 개발을 낳고 궁극적으로 노출과 취약성 증가로 이어질 수 있다.

이 절에서 고려된 극한현상들은 사용자에게 물을 공급할 급수 '시스템' (많은 수원을 가진 잘 관리된 시스템부터 농촌의 한 우물까지)의 능력을 위협할

Box 4-2 | 인간에 대한 노출의 관측된 추세와 예상된 추세: 열대저기압과 홍수

지구 전체를 다루는 EM-DAT, NatCat 및 Sigma (각각 Centre for the Epidemiology of Disasters, Munich Re, 및 Swiss Re가 관리하고 있음) 같은 국제 손실 데이터베이스(International loss databases)들은 줄곧 재해 보고가 증가하고 있음을 보여준다. 예를 들어, 열대저기압 재해 보고 건수가 1970년대에 연평균 21.7건에서 2000년대에 63건으로 증가했지만(표 4-1 참고), 기후변화로 인해 재해 건수가 증가 중이라고 속단해서는 안 된다. 이 증가를 개별적으로 혹은 함께 설명해줄 수 있는 네 가지 요인들이 있다. 그 요인들은 정보 접근성 향상, 인구 노출 증가, 취약성 증가, 위험의 빈도 혹은 강도의 증가이다(Dao and Peduzzi, 2004; Peduzzi 등, 2009). 이 네 요인들 각각의 역할의 중요성에 대한 불확실성 때문에 (특히 정보 접근성 향상에 관하여), 취약성 및 위험 추세는 보고된 손실에 기초해서 (예를 들어 EM-DAT 또는 Munich Re 로부터) 분석할 수 없다. 이 추세를 더 잘 이해하려면 국제 손실 데이터베이스를 표준화 해야 할 것이다.

열대저기압과 홍수에 대하여, 지역 규모와 전지구 규모에서 인간에 대한 노출의 과거 추세와 미래 전망을 계산함으로써 이 요인들을 더 잘 이해하고자 이를 검토하였다. 인구의 변화는 위험 노출의 변화에 강하게 영향을 준다. 현재 약 11억 5천만 명이 열대저기압 다발 지역에 산다고 추정된다. 열대저기압에 대한 물리적 노출 (연평균 노출된 사람 수)는 1970년에 대략 730만 명에서 2010년에 1억 2300만 명으로 증가했다고 추정된다(그림 4-1; Peduzzi 등, 2011). 국가들이 1년간 열대저기압을 경험하는 횟수는 상대적으로 일정하다(평균적으로 연간[1] 140~155개국. 표 4-1 참고 (UNISDR, 2011).

표 4-1 | 지난 40년 동안 보고된 열대저기압 재해의 추세 대 위성에서 관측된 열대저기압. 열대저기압에 강타 당한 국가 수의 백분율로서 재해 보고 건수는 3배 증가했다. '최적 경로 자료(best track data)'는 일반적으로 열대저기압 강도 및 위치의 일 4회 추정치로 구성된다. 이 자료는 각 폭풍의 수명 동안에 수집된 자료를 폭풍이 지나간 후에 재처리함으로써 도출된다. 출처: UNISDR, 2011.

	1970 – 79	1980 – 89	1990 – 99	2000 – 09
최적 경로 자료에서 도출된 열대저기압 발생 수 (년평균)	88.4	88.2	87.2	86.5
위성 관측상 열대저기압에 강타 당한 국가 수 (년평균)	142.1	144.0	155.0	146.3
EM•DAT상 열대저기압으로 촉발된 재해 건수 (년평균)	21.7	37.5	50.6	63.0
열대저기압에 강타 당한 국가 수의 백분율로서 재해 보고 건수	15%	26%	33%	43%

대부분의 바다에서, 열대저기압 빈도는 저감하거나 변화 없을 가능성이 있으며, 평균 열대저기압 최대풍속은 증가할

다음 페이지에 계속 →

1 이는 국가들과 열대저기압이 교차하는 회수이다. 저기압 1개는 몇개 국가에 영향을 줄 수 있지만 많은 열대저기압은 대양 위에서만 발생한다.

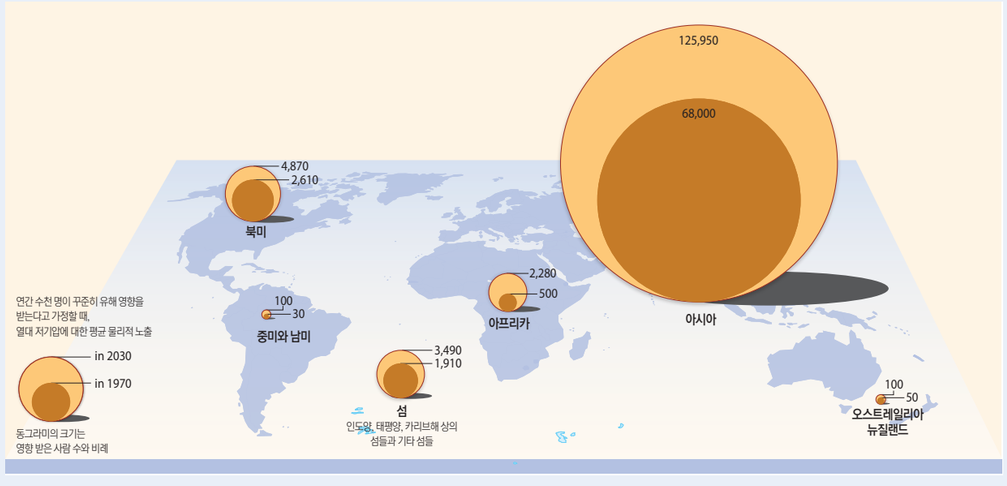


그림 4-1 | 거듭되는 위험을 가정할 때 열대저기압에 물리적으로 노출되는 연평균 인구 (단위: 천명) Peduzzi 등, 2011에서 발췌한 자료.

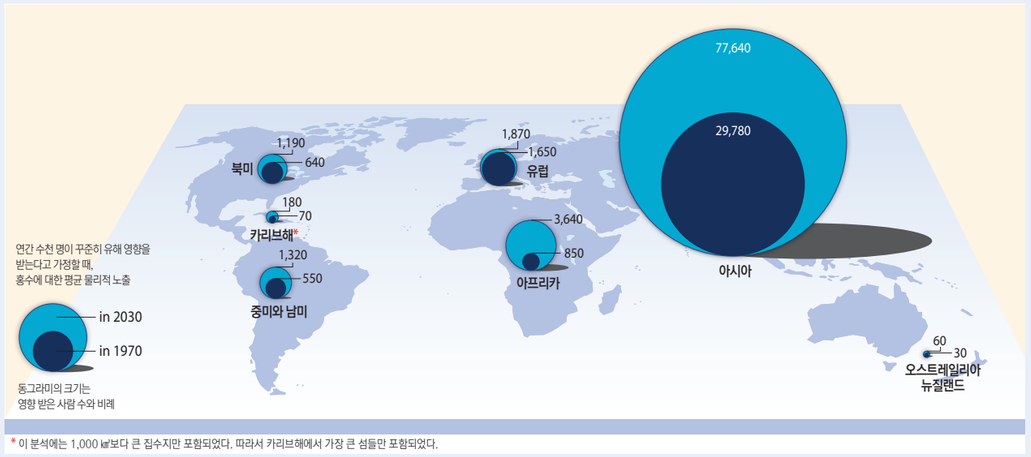


그림 4-2 | 거듭되는 위험을 가정할 때 홍수에 물리적으로 노출되는 연평균 인구 (단위: 천명) Peduzzi 등, 2011에서 발췌한 자료.

가능성이 있다(3.4.4절 참고). 그림 4-1은 위험이 일정할 때 인간에 대한 노출의 변화를 모델링한 결과이다(기후변화가 위험에 미치는 영향에 대한 예측 없이). 이 그림에 의하면, 지구에서 열대저기압에 노출되는 연평균 인구는 인구증가 때문만으로도 2010년부터 2030년까지 11.6% 증가할 것이다. 상대적으로, 아프리카는 열대저기압에 대한 신체적 노출이 가장 큰 폭으로 증가한다. 절대적으로, 아시아는 열대저기압에 노출되는 지구 인구의 90% 이상을 차지한다.

홍수 노출의 경우, 현재 약 8억 명이 홍수 다발 지역에 살고 있으며, 홍수 다발 지역의 약 7,000만 명이 평균적으로 해마다 홍수에 노출된다(UNISDR, 2011). 과거의 홍수에 대한 완전한 자료가 없다는 것과 미래의 홍수 빈도 및 규모의 예상 추세에 관련된 불확실성을 생각하면 (3.5.2절 참고), 미래의 홍수 위험을 추정하기는 어렵다. 그러나 홍수 다발 지역의 인구증가를 사용해서 꾸준한 위험에 노출되는 연평균 사람 수의 추세를 살펴보는 것은 가능하다(UNISDR, 2011). 그림 4-2는 인구증가가 계속하여 홍수에 대한 노출을 증가시킬 것임을 보여준다. 모델의 한계 때문에 북위 60° 의 북쪽과 남위 60° 의 남쪽 지역 그리고 1,000 km^2 보다 작은 집수지 (전형적으로 작은 섬들)는 모델링에 포함되지 않는다. 그림 4-2에 제공된 데이터는 하천 범람에 해당한다.

많은 요인이 홍수 및 저기압 영향의 증가와 관련 있다. 특히 그런 위험에 노출되는 인구의 추세는 중요한 요인이다. 열대저기압 지역과 홍수 다발지역의 인구 전망은 이 요인만으로도 영향이 거의 확실히 계속 증가할 것임을 암시한다.

수 있다. 이것은 넘쳐나는 물이 급수시스템 운영에 영향을 주기 때문일 수도 있지만 더 일반적으로는 물 수요보다 물 공급이 부족한 결과, 즉 가뭄의 결과이다. 급수 부족은 하천유량 및 지하수 부족, 수질 악화, 수요 증가, 또는 물부족에 대한 취약성 증가에 의해 촉발될 수 있다. 1950년대 이래로 세계의 일부 지역, 특히 남유럽과 서아프리카에서는 보다 집중적이고 오랜 가뭄을 경험하였지만 (3.5.1절 참고), 가뭄 영향의 다른 동인들도 동시에 변화하므로 가뭄이 인간에게 끼치는 영향의 추세를 직접적으로 또는 단지 기후추세 때문으로 돌리기는 불가능하다(보통 신뢰수준).

수문학적 가뭄의 예상 지속기간 및 강도는 기후변화에 따라 일부 지역에서 증가할 테지만(3.5.1절) 농지 피복의 변화와 상류 개입(upstream intervention)의 변화도 하천유량 또는 지하수 함양(groundwater recharge)을 감소시키는 요인들이다(보통 신뢰수준). 수질 악화는 기후변화 (예: Delpla 등, 2009; Whitehead 등, 2009; Park 등, 2010), 토지피복 변화, 또는 상류에서의 인간개입(upstream human interventions)에 의해 일어날 수 있다. 수요 증가는 인구적, 경제적, 기술적 또는 문화적 동인뿐 아니라 기후변화에 의해서도 일어날 수 있다(2.5절 참고). 물부족 취약성의 증가는 예를 들어 특정 급수원 또는 급수량에 대한 의존도 증가, 또는 대안의 가용성 변화에 의해 유발될 수 있다. 수문학적 가뭄 영향과 수자원 가뭄 영향의 지표에는 생산 손실 (관개 작물 (irrigated crop), 산업용 작물 및 에너지), 대체 수자원의 비용, 변화된 인간 복지, 담수 생태계에 미친 부수적 영향 (기상학적 및 농업적 가뭄이 천수답 작물 (rain-fed crop)의 생산에 끼친 영향은 4.3.4절에 요약되어 있다)을 포함한다.

국지적 집수지 규모의 수자원 측면에서 기후변화가 가뭄의 영향에 끼치는 효과에 대한 연구는 거의 발표된 바 없다. 사실상 이것들 모두는 생산 손실, 비용, 복지 같은 지표들보다는 가뭄 동안의 급수의 신뢰성이나 어떤 특정 신뢰성에서 예상되는 산출량의 변화를 조사한 것들이다. 물론 특정 산출량의 신뢰성 변화, 또는 특정 신뢰성을 가진 산출량의 변화는 지역적인 수문학적 물관리 상황, 사용된 기후 시나리오의 세부사항, 및 기타 가뭄위험 동인에 따라 달라진다. 일부 연구들은 기존 물관리 시스템에 도전하는 기후변화로 인해 급수 신뢰성이 크게 저감할 가능성을 보여주기도 하고 (예: Fowler 등, 2003; Kim 등, 2009; Takara 등, 2009; Vanham 등, 2009), 어떤 연구들은 비록 비용은 증가할지라도 기존 시스템에 의해 관리 가능한 상대적으로 작은 감소를 보여주기도 하며 (예: Fowler 등, 2007), 일부 시나리오 아래서 급수 신뢰성이 증가한다는 연구 결과도 있다(예: Kim and Kaluarachchi, 2009; Li 등, 2010). 현재로서는 집수지 규모에서의 변화를 신뢰성 있게 예측하기가 불가능하지만 기후변화는 물관리 체계에 심각하게 영향을 끼칠 잠재력이 있다 (높은 신뢰수준). 그러나 기후변화는 공급 신뢰성의 미래 변화의 동인 중 하나일 뿐이지 국지적 규모에서 가장 중요한 동인은 아니다. 예를 들어 MacDonald 등 (2009)은 아프리카에서는 국내 급수에 연 3~10 mm만 필요하기 때문에 소규모 농촌 수원의 미래 신뢰성은 지역적 함양(recharge)의 변화보다는 주로 지역 수요, 수질의 생물학적 측면, 또는 접근성 제약에 의해 결정된다는 것을 보여주었다. 그러나 그들은 지하수원이 재생 불가능할 정도로 강수량이 감소하면 소우(200-500 mm) 지역의 최대 9,000만 명이 위험에 처할 것이라고 덧붙였다.

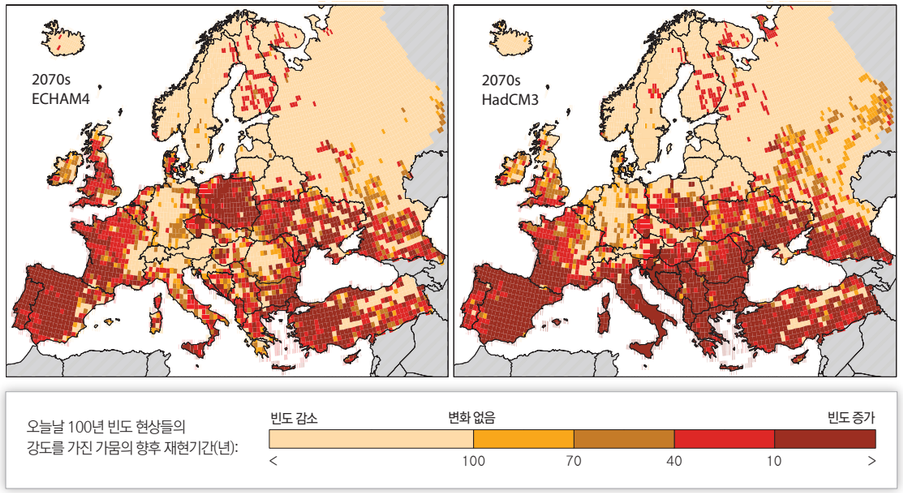
대륙 규모 또는 전지구 규모에서 수문기상학적 가뭄 지표들의 잠재적 변화를 평가한 연구는 있지만 (3.5.1절 참고) 수자원 측면의 가뭄의 척도 또는 가뭄 영향에 관하여 평가한 연구는 상대적으로 매우 부족하다. 이것은 이 영향들이 정황에 따라 매우 다르기 때문이다. 발표된 한 대규모 평가 (Lehner 등, 2006)에서는 일반화된 갈수량(drought deficit volume) 지표를 사용하여, 하천유량 모의실험 결과를 도시용, 산업용 및 농업용 추정 취수량과 비교하였다. 그들은 기후모델 2개에서 나온 기후변화 전망을 사용하고 시간에 따른 취수량 변화를 가정하여 유럽 전역을 대상으로 이 지표를 계산하였다. 그 결과, 1961~1990년의 100년 재현기간을 2070년대의 전망과 비교하면 갈수량 재현기간이 상당히 변할 것으로 나타났다(그림 4-3). 유럽의 상당 부분에서, 1961~1990년의 100년 갈수량은 2070년대까지 10년 미만의 재현기간을 갖는 것으로 전망된다. Lehner 등 (2006)도 이 예측된 변화패턴은 일반적으로 취수량의 예상 변화보다는 기후변화에 의해 유발된다는 것을 보여주었다(그림 4-3). 남유럽과 동유럽에서는 취수량 변화만으로도 갈수량이 5% 미만 증가될 것으로 전망되고, 반면에 취수량 변화와 기후변화의 복합 효과는 갈수량을 최소 10% 증가시키고 빈도를 25% 이상 증가시킬 것으로 전망된다. 동유럽에서 취수량 증가는 갈수량을 5% 이상 증가시키고 넓은 면적에서는 10% 이상 증가시킬 것으로 전망되지만 두 시나리오에 의하면 이 갈수량 증가는 유출수 증가에 의해 상쇄된다.

기후변화는 눈과 비로 내리는 강수의 비율을 변화시키고 어느 정도 증발량도 변화시켜 토양수분의 부족을 누적시킴으로써 강수량과 강수시기를 변화시켜 하천유량 특징을 변화시킬 잠재력이 있다. 그러나 홍수 특징 변화의 규모, 빈도 및 방향성에는 상당한 불확실성이 있다(3.5.2절 참고). 집수지 표면의 특징 (예: 토지 피복), 범람원 저류(floodplain storage) 및 하천 네트워크(river network)의 변화도 하천 홍수의 물리적 특징의 변화에 기여할 수 있다 (예: 라인강: Bronstert 등, 2007). 극한 홍수의 영향에는 생계, 빈곤, 건강, 생산, 지역사회에 미치는 직접적 영향과 이 영향들이 경제를 통해 미치는 간접적 효과도 포함된다. 그러나 홍수 빈도 및 규모의 변화보다 홍수 빈도 변화의 인간에 미치는 영향을 조사한 연구는 매우 드물다. 정의된 재현기간을 가진 홍수로 침수된 지역에서의 변화를 현재까지 조사해 온 연구(Veijalainen 등, 2010)에 의하면, 홍수 규모의 변화와 홍수 범위의 변화 사이의 관계는 지역의 지형 조건에 매우 크게 좌우된다.

연간 홍수 손실과 사회경제적 동인 및 기후 동인 사이의 회귀관계를 구축한 미국의 한 연구 (Choi and Fisher, 2003)는 다른 것들은 똑같고 연평균 강수량이 1%만 증가해도 연간 국가적 홍수손실은 약 6.5% 증가할 것이라고 결론 지었다. 그러나 이 결론들은 사용된 회귀분석 방법과 분석의 공간 범위에 매우 의존적이다. 보다 복잡한 분석들은 현재 및 미래 피해 잠재력 추정치 (피해 규모 관계로 표현)에 현재 및 미래 홍수 빈도 곡선을 결합해서 현상 피해와 평균 연간 피해 (일명 '예상 연간 피해(expected annual damage)')를 추정한다. 예를 들어, Mokrech 등 (2008)은 영국의 두 지역에서 하천 및 연안 홍수(fluvial and coastal flooding)를 결합하여 현재의 10년 빈도 현상과 75년 빈도 현상에 의한 피해를 추정하였다.

이들의 연구에서 나온 주요 결론 2가지는 다음과 같다. 첫째, 비용의 비율 변화는 빈번하게 발생하는 현상보다 드물게 발생하는 현상에서 더 크다. 둘째, 영향의 절대값과 그로 인한 현재 영향으로부터의 비율 변화는 가정된 사회경제적 변화에 매우 의존하는 것으로 밝혀졌다. 한 지역에서, 현상의 피해 금액은 사회경제 시나리오에 따라 4~5배 달라졌다. 영국 미래 예측 홍수 및 연안 수방 프로젝트(UK Foresight Future Flooding and Coastal Defence project)는 연평균 피해금액 추정에서 더 큰 폭의 차이를 보였는데 (Evans 등, 2004; Hall 등, 2005), 비슷한 기후 시나리오와 상이한 사회경제적 미래 하에서 2080년 연평균 피해금액을 15억 유로, 50억 유로, 210억 유로로 계산하였다(현재의 연평균 피해금액은 10억 유로로 추정되었다). 이 예측 프로젝트는 영국의 일부 집수지를 대상으로 기후모델과 우수-유출수 모델의 강수 모델링 결과를 사용해 홍수 빈도 곡선의 모양을 변경함으로서 홍수 빈도에 대한 기후변화의 효과를 제시하였다. EU가 연구자금을 지원한 상향식 분석에 기초한 EU 부문별 기후변화의 경제적 영향 전망 프로젝트(Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on boTtom-up Analysis, PESETA)(Ciscar, 2009; Feyen 등, 2009)는 지역 기후 모델에서 도출된 기후 시나리오와 수문 모델을 사용해서 하천 유량, 범람 지역 및 홍수 빈도 곡선을 모의실험 하였지만 영국의 Foresight 프로젝트와는 달리 홍수가 빈번하게 발생하는 지역의 경제개발 변화는 가정하지 않았다. 그림 4-4는 유럽 지역 별로 홍수를 당한 연평균 인구의 변화와 연평균 피해의 변화를 추정한 것이다(Ciscar, 2009). 지역에 따라 영향의 차이가 크고, 특히 중유럽과 동유럽에서는 홍수에 영향을 받는 인구와 경제 피해가 크게 증가하는 것으로 전망되는 반면에(200% 이상), 북유럽 일부에서는 연평균 홍수 피해가 감소한다.

전지구적으로는 2건의 연구를 통해 홍수위험의 증가(또는 감소)에 의해 영향 받는 인구 수를 추정할 수 있었다. Kleinen과 Petschel- Held (2007)는 현재 50년 빈도 현상의 재현기간이 짧아지고 있는 하천 유역에 사는 인구의



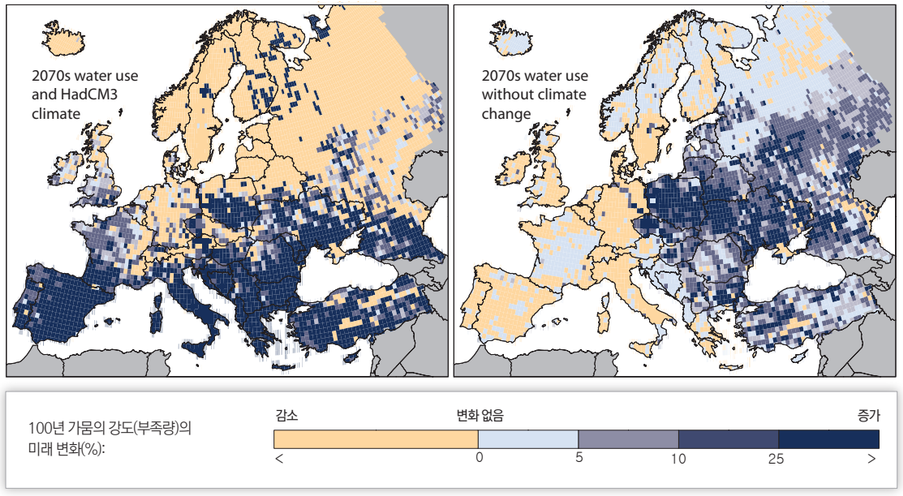


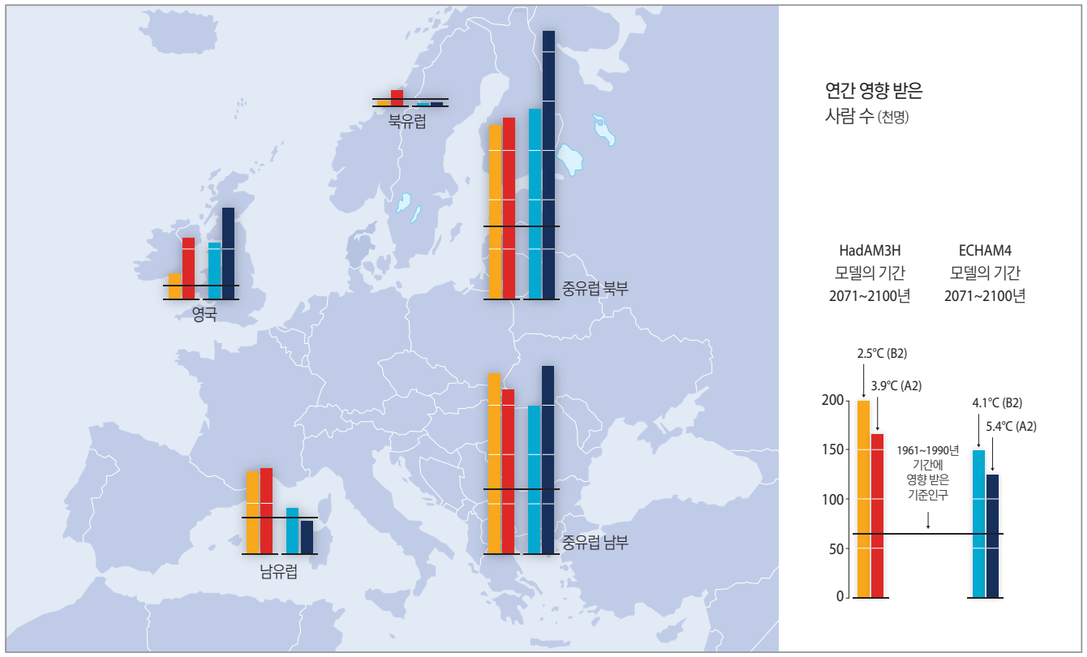
그림 4-3 | 2070년대까지 유럽의 수자원 가뭄 지표 변화 (위): 두 기후모델 ECHAM4와 HadCM3에서 하천유량과 취수량이 변할 때 2070년대에 1961~1990년 100년 빈도 갈수량 재현기간의 예상변화; (아래): 기후변화가 있을 때 (좌측, HadCM3 기후전망에서)와 기후변화가 없을 때 (우측), 2070년대에 취수량 변화와 함께 100년 가뭄의 강도 (갈수량)의 예상 변화. 출처: Lehner 등, 2006.

비율을 기후모델 3개와 지구 평균기온 증가 상황을 사용해 계산하였다. 지구 평균기온이 2℃ 상승할 경우(20세기 말의 기온보다 높아질 경우) 세계 인구의 약 5~27%는 현재 50년 재현기간의 홍수가 최소 2배 더 빈번한 하천 유역에 살게 될 것이다. Hirabayashi와 Kanae (2009)은 다른 척도를 사용하여, 홍수 피크가 현재의 100년 규모를 초과한 격자 칸 안에 사는 사람들의 수를 계산하였다. 이들은 하천 경로 모델(river routing model)을 통해 입력된 고해상 기후모델에서 모의실험 된 유출수를 사용하였다. 이들의 연구결과에 의하면, 2060년 이후에는 적어도 3억 명은 상대적으로 홍수가 적은 해에도, 홍수가 빈번하게 발생하는 해의 홍수보다 대략 두 배 정도의 상당한 홍수에 영향 받을 수 있다(이들은 기후모델 1개와 기후 시나리오 1개만 사용하였다). 이 결과는 동일 지표를 사용해 2000만 명 ~ 3억 명인 현재의 범위와 비교된다. 예상된 증가의 가장 큰 부분은 인구 증가보다는 홍수발생 증가 때문이다.

홍수특징에 있어서의 변화의 영향은 미래에 기후가 어떻게 변하는가에 따라 크게 좌우된다. 3.5.2절에서 밝혔듯이, 홍수 규모나 빈도의 변화 전망에 대한 신뢰수준은 낮다. 하지만 문헌에 의하면, 일부 장소에서 기후변화는 홍수로 인한 손실에 상당한 영향을 끼칠 잠재력이 있다 (높은 신뢰수준).

4.3.3. 생태계

사용가능한 정보에 의하면 극한 고온(즉, 열파), 가뭄, 홍수는 생태계에 막대한 영향을 준다. 생물종 서식지의 차이가 증가하고 서식지 분포범위가 전반



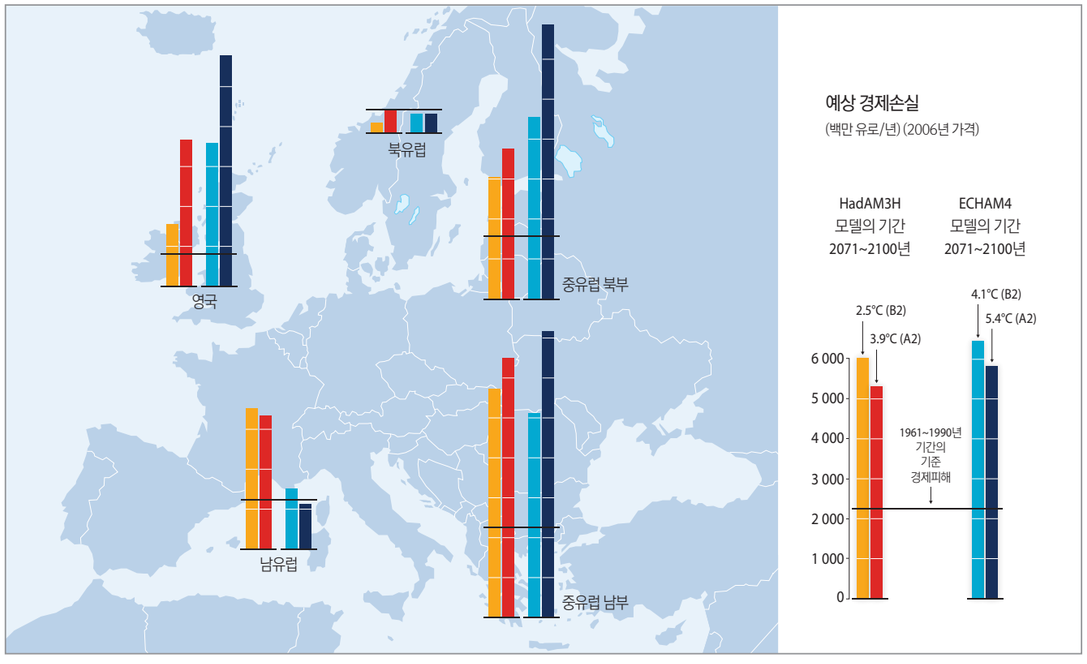


그림 4-4 | 2071~2100년까지 유럽의 홍수위험에 대한 기후변화의 영향 수치는 홍수가 빈번하게 발생하는 지역의 인구 증가나 개발을 가정하지 않은 것임. 각 그림의 우측 범례에 나타낸 바와 같이, 배출 시나리오 특별 보고서 [Special Report on Emissions Scenarios (SRES)]의 두 시나리오 A2와 B2 그리고 2가지 전지구 기후 모델(HadAM3h와 ECHAM4)에 관하여 전망을 제시하였다. 각 시나리오와 모델의 조합에서 유럽의 2071~2100년 평균기온 상승 전망을 1961~1990년 기간과 비교하여 나타냈다. (위): 각 시나리오와 모델의 조합에서 각 지역별로 1961~1990년 기준 모의실험에 의한 피영향 인구와 2071~2100년의 예상 피영향 인구 (단위: 천명/년). (아래): 각 시나리오와 모델의 조합에서 각 지역별 1961~1990년 기준 모의실험에 의한 경제 피해와 2071~2100년의 예상 경제 피해 (단위: 백만 유로/년, 2006년 가격 기준). Ciscar (2009)의 자료 이용.

적으로 축소하는 것은 극한 기상 및 기후 현상으로 인한 대규모 교란의 빈도 증가 때문일 수 있다(Opdam and Wascher, 2004). Fischlin 등 (2007)은 19건의 연구를 평가하여, 기온이 산업화 이전 수준보다 2~3℃ 상승하면 연구된 동식물종의 20~30%에게 위험이 증가할 수 있음을 발견하였다. 극한 기후로 인한 변화는 생태계의 덜 바람직한 변화도 수반하는데 (Scheffer 등, 2001; Chapin 등, 2004; Folke 등, 2004), 예를 들어 온도의 기준값이 초과됨으로써 이전 상태에 의존하는 생태계 서비스가 손실될 가능성이 있다 (Reid 등, 2005; Fischlin 등, 2007).

4.3.3.1. 열파

열파는 탄소 및 질소 순환을 감소시키고 물의 가용성을 제한함으로써 생태계에 직접적으로 영향을 줄 수 있고, 잠재적으로 생산력을 감소시키거나 생물종들의 멸종까지 유발할 수 있다.

온난화는 순 일차 생산성(net primary productivity)을 억제하는 가뭄을 유발하여 순 생태계 이산화탄소(CO_2) 교환(net ecosystem carbon dioxide exchange)을 저감시킬 수 있다. 온난한 해(warm year)가 보다 자주 발생하면 육지 생태계의 CO_2 흡수가 지속적으로 저감될 수 있다(Arnone 등, 2008). 극한기온 조건에서는 산림 생태계가 순수 탄소 흡수원(net carbon sink)에서 순수 탄소 공급원(net carbon source)으로 바뀔 수 있다. 예를 들어, 미국의 중앙 오클라호마의 초원지대에서는 극도로 온난했던 해(2003년)와 그 다음 해에 톨그래스 국립보호구의 순 생태계 CO_2 교환 수준(tall-grass prairie net ecosystem CO_2 exchange level)이 저감하였다(Arnone 등, 2008). 2003년에 열파가 발생했던 기간에 유럽에서 총 일차 생산성의 30% 감소와 더불어 생태계 호흡량의 감소는 대기로의 CO_2 순 공급을 0.5 Pg $C \cdot yr^{-1}$으로 강화시키고 4년간의 순 생태계 탄소 저감 효과를 역전시켰다. 이러한 유럽 일차 생산성의 감소는 역사적으로 전례 없는 사건이었다(Ciais 등, 2005).

영향은 온난화의 규모에 의해 결정될 뿐 아니라 온난화에 대한 유기물의 생리적 민감성에 의해 그리고 유기물이 행동과 생리기전을 통해 보충할 능력에 의해서도 결정된다. 예를 들어, 온난화는 열대림 도마뱀의 여름철 생리적 성능에 영향을 줄 뿐 아니라 온난화에 적응된 개방 서식지(open habitat)의 동물들과의 경쟁력에도 영향을 줄 수 있다(Huey 등, 2009). 전망된 최고기온 상승은 조류에게 증발 필요량(evaporative water requirement)을 증가시킬 수 있고 그리하여 극한더위 때 조류의 생존에 영향을 줄 수 있다 (McKechnie and Wolf, 2010). 열파는 조류 사망의 발생가능성도 증가시킬 수 있다(McKechnie and Wolf, 2010).

4.3.3.2. 가뭄

북미 서부의 2000~2003년 가뭄은 아대륙(subcontinental) 규모에서 상층목(overstory woody plants)의 급격한 소멸을 촉발시켰다. 이후 15개월간 토양수분 함량이 감소하면서 지배 수종인 소나무(Pinus edulis)의 90% 이상이 고사하였다. 한정된 관측 자료에 의하면, 그 소멸은 1950년대 가뭄 때보다도 광범위하였고, 수종 분포지 내 습한 곳들까지 영향을 끼쳤다 (Breshears 등, 2005). 오랜 가뭄 (2000~2004년) 후에 지역적으로 뉴 멕시코에서 소나무의 고사가 관측되었다(Rich 등, 2008). 다양한 서식지 유형, 즉 강변(riparian), 수풀(chaparral), 저지대~고지대 산림(low-to high-elevation forests) 등의 지배적 수종들이 미국 남서부에서 가뭄기에 많이 고사했고, 지배 수종들의 평균 고사율은 3.3 ~41.4% 였다(Gitlin 등, 2006). 대한민국에서는 겨울부터 봄까지 가뭄과 평년보다 높은 기온이 겹쳐 상록침엽수(Evergreen coniferous) 종들의 고사가 관찰되었다(Lim 등, 2010). 겨울부터 봄까지 높은 기온과 적은 강수량을 기록한 1998, 2002, 2007, 및 2009년에 소나무(P. densiflora)와 잣나무(P. koraiensis)는 가뭄에 영향을 받고 수관층에서 많이 고사했던 반면에 낙엽수 종(deciduous species)들은 살아남았다. 한국의 고지대 토종 수종인 구상나무(Abies koreana)는 1990년대 후반부터 겨울철 기온이 상승함에 따라 개체수가 감소하였다(Lim 등, 2010). 1976년 (Power, 1994), 1989년 (Innes, 1992), 1990 년 (Stribley and Ashmore, 2002)의 극심한 가뭄 후에 해변의 수관상태(Beech crown condition)가 감소한 것이 관측되었다. 중부 이탈리아에서 1989년 가뭄 이후에는 보통 내지 심각한 피해를 입은 나무의 비율이 증가추세를 보였고 특히 소나무(P. Pinea)와 유럽너도밤나무(Fagus sylvatica)에서 뚜렷하였다(Bussotti 등, 1995). 마지막 예로서, 1996년부터 2002년까지 해마다 관측된 유럽 적송(Scouts pine)의 낙엽(defoliation)과 사망률은 스위스의 가장 큰 알프스 내부 계곡 (Valais)에서 전년도의 강수 부족 및 더위와 관련 있었고 (Rebetez and Dobbertin, 2004), 2003년에는 유럽 여러 지역에서 총 일차 생산과 총 생태계 호흡량이 감소하였다(Granier 등, 2007). 얕고 온화한 남유럽의 하구인 포르투갈의 몬데고 하구(Mondego Estuary)에서, 2004~2005년에 발생한 극심한 가뭄은 담수 유량이 적은 기간 동안 하구의 동물성 플랑크톤들의 개체수와 종류가 증가하고 이동하는 원인이 되었다(Marques 등, 2007).

4.3.3.3. 홍수

홍수도 생태계에 영향을 준다. 홍수는 보다 점진적인 추세의 배경에 중첩된 인구 및 지역사회- 수준의 변화를 유발할 수 있다(Thibault and Brown, 2008). 일례로, 한 극한홍수 현상은 30년간 관찰한 사막 설치류 군락(desert rodent community)에서 대규모 사망을 유발하였고, 이전에 지배하던 종들의 유리한 점을 제거하였으며, 장기적 개체수 및 군락 추세를 초기화 하였다. 또한 경쟁 및 이소개체군무리 동태(metapopulation dynamics)를 변경시키고, 집단을 재구성해버리는 등의 영향력을 끼쳤다(Thibault and Brown, 2008).

4.3.3.4. 기타 현상

그 밖에 허리케인이나 폭풍 등의 현상도 생태계에 영향을 줄 수 있다. 허리케인은 야생조류의 광범위한 사망을 유발할 수 있고, 그 후에는 먹이와 번식에 필요한 자원을 손실시킴으로써 조류의 감소를 유발할 수 있다(Wiley and Wunderle, 1994). 겨울 폭풍도 산림 생태계, 특히 알프스 인근 지역과 알프스 지역에 영향을 줄 수 있다(Faccio, 2003; Schelhaas 등, 2003; Fuhrer 등, 2006). 또한 염생습지(salt marsh), 맹그로브, 산호초는 극한 기후에 취약할 수 있다(예: Bertness and Ewanchuk, 2002; Hughes 등, 2003; Fischlin 등, 2007).

4.3.4. 식량 시스템과 식량 안보

식량 체계와 안보는 식량의 생산 및 저장, 배달 체계 (식량 물류)를 손상시키는 극한현상에 의해 영향 받을 수 있다. 식량가격 상승을 통해 전이된 영향은 특히 개발도상국의 도시 빈곤층에게 문제일 수 있다(FAQ, 2008). 전지구적 차원의 식량가격 상승은 불균형적으로 소득 중 식품에의 소비 비중이 높은 저소득 국가들이 부담을 지게 된다(OECD-FAO, 2008).

농작물이 생산되는 곳에서 소비되지 않는 경우, 그 농작물은 수송되어야 하고 경우에 따라 가공과 저장도 필요하다. 이 과정에는 다양한 위험에 노출되는 복잡한 상호의존적 공급사슬이 수반된다. 이 과정의 모든 단계에서, 수송 및 관련 기반시설, 예를 들어 도로, 철로, 다리, 창고, 공항, 항구, 터널 등은 극한 기후의 직접적 피해를 입을 위험이 있으며, 전체적으로 가공 및 배달 사슬은 사슬의 어느 지점의 피해 또는 봉쇄로 인한 붕괴 위험에 처할 수 있다.

많은 개발도상국의 경제는 소규모 자영농사가 주를 이루는 농업에 매우 의존한다. 이 부문의 생계는 특히 극한 기상에 노출되어 있다(Easterling and Apps, 2005; Easterling 등, 2007). 자영농민은 기후 및 기상 현상의 영향을 심하게 받을 수 있다. 예를 들어, 아프리카 국가에서 대부분의 가구는 옥수수를 생산하지만 그것을 파는 가구의 비율은 크지 않으며 대부분의 가구가 자체 소비한다. 케냐에서는 거의 모든 가구가 옥수수를 생산하지만 생산 가구의 36%만이 판매를 하고 20%의 가구가 판매량의 대부분을 차지한다 (FAO, 2009). 그러한 농민들과 정부는 회복능력이 한정적이다(Easterling and Apps, 2005).

Lobell 등 (2011)은 현재 전 세계의 온난화 추세가 이미 농업에 영향을 주기 시작했다는 증거를 보고하였다. (2011). 이들은 더 온난해진 조건으로 인해 작물 생산량이 온난화가 발생하지 않았을 때의 예상 산출량에 비해 이미 감소하였음을 보여주었다. Schlenker와 Roberts(2009), 그리고 Muller 등 (2011)은 기온의 전망이 미국과 아프리카에서의 수확량에 미치는 영향을 평가한 뒤, 기후변화는 작물 생산량에 부정적 영향을 끼칠 것이라고 결론 지었다. 이 영향은 기온 추세와 경작철 동안 극한현상 발생확률의 증가에 대한 예상에 기초한다. 그러나 생장 기간동안 극한현상이 발생할 가능성도 있으며 이것은 수확량과 곡물품질에 영향을 끼칠 수 있다. Fallon and Betts (2010)은 홍수 및 가뭄 위험의 증가는 농산물에 영향을 끼칠 수 있으며 그런 부정적 영향을 상쇄할 견고한 관리실무의 채택이 필요하다고 보고하였다. 유럽에 대한 분석결과에 의하면 북부 지역에서는 작물 생산성이 증가할 가능성이 있지만 남부 지역에서는 감소할 가능성이 있어 생산 불균형은 심해질 것임을 보여준다.

기후추세의 한 요소인 고온에 대한 최근의 평가에서, Battisti and Naylor (2009)는 열대지역과 아열대 지역의 경우, 미래의 경작철 기온은 1900~2006년에 관측된 최대 극한기온을 초과할 가능성이 매우 높고, 세계의 식량체계에 상당한 영향을 끼칠 가능성이 매우 높다고 결론 지었다.

극한기온이 수많은 작물종에 미치는 영향은 Hatfield 등에 요약되어 있다. (2011). 많은 작물은 작물생산의 중요한 수분기(pollination phase) 직전 또는 동안에 일어나는 극한기온에 특히 민감하다(Wheeler 등, 2000; Hatfield 등, 2008, 2011). 작물의 민감성과 나중에 기상상태가 호전되었을 때 보상 능력은 각 작물의 개화 기간에 따라 다를 것이다.

극한기온은 곡물 생산량에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다(Kim 등, 1996; Prasad 등, 2006). 예를 들어 Tian 등 (2010)은 벼농사에서 고온(>35℃)과 높은 습도 및 낮은 풍속이 겹치자 이삭 온도가 기온보다 무려 4℃나 높아져 꽃 부분이 불임(floret sterility)된 것을 관측하였다. 극한기온의 영향은 주간(daytime)에 발생하는 현상에 국한되지 않을 수도 있다. Mohammed와 Tarpley (2009)의 관측에 의하면, 야간 기온이 27℃에서 32℃로 상승하자 쌀 생산량이 90% 감소하였다. 극한현상의 영향은 곡물의 품질에서도 확인되었다. Kettlewell 등 (1999)은 영국의 밀 품질은 북대서양 진동(North Atlantic Oscillation)과 관련 있으며 어쩌면 등숙기(grain-filling period) 동안의 강수량 차이에 의해서도 유발될 수 있다고 보고하였다. 보다 최근 연구에서, Hurkman 등 (2009)은 밀의 등숙기 동안에 높은 기온은 밀의 단백질 함량을 변경시켰고 이 반응은 그 노출이 등숙기의 초반에 일어나는가 중반에 일어나는가에 따라 달랐다는 것을 발견하였다. Skylas 등 (2002)은 등숙기 때의 높은 기온은 밀의 수확량은 물론 품질에도 영향을 주는 가장 중요한 요인 중 하나임을 관측하였다.

가뭄은 수확량 변동을 유발하는데, 한 유럽 사례에서 역사적 수확량 기록은 가뭄이 수확량 경년변동(interannual yield variation)의 일차 원인임을 보여준다(Hlavinka 등, 2009; Hatfield, 2010). 농업용수 공급은 생산을 지속하는 데 결정적으로 중요할 것이고, 세계 인구증가를 지속하기 위해 필요한 식량생산 증대를 제공하는 데 더욱 중요할 것이다. 지구온난화와 엘니뇨 현상으로 인해 빙하가 후퇴한 뒤 안데스산맥 지역의 급수에 대한 위험도는 점점 심각해지고 있다(Mark and Seltzer, 2003; Cadier 등, 2007). 강수가 1년 중 수개월에 그치기 때문에 빙하가 녹은 물은 건기 동안 유일한 주요 수원이 된다(Mark and Seltzer, 2003). 빙하 후퇴는 빙하의 완충역할을 감소시켜 우기에 더 많은 홍수, 건기에 더 심한 물부족을 유발한다. Cadier 등 (2007)은 엘니뇨-남방진동(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)의 이상 온난화(warm anomaly)는 넉 달 뒤에 빙하 녹은 물의 증가와 상응하였다는 것을 발견하였다.

식량안보는 지역사회의 생산, 물류, 생산물 이용, 사회경제 구조에 대한 지식을 이용해 농업시스템을 극한현상에 적응시킬 능력과 관련 있다. 이 요인들 각각의 공간 변동성 및 상황 민감성(context sensitivity)은 기후변화 및 극한현상에 대한 규모축소된 시나리오의 값을 나타낸다.

4.3.5. 인간 거주지, 기반시설 및 관광

4.3.5.1. 인간 거주지

정착은 인간, 자산 및 활동의 노출을 집중시킨다. 대도시의 경우, 이러한 집중은 국가적 부의 상당한 비율을 차지할 수 있으며 다른 형태의 취약성을 초래할 수 있다(Mitchell, 1998). 홍수, 산사태, 폭풍, 열파, 산불은 인간 정착

지에서 역사적으로 막대한 피해를 일으켜 왔으며, 이런 현상의 특징과 근본적인 기후동인은 변할 것으로 전망된다(3장 참고; Kovats and Akhtar, 2008; Satterthwaite, 2008). 경제적 자산과 인구의 집중은 큰 영향을 입을 가능성뿐 아니라 회복능력의 가능성도 야기한다(Cutter 등, 2008). 해안 정착지는 해수면 상승과 해안 폭풍 활동 변화에 특히 위험하다(3.4.4절과 3.4.5절, 사례 연구 9.2.8 참고).

임시 거주지의 도시 빈곤층의 경우 영향에 노출될 위험이 매우 높다(Satterthwaite, 2008; Douglas, 2009). 전 세계에서 약 10억 명이 임시 거주지(informal settlement)에서 살고 있으며 임시 거주지들은 정식 거주지(formal settlement)보다 빠르게 증가하고 있다(UN-HABITAT, 2008; UNISDR, 2011). 임시 거주지는 선진국에도 존재한다. 예를 들어 유럽에는 약 5,000만 명이 이러한 지역에 거주하고 있다(UNECE, 2009). 임시 거주지의 거주자들은 위험저감 기반시설이 없거나 제한된 상태에서 기후 현상에 대체로 더 많이 노출된다. 매우 낮은 품질의 주택 때문에 그리고 자산, 보험, 한계 생계(marginal livelihood)의 부재로 인한 대응능력 부족 때문에 취약성이 높으며, 정부지원이 부족하고 법률적 보호가 한정되어 있다(Dodman and Satterthwaite, 2008).

해안 주거지 및 관련 기반시설의 수와 규모는 최근 몇 십년 간 크게 증가하였다(McGranahan 등, 2007; Hanson 등, 2011; 사례 연구 9.2.8 참고). 많은 경우에서 이 정착지들은 사구(sane dune)와 맹그로브가 제공하는 보호를 제거함으로써 극한 기후 현상에 효과적으로 대응할 자연적 해안 시스템의 능력에 영향을 끼쳤다. 군소 도서국들, 특히 군소 도서의 개발도상국들은 (사례 연구 9.2.9절 참고) 기후변화 관련 극한현상으로부터 상당한 영향을 입을 수 있다.

도시화는 유출수 농도, 최대량, 수량, 범람원의 점유율 증가, 부적절한 배수계획을 통해 홍수의 부정적 영향을 크게한다(McGranahan 등, 2007; Douglas 등, 2008). 이런 도시화 문제는 어디에나 존재하지만 임시 거주지에서는 최악이다. 임시 거주지는 일반적으로 홍수에 가장 많이 노출되며 대개 이 문제에 대처할 능력이 없다(Hardoy 등, 2001). 홍수는 도시를 정기적으로 교란시킨다. 도시의 식량 생산은 홍수에 의해 심각한 영향을 받을 수 있으며 빈곤한 지역사회의 식량안보를 악화시킬 수 있다(Douglas, 2009; Aggarwal and Singh, 2010). 개발도상국의 저소득 및 중소득 도시들에서 홍수로 인한 문제 중 하나는 폐기물이다. 그런 도시들의 대부분은 하수도, 배수로, 고형폐기물 수거 서비스 같은 적절한 수도 서비스가 제공되지 않는다(Hardoy 등, 2001).

사면의 붕괴는 열대 산간지역, 특히 벌채된 지역 (Vanacker 등, 2003)과 구릉 지역 (Loveridge 등, 2010)의 거주지에 영향을 줄 수 있으며 특히 장기간 호우 후에는 더 심각하다(사례 연구 9.2.5절 참고). 임시 거주지는 불안정한 대지 위에 토목 또는 배수 공사가 안 된 채 위치하는 경우가 많아 잠재적인 사면 붕괴에 종종 노출된다(Alexander, 2005; Anderson 등, 2007). 콜롬비아와 베네주엘라에서는 산사태 때문에 임시 거주지들이 심각하게 불균형적인 영향을 받아 왔으며 (Takahashi 등, 2001; Ojeda and Donnelly, 2006), 2010년에는 라니냐 현상에 관련된 호우로도 비슷하게 영향을 받았다(NCDC, 2011). 알프스의 밀집된 정착 지역(Crosta 등, 2004)과 히말라야는 비슷한 영향을 받아왔다(Petley 등, 2007).

도시는 국지적인 규모에서 기온을 상당히 상승시키고 야간기온을 낮출 수 있다(사례 연구 9.2.1절 참고). 이것은 열을 흡수하는 대량의 물질들, 건물의 특징, 에어컨 및 자동차의 인위적 열 방출에서 기인하는 도시열섬효과이다(Rizwan 등, 2008; 열섬 연구에 대한 주요 내용은 Stewart, 2011 참고). 열파와 도시열섬효과가 겹치면(Basara 등, 2010; Tan 등, 2010) 기후 순응 및 폭염 경보 시스템을 통해 과다 사망을 실질적으로 줄일 수 있다 하더라도 (Fouillet 등, 2008) 취약한 노약자, 사회적으로 고립된 사람들, 및 옥외 근로자들 중에서 대량의 사망이 발생할 수 있다(Maloney and Forbes, 2011). 따라서 열파는 주요 도시에 미래 위협을 일으킨다(Endlicher 등, 2008; Baccini등, 2011; for London, Wilby, 2003). 도시 지역에서 열파는 대기질, 오염물질, 대류권 오존 및 부유물질 농도가 높은 일수에 부정적 영향을 끼쳐왔다(Casimiro and Calheiros, 2002; Sanderson 등, 2003; Langner 등, 2005).

저고도 해안지역 (즉, 현재의 평균 해수면 위로 10m 못되는 고도를 가진 해안 지역)에서 해수면 상승 (및 상대적 해수면 상승)으로 인한 해안 범람의 가장 큰 영향은 (Granahan 등, 2007) 장기적 해수면 상승에 더해진 열대 및 아열대 폭풍으로 인한 극한적 해수면과 연관 있는 것으로 생각된다(Ebersole 등, 2010; Mozumder 등, 2011; Frazier 등, 2010). 열대저기압의 최대 평균 풍속은 21세기에 증가할 가능성이 있지만 모든 대양분지에서 그렇지는 않을지 모른다(표 3-1 참고). 열대저기압의 파괴적 잠재력은 일부 지역에서 최대 평균 풍속과 열대저기압과 관련한 강수의 강도가 증가함에 따라 커질 수 있다(3.4.4절 참고). 폭풍은 일반적으로 상당한 교란과 국지적 파괴를 초래하지만, 저기압과 관련한 폭풍해일은 일부 경우에는 현대 도시에서 매우 상당한 파괴를 일으켰다(뉴올리언스와 다윈; 사례 연구 9.2.5 참고). 폭풍해일 영향은 삼각주와 군소 도서국에 건설된 대도시의 중심지 (McGranahan 등, 2007; Love 등, 2010; Wardekker 등, 2010)와 특히 전세계 소득 분포에서 가장 낮은 곳에서 더 심각한 것으로 여겨진다(Dasgupta 등, 2009). 노출의 세부사항은 시스템의 자연적 또는 인위적 특징에 의해, 예를 들어 해일을 감쇠할 수 있는 보호장벽의 역할을 하는 섬이나 해안 습지의 발생/분포에 의해 (Irish 등, 2010; Wamsley 등, 2010) 또는 토지개간 같은 변화 (Guo 등, 2009)에 의해 제어될 것이다. 최근 연구들 (Nicholls 등, 2008; Hanson 등, 2011)은 2005년 기준으로 인구 1백만 명 이상인 항구도시들의 자산에 대한 노출을 평가하였다. 그 연구들에 의하면, 100년 빈도의 극한현상에 의한 해안 침수에 대규모 인구 (~4,000만 명 또는 지구 인구의 0.6%)가 이미 노출되었으며, 노출된 총 자산의 가치는 미국달러로 약 3조 달러로 추정되었다(2005년 지구의 GDP의 ~5%). 2070년대까지 인구 노출은 3배 증가할 것으로 추정되는 반면에 자산노출은 10배 증가해 35조 달러에 달할 수 있다. 그러나 이 추정치는 효과적인 해안 보호계획의 잠재적 건설을 고려하지 않은 것이며 (Dawson 등, 2005 참고), 노출 증가율은 개발도상국에서 더 급속할 것이다(Adamo, 2010). Lenton et al. (2009)는 해안 인구가 침수에 점점 더 많이 노출될 것이라고 추정하였다(그림 4-5).

4.3.5.2. 기반시설

기상 및 기후 관련 극한현상은 기반시설에 큰 영향을 야기할 것으로 예상되지만, 잠재적 피해와 예상 피해의 상세 분석은 일부 국가 (호주, 캐나다, 미

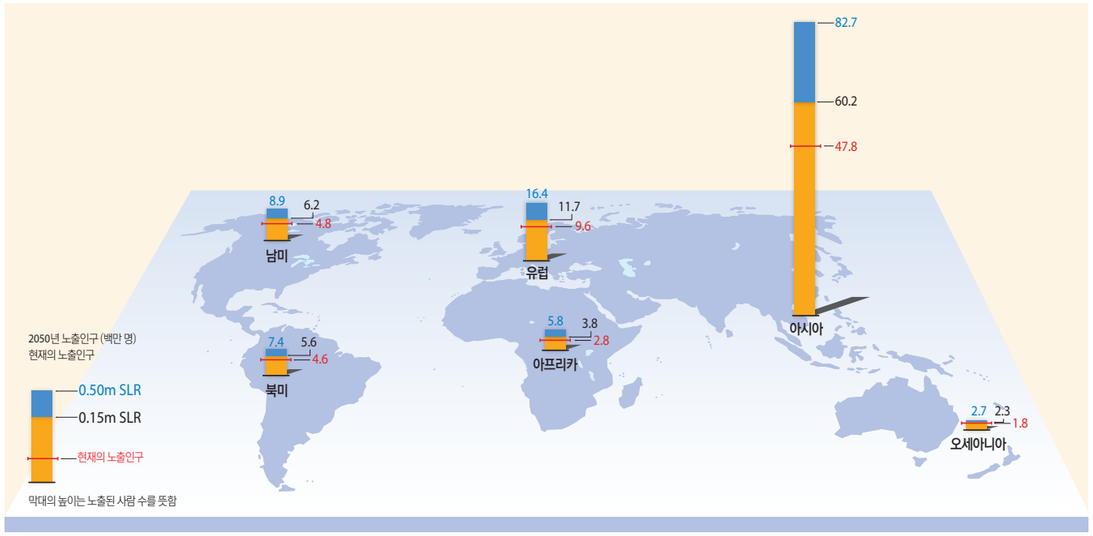


그림 4-5 | 그린란드 빙상과 남극 서부 빙상의 부분적인 융해로 인해 해수면이 0.15m 상승하는 경우와 0.5m 상승하는 경우에 100년 빈도 극한호우로 인해 저고도 해안지역에서 침수에 노출되는 현재 및 미래(2050년)의 인구 자료. 출처: Lenton 등, 2009.

국; Holper 등, 2007)와 기반시설 유형 (예: 송전선)과 부문 (예: 수송, 관광)에 한정되어 있다. 기반시설의 부적절한 설계는 극한 기후 및 기상의 영향을 증가시킬 수 있고, 기후변화가 극한현상의 빈도와 심각성을 변화시키면, 일부 기반시설은 부적절해질 수도 있다. 예를 들어 호우의 증가는 호우, 배수, 하수 기반시설의 용량과 유지관리에 영향을 줄 수 있다(Douglas 등, 2008). 일부 기반시설에서는 극한 기상 발생 시 2차 위험이 추가 위험을 유발할 수 있다(예: 극한강수는 댐을 손상시킬 수 있다). 위험물질을 포함하는 산업시설과 광산시설도 마찬가지다(예: 호우는 광미댐(tailings dam) 손상의 주원인으로, 전세계 사고의 25%, 유럽에서 35%를 차지한다; Rico 등, 2008).

중앙아시아와 유럽 일부 등 세계 여러 곳에서, 기반시설의 노후화, 높은 운영비, 고객 대응 부족, 자본시장 접근성 부족은 하수시스템의 운용성(operability)을 제한할 수 있다(Evans and Webster, 2008). 더욱이 사하라 사막 이남 아프리카의 도시 중심지는 대부분 하수시설이 없다(Hardoy 등, 2001). 오염과 홍수의 현재 문제는 극한 기후 및 기상 증가에 의해 악화될 것이다(예: 집중호우; 지역적 변화 전망은 표 3-3 참고).

대부분의 거주지는 물, 전력, 통신, 교통 및 무역을 위한 매우 긴 기반시설에 의존하는데 이들은 다양한 극한현상에 노출된다(예: 호우, 강풍). 현대의 물류 시스템은 느림과 중복을 최소화 하기 위한 것이며 결과적으로 극한현상에 의한 교란에 특히 취약하다(Love 등, 2010).

교통 기반시설은 극한기온, 극한강수/하천 범람, 극한의 폭풍해일에 취약하다. 이 극한현상들은 도로, 철로, 공항, 항구에 피해를 줄 수 있다. 해안 기반시설, 특히 국제 공급망의 주요 노드인 항구의 서비스에 영향이 미칠 것으로 예상된다(Oh and Reuveny, 2010). 이것은 국제무역에 심각한 영향을 끼칠 수 있다. 세계 무역의 80% 이상이 해상으로 운송되기 때문이다 (UNCTAD, 2009). 해안을 통한 모든 수송은 취약하다고 간주되지만 노출과 영향은 지역, 수송방식, 위치/고도, 수송 기반시설 상태에 따라 다를 것이다(NRC, 2008; UNCTAD, 2009). 폭풍해일과 하천범람으로 인한 해안 침수는 터미널, 복합시설, 화물차량, 창고, 화물에 영향을 끼칠 수 있고, 복합 공급망과 수송의 연결성을 교란시킬 수 있다(그림 4-6 참고). 이러한 영향들은 군소 도서국에게 특히 문제가 될 것이다. 이는 국가의 수송시설이 대개 저고도 해안지대에 위치하기 때문이다(UNCTAD, 2009; 보다 많은 예는 Love 등, 2010 참고).

도로 기반시설에 관하여, Meyer(2008)는 호우의 증가가 전망되는 지역의 취약 요소로서 교량과 지하배수로를 언급하였다. 더욱이 이러한 단단한 구조물의 수명은 평균적으로 포장도로보다 길고 수리나 교체에 비용이 많이 든다. 기온상승은 도로표면 아스팔트의 수명을 단축시킬 수 있다(Meizhu 등, 2010). 극한기온은 교량과 공항 기반시설의 콘크리트 접합부, 보호 피복, 코팅, 밀봉재를 팽창시키고 느슨하게 만들 수 있으며, 교량의 강철에 응력을 가하고 철도 이용에 지장을 줄 수 있다(예: Arkell and Darch, 2006). 그래도 도로와 철로는 대개 20년마다 교체되므로 교체할 때 기후변화를 수용할 수 있다(Meyer, 2008).

송전 기반시설도 극한폭우, 특히 강풍과 낙뢰에 취약하고, 일부 경우에는 열파에도 취약하다(McGregor 등, 2007). 1999년에 프랑스를 강타한 로타(Lothar) 폭풍과 마틴(Martin) 폭풍은 선진국에서 유례 없는 전력망 붕괴를 일으켰다. 120개의 고전압 송전 철탑이 쓰러졌고, 고압 송전 라인36개 (프랑스의 총 송전라인의 1/4)가 손실되었다(Abraham 등, 2000). 극심한 가뭄도 발전소 냉각수 공급에 영향을 주어 전력의 지속적 공급에 지장을 줄 수 있다(Box 4-4 참고; Rubbelke and Viigele, 2011).

건물과 도시의 시설은 호우 현상의 빈도 증가에 취약할 수 있다(3.3.2절 참고). 폭풍해일이 해수면 상승과 결합될 때는 해안에 가까운 곳들이 특히 위

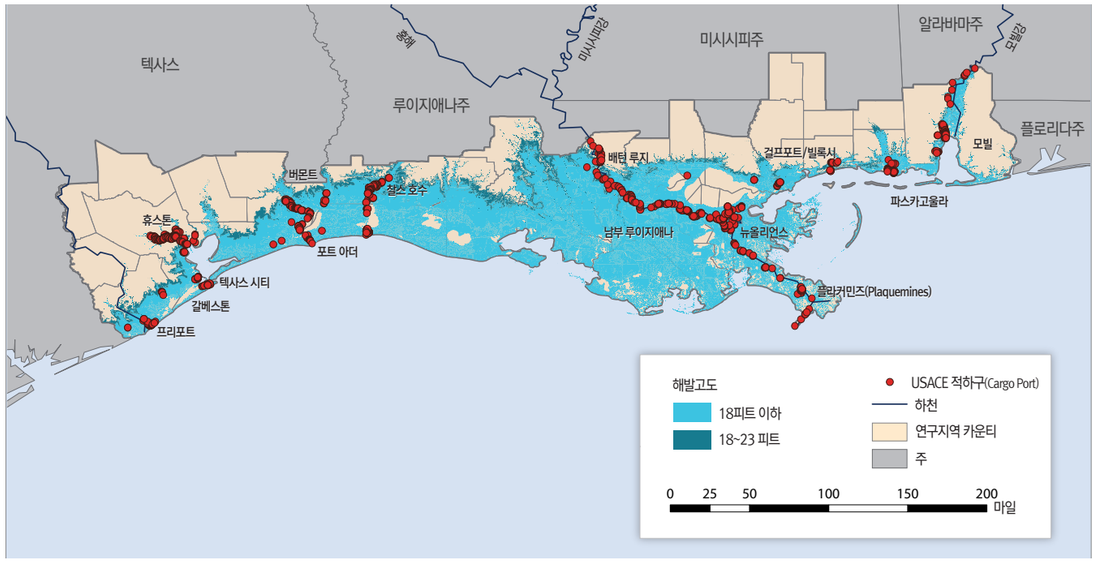


그림 4-6 | 미국 걸프해안에서 5.5~7 m 폭풍해일의 위험에 처한 화물처리 항구 시설. 출처: CCSP, 2008.

험하다. 상업적 용도의 건물에서 취약한 요소는 창고에 흔히 사용되는 경량 지붕이며 저장된 물품과 장비에 물이 유입될 수 있다. 로타 폭풍과 마틴 폭풍 때, 가장 취약한 공공시설은 학교들, 특히 1960년대, 1970년대, 1990년대에 벽과 지붕에 금속, 플라스틱, 유리의 경량 건축자재를 사용한 학교들이었다(Abraham 등, 2000).

4.3.5.3. 관광

관광 부문은 기후에 매우 민감하다. 기후는 전지구적으로 관광수요의 계절성을 유발하는 주요 동인이다(Lise and Tol, 2002; Becken and Hay, 2007). 세계 GDP의 대략 10%는 많은 개발도상국에서 주요 소득원과 외화벌이원을 차지하는 여가와 관광에 소비된다(Berrittella 등, 2006). 극한요소들은 여행자의 의사결정에서 중요한 역할을 할 수 있다(예: Hein 등, 2009; Yu 등, 2009).

여행지 선택, 경쟁력, 지속가능성에 영향을 줄 수 있는 3대 범주의 영향이 있다(Scott 등, 2008): (1) 여행자 기반시설 (호텔, 접근도로 등), 운영비 (냉난방, 제설, 관개, 급식, 급수, 대피, 보험비), 비상대비 요건, 영업 종료 (예: 일광 및 해양 스포츠(sun and sea sports), 동절기 스포츠의 영업 종료기간)에 대한 직접적 영향; (2) 극한현상이 생물다양성과 조경의 변화에 끼치는 간접적 환경변화 영향 (예: 해안 침식). 이것은 여행지의 품질과 매력에 부정적 영향을 줄 수 있다; (3) 극한현상 발생 후에 특정 관광지역의 관광에 불리한 인식. 예를 들어, 악천후 또는 극한현상 발생은 그 다음 관광철에 여행자들에게 관광지역의 인기를 감소시킬 수 있다.

극한현상과는 별개로, 기후변화 효과에 대한 중장기 전망도 일부 여행지에 큰 영향을 끼칠 수 있다(예: Bigano 등, 2008). 해수면 상승, 토지 개간, 및 해안 대수층의 과도한 취수로 인한 지하수원의 염류화 (Alpa, 2009)뿐 아니라 극한 기상 패턴의 변화(Hein 등, 2009)도 산업에 추가 스트레스를 줄 수 있다. 그럼에도 불구하고, 관광산업에 대한 잠재 영향은 해안의 여행지(예: 해안침식을 겪은 여행지)에 대한 여행객들의 인식에 좌우될 것이지만, 이는 쉽게 예측할 수 없을 것이다(Buzinde 등, 2009). 회복능력은 관광에 의존하는 정도와 관련이 있으며, 다각적인 경제일수록 견고하다(Ehmer and Heymann, 2008). 그러나 해안 저지대와 현재 강설한계선의 경계에 있는 지역은 대안이 한정적일 수 있다. 일부 스키 리조트는 인공설 제조를 사용하는 것에 적응할 수 있을 것이다. 이것은 물과 에너지 비용이 많이 들기는 하지만 유럽에서 스키산업의 필수 요소가 되었다(Elsasser and Burki, 2002).

일부 지역의 경우 극한현상이 관광에 미치는 주요 영향에는 수입의 감소와 관광분야에 종사하는 가구의 생계 손실이 있다(Hamilton 등, 2005; Scott 등, 2008; Hein 등, 2009). 특정한 기상 및 기후 극한현상의 빈도 또는 규모에 대한 정량적인 지역 규모의 기후전망 (예: 열파와 가뭄; 표 3-3 참고)은 관광활동에 대한 지역적 영향의 정성적 정보를 제공한다(Box 4-3). 기후변화가 관광에 끼치는 극한영향 측면에서 취약한 핵심지역은 지중해, 카리브해, 인도양과 태평양의 군소 도서, 호주, 뉴올리언스 등이다(Scott 등, 2008). 이들 지역에서 극한현상의 직□간접 영향은 곳에 따라 크게 다를 것이다(Giissling and Hall, 2006a,b; Wilbanks 등, 2007).

Box 4-3은 관광지역 및 관광활동에 대한 잠재적 극한 기후의 영향을 나타낸다.

4.3.6. 인간 보건, 복지 및 안보

열파, 홍수, 가뭄, 저기압 같은 극한 기후는 인간의 건강과 복지, 안보에 영향을 준다.

열파는 2003년 유럽 열파가 보여주듯이 선진국들에게 영향을 주었다(사례연구 9.2.1절과 Box 4-4 참고).

상당수의 선진국들은 고령화 사회로 변하고 있으며 따라서 열파 같은 극한기후에 더 취약할 수 있다(Hennessy 등, 2007). 열파는 더운 기후에 순응되어 있는 열대 국가에서도 사상자를 낼 수 있다. McMichael 등 (2008)은 중소득 국가와 저소득 국가들에서 일기온과 사망률의 관계를 평가하였고, 태국의 방콕, 인도의 델리, 브라질의 살바도르 같은 열대 도시를 포함해 대부분의 도시에서 매우 더운 날에 사망률이 더 높았다고 보고하였다.

홍수는 사망과 부상을 야기할 수 있고 이로 인해 감염병 (예: 설사병)과 작물 피해로 인한 영양실조가 발생할 수 있다(4.4.2.3절 참고). 방글라데시의 다카에서는 1998년에 심각한 홍수가 발생한 시기 및 그 이후에 설사병이 증가했고, 설사병의 위험은 사회경제 지위가 낮은 사람과 수돗물을 이용하지 않는 사람들에서 더 높았다(Hashizume 등, 2008). 또한 홍수는 말라리아 매개체인 모기의 번식 지역을 변화시킴으로써 말라리아 창궐 지역의 지리적인 변경을 초래할 수 있다. 말라리아 창궐은 코스타리카의 대서양 지역에서 1991년 홍수 발생 이후에 서식지가 변화한 것과 관련 있었다(Saenz 등, 1995; 다른 예를 보려면 사례 연구 9.2.6 참고). 말라리아 전염병은 면역이 안 된 사람들이 전염병 지역에 들어가는 경우에도 발생할 수 있지만 급성 자연재해의 결과로 대량의 이재민이 발생한 경우는 드물었다(Toole, 1997).

Box 4-3 | 극한 기후가 관광에 미치는 잠재 영향의 지역적 사례

열대지역

전망은 최대 평균풍속이 증가하고(모든 유역에 해당되지는 않음) 열대저기압과 관련한 강수가 증가할 가능성을 나타내었다(표 3-1). 카리브해에서는 해수면 상승으로 인해 해변이 침식하는 곳과 산호가 백화되어 스노클러(snorkeler)와 다이버들에게 영향을 주는 곳에서는 여행객 활동이 감소될 수 있다(Uyarra 등, 2005).

군소 도서국들은 관광에 의존하고 해안에 위치한 관광 기반시설은 기후변화의 위협을 받는다(Berrittella 등, 2006). 20세기에 해수면 상승 – 평균 1.7 mm/년이며 1993~2003년 기간에는 3.1 mm/년으로 상당히 높았음 (Bindoff 등, 2007) –은 태평양과 인도양의 군소 도서들의 관광 리조트에 위험을 가한다(Becken and Hay, 2007; Scott 등, 2008).

알프스 산맥 지역

기온상승은 설선(snowline)의 상승을 야기할 것이다(Elsasser and Burki, 2002; Scott 등, 2006). 스위스에서는 2030년경에 스키 리조트의 44%만이(현재는 85%) '자연설(snow-reliable)' 고도 위에 있을 것으로 전망된다(Elsasser and Burki, 2002). 오스트리아에서는 스키 리조트의 83%가 현재 자연설을 유지하고 있지만 기온이 각각 1℃ 와 2℃ 상승하면 이 수치는 각각 67%와 50%로 저감할 것으로 전망된다(Abegg 등, 2007). 스키 시즌 모의실험에 의하면, 인공설 제조 기술로 오스트리아에서는 2040년대 (A1B)와 2050년대 (B1)까지 자연설 상태를 유지할 수 있지만 금세기 말까지 인공설 필요량은 최대 330% 증가할 전망이다(Steiger, 2010). 이 인공설 생산은 특히 프랑스 알프스 지역에서 물 부족으로 인한 취약성과 국지적 규모에서 물 갈등을 증가시킬 것이다(EEA, 2009).

지중해 국가들

여름철의 더 빈번한 열파와 열대야(>20℃) (표 3-3)는 쾌적함을 느낄 정도의 기온을 넘어서게 할 것이며, 이로 인하여 2060년까지 관광 수요가 감소될 수 있다(Hein 등, 2009). 관광의 점유율이 봄과 가을에는 증가하고 여름에는 감소할 수 있다(Perry, 2003; Esteban-Talaya 등, 2005). 북유럽 국가들은 상대적으로 매력도가 커져서 현재 인기있는 남유럽 국가들과의 격차가 없어질 것으로 예상된다(Hamilton 등, 2005).

기후변화가 아프리카와 남미의 자연자원과 문화자원에 어떤 영향을 줄 수 있는가를 이해하는 데는 중대한 지역적 격차가 있어 관광활동에 미치는 영향을 통찰하는 데 지장이 있다(Scott 등, 2008).

대다수의 지역에서 일부 유형의 관광은 극한 기후로 이익을 보거나 영향 받지 않을 것이다(Scott 등, 2008). 어떤 지역이 극한현상에 영향 받으면 관광객들은 다른 지역으로 갈 것이므로 한 지역의 손실은 다른 지역의 이익이 된다. 영향 받은 지역 역시 장기적으로는 새로운 기반시설의 제공을 통해 이익을 볼 수 있다. 도시와 문화관광은 일반적으로 기후 및 기상 현상에 상대적으로 영향 받지 않는 것으로 보인다(Scott 등, 2008).

가뭄은 농업생산 감소를 통해 물 안보와 식량 안보에 영향을 줄 수 있다(MacDonald, 2010). 또한 가뭄은 인위적 산불에 기여하는 요인일 수 있으며 산불은 방대한 산림파괴와 탄소방출을 초래할 수 있다(D'Almeida 등, 2007; van der Werf 등, 2008; Field 등, 2009; Phillips 등, 2009; Costa and Pires, 2010). 또한 가뭄은 지역 조건에 따라 말라리아 같이 모기를 매개로 한 전염병의 유병율을 증가 또는 저감시킬 수 있으며(Githeko 등, 2000), 수막염과 관련 있다(Molesworth 등, 2003). 연구에 의하면, 미국 서부와 캐나다에서는 산불 발생을 일으키는 기후 시그널이 존재하며 많은 지역에서 심각한 산불이 증가할 전망이다(Gillett 등, 2004;Westerling 등, 2006;Westerling and Bryant, 2008). McMichael 등(2003a)이 보고한 바와 같이, 산불이 인간 건강에 미치는 직접적 영향에는 화상과 연기 흡입이 있고, 간접적 영향에는 사면의 식생 손실, 토양침식 증가, 그로 인한 산사태 위험 증가 등으로 인한 건강에의 잠재적인 영향이 있다.

극한 기후의 영향이 인간 건강에 어떤 영향을 주는가에 대한 평가는 종종 더 쉽게 획득할 수 있고 정량화할 수 있는 사망통계나 입원률 같은 변수를 사용해 극한현상의 직접적, 즉각적 영향에 초점을 맞추는 경향이 있다. 이러한 관측 가능한 직접적 결과는 현상의 극한성을 입증하고 비교 척도로서 다른 극한현상들과 비교 측정하는 데 사용된다. 그러나 간접적 건강영향은 해당 현상에서 한 발짝 떨어져 있기 때문에 보고되지 않는 경우가 많다. 간접 영향은 관찰하기 어려운 데다가 시간상으로 거리가 있기 때문에 현상의 인과관계 분석에서 배제하는 것이 효과적이다. 극한 기상 현상의 간접적 건강영향의 예로는 의료서비스와 같은 기초적인 필요성을 충족시키기 위해 건설된 기반시설의 붕괴로 인해 질병이나 부상; 저기압이나 홍수 같은 극한현상 이후에 감염성 또는 독성 물질에의 노출 (Schmid 등, 2005);

대피 또는 이동 후의 스트레스, 불안, 정신 질환 (Fritze 등, 2008); 감염 민감성 증가 (Yee 등, 2007); 극한현상 이후 수개월이 지날 때까지 드러나지 않을 수 있는 영양실조 증가를 초래하는 사회경제 구조 및 식량 생산의 교란 (Haines 등, 2006; McMichael 등, 2006) 등이 있다. 그러므로 간접적 건강영향은 잠재적으로 중요하지만 총 건강부담의 실질적인 과소평가를 초래하는 극한 기상 현상의 결과에 관한 것은 별로 조사되지 않는다.

극한현상으로 인해 정신건강에 막대한 영향을 받을 수 있다는 증거가 늘고 있다(Neria 등, 2008; Berry 등, 2010). 현상이 신체 및 건강에 미치는 영향 때문에 종종 간과되곤 하지만 심리적 영향은 오래 갈 수 있고 많은 인구에게 영향을 줄 수 있다(Morrissey and Reser, 2007). 극한현상은 불안과 우울이라는 공통된 영향을 동반하여 급성 외상 스트레스(acute traumatic stress)로 정신건강에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 또한 회복기에 스트레스와 손실, 교란 및 이주 문제에 관련된 간접적 영향도 줄 수 있다. 더욱이 간접적 정신건강 영향은 현상과 직접적 관계가 없는 이들, 예를 들어 극한현상으로 사망한 친구나 가족을 그리워하는 사람, 구조활동 후에 외상후 스트레스 장애(post-traumatic stress disorder, PTSD)를 겪는 구조요원 등에게도 영향을 줄 수 있다. 장기적 정신건강 영향은 충분히 관찰되지 않지만, 지난 30년 간 자연재해 발생 이후에 수행된 연구들에 의하면 재해에 노출된 이들이 겪은 외상후 스트레스 장애 부담은 상당한 편이다(Neria 등, 2008). 스트레스 관련 기타 문제들, 이를테면 슬픔, 우울, 불안 장애, 신체형 장애(somatoform disorder), 약물 중독, 알코올 중독 (Fritze 등, 2008)은 원인적인 현상발생 이후 장기적으로 영향을 미친다.

정신에 미치는 기후변화로 인한 영향의 평가는 여전히 많은 한계에 부딪힌다. 가장 큰 연구격차는 일반적으로 개발도상국에서 영향의 결과 자체에 대한 정보가 없다는 점이다. 이에는 사망률/병에 걸리는 비율 자료, 기타 기여요인 (예: 영양상태, 안전한 식수와 의료시설에 대한 접근성 등)에 대한 정보가 포함된다.

4.4. 취약성, 노출 및 영향의 지역적 측면

4.4.1. 서론

여기 소개된 지역 규모를 다룬 절들은 극한 기상 및 기후 현상의 영향을 여타 문제 및 추세의 맥락 내에서 고찰한다. 사회 및 경제 차원에서 지역적 전망이 특히 중요한 이유는 의사결정이 종종 지역상황에 크게 좌우되기 때문이다. 극한 기후의 지역적 변화에 대한 관측치와 전망치의 포괄적인 평가를 보려면 3.3~3.5절과 표 3-2, 표 3-3을 참고하도록 한다.

다양한 극한 기후에 관하여 지역 단위로 다음 측면들을, 즉 어떤 특정 극한 기후에 대한 인간의 노출과 활동; 극한 기후에 노출되는 것들의 취약성; 그에 따른 영향을 고찰한다. 아래 각 절들은 각 지역의 추세에 가장 개연성 있는 구조로 이루어져 있다.

4.4.2. 아프리카(Africa)

4.4.2.1. 서론

극한 기후는 아프리카의 일상적 경제개발(특히 모든 범위의 전통적 천수답 농사와 유목 및 수자원)을 크게 제약한다. 홍수와 가뭄은 아프리카 국가들의 경제에 막대한 인위적, 환경적 영향과 교란을 야기하여 취약성을 악화시킨다(AMCEN/UNEP, 2002; Scholes and Biggs, 2004; Washington 등, 2004; Thornton 등, 2006). 아프리카에서 발생하는 극한현상 및 영향을 포함한 현상에 대한 보고가 빈번함에도, 오늘날 빈도 관측치와 전망에 대한 과학적 정보는 여전히 한정적이다(표 3-2와 3-3 참고).

경제 부문 중 하나인 농업은 아프리카에서 극한 기후에 가장 취약하고 가장 많이 노출된다. 농업은 아프리카의 총 수출가치의 대략 50%와 총GDP의 약 21%를 차지한다(Mendelsohn 등, 2000; PACJA, 2009). 특히, 농업산업이 비효율적인 사하라 사막 이남 아프리카는 극한 기후에 극단적으로 취약하다. 이러한 취약성은 부실한 보건, 교육, 및 관리 규범 등에 의해 악화된다(Brooks 등, 2005). Reid 등 (2007)은 나미비아의 자연 자원에 대한 기후의 영향으로 나미비아는 연간 1~6%의 GDP 손실을 입을 것이고, 가축 생산, 전통 농업, 어업이 가장 타격을 입을 것이며, 이에 대한 복합적인 손실은 2050년까지 연간 4억 6,100만 달러 ~ 20억 4,500만 달러에 달할 것이라고 전망한다.

4.4.2.2. 가뭄과 열파

아프리카에서 오랫동안 이어진 사헬(Sahel) 가뭄과 함께 전반적으로 건조

가 증가 중이라고 관측되었지만(보통 신뢰수준), 여기에 지역적인 변동성이 나타났다(표 3-2). 특히 1960년대부터 가뭄이 사헬, 아프리카의 뿔(The Horn of Africa) 및 남아프리카에 영향을 끼쳤다(Richard 등, 2001; L'Hôte 등, 2002; Brooks, 2004; Christensen 등, 2007; Trenberth 등, 2007). 수년에 걸친 가뭄의 주요 결과 중 하나는 극심한 기근이다. 일례로 1980년대에 사헬에서 발생한 가뭄은 많은 사상자와 중요한 사회경제 손실을 야기하였다. 아프리카에서 가뭄 다발 지역에 사는 사람들은 가뭄의 직접적 영향(예: 기근, 소떼의 집단 사망, 토양 산성화)뿐 아니라 간접적 영향 (예: 콜레라나 말라리아 같은 질병)에도 취약하다(Few 등, 2004).

물 부문은 물 저장 기반시설이 부족한 대륙에서 오랜 가뭄상태에 크게 영향 받으며 상당히 민감하다. 호수 같은 자연발생 저수지는 강수의 경년 변동성과 관련하여 수위의 경년 변동을 보여준다(Nicholson 등, 2000; Verschuren 등, 2000).

아프리카의 여러 국가들에서 기후 변동성 관련 수문 및 수자원 변화는 인간 시스템와 생태계에 수분스트레스(water stress)를 야기했다(Schulze 등, 2001; New, 2002; Legesse 등, 2003; Eriksen 등, 2005; de Wit and Stankiewicz, 2006; Nkomo and Bernard, 2006).

현재 아프리카 인구의 25%는 물을 충분히 이용하지 못하는 가뭄의 민감층이며, 상대적으로 물의 풍족을 경험하는 인구는 69%이다(Viiriismarty 등, 2005). 그러나 후자의 경우조차 상대적으로 물의 풍요가 꼭 안전한 식수 및 위생용수에 대한 접근성을 의미하지는 않으며, 인간이 사용할 수 있는 담수량의 이러한 실질적인 감소는 취약성에 부정적 영향을 끼친다. 1990년대에 담수 접근성이 상당히 개선되었음에도 불구하고 개선된 급수를 이용할 수 있는 아프리카 인구는 2000년에 62%에 불과했다(WHOI UNICEF, 2000). 물 수요가 증가함에 따라 여러 가지 가뭄조건 (농업, 기후, 도시)에 노출된 인구도 증가할 것으로 예상된다.

가뭄위험의 증가는 관광, 어업, 경작의 감소를 야기할 수 있다(UNWTO, 2003). 이것은 정부, 기업, 개인의 가용 소득을 저감시킬 수 있고, 그리하여 적응투자 능력을 악화시킬 수 있다. 예를 들어 2003~2004년 가뭄으로 나미비아 정부는 비상구호에 2억 7500만 나미비아달러 (미국달러로 4,300~4,800만 달러)를 투입하였다(Reid 등, 2007). 카메룬의 경제는 천수답 농사에 매우 의존한다. 강수량이 14% 저감하면 미국달러로 45억 6,000만 달러 어치의 큰 손실이 발생할 것으로 전망된다(Molua and Lambi, 2006).

4.4.2.3. 극한강수 현상과 홍수

아프리카에서 호우 변화 패턴은 일관성이 없고 부분적으로 자료도 부재하여 관측된 강수추세는 그 신뢰수준이 낮다(표 3-2 참고). 호우는 열대 산간지역에서 산사태와 토석류를 유발할 수 있고(표 3-2) 인간 거주지에 영향을 끼칠 가능성이 있다. 아프리카의 뿔(Horn of Africa) 국가들의 건조 및 반건조 지역에서, 극한강수는 종종 말라리아, 뎅기열, 콜레라, 리프트 밸리 열(Rift Valley fever), 한타바이러스 폐 증후군 등 질병 매개체 및 전염병 위험을 높인다(Anyamba 등, 2006; McMichael 등, 2006).

극한강수 기간과 홍수 재현기간은 엘니뇨의 위상과 관련성이 있는 것으로 나타났다(Reason and Kiebel, 2004; Reason 등, 2005; Washington and Preston, 2006; Christensen 등, 2007), 예: 1982-1983, 1997-1998, 2006-2007). 그러한 현상이 발생할 때는 심각한 경제 및 인명의 손실이 발생한다. 2000년에 모잠비크에서 발생한 홍수(사례 연구 9.2.6절 참고), 특히 림포포(Limpopo), 사베(Save), 잠베지(Zambezi) 강의 계곡에서 발생한 홍수로 7,000명이 사망하고 50만 가구가 집을 잃었다. 홍수는 생계에 막대한 영향을 끼치고 농작물을 파괴하고 전기공급을 중단시키고 기초 기반시설을 붕괴시킨다(Osman-Elasha 등, 2006). 그러나 홍수는 아프리카 건조지대 (예: 사하라 사막과 나미브 사막)에서는 범람한 물이 간헐하천을 따라 충적 대수층에 스며들어 함양되고, 건기와 가문 해에 물의 가용성을 충족시키며 (Morin 등, 2009; Benito 등, 2010), 하천 시스템과 지역사회에 도움이 되므로 매우 이로울 수 있다(예: Walvis Bay in Namibia).

아프리카 항구도시들의 홍수, 폭풍해일, 강풍 피해는 기후변화로 인해 증가할 지 모른다. 예를 들어, 알렉산드리아에서는 2070년까지 해안 지역의 홍수만으로 5억 6,328만 달러의 자산 피해 또는 손실이 발생할 수 있는 것으로 나타났다(Nicholls 등, 2008).

4.4.2.4. 모래 폭풍

대기 먼지는 사하라 및 사헬 주변 환경의 주요한 요소이다. 사하라 사막은 황사(mineral dust)의 세계 최대 원천이다. 이 황사는 북아프리카에서 주변 지역까지 먼 거리를 이동하면서 다른 대륙에도 먼지를 침적시킨다(Osman-Elasha 등, 2006; Moulin 등, 1997). 황사는 농업, 건강, 구조물에 부정적 영향을 준다. 비옥한 토양을 척박하게 만들고, 어린 식물을 고사시키며, 수로, 집, 재산을 매몰시키고, 호흡기 문제를 유발한다. 수막염의 전파는 반건조 상태의 먼지와 과밀집 생활환경과 연관 있다. 사헬 지대에서 먼지현상의 빈도가 증가했지만 먼지현상에 대한 관측과 특히 전망에 대한 연구는 부족한 실정이다(3.5.8절 참고).

4.4.3. 아시아(Asia)

아시아에는 대형 삼각주가 많은데 이러한 삼각주들은 다음 요인들이 복합되어 극한영향에 취약하다: 위험도가 높은 하천; 해안 홍수; 고도로 취약한 집단의 비율이 높은 도시지역의 팽창으로 인한 노출인구 증가(Nicholls 등, 2007). 또한 아시아에서 열파와 호우 같은 극한 기상 및 기후 현상의 빈도와 규모의 변화도 발생할 수 있다(표 3-3 참고). 이러한 변화는 물리 및 자연계뿐 아니라 인간 시스템에도 영향을 끼칠 수 있다.

4.4.3.1. 열대저기압 (태풍 또는 허리케인)

폭풍해일로 인한 피해는 열대저기압 규모의 어떤 변화에도 민감하다(Xiao and Xiao, 2010). 예를 들어, 일본의 3대 주요 만(도쿄, 이세, 오사카)의 내륙에 폭풍해일의 변화와 관련 피해가 전망되었다(Suzuki, 2009). 이 전망은 지형 및 댐 정보와 공간 모델을 사용해 여러 해수면과 여러 태풍강도에서 범람을 계산한 결과에 기초한다. 이 연구에 의하면, 해수면이 60 cm 상승하는

설계표준보다 1.3배 강한 태풍이 찾아오면 3대 만에서는 각각 30억, 400억, 270억 달러의 피해가 발생할 것이다.

인식, 개선된 관리 및 개발은 아시아 개발도상국이 열대 저기압과 태풍에 대응하는 데 있어 필수이다(Cruz 등, 2007). 예를 들어 인도양에서 발생한 2개의 태풍(Sidr와 Nargis)는 규모와 강도에서는 서로 비슷했지만 사망자 수에서는 상당한 차이가 있었다. 그 비교결과는 사례 연구 9.2.5에서 제시한다.

1983년부터 2006년까지 중국의 직접적 경제손실은 증가했지만 그 손실을 연간 총 GDP와 1인당 GDP로 정규화 하면 아무런 추세가 발견되지 않아 중국의 경제발전이 상향 추세에 기여했음을 시사한다. 이 가설은 24년간 사망자 수에서 아무런 유의한 추세가 발견되지 않은 열대저기압 사망자 수 데이터와 일치한다(Zhang 등, 2009). 1977년 이래 인도양 남동부 해안의 태풍들로 인한 손실을 정규화 한 데이터는 아무런 증가를 보이지 않는다(Raghavan and Rajesh, 2003).

4.4.3.2. 홍수

홍수 위험의 지리적 분포는 인도, 방글라데시, 중국에 매우 집중되어 있으며 높은 인명 및 물질의 손실을 야기한다(Brouwer 등, 2007; Dash 등, 2007; Shen 등, 2008). 극한현상의 발생에 관하여, 다양한 집수지에서 다양한 홍수추세가 관측되었고 전망되었지만 더 넓은 지역적 추세의 증거는 한정적이다(3.5.2절 참고).

2005년 7월, 인도의 뭄바이에서 24시간 동안 944 mm의 강수가 내린 후에 심각한 홍수가 발생했다(Kshirsagar 등, 2006). 이 홍수로 여러 가구들은 물론 보다 풍요한 이웃지역들까지도 영향을 받았다. 인도의 여러 지역의 부실한 도시 배수시스템은 쉽게 막힐 수 있다. Ranger 등 (2011)은 뭄바이 시의 호우 위험을 분석하여, 100년 빈도 현상의 총 손실 (직접 손실과 간접 손실의 합계)이 2080년까지 현재 수준의 3배가 될 수 있으며 (7억 달러에서 23억 5백만 달러로 증가), 적응을 통해 미래의 피해를 줄일 수 있다고 보고하였다.

방글라데시 환경산림부(2005)의 최종 보고서에서 보고된 바와 같이, 방글라데시에서 홍수는 일상적이며 빈번하게 발생하는 현상이다. 방글라데시는 다음 4가지 홍수를 경험한다. 하천 주변 구릉지의 범람으로 인한 돌발 홍수(flash flood); 배수 부실로 인한 빗물 홍수(rain flood); 주요 하천의 범람원에서 발생하는 몬순 홍수(monsool flood); 폭풍 해일에 뒤이은 해안 홍수(coastal flood). 방글라데시는 평년에 하천의 유출수 및 배수의 혼잡으로 국토면적의 20~25%가 침수된다. 10년, 50년, 100년 빈도 홍수의 침수면적은 방글라데시 국토의 각각 37%, 52%, 60%를 차지한다. 1987년, 1988년, 및 1998년 홍수는 방글라데시 국토의 60% 이상을 침수시켰다. 1998년 홍수만으로도 1,100명이 사망하였고, 거의 10만 km가 침수되었고, 3,000만 명이 집을 잃었고, 기반시설이 상당히 손상되었다.

홍수의 영향은 주변환경의 변화로 인해 증가해왔다. 중국 남부의 포양(Poyang) 호에서는 많은 농촌인구를 보호하기 위한 제방 건설로 인해 지난 몇 십년 동안 홍수가 증가하였다(Shankman 등, 2006). 이 제방은 홍수 시 물을 저장할 면적을 감소시켜 여름 홍수기에 호수의 수위 상승과 이후 제방의 손상을 초래한다. 최악의 극한홍수는 엘니뇨 현상 기간에 또는 그 직후에 발생하였다(Shankman 등, 2006). Fengqing 등 (2005)은 중국 신장 자치구의 홍수 손실을 분석하여, 1987년 이래 강수 및 돌발홍수의 변화와 관련있는 손실증가의 추세를 발견하였다.

호우와 홍수는 지표수를 빠르게 오염시킬 수 있기 때문에 도시 지역 거주민의 건강에도 영향을 끼친다. 저소득 및 중소득 국가의 도시 빈곤층은 홍수 후에 콜레라, 크립토스포리디아증(cryptosporidiosis), 장티푸스 같은 전염병에 걸릴 위험이 더 높을 수 있다(Kovats and Akhtar, 2008).

4.4.3.3. 극한기온

아시아에서는 인간과 자연계에 악영향을 동반한 온난일/온난야 및 열파의 지속기간, 빈도, 강도의 증가가 관측 및 전망된다(표 3-2와 3-3). 2002년에 인도 남부의 안드라 프라데시(Andhra Pradesh)에서 열파로 622명이 사망했다고 보고되었다. 임시 거주지와 구조물에 사는 사람들은 고온에 더 취약하다(Kovats and Akhtar, 2008).

농업도 극한기온에 직접적으로 영향 받는다. 아시아의 대부분에서 주식인 쌀은 극한기온, 특히 수분기 동안 또는 직전의 극한기온에 의해 악영향을 받는다(4.3.4절).

4.4.3.4. 가뭄

아시아는 오랜 가뭄 역사를 갖고 있으며, 여타 극한 기후와도 맞물려 있다. 20세기 후반기에 공간적으로 다양한 추세가 관측되었고, 일부 지역 특히 동아시아에서는 건조가 증가하여(표 3-2) 사회경제, 농업, 환경 조건에 악영향을 끼치는 것으로 관측되었다. 가뭄은 물 부족, 흉작, 기아, 산불을 야기한다.

동남 아시아에서 엘니뇨는 비교적 건조한 상태와 연관 있다. 인도네시아에서 1830년과 1953년 사이에 발생한 가뭄의 93%는 엘니뇨가 발생한 해에 발생하였다(Quinn 등, 1978). 1973년부터 1992년까지 네 차례 발생했던 엘니뇨 발생 해에 인도네시아 자바의 주요 쌀 경작지역 2곳의 연평균 강수량은 20년 평균 강수량의 67%에 불과했고, 쌀 수확량을 약 50% 감소시켰다(Amien 등, 1996).

가뭄 동안의 극심한 물 부족은 충분하지 않은 강수; 높은 증발산; 수자원의 과잉취수(Bhuiyan 등, 2006) 등의 메커니즘 중 한 가지 이상의 복합적인 작용에서 기인한다.

아시아 쌀 경작지의 약 15% (2,300만 핵타르)는 가뭄으로 인한 수확의 손실을 빈번하게 경험한다(Widawsky and O'Toole, 1990). 이 문제는 가뭄이 자주 발생하는 농경지의

면적이 1,000만 헥타르 이상인 인도 동부에서 특히 심하다(Pandey 등, 2000). 총 강수량이 충분할 때에도 임계 기간의 물 부족은 수확량을 감소시킨다(Kumar 등, 2007). 메콩강 지역의 저지대에서는 작물들이 관개답보다는 천수답에서 경작되어 종종 가뭄에 노출되기 때문에 쌀 생산량이 일반적으로 감소한다. 캄보디아에서는 곡물 생산에 영향을 주는 극심한 가뭄이 대

부분 생장 기간 후반에 발생하며, 지속기간이 보다 긴 유전형들은 등숙기에 가뭄을 겪기가 더 쉽다(Tsubo 등, 2009).

아시아 습지들은 가뭄에 취약한 침수지역의 주민들에게 자원을 제공한다. 캄보디아에서 침수 농업에 비료 효과가 생기기 위해서는 하천을 따라 펼쳐진 넓은 지역들이 범람될 필요가 있다(Kazama 등, 2009). 이 지역에서 수방은 이 침수로 인한 이익을 고려할 필요가 있다.

4.4.3.5. 산불(wildfires)

들불(Grassland fire)로 인한 재해는 중국(특히 중국 북서부와 북동부)에서 방대한 영토와 복잡한 지세(physiognomy) 탓에 매우 중요한 문제로 인식된다(Su and Liu, 2004; Zhang 등, 2006), 과거 들불로 인한 재해 자료의 통계분석에 의하면, 중국 북동부의 12개 성에서는 1991년부터 2006년 사이에 경제개발 및 인구성장과 함께 들불로 인한 재해가 점진적으로 증가하였다(Liu 등, 2006).

열대 아시아에서는 인간이 화재를 일으키기는 해도 가뭄이 화재발생의 소인이다(Field 등, 2009). 가뭄, 산불, 논의 배수, 대규모 팜유 농장으로 인해 이탄지(peatland)가 건조화 되어 화재에 더욱 취약해진다(van der Werf 등, 2008). 이탄지 화재는 진화가 어렵다는 점과 기후에 미치는 잠재적 영향 때문에 중요한 문제로 여겨진다.

4.4.4. 중남 아메리카(Central and Sourth America)

4.4.4.1. 남아메리카의 극한강수

극한강수는 남미 일부에서 재해를 일으켜 진흙사태와 산사태로 수백 내지 수천 명의 목숨을 앗아갔는데 베네수엘라에서 1999년 12월에 발생한 사고가 그 전형적인 예이다. 그러나 이 지역의 호우 변화의 관측치(표 3-2)와 전망치(표 3-3)는 신뢰수준이 낮거나 보통이다.

4.4.4.2. 산불

남미에서 건조추세의 전망에 대한 신뢰수준은 낮거나 보통이다(표 3-3). Magrin 등 (2007)의 연구결과에 의하면,

남미의 상당한 지역에서 산불 빈도는 증가할 전망이다(기온이 3℃상승하면 산불 빈도는 60% 증가할 것이다). 멕시코 중부와 북부의 대부분에서, 반건조 식생은 건조지역 식생으로 대체될 수 있을 것이다(Villers and Trejo, 2004). 산불, 벌채, 가뭄, 기후변화의 서로 관련된 성격 때문에 이것들 중 하나 만으로는 서로 연결된 전체의 복잡성을 설명하기 어렵다.

4.4.4.3. 지역적 비용

기후 재해는 영토의 대부분이 열대 및 적도 지역에 위치하는 중미에서 자연재해의 대부분을 차지한다. 저지대에 위치한 주(state)들은 허리케인과 열대폭풍에 특히 취약하다. 20세기에 열대 대서양 분지의 가장 강력한 허리케인 중 하나인 1998년 10월 허리케인 미치(Mitch)는 온두라스에 50억 미국 달러의 직간접 피해를 유발했는데, 이 금액은 온두라스의 1998년 GDP의 95%에 해당한다(Cardemil 등, 2000). 일부 문헌에 의하면, 라틴아메리카와 카리브해의 인구 및 재산을 보정하면 허리케인 손실은 1940년대 이후로 증가하지 않았으며 (Pielke Jr. 등, 2003), 위험에 처한 인구와 자산이 증가하는 것이 영향 증가의 주원인이다.

4.4.5. 유럽(Europe)

4.4.5.1. 서론

본 절에서는 유럽의 극한 기후로 인한 취약성 및 노출을 평가하고 영향, 재해 및 위험의 관측치와 전망치를 평가한다. 유럽은 다른 대륙들보다 인구밀도는 높고 출생률은 낮다. 유럽 인구는 고령화되고 있으며, 기대수명이 높고 증가 중이며, 아동 사망률은 낮고 감소 중에 있다(Eurostat, 2010). 유럽에서 기후 및 기상 관련 위험에 대한 노출은 증가하였고, 반면에 정책, 규제, 위험 예방, 및 위험관리의 이행으로 취약성은 감소하였다.

4.4.5.2. 열파

유럽 대부분에서 여름 열파는 그 빈도와 지속기간이 증가하였고 (3.3.1절과 표 3-2), 유럽 사회의 취약분야에 영향을 끼쳐왔다. 2003년 열파 시기에는 열로 인해 수만 명이 사망하였다(사례 연구 9.2.1과 Box 4-4 참고). 도시열섬은 도시 주민들에게 추가로 위험을 가한다. 가장 영향을 많이 받는 계층은 노약자와 사회적 소외층이다(Kunst 등, 1993; Laschewski and Jendritzky, 2002; 사례 연구 9.2.1 참고). 유럽의 주요 대도시에서는 많은 인구 때문에 열 강도의 증가에 대한 우려가 커지고 있다(Wilby, 2003). 그러한 도시들의 일부에서는 열파 발생 시 건물 특징, 에어컨과 차량의 인위적 열 방출, 녹색공간의 부족으로 인해 열이 심화될 수 있다(Stedman,

2004; Wilby, 2007). 그러나 여름철 고온과 도시 열파가 점점 일반화 됨에 따라 주민들은 그런 '예상된' 기온조건에 적응할 수 있고 이후에 열파가 발생할 때 사망률을 줄일 수 있다(Fouillet 등, 2008).

4.4.5.3. 가뭄과 산불

가뭄 위험은 건조기의 빈도, 심각도, 공간 및 시간 범위, 인구와 경제활동의 취약성 및 노출의 함수이다(Lehner 등, 2006). 지중해 국가에서, 가뭄은 홍수나 지진보다 더 큰 경제피해를 유발할 수 있다(예: 스페인에서 1990년 가뭄은 600만 명에게 영향을 주고 45억 미국달러의 물질적 손실을 야기했다; CRED, 2010). 인간에게 미치는 가뭄의 가장 심각한 영향은 반건조 지역에서 발생한다. 반건조 지역에서는 이미 가용 용수량이 정상 조건보다 부족하고, 물 수요는 자연수의 가용량과 비슷하거나 이를 초과하며, 사회는 가뭄을 완화하거나 적응할 능력이 부족하다(Iglesias 등, 2009). 직접적 가뭄 영향은 모든 형태의 급수 (도시용수, 산업용수, 농업용수)에 영향을 끼친다. 가뭄 발생에 영향을 받는 그 외 부문과 시스템은 수력발전, 관광, 산림, 육상 생태

Box 4-4 | 여름의 이상 열파(유럽, 2003)

2003년 여름에 유럽대륙의 대부분을 강타했던 극심한 이상 열파는 특히 6월과 8월에 기록적인 기온을 나타내었다(Beniston, 2004; Schar 등, 2004). 여름(6월~8월) 평균기온이 장기간 평균기온보다 최고 5 표준편차만큼 상승하여 이상 극한 현상을 암시하였다(Schar and Jendritzky, 2004). 지역적 기후모델 모의실험에 의하면 2003년 열파는 A2 시나리오 상에서 21세기 후반의 여름 기온과 유사하다(Beniston, 2004).

더위가 극심해짐에 따라 전력수요도 증가하였다. 또한 가뭄 조건은 건강, 물 공급, 식품 저장, 에너지 시스템에 스트레스를 유발했다. 예를 들어 하천유량이 감소해 화력발전소 (기존의 발전소 및 원자력 발전소)의 냉각효율이 감소했고, 발전소 6곳이 완전히 가동중단 되었다(Letard 등, 2004). 많은 주요 하천(예: 포, 라인, 르와르, 다뉴브)이 기록적인 저수위를 보였고, 결국 내륙의 항해와 관개는 물론 발전소 냉각도 중단되었다(Beniston and Diaz, 2004; Zebisch 등, 2005). 프랑스에서는 전기가 부족해지고 건설 생산성이 떨어지고 모든 식품 관련 시설의 약 20~30%는 냉장시스템의 부족 현상을 겪었다(Letard 등, 2004). EU에서 농업 부문의 (비보험) 경제손실은 130억 유로로 추정되었다(Senat, 2004). 이탈리아에서는 극한 고온이 강타했던 포(Po) 계곡에서 옥수수의 수확량이 기록적으로 36% 감소하였다(Ciais 등, 2005). 고온건조 상태는 대규모의 많은 산불로 이어졌다. 알프스 산맥의 빙하 융해는 다뉴브 강과 라인 강의 유량 감소를 방지하는 역할을 하였다(Fink 등, 2004).

열파가 보건 및 보건 서비스와 관련한 분야에 미치는 영향은 극적이어서 이로 인해 무려 약 35,000명이 추가로 사망하였다(Kosatsky, 2005). 가장 많은 영향을 받은 사람들 중에는 노령자들도 있지만(WHO, 2003; Borrell 등, 2006; Kovats and Ebi, 2006), 사망은 또한 주택 및 사회적 조건, 예를 들어 사회적 소외층 또는 최고층에 거주하는 것과도 관련이 있었다(Vandentorren 등, 2006). 2003년 열파 때의 높은 사망률은 대중인식에서 고온 위험에 대한 변화점으로 작용하여 보건 기관 및 당국들의 예방대책의 수립을 증가시켰다(Koppe 등, 2004; Pascal 등, 2006).

2006년 7월 열파 때는 프랑스에서 약 2,000명이 추가로 사망하였다(Rey 등, 2007). 2006년 열파 시기의 초과사망은 Fouillet 등(2008)이 1975~2003년에 관측된 기온과 사망률 간 정량적인 관계에 기초해 예측한 사망률보다는 훨씬 낮았다. Fouillet 등 (2008)은 사망률의 감소 (~4,400명)를 사람들의 열 취약성이 감소한 것과 더불어 극한기온에 대한 위험인식 증가, 예방대책, 2003년 열파 이후에 확립된 경보시스템 덕분이라고 해석하였다.

계, 수생 생태계이다.

산불 위험(산불 발생철의 지속 기간, 빈도, 심각도)은 가뭄 발생에 달렸다. 유럽의 가뭄 변화에 대한 신뢰수준은 보통이다(표 3-2). 중유럽과 지중해에서는 건조가 증가할 것이고 북유럽에서는 큰 변화가 없을 것으로 전망된다(보통 신뢰수준) (표 3-3 참고). 지중해에서 건조 증가는 관목(shrub)의 지배를 증가시킬 수 있다(Mouillot 등, 2002). 하지만 이것이 직접적으로 산불 발생률 증가나 식생 변화를 의미하지는 않는다(Thonicke and Cramer, 2006). 산불 발생 후 복원력에 대한 분석은 산불 발생 후 관리대책을 우선순위로 적용해야 하는 '위험 핵심지역(risk hotspot)'을 식별하는 데 기여한다(Arianoutsou 등, 2011).

4.4.5.4. 연안 홍수

유럽에는 해안 근처에 하천이 많기 때문에 연안 홍수는 중요한 자연재해로 간주된다. 폭풍해일은 바람에 의한 파도와 겨울 폭풍의 결과로 발생할 수 있고(Smith 등, 2000), 반면에 장기적 과정은 지구 평균 해수면의 상승과 관련이 있다(Woodworth 등, 200S). 현재 해안 침식이나 침수 같은 악영향을 겪는 곳들은 미래에도 계속 겪을 것이다(3.5.5절 참고). 예상되는 해수면 상승은 육지 손실, 지하수 및 토양 염류화, 재산 및 기반시설 피해 등 유럽 해안지역에 영향을 줄 것으로 전망된다(Devoy, 2008). Hinkel 등 (2010)은 EU 회원국들의 연안지역에서 홍수, 염류 침투, 토양 침식, 이주로 인한 총 금전손실은 2010년까지 적응이 없으면 A2 및 B1 방출 시나리오 상에서 년간 170억 유로가 증가할 전망이라고 밝혔다.

네덜란드는 해수면 상승은 물론 해안 홍수에도 매우 취약한 국가의 한 예이며, GDP 대비 피해비용이 A2 시나리오 상에서 GDP의 최고 0.3%에 달한다(Hinkel 등, 2010). 2100년까지 적응은 홍수 피해인구를 두 자리수만큼 줄이고 총 피해비용을 7~9% 줄일 수 있다(Hinkel 등, 2010).

4.4.5.5. 강풍(Gale Wind)

폭풍은 유럽의 보험산업에 가장 중요한 기후위험 중 하나였다(Munich Re NatCatSERVICE data cited in EEA, 2008). 가장 심각한 온대성 폭풍이 불었던 1999년 12월에 3가지 현상이 유럽을 강타하였고 (12월 3일 아나톨(Anatol) – 덴마크; 12월 26일 로타르(Lothar) – 프랑스, 독일, 스위스; 12월 28일 마틴(Martin) – 프랑스, 스페인, 이탈리아), 피해금액은 120억 미국달러를 넘었다(Schwierz 등, 2010). 전형적인 경제손실은 강풍으로 인한 배전설비, 교통, 통신라인 피해; 건물의 취약 요소(예: 경량 지붕); 주택 위로 나무가 추락하는 것 등으로 발생하였다.

일부 연구자들은 유럽에서 1970년대 이후 홍수로 인한 경제손실 추세에서 기후변화의 기여도를 발견하지 못했다(Barredo, 2009). 일부 연구에서는 스웨덴과 스위스에서 산림피해가 증가했다는 증거가 발견되었다(Nilsson 등, 2004; Usbeck 등, 2010). 유럽에서 산림파괴의 증가 경향은 주로 산림관리의 변화 때문이라고 주장하는 연구도 여전히 존재한다(예: Schelhaas 등, 2003).

중위도 폭풍 경로가 극지방으로 이동하리라는 전망의 신뢰수준은 보통이지만 지역규모에서 상세한 전망의 신뢰수준은 낮다(3.4.5절 참고). Swiss Re (2009)의 연구에 의하면, 금세기 말까지 1000년 빈도급 폭풍해일이 북유럽을 30년마다 강타하면 연간 예상손실이 현재 6억 유로에서 금세기 말까지 26억 유로로 불균형하게 증가할 가능성이 있다. IPCC SRES A1B 배출 시나리오를 이용해 지구 및 지역 기후모델을 수행해 보아도 비슷한 결과가 나온다(Donat 등, 2010). 변하는 극한바람에 대한 적응은 추정 손실을 절반 가량 줄일 수 있어 (Leckebusch 등, 2007; Donat 등, 2010), 적절한 해상 방어와 잔류위험 관리를 통한 적응이 유리하다는 것을 나타낸다.

4.4.5.6. 홍수

유럽에서 가장 빈번한 자연재해는 홍수이다(EEA, 2008). 유럽에서 홍수 위험으로 인한 경제손실은 지난 몇 십년 간 상당히 증가하였고 (Lugeri 등, 2010), 인적 및 경제적 자산의 노출 증가가 아마도 경제적 재해손실의 장기적 변화의 주요 원인일 것이다(Barredo, 2009). 노출은 홍수 다발 지역의 사회경제적 발전, 도시화, 기반시설 건설에 좌우된다. 대규모 홍수의 영향은 몇 건의 개별적인 홍수 (예: 1997년에 폴란드와 체코공화국의 홍수; 2002년에 유럽 대부분에 발생한 홍수; 2007년 여름에 영국에 발생한 홍수)에 의해 발생하였다. 유럽의 대부분에서 전망되는 호우 빈도 및 강도 증가(표 3-3)은 돌발홍수 가능성을 증가시킬 수 있는데 돌발홍수는 사망 위험이 가장 높다(EEA, 2004). 신도시 개발지와 캠핑지, 여가지 같은 관광시설은 특히 취약하다(예를 들어 1996년에 스페인 피레네 산맥(Pyrenees)에서 발생한 대형 돌발홍수로 대량의 물과 토석류가 캠핑지에 유입되어 86명이 사망하였다; Benito 등, 1998). 신개발 도시와는 별개로, 배수시설이 불충분한 도로, 철로, 지하철로 같은 선형의 기반시설도 아마 홍수피해를 겪을 것이다(DEFRA, 2004; Arkell and Darch, 2006). 유출(runoff)량 증가는 과거의 기록이 증명하듯이 댐(작은 저수지와 광미댐) 손상 위험을 증가시키며 환경 및 사회경제에 큰 피해를 줄 수 있다(Rico 등, 2008).

유럽의 빙하 지역에서 빙하호 붕괴로 인한 홍수는, 비록 드물기는 하지만 잠재적으로 사회경제 및 환경에 막대한 영향을 끼칠 수 있다. 오래되지 않고 불안정하며 채 굳지 않은 빙퇴석으로 막혀 있는 빙하호와 빙하의 활성 빙체(ice body)와 접촉하는 호수의 경우 현상을 촉발시킬 잠재력을 증가시킨다(예: Huggel 등, 2004). 유럽 내 대부분의 빙하호에 대한 호수의 수위 및 댐 안정성의 집중관찰은 심각한 붕괴 참사를 방지하는 데 도움이 된다. 홍수가 발생하는 경우, 설령 위험 발생지에서 멀리 떨어진 하류에 위치하더라도 기반시설과 거주지가 큰 영향을 입을 것으로 예상된다(Haeberli 등, 2001; Huggel 등, 2004).

4.4.5.7. 산사태

일반적으로 산사태 활동 추세에 관한 정보는 부족한 편이며, 합리적으로 정립된 데이터베이스가 마련되어 있는 지역의 경우(예: 스위스), 현상의 발생수와 영향에서 유의한 추세는 발견되지 않았다(Hilker 등, 2009). 대규모 움직임에 의한 재활성화는 대개 지하수가 흐르고 하천이 침식되는 지역에서 발생한다. 남유럽에서는 가파른 사면에 재식생(revegetation)을 수행하여 응집과 사면 안정성을 강화시키고 위험완화를 개선시켜 산사태 위험을 저감한다(Corominas, 2005; Clarke and Rendell, 2006).

4.4.5.8. 눈

눈 사태는 항시 존재하는 위험으로, 인명손실, 재산피해, 교통망 붕괴의 잠재력을 동반한다. 여가와 관광의 목적으로 산악지역의 이용이 증가함에 따라 사람들의 노출이 증가하여 눈사태로 인한 사망률도 증가한다.

1983~2003년에 스위스에서의 눈사태 사망자 수는 연평균 25명 정도였다(McClung and Schaerer, 2006). 경제적인 측면에서, 눈사태에 관련된 직접적 경제손실은 적지만(Voigt 등, 2010), 관광객들의 단기적인 반응으로 인해 재해 1년 후 숙박 체류는 감소할 수 있다(Niithiger and Elsasser, 2004). 겨울철 강수 증가는 평균적인 눈 깊이 또는 적설 기간을 늘릴 수 있어 눈사태 형성에 기여할 수 있다(Schneebeli 등, 1997). 기후변화가 적설에 미치는 영향으로 적설 기간, 깊이, 강설/강우 한계선의 위도상 범위와 이동이 줄어들 수 있고 (Beniston 등, 2003), 겨울 관광이 악영향을 받을 수 있다. 눈사태 발생률 증가는 인간에게 부정적 영향을 끼칠 테지만 (인명 및 기반시설 손실), 영향 받은 지역에서는 생물다양성이 높아져 산림에 긍정적 결과가 생길 수 있다(Bebi 등, 2009).

4.4.6. 북미(North America)

4.4.6.1. 서론

북미(캐나다, 멕시코, 미국)는 상대적으로 선진국에 속하지만, 국가 내는 물론 국가 간에도 생활수준의 차이가 존재한다. 이러한 적응능력의 차이는 탈집중적이고 본질적으로 대응능력과 결합해 그 지역에서 취약성의 근간을 이룬다(Field 등, 2007). 더욱이 지역 내 인구추세는 극한현상의 영향을 받는 지역의 사람과 재산의 노출을 증가시켜 취약성을 증가시켜 왔다. 예를 들어, 미국 멕시코만 지역의 해안지역 인구는 1960년부터 2008년까지 150% 증가한 반면에 총 미국인구는 70% 증가했다(U.S. Census Bureau, 2010).

4.4.6.2. 열파

북미의 경우, 열파 빈도 및 지속기간이 증가한다는 관측치의 신뢰수준은 보

통이고(표 3-2), 전망의 신뢰수준은 높다(표 3-3).

열파는 많은 부문에 영향을 끼치는데 특히 인간의 건강, 농업, 산림, 자연생태계, 에너지 기반시설에 두드러지게 영향을 끼친다. 가장 중요한 우려 중 하나는 인간의 건강, 특히 사망률과 병에 걸리는 비율이다. 2006년에 캘리포니아에서는 극심한 열파 기간에 최소 140명이 사망하고 1,000명이 입원하였다(CDHS, 2007; Knowlton 등, 2008). 1995년에 시카고에서는 극심한 열파 기간에 700명 이상이 사망하였다. 1995년 열파 후에 시카고는 극한 더위 프로그램을 통해 일련의 대응책을 마련하였다. 1999년에 시카고는 또 한 번 극한의 열파를 겪었지만 사망자는 훨씬 적었다. 1999년 열파의 상태가 다소 덜 심각하기는 했지만 시카고의 대응책도 대중의 신뢰가 있었기에 사망률이 감소할 수 있었다(Palecki 등, 2001).

열파의 강도와 지속기간은 증가할 것으로 전망되지만 (표 3-3), 미래의 도시 구조, 적응 대책, 냉방의 접근성에 대한 불확실성 때문에 인간의 건강에 대한 열파의 순 영향은 불확실하다(Ebi and Meehl, 2007). 많은 도시들이 열감시 경보 시스템을 설치하였다. 몇몇 연구들에 의하면 미국 대도시 인구의 극한열파에 대한 민감성은 시간이 지날수록 감소해왔다(예: Davis 등, 2003; Kalkstein 등, 2011).

열파로 인한 영향은 다양하다. 열파 기간에 전기공급이 중단될 가능성도 증가한다(Wilbanks 등, 2008). 대기질(air quality)의 경우, 특히 정체성 고기압의 빈도와 강도가 증가하면 악화될 수 있다(Wang and Angell, 1999). 또한 극한 더위는 옥수수와 같은 작물의 생산량을 저감시킬 수 있고 가축에게 스트레스를 증가시킬 수 있다(Karl 등, 2009).

4.4.6.3. 가뭄과 산불

1950년부터 북미 대륙의 건조상태는 지역적 변동성은 있지만 전반적으로 약간 감소하였다(보통 신뢰수준). 북미의 일부 지역에서는 건조상태가 증가할 전망이다(보통 신뢰수준, 표 3-3).

가뭄은 현재 미국에서 가장 피해가 큰 자연재해의 범주 중 세 번째에 속한다(Carter 등, 2008). 가뭄의 영향에는 수량 및 수질 감소, 하천유량 감소, 작물생산량 감소, 생태계 이동, 산불위험 증가가 있다. 가뭄의 영향에 대한 심각도는 영향 받은 지역의 노출 및 취약성과 관련이 있다.

2003년을 제외하고 2000년부터 2010년까지 작물손실은 미국에서 가뭄으로 인한 직접손실의 거의 전부를 차지하였다(NWS, 2011). 이와 비슷하게, 가뭄은 멕시코 북부에서도 정기적으로 재발하며 농업활동에 영향을 끼쳐왔다(Endfield and Tejedo, 2006). 작물과 목초지에 대한 영향 외에도, 가뭄은 북미 남서부 전역에서 지역적 규모의 생태계 이동을 일으킨 원인으로 확인되었다(Allen and Breshears, 1998; Breshears 등, 2005; Rehfeldt 등, 2006).

또한 가뭄은 비록 정량화하기는 어렵지만 북미에서 다양한 간접적 영향을 끼친다. 가뭄은 수력발전과 원자력, 석탄, 및 천연가스 발전시설의 냉각을 위한 충분한 급수의 필요성 때문에 북미의 전기공급에도 위험을 가한다(Goldstein, 2003;Wilbanks 등, 2008). 콜로라도 강 유역과 같이 경쟁이 심한 저수 시스템에서의 물 가용성에 대한 연구들에 의하면, 기후변화는 기존 합의를 충족시킬 미국 내 주들의 능력을 저감시킬 전망이다(Christensen 등, 2004). 기후변화가 급수 신뢰성에 미치는 영향은 Barnett와 Pierce (2008, 2009)의 연구에서 자세히 고찰되었다.

또한 가뭄과 건조상태는 보다 일반적으로 북미의 산불활동 증가와 관련이 있다. Westerling 등 (2006)에 의하면, 미국 서부의 산불 활동은 20세기 후반에 상당히 증가하였고 그 증가의 원인은 기온 상승과 보다 빨라진 융해 때문이다. 이와 비슷하게, 알래스카에서 1950년부터 2003년까지 산불활동이 증가한 것은 기온상승과 관련 있었다(Karl 등, 2009). 캐나다에서 산불 증가에는 인위적 온난화가 기여한 것으로 파악되었다(Gillett 등, 2004).

캐나다에서 산불은 모든 분진 배출의 1/3을 차지하며 호흡기 및 심장 질환 발생률은 물론 사망률도 높인다(Rittmaster 등, 2006). 산불은 직접적 사망의 원인일 뿐 아니라 대기오염을 일으켜 눈 및 호흡기 질환도 증가시킨다(Ebi 등, 2008). 산불의 주요 경제적 피해는 목재 손실, 재산 파괴, 소방, 관광의 감소 등이다(Butry 등, 2001; Morton 등, 2003).

4.4.6.4. 내륙 홍수

1950년부터 북미의 많은 지역에서는 호우가 증가할 가능성이 있었고(표 3-2) 일부 지역에서는 호우가 더 증가할 것으로 전망된다(표 3-3). 홍수와 호우는 인간의 건강에 다양하고 중요한 직·간접적 영향을 끼친다(Ebi 등, 2008). 호우 현상은 미국에서 수인성 질환의 발병과 상관관계가 깊다. 수인성 질환 발병의 51%는 90퍼센타일 이상의 강수량을 나타낸 호우현상이 앞서 발생하였다(Curriero 등, 2001). 또한 호우 현상은 북미에서 한타바이러스나 전염병 같은 매개체 감염의 발병과 연관이 있었다(Engelthaler 등, 1999; Parmenter 등, 1999; Hjelle and Glass, 2000).

홍수는 재산의 직접적 파괴를 넘어 교통과 농업을 비롯한 다양한 경제 부문에 부정적 영향을 끼친다. 농업에서 호우와 농경지의 홍수는 봄 파종(spring planting)를 지연시키고, 토양의 압축을 증가시키고, 산소결핍과 뿌리병을 통해 작물의 손실을 야기한다. 강수량의 변화는 작물 손실의 주원인이다(Mendelsohn, 2007). 1993년에 호우가 미주 중서부의 대두 밭과 옥수수 밭 820만 에이커 (330만 헥타르)를 범람시켜 옥수수 수확량이 아이오와, 미네소타, 미주리 주에서는 50%, 일리노이, 인디아나, 위스콘신 주에서는 30% 감소하였다(Changnon, 1996). 더욱이 홍수 영향에는 각종 교통 기반시설의 일시적 피해 또는 영구적 붕괴가 포함된다(Zimmerman and Faris, 2010). 예를 들어 호우 현상은 미국 철도교통이 직면하는 가장 심각한 피해를 끼치는 기상조건 중 하나이다(Changnon, 2006).

4.4.6.5. 연안 폭풍과 홍수

전지구적으로 관측되고 전망된 해안 폭풍 및 홍수의 변화는 복잡하다. 평균 해수면의 추세에 관하여 1950년부터 극한 해수면이 증가할 가능성이 계속해서 존재했다. 해수면 상승 추세가 지속될 가능성이 매우 높은 가운데 (3.5.3절 참고), 현재 해안 침식 및 침수를 경험하는 곳들은 향후에도 그러한 현상을 반복적으로 겪을 것이다(신뢰수준 높음, 3.5.5절). 북미는 해안 폭풍, 특히 허리케인에 노출되어 있다.

2005년은 명명된 폭풍 27개 중에서 14개나 되는 허리케인이 대서양에서 발생하는 등 매우 극심한 해였다(NCDC, 2005). 2005년에 2,000명 이상이 사망하였고 (Karl 등, 2009) 특히 걸프 해안과 뉴올리언스에서 광범위한 피해가 발생하였다. 재산 피해는 미국달러로 1,000억 달러가 넘었다(Beven 등, 2008; Pielke Jr. 등, 2008). 허리케인 카트리나와 리타는 걸프만에서 100개 이상의 오일 및 가스 시추 플랫폼을 파괴하였고, 걸프만에서 파이프라인 558개를 손상시키고 모든 오일 및 가스 생산을 중단시켰으며, 미국 정유능력의 20%를 중단시켰다(Karl 등, 2009). 허리케인 카트리나의 직접적 총 손실은 2007년 미국달러로 약 1,380억 달러였다고 보고되었다(Spranger, 2008). 그러나 2005년은 다양한 이유로 이상년도(outlier)로 볼 수 있다. 그 해에는 평균 빈도보다 많고 평균 강도보다 강한 폭풍이 발생했고 그로 인해 미국의 가장 취약한 지역을 포함해 산사태가 더 많이 발생하였다(Nordhaus, 2010). 북미에서 허리케인에 대한 노출과 취약성을 증가시키는 주요인은 인구 증가(Pielke Jr. 등, 2008)와 특히 미국의 걸프만 및 대서양 연안의 부동산 가치 증가이다. 이 증가의 일부는 적응 및 건물규정 개선으로 상쇄되어 왔지만 Nordhaus (2010)의 주장에 의하면 국가 GDP 대비 허리케인 피해금액의 비율은 지난 반세기 동안 년간 1.5% 증가하였다. 그러나 이 수치는 시작일과 종료일의 선택에 따라 달라진다.

미래의 해수면 상승과 폭풍해일의 잠재적 증가는 연안 지역의 침수와 재산피해를 증가시킬 수 있다. Hoffman 등 (2010)은 2030년까지 현재의 해수면 상승속도가 가속되지 않으면 허리케인으로 인한 재산피해는 20% 증가할 것이라고 하였다. Frey 등 (2010)은 2080년대에 텍사스 남부에서 해수면 상승과 보다 강력한 허리케인이 폭풍해일에 끼치는 복합효과를 모의실험하였다. 그들은 평가된 시나리오에서 폭풍해일로 침수되는 면적은 6~25%에서 60~230%로 증가할 수 있다고 보고하였다. 두 연구 모두에서 적응대책은 가정되지 않았다. 전지구적으로, 열대저기압과 온대저기압의 변화에 관련된 불확실성은 폭풍이 미래의 폭풍해일에 끼치는 예상 영향에 대한 평가가 현재로서는 가능하지 않음을 의미한다(3.5.3절).

4.4.7. 오세아니아(Oceania)

오세아니아 지역은 호주, 뉴질랜드, 몇몇 군소 도서국들로 이루어져 있으며 이 국가들은 4.4.10절에서 별도로 다룬다.

4.4.7.1. 서론

극한현상은 호주와 뉴질랜드에 심각한 영향을 끼친다. 호주에서 기상 및 기후 관련 현상은 자연재해로 인한 경제손실의 약 87%를 야기한다(폭풍, 홍수, 저기압, 지진, 화재, 산사태; BTE, 2001). 뉴질랜드에서는 홍수와 가뭄이 기후재해 피해의 대부분을 일으킨다(Hennessy 등,

2007). 극한 기상으로 인한 경제피해는 증가하고 적응 문제를 일으킬 것으로 전망된다(Hennessy 등, 2007).

이 지역의 극한기온 및 극한강수의 관측치와 전망치는 3장에서 다루었다(표 3-2와 3-3). ENSO는 이 지역의 기후변동성의 강력한 동인이다(3.4.2절).

4.4.7.2. 극한기온

2004년 2월에 호주 동부에서 열파가 발생한 동안 뉴 사우스 웨일즈 서부의 기온은 48.5℃ 에 달했다. 대륙 호주의 약 2/3는 39.0℃를 넘는 최고기온을 기록했다. 열 관련 스트레스로 인해 퀸즐랜드 구급차 서비스는 호출 기록이 53% 증가하는 기록을 세웠다(Steffen 등, 2006). 2009년에 빅토리아에서 1주일 동안 계속된 열파로 빅토리아 주의 사망자 수가 급격히 증가하였다. 열파가 발생한 그 주에 총 606명의 사망이 예상되었고 총 사망자 수는 980명으로서 62% 증가하였다(DHS, 2009)

온난화로 인해 열 관련 사망자가 증가할 것으로 전망된다(Hennessy 등, 2007). 인구변화를 포함해 모든 배출 시나리오에서 호주 온대지역 도시들의 사망자 수는 현재 년간 1,115명에서 2020년에는 두 배 증가하고 2050년까지는 년간 4,300~6,300명으로 증가할 전망이다(McMichael 등, 2003b). 오클랜드(Auckland)와 크라이스트처치(Christchurch)에서 65세 이상 인구 중 열 관련 사망자가 년간 14명이 발생하지만 이 수치는 기온이 각각 1, 2, 3℃ 상승할 때 각각 2배, 3배, 6배 증가할 전망이다(McMichael 등, 2003b). 호주와 뉴질랜드의 인구노령화는 이 수치를 증폭시킬 것이다. 예를 들어, 조사된 시나리오에서 2100년까지 호주의 65세 이상 인구의 연간 사망률은 1999년에 10만 명당 82명에서 2100년에는 10만 명당 131~246명으로 증가할 것으로 전망되었다(SRES B2와 A2, 대기 중 CO_2 농도는 450 ppm에서 안정화; Woodruff 등, 2005). 호주에서 온대지역의 도시들은 열대기후의 도시들보다 열 관련 사망자가 많이 발생할 것으로 예상된다(McMichael 등, 2003b).

4.4.7.3. 가뭄

이 지역의 건조상태 변화에 대한 관측치와 전망치의 패턴은 복잡하다. 일부 지역에서는 건조상태가 증가 중이고 다른 지역에서는 건조상태가 감소하거나 변화가 없다(표 3-2와 3-3). 그러나 영향이 큰 일부 가뭄 현상이 기록되어 왔다(OCDESC, 2007).

호주에서 1982~1983년, 1991~1995년, 2002~2003년 가뭄으로 인한 피해는 미국달러로 각각 23억, 38억, 76억 달러 였다(Hennessy 등, 2007). 가뭄은 호주의 머레이 달링 유역(Murray-Darling Basin)의 물 안보에 부정적 영향을 끼쳤다. 이 유역은 호주의 관개 작물과 목초지에 필요한 물의 대부분을 충당하는 곳이다.

뉴질랜드는 경제 면에서 농업 의존도가 매우 높은 국가이며, 가뭄은 농업에 상당한 혼란을 야기할 수 있다. 1997~1998년 엘니뇨는 뉴질랜드의 많은 지역에서 심각한 가뭄상태를 초래하였고 손실규모는 뉴질랜드 달러로 7억 5천만 달러 (2006년 화폐가치 기준) 또는 GDP의 0.9%로 추정되었다(OCDESC, 2007). 2007~2009년 여름에 2년 연속 발생한 극심한 가뭄은 뉴질랜드의 많은 지역에 영향을 끼쳐 농장 순이익은 뉴질랜드 달러로 19억 달러까지 감소되었다(Butcher and Ford, 2009). 가뭄상태는 뉴질랜드의 전기생산에도 심각한 영향을 끼친다. 뉴질랜드는 전기공급의 2/3가 수력발

전에서 나오고 갈수기에는 기후변화에 부정적인 화력발전 사용이 증가한다. 뉴질랜드의 최대 도시인 오클랜드는 1990년대 초반에 상당한 물 부족을 겪었지만 와이카토(Waikato) 강으로 파이프라인을 설치한 이후로는 물공급이 보장되었다(OCDESC, 2007).

기후변화는 호주 남부에서 토지이용 변화를 야기할 수 있다. 강수량이 상당히 감소하면 CO2 증가가 이러한 효과를 부분적으로 상쇄한다 해도 건조한 한계지역에서는 경작이 불가능해질 수 있다(Luo 등, 2003).

4.4.7.4. 산불

2003년 1월에 캔버라 부근에서 발생한 산불로 인해 약 500 채의 집이 피해를 보았고 4명이 사망했으며 수백 명이 부상을 당하는 등, 호주 달러로 4억 달러의 피해가 발생했다(Lavorel and Steffen, 2004). 이 도시의 4대 저수지 중 3개는 침전물이 섞인 유출수에 몇 달간 오염되었다(Hennessy 등, 2007). 빅토리아 주에서 2009년 화재는 막대한 피해를 낳았다(Box 4-1과 사례 연구 9.2.2 참고).

호주에서의 화재위험의 증가는 화재 발생간격의 감소, 화재강도 증가, 소방설비 저감, 화재전파 속도 증가와 관련 있다(Hennessy 등, 2007). 호주 남동부에서 매우 높고 극단적인 화재위험 일수의 빈도는 2050년까지 15~70% 증가할 것으로 예상된다(Hennessy 등, 2006). 2080년대까지 매우 높고 극단적인 화재위험 일수는 뉴질랜드 동부지역인 플렌티 베이(Bay of Plenty), 웰링턴, 넬슨(Nelson)에서 10~50% 증가할 전망이고 (Pearce 등, 2005), 일부 서부 지역에서는 그보다 더 (최대 60%) 증가할 전망이다. 호주와 뉴질랜드 모두 화재 발생철의 지속시간은 길어지고 연료 감소를 위한 기회는 겨울로 이동할 것으로 예상된다(Hennessy 등, 2007).

4.4.7.5. 집중 호우(Intense Precipitation) 및 홍수

호주 남부와 뉴질랜드의 많은 부분에서 호우가 감소할 가능성이 있어왔고(표 3-2), 반면에 모델 간 일관성의 결여로 인해 전망의 신뢰수준은 일반적으로 낮거나 보통이다(표 3-3).

뉴질랜드에서 홍수는 가장 빈번하게 발생하는 위험이며 농업과 도시지역에 영향을 준다(OCDESC, 2007). 길고 폭이 좁은 뉴질랜드는 작은 하천의 집수지를 특징으로 하고, 따라서 최대에 이르는 시간과 홍수 경보시간이 짧아 대비에 어려움이 많다. 뉴질랜드의 대부분에서 호우 현상이 증가(표 3-3)하므로 토지표면의 침식 증가, 산사태 증가, 제방에 의한 보호 감소가 예상된다(Hennessy 등, 2007).

4.4.7.6. 폭풍 해일

호주 인구의 80% 이상은 해안지대에 살고, 주요 도시의 외곽에서도 최대의 인구증가가 발생한다(Harvey and Caton, 2003; ABS, 2010). 50만 개 이상의 주소가 해안에서 3 km 이내이고 해수면 위 5 m 미만인 곳에 있다(Chen and McAneney, 2006). 해수면에 가깝게 위치하기 때문에 기후변화에 따른 해수면 상승과 대형 폭풍해일로 인한 침수 위험이 증가한다(Hennessy 등, 2007). 케언스(Cairns)에서 100년 빈도의 폭풍해일이 발생할 위험은 2050년까지 2배 이상 증가할 것으로 예상된다(Mcinnes 등, 2003). 해수면 상승과 폭풍해일로 인한 해안 위험의 변화 전망 역시 뉴질랜드가 직면한 문제 중 하나이다(예: Ministry for the Environment, 2008).

4.4.8. 외해(Open Ocean)

대양은 대기에 비해 매우 큰 질량을 가진다. 이 때문에 전지구 열 수지(global heat budget)과 화학적 수지(chemical budget)에서 중요한 역할을 한다. 발생 가능한 극한영향은 (1) 해수면온도의 상승과 물리적 연쇄효과, (2) 대기의 CO2 증가로 인한 해양의 산성화, (3) 기온으로 인한 기체용해도 변화 및 (1)의 물리적 영향으로 인한 해양의 산소농도 감소에 의해 촉발될 수 있다. 위 사항들이 생물다양성과 생태계 기능에 비선형적으로 배증적인 영향을 끼치며, 각 요인은 해양시스템의 취약성을 증가시켜 극한영향을 촉발시킬 수 있다(Kaplan 등, 2010; Griffith 등, 2011). 해수면온도의 상승(Surface warming of the oceans)은 온도에 민감한 종들의 성장을 방지함으로써 그 자체로 생물다양성에 직접적으로 영향을 줄 수 있다. 해수면온도 상승의 가장 잘 알려진 생물학적 영향 중 하나는 산호의 백화현상(coral bleaching)이지만 해양의 산성화도 산호 성장률에 영향을 줄 수 있다(Bongaerts 등, 2010). 계절적 해빙 사이클(sea ice cycle)은 생물학적 서식지에 영향을 준다. 북극곰, 바다표범, 바다코끼리 같은 북극 포유류 종들은 서식지, 사냥, 먹이, 번식을 해빙에 의존한다. 해빙의 감소는 북극곰의 개체수를 줄일 수 있다(Stirling and Parkinson, 2006).

4.4.9. 극지방(Polar Region)

4.4.9.1. 서론

극지역은 관련된 수계를 포함하여 북극과 남극으로 구성된다. 북극 지역은 수목 없이 방대한 영구 동토(북유럽, 북아시아, 북미, 그린랜드를 비롯한 몇몇 섬들의 일부)로 되어 있다. 북극의 경계설정은 학문적 및 정치적 정의에 따라 다를 수 있다(ACIA, 2004). 극지역의 인구밀도는 낮고 그래서 기후변화 및 극한현상이 인간에게 미치는 영향은 전세계 여느 지역만큼 뚜렷하지 않을 수 있다. 러시아 북극의 영토는 다른 극지역보다 인구밀도가 높고 그래서 인간 활동에 영향을 끼치기 때문에 기후변화의 영향도 극지역 중에서 가장 뚜렷하다. 극한기후가 극지역의 자연 물리환경에 미치는 영향은 3.5.7절에서 고찰하였다.

4.4.9.2. 빙권 온난화(Warming Cryosphere)

극지역은 최근 몇 십년간 상당한 온난화를 겪어왔다. 온난화는 북극해 분지(Arctic Ocean Basin)와 남극 반도(Antarctic Peninsula)에서 가장 뚜렷하고 융해의 범위와 계절적 지속기간이 유의하게 감소하고 있다. 반면 남극대륙 본토의 기온은 최근 몇 십년간 온난화를 보이지 않았다(Lemke 등, 2007; Trenberth 등, 2007). 해빙은 극지역 먹이그물의 중추인 해양 유기체들에게 일차적 서식지 노릇을 한다. 해빙의 발생 시기 및 범위의 변화는 많은 고등 영양단계에게 시□공간적으로 에너지 요구량과 먹이의 가용성 간에 부조화를 야기할 수 있어 번식성공률의 감소, 개체수 감소, 분포 변화를 초래할 수 있다(Moline 등, 2008).

북극의 온난화는 식생지대의 이동으로 이어져(Sturm 등, 2001; Tape 등, 2006; Truong 등, 2006) 종의 다양성 및 분포에 광범위한 영향과 변화를 야기할 수 있다.

러시아 북부에서는 토양의 해동깊이가 지난 40년간 전반적으로 증가하였다(Sherstyukov, 2009). 얼어붙은 지면이 녹으면 많은 기존 건물, 도로, 파이프라인, 공항, 산업시설들이 불안정해진다. 1990년대에 서시베리아의 북부에서는 피해 건물의 수가 1980년대와 비교해 42개 늘어 90% 증가했다(Anisimov and Belolutskaya, 2002; Anisimov and Lavrov, 2004). 북극의 기반시설은 빙권의 변화로 인해, 특히 영구동토 및 육지로 이어진 해빙 (land-fast sea ice)의 손실로 인해 피해 위험이 증가하고 있다(SWI PA, 2011).

콜리마 강 분지(Kolyma River Basin)의 상류 부분에서 아파트 1채가 붕괴되었고, 야쿠츠크(Yakutsk)에서 영구동토의 후퇴로 300개 이상의 건물들이 심각한 피해를 입었다(Anisimov and Belolutskaya, 2002; Anisimov and Lavrov, 2004). 영구동토의 변화는 인간 거주지에서 건물의 기반을 손상시키고 중요 기반시설의 운영에 차질을 빚게한다(Anisimov 등, 2004; 사례 연구 9.2.10 참고). 북극에서 눈, 물, 얼음, 영구동토의 분포 및 계절적 발생의 차이는 교통의 선택과 자원에의 접근성을 변경시킨다. 이것은 일상생활과 상업활동 모두에 영향을 준다(SWIPA, 2011).

육지를 통과할 수 없는 상태에서는 얼어 붙은 하천이 종종 수송로로 사용된다. 온난화 상태에서는 하천이 전보다 더 늦게 얼고 더 일찍 녹는다. 그리고 겨울과 봄에 기온이 상승하면 러시아의 극동지역으로의 수송경로의 운영 지속기간이 감소한다(Mirvis, 1999).

빙하는 선박 항해를 불가능하게 한다. 북극해에서 항해는 유라시아 및 북미의 북부해안 앞바다에 얼음이 없는 기간에만 가능하다. 얼음이 적은 기간에 선박들은 수십 년간 쌓인 다년 얼음(multiyear ice)에서 멀리 떨어져 얼음 없는 경로 쪽으로 항해한다. 지역 규모에서의 온난화는 유라시아 해안을 따라 북해의 경로(Northern Sea Route)를 지나고 캐나다 및 알래스카 북부의 북서 항로(Northwest Passage)를 지나는 해상 운송에 유리한 조건을 제공한다(ACIA, 2004).

2007년 9월에 북극해 얼음지역이 극히 낮았을 때 이 북서항로가 개방되었다. 러시아에서는 이 덕분에 북극지역 항구와 멀리 북부지역의 항구들을 이용할 수 있었다(연료, 장비, 음식 및 목재의 수입과 목재, 석유 및 가스의 수출). 그러나 그린랜드, 뉴 랜드(New land), 노던 랜드(Northern Land)에서의 퇴빙(deglaciation) 때문에 빙산 개수가 증가할 수 있고 항해가 위험해질 수 있다(Roshydromet, 2005, 2008; Rignot 등, 2010, Straneo 등, 2010).

4.4.9.3. 홍수

1960년대 중반부터 1990년대 초까지 시베리아의 가장 큰 하천 3개(예니세이(Yenisei), 레나(Lena), 오브(Ob); 이 세 강의 하천 유출량(river runoff)이 북극해로 흘러드는 지구 전체 하천 유출의 약 70%를 차지한다)의 겨울 유출량이 165 km3 증가하였다(Savelieva 등, 2004).

북극 러시아의 하천은 홍수가 발생하지만 그 빈도, 단계 및 발생률은 홍수 형성조건에 따라 차이가 있다. 시베리아 하천의 홍수는 최대유량이 높은 봄철 홍수에 의해, 드문 폭우에 의해, 또는 눈과 비의 결합에 의해 발생할 수 있을 뿐 아니라 얼음쌓임(ice jam), 얼음원반(hanging dam), 복합 요인들에 의해서도 발생할 수 있다(Semyonov and Korshunov, 2006).

서부 시베리아와 극동에서는 20세기 중반부터 1980년까지 최대 하천유량(Maximum river discharge)이 감소한 것으로 나타났다(예니세이 강과 레나 강은 예외). 그러나 1980년부터는 러시아의 많은 지역에서 최대 하천유량 값이 증가하기 시작했다(Semyonov and Korshunov, 2006).

러시아 북극의 하천에서 위험한 홍수의 가장 빈번한 원인은 융설과 비였다(지난 15년 동안 모든 위험한 홍수의 85%). 얼음쌓임과 바람 조류(wind tide)에 의해 발생한 위험 홍수는 전체 위험홍수의 각각 10%와 5%를 차지한다. Pomeranets (2005)에 의하면, 21세기 초에는 재앙 수준의 바람 조류 관련 홍수와 얼음쌓임과 관련한 홍수의 확률이 증가하였다. 홍수로 인한 피해는 홍수의 정도뿐만 아니라 노출 지속기간에도 좌우된다. 평균적으로 홍수는 5~10일간 지속되지만 때로는 그보다 오래, 예를 들어 20일 이상 동안 높은 수위가 기록되기도 하였다(Semyonov and Korshunov, 2006).

4.4.9.4. 연안 침식(Coastal Erosion)

연안 침식은 북극에서 매우 중요한 문제이다. 북극의 해안선은 환경 강제력(environmental forcing)(바람, 파도, 해수면 변화, 융해 등), 지질, 영구동토, 기타 요소로 인해 매우 가변적이다(Rachold 등, 2005). 예를 들어 알래스카의 보퍼트 해(Beaufort Sea)의 60 km 구간을 따라 해안 침식된 양은 2002년과 2007년 사이에 2배가 되었다. Jones 등 (2009)은 융해 융해의 기여 요인으로 여름 해수면 온도 상승, 해수면 상승, 폭풍 강도 증가, 관련 파랑(ocean wave)의 심화를 꼽았다.

해안후퇴의 증가는 북극의 모습에 한층 더 영향을 끼쳐 담수 및 육상 야생 서식지, 지역사회 존립기반, 문화 유적지 등이 손실될 뿐 아니라 해안 마을도 악영향을 받을 것이다. 또한 석유 시추정(oil test well)도 영향 받을 수 있다(Jones 등, 2009). 연안 침식은 이누피아트(Inupiat) 주민과 러시아 연방인 사리체프(Sarichev)섬 주민들에게도 문제가 되었다(Russian Federation) (Revich, 2008).

카라 해(Kara Sea)의 해안을 따라 영구동토가 약화되면 연안 침식이 심화되어 해안선이 연간 2~4m 후퇴할 수 있다(Anisimov and Belolutskaya, 2002; Anisimov and Lavrov, 2004). 해안선 후퇴는 야말(Yamal)과 타이미르(Taymyr) 및 기타 연안 저지대의 해안인구에게 상당한 위험을 가할 수 있다.

4.4.10. 군소 도서국들

태평양, 인도양, 대서양의 군소 도서국들(Small Island States, SIS)은 기

후변화와 극한 기후에 가장 취약한 곳 중 하나로 식별되어 왔다(UNFCCC, 1992; DSD, 1994; UNISDR, 2005). 현재의 경험과 모델 전망에 비춰보면, 취약성이 높고 적응능력이 낮은 군소 도서국들에게는 상당한 미래 위험이 있다(Mimura 등, 2007). 크기가 작은 군소 도서국가들은 극한 기후에 영향 받을 때 고비례적 손실을 입을 위험이 있다(Pelling and Uitto, 2001; 사례 연구 9.2.9과 Box 3-4).

해수면이 상승하면 섬 규모가 작아질 수 있다(FitzGerald 등, 2008). 국제공항, 도로, 자본시설 등 섬 기반시설은 해안지역에 집중되는 경향이 있다(Hess 등, 2008). 해수면 상승은 침수, 침식, 기타 해안위험을 악화시키고; 중요 기반시설, 거주지 및 시설을 위협하고; 그리하여 섬 지역사회 및 국가들의 사회경제적 안녕을 손상시킨다(Hess 등, 2008).

2005년에 지역별 평균 기온은 카리브해 서부지역에서 150년 이상 동안 가장 높았다(Eakin 등, 2010). 이 극한기온은 카리브해에서 유례 없는 가장 심각한 산호 백화 현상을 야기하였다. 조사된 산호의 85% 이상이 백화 현상을 보였고 많은 곳에서 40% 이상이 죽었다. 그런 대규모 사멸로부터 산호 회복은 산호초의 건강이 손상된 정도, 그 후에 산호가 받은 스트레스의 빈도 및 심각도에 의해 영향 받는다.

태평양 도서 지역의 재해 모니터링 및 보고의 품질이 개선된 1950년대 초 이후로, 연간 재해 보고건수는 일반적으로 증가 추세이다(Hay and Mimura, 2010).

태평양 도서 국가 및 영토(Pacific Island Countries and Territories, PICs)는 일반화 하기 어려운, 다양한 특징을 보인다(표 4-2 참고; Campbell, 2006). PIC의 한 형태인 대형 판경계 섬(inter-plate boundary island)들은 섭입(subduction)에 의해 형성되는데 태평양 남서부에서 발견된다. 이는 지구 맨틀의 '열점(hot spot)'에서 형성되어 화산 섬(volcanic high islands)이 되었거나 되는 중인 해양 (또는 구조판 내) 섬과 유사할 수 있다. 이러한 섬 중 일부는 여전히 형성 중이고, 일부는 가파른 사면 및 보초(barrier reef)와 함께 심하게 침식되고 있다. 또 다른 형태의 PIC는 융기된 석회섬(동시대 해수면 위로 좌초된 예전 산호환상대)을 통해 예전 화산섬이 가라앉으며 산호가 축적되어 이루어진 산호환상대(atoll)들이다. 각각의 섬 유형은 재해위험 저감에 관하여 저마다 특징이 있다. 산호환상대는 특히 열대저기압에 취약하여 폭풍해일에 완전히 침수될 수 있으며 사람들이 탈출할 수 있는 높은 지대가 없다. 이와는 달리 판경계 섬들은 큰 수계와 비옥한 범람원 및 삼각주가 특징이며 두 곳 모두 인구가 심하게 증가하는 경향이 있다. 이 지역에서 최악의 기상 및 기후 관련 재해의 사망률은 대부분 하천 홍수에서 발생하였다(AusAID, 2005). 융기된 산호환상대들은 종종 열대저기압의 폭풍해일 영향으로부터 제외되곤 하지만 2004년에 니우에(Niue) 섬을 강타했던 열대저기압 헤타(Cyclone Heta)의 기간 동안 해안 절벽이 섬을 보호하지 못했다.

가뭄은 SIS에서 상당히 중요한 위험요소이다. 특히 산호환상대(atoll)는 담수 렌즈에 의존하는 매우 한정된 수자원을 보유하고 있다(Kundzewicz 등, 2007). 담수 렌즈는 해수면 상승에 따라 두께가 감소하고, 투수성 산호에서 해수면 위에 부유하고, 대류성 강수에 의해 보충된다. 가뭄 동안 SIS에서(특히 산호환상대에서) 종종 긴급한 물 부족 사태가 발생하여 배급이 실시되기도 한다(Campbell, 2006).

섬 유형	극한위험 노출
판경계 섬(Plate-Boundary Islands) ● 넓은 육지면적 (Large land area) ● 높은 해발고도(High elevations) ● 높은 생물다양성(High biodiversity) ● 잘 개발된 토양(Well-developed soils) ● 하천 범람원(River flood plains) ● 산악 강수(Orographic rainfall)	이러한 섬들은 태평양 서부에 위치한다. 다른 섬 유형에 비해 하천의 홍수가 문제가 될 가능성이 높다. 파푸아 뉴 기니에서는 높은 해발고도 때문에 일부 지역들이 서리에 노출된다(엘니뇨 때 극한). 대부분의 주요 거주지는 해안에 있고 폭풍피해에 노출된다.
판간 (대양) 섬(Intra-Plate(Oceanic) Islands) ● 가파른 사면 ● 서로 다른 침식 단계 ● 보초(Barrier reefs) ● 비교적 작은 육지면적 ● 덜 개발된 수계 ● 산악 강수(Orographic rainfall)	이러한 섬들은 크기 때문에 열대저기압에 다수 노출되고 해안지역과 집수지에서 가장 큰 피해가 발생한다. 하천은 돌발홍수를 맞기 쉽다. 대부분의 섬들은 가뭄에 노출된다. 보초는 폭풍해일과 쓰나미를 개선할 수 있다.
산호환상대(Atolls) ● 매우 협소한 육지면적 ● 매우 낮은 해발고도 ● 토양이 거의 없거나 전무함 ● 작은 섬들이 석호(lagoon)를 에워쌈 ● 바람을 받는 쪽의 파식대(Shore platform) ● 바람 받는 쪽에 보다 큰 섬들이 포진 ● 지표수 (담수) 없음 ● 가이벤 헤르쯔베르크(Ghyben Herzberg) (담수) 렌즈 ● 대류성 강수(Convectional rainfall)	이러한 섬들은 폭풍해일, 대규모의 조류('king' tide), 높은 파도에 노출된다. 또한 담수부족과 가뭄에도 노출된다. 담수 한계는 건강 문제로 이어질 수 있다.
융기된 석회섬 ● 가파른 외곽 경사지 ● 오목한 내부 분지 ● 날카로운 카르스트 지형 ● 좁은 해안 평원 ● 지표수 없음 ● 토양이 거의 없거나 전무함	높이에 따라 이러한 섬들은 저기압과 폭풍 때 폭풍해일과 파도 피해에 노출될 수 있다. 또한 담수부족과 가뭄에도 노출된다. 담수 문제는 건강 문제로 이어질 수 있다.

표 4-2 | 태평양 섬들의 유형과 극한 기후에 대한 노출. 자료 출처: Campbell, 2006에서 각색

PIC에서 극한 기후의 주영향은 열대저기압 기간 동안에 구조물, 기반시설, 작물에 미치는 피해와 가뭄 동안에 발생하는 작물 피해와 급수 부족이다. 산호환상대에서 담수 렌즈와 거주 지역의 염류화는 폭풍해일, 높은 파도 및 대규모의 조류를 뒤따르는 심각한 문제이다(Campbell, 2006).

4.5. 극한 기후 및 재해의 비용

다음 절에서는 극한 기후와 재해가 인간, 사회, 생태계에 유발하는 경제비용과 그 영향에 대한 적응비용에 초점을 맞춘다. 비용 추정은 경제적 손실, 극한현상의 미래 추세, 핵심 지역의 재해, 적응비용을 비롯한 경제영향 관측치와 전망치로 구성되어 있다. 이 절은 1장과 2장의 개념, 그리고 3장과 4장 전반부 소절들의 과학적 토대를 사용해 장과 장을 잇는 역할을 하고 이후 5장부터 9장까지 안내한다.

4.5.1. 극한현상 및 재해의 비용 조명

극한 기후 및 재해에 관련된 경제비용은 영향 또는 피해 비용(또는 간단히 손실)과 적응비용으로 나눌 수 있다. 비용은 극한 기후 또는 재해의 경제적, 사회적, 환경적 영향과 주요 부문에서 그러한 영향에 대한 적응으로 인해 발생한다. 잔류피해비용은 모든 바람직하고 실용적인 적응조치가 이행되고 난 후의 영향 및 피해 비용이다. 개념상으로 적응비용을 적응 전 피해비용과 잔류 피해비용과 비교하면 적응의 경제적 효율을 평가하는 데 도움이 될 수 있다(Parry 등, 2009).

극한 기후 및 재해가 경제, 사회, 생태계에 미치는 영향은 피해비용과 경제적 자산 또는 주식의 손실뿐 아니라 추후에 GDP나 소비 같은 경제흐름에 미치는 간접 영향으로도 측정할 수 있다. 1장과 2장의 일반적인 정의들에 비추어, 경제적 재해위험은 잠재적 경제피해 비용과 관련 재현기간을 암시하는 확률분포라고 정의할 수 있다. 직접, 간접, 무형의 비용 범주는 완전히 배타적이지 않으며, 항목이나 활동은 모든 범주에서 요소를 가질 수 있다.

직접적 피해비용 또는 손실은 종종 기상 또는 기후 현상 (예: 홍수, 폭풍, 가뭄)의 직접적 결과인 피해비용 또는 손실이라고 정의된다. 이것들은 극한 기후 및 재해의 물리적 영향, 즉 직접적으로 영향 받은 사람들의 생명과 건강에 대한 영향; 개인소유 주택과 농업, 상업 및 산업 주식 및 시설 등 각종 유형 자산에 대한 영향; 기반시설에 대한 영향 (예: 도로, 교량, 항구, 보급로, 급수 공급관, 통신 등); 공공시설에 대한 영향 (예: 병원, 학교); 자연자원에 대한 영향의 비용 산출을 말한다(ECLAC, 2003; World Bank, 2010).

간접영향 비용은 일반적으로 재해 때문에 발생한 물품 및 서비스 흐름의 중단(및 그로 인한 경제 활동의 중단)으로 인해 발생하며, 때로는 손실이 전형적으로 기후 현상의 직접적 영향에서 오기 때문에 후차적 또는 2차적 영향이라고도 부른다(ECLAC, 2003; World Bank, 2010). 간접적 피해는 생계의 물리적 기반시설 또는 원천에 미친 직접적 영향에 의해 발생할 수 있고 또는 생산보다 재건에 더 많은 자원을 투입하기 때문에 발생할 수 있다. 간접 피해에는 대안을 사용할 필요성에서 발생하는 추가 비용과 정상적인 물품 및 서비스를 생산 또는 분배하는 잠재적으로 열등한 수단도 포함된다(Cavallo and Noy, 2010). 예를 들어, 직접적 영향인 바람에 의해 송전라인이 파괴될 수 있고 그러면 고용은 중단되어 많은 사람들이 실직하고, 그 밖에도 간접영향으로 분류될 수 있는 여러 문제들이 생길 수 있다. 이런 영향들은 영향 받은 곳뿐 아니라 직접적으로 영향 받은 곳의 외부에서도 추후에 발생할 수 있다(Pelling 등, 2002; ECLAC, 2003; Cavallo and Noy, 2010). 간접 영향에는 부정적 요인과 긍정적 요인, 예를 들어 교통의 중단, 재해충격으로 인한 정신병 또는 사별, 재활, 건강비용, 재건 및 재해방지 투자 등이 포함된다. 이 투자는 재해 지역의 고용 변화 (재건 및 기타 복구 활동으로 인한), 또는 재해 지역의 외부에서 생산된 물품의 추가 수요를 포함할 수 있다(ECLAC, 2003; World Bank, 2010). 또 다른 예로서, 오랜 가뭄은 지역 경제 쇠퇴, 외지로의 이주, 기근, 관개지역의 부분적 붕괴, 또는 수력전기나 천수답에 의존하는 생계의 손실 같은 간접 손실을 유발할 수 있다. 중요한 점은 비공식 또는 문서화되지 않은 경제에 대한 영향이 일부 지역 및 부문에서 매우 중요할 수 있지만 일반적으로는 추정 손실 보고에 포함되지 않는다는 점이다.

영향 중에는 인명, 문화유적, 생태계 서비스의 손실 등 측정하기 어려운 유형이 다수 존재한다. 이는 대체로 금전적 가치가 추정되지 않거나, 매입/매각이 되지 않기 때문에 손실 추정에서 부실하게 반영되기 때문이다. 이런 항목들은 거래 가능한 자산, 구조물, 기반시설과 같은 유형 영향과 구분해 종종 무형의 영향이라고 칭한다(Handmer 등, 2002; Pelling 등, 2002; Benson and Clay, 2003; ECLA(, 2003; Cavallo and Noy, 2010; World Bank, 2010).

적응비용은 기획(예: 핵심 이해관계자를 비롯해 적절한 과정을 개발), 실제 적응(예: 위험 예방, 대비, 위험 자금조달), 반응적 적응 (예: 비상 재해 반응, 재활, 재건), 최종적으로 적응대책 이행 (전이비용 포함) 측면에서 적응과 촉진에 관련된 비용이다(Smit 등, 2001; 용어집 참고). 일반적으로 적응의 이익은 모면된 영향 및 피해의 가치뿐 아니라 적응대책 이행으로 생긴 공동이익으로 평가할 수 있다(Smit 등, 2001). 모면 가능한 모든 피해의 가치는 채택 가능하지만 경제적으로 효율적이지 않을 수 있는 적응 및 위험관리의 총 이익(또는 이론적으로 최대 이익)이라고 볼 수 있다(Pearce 등, 1996; Tol, 2001; Parry 등, 2009). 적응 적자(adaptation deficit)는 기후변화 적응의 현재 수준과 최적 수준의 차이라고 간주한다(Burton and May, 2004). 그러나 기후 시나리오, 기후 현상에 대한 노출 및 취약성의 미래 패턴, 및 방법론적 문제(예: 할인율)에 대한 논쟁에 내재하는 불확실성으로 인해 최적 적응수준을 평가하기는 어렵다. 또한 사회적 가치와 기술이 변함에 따라 모면 가능하다고 간주되던 것들도 변하여 미래 전망에 추가적인 불확실성을 더하기도 한다.

4.5.2 극한현상, 영향 및 개발

지난 몇 십년 간 수많은 연구자들은 기후 현상으로 촉발되는 재해를 포함해 사회경제 발전과 재해 간의 관계를 통계기법과 수치모델을 사용해 탐구해왔다. 자연재해는 경제발전의 속도와 성격에 악영향을 미친다는 주장이 있다(Benson and Clay, 1998, 2003; Kellenberg and Mobarak, 2008). (재해로 생긴 '빈곤의 덫(poverty trap)'은 8장에서 고찰한다.) 자연재해가 거시경제와 발전에 끼치는 중요한 악영향을 규명하는 연구들이 점점 증가하는 추세이다(Cuny, 1983; Otero and Marti, 1995; Benson and Clay, 1998, 2000, 2003, 2004; Charveriat, 2000; Crowards, 2000; ECLAC, 2003; Mechler, 2004; Raddatz, 2009; Noy, 2009; Okuyama and Sahin, 2009; Cavallo and Noy, 2010). 하지만 경제에 대한 자연재해의 악영향에 대한 신뢰수준은 보통에 불과하다. 그래도 단기 (현상 후 3년까지) 경제성장에 대한 재해의 부정적 영향을 규명하는 연구들이 많고 긍정적 영향을 규명한 연구들도 있다(Albala-Bertrand, 1993; Skidmore and Toya, 2002; Caselli and Malhotra, 2004; 4.2절 참고). 차이는 일부 연구에 짜임새 있는 조건법적 서술(counterfactual)이 없다는 점 (예: 재해가 발생하지 않았다면 GDP는 어떠했을까?); 비공식 부문들을 설명하지 못한다는 점; 보험 및 지원 흐름을 설명하는 다양한 방식; 지진 대 홍수로 인한 영향의 상이한 패턴; 국가 회계는 자산 파괴는 기록하지 않지만 구제 및 재건은 GDP의 부가물로 보고한다는 점 등으로 부분적으로 설명될 수 있다(World Bank and UN, 2010). 발전을 지연시킨다고 밝혀진 매우 심각한 재해를 제외하고 장기적 경제성장 측면에서 (현상 후 3년 이후) 혼합적인 의견들이 존재한다(World Bank and UN, 2010).

발전과 재해 취약성의 관계 측면에서, 연구자들은 더 빈곤한 개발도상국과 더 작은 경제일수록 특히 극한영향에 관하여 선진국들보다 미래 재해를 더 많이 겪을 가능성이 더 크다고 주장한다(Hallegatte 등, 2007; Heger 등, 2008; Hallegatte and Dumas, 2009; Loayza 등, 2009; Raddatz, 2009). 일반적으로, 발전과 재해 영향 간의 관측된 결과 또는 모델링 결과에 의하면, 더 부유한 국가일수록 영향의 위험을 줄이고 영향 발생 시 영향을 관리함으로써 극한현상의 결과를 관리할 채비가 더 잘 되어 있다. 이것은 (특히) 더 높은 소득수준, 더욱 폭넓은 관리능력, 더 높은 수준의 전문성, 축적된 기후대비 투자, 개선된 보험체계가 공간과 시간에서 비용을 이전하는 작용을 할 수 있기 때문이다(Wildavsky, 1988; Albala-Bertrand, 1993; Burton 등, 1993; Tol and Leek, 1999; Mechler, 2004; Rasmussen, 2004; Brooks 등, 2005; Kahn, 2005; Toya and Skidmore, 2007; Raschky, 2008; Noy, 2009). 소득이 가장 높은 국가들이 재해로 인한 총 경제적 손실 및 보험에 가입된 손실의 대부분을 차지하지만(Swiss, 2010), 사망률과 영향에 투입되는 GDP의 비중은 개발도상국에서 더 높다. 결과적으로 이것은 개발도상국 정부와 국민들에게 더 큰 부담을 준다. 예를 들어, 1970년부터 2008년까지 자연재해 사망자의 95%는 개발도상국에서 발생하였다(Cavallo and Noy, 2010; CRED, 2010). 1975년부터 2007년까지, 경제협력개발기구(OECD) 국가들은 열대저기압으로 인한 세계의 총 경제손실의 71.2%를 차지하였지만, GDP의 추정 연간손실은 0.13%에 불과했다(UNISDR, 2009).

선진국과 비교해 개발도상국이 경제 면에서 극한 기후에 더 취약한 이유로 다음을 꼽을 수 있다. (i) 개발도상국은 자연적인 자본과 기후에 민감한 활동에 더 많이 의존하는, 덜 탄력적인 경제를 갖고 있다(cropping, fishing 등, Parry 등, 2007); (ii) 개발도상국은 현재 직면한 기후 변동성과 물리적 위험을 다룰 준비 상태가 부실하다(World Bank, 2000); (iii) 위험관리의 자금조달, 정보 및 기법의 부재로 인한 부적응과 부실한 관리 체계로 인해 더 많은 피해가 발생한다; (iv) 인구와 자산주(asset stock)가 빠르게 증가하는 지역 (예: 해안지역)에 대한 기후대비 투자가 그다지 고려되지 않는다(IPCC, 2001; Nicholls 등, 2008); (v) 경제발전 수준이 낮고 (World Bank, 2007) 보험과 회계 메커니즘을 통한 비용전이 능력이 없어 적응이 부족하다; vi) 비공식 부문들이 방대하다. 그러나 미국 뉴올리언스의 허리케인 카트리나 같은 일부 경우에서는 선진국들도 사회적 취약성과 불충분한 재해보호 때문에 심각한 재해를 입는다(Birch and Wachter, 2006; Cutter and Finch, 2008).

일부 문헌에 의하면 소득과 일부 자연재해 결과 사이의 관계는 비선형적이지만 (Kellenberg and Mobarak, 2008; Patt 등, 2010), 많은 경험적 증거들에 의하면 GDP의 분배율과 사망률 사이에는 마이너스 관계가 있고 수문기상학적인 극한현상으로 인한 사망률은 소득수준이 증가할수록 떨어진다(Kahn, 2005; Toya and Skidmore, 2007; World Bank and UN, 2010). 중국, 인도, 태국 같은 일부 신흥 개발도상국은 특히 매우 도시화된 지역에서는 급속한 도시화와 경제성장으로 인해 미래에 극한현상에 대한 노출이 증가할 것으로 전망된다(Bouwer 등, 2007; Nicholls 등, 2008).

작은 국가에서 재해는 국가의 상당한 부분에 직접적으로 영향을 끼칠 수 있고 따라서 손실 규모와 복구 수요가 GDP와 공공 재정자원에 비해 상대적으로 극히 높을 수 있다(Mechler, 2004). 단기간에 재해들이 여러 개 또는 연달아 발생하는 경우에 특히 그렇다. 예를 들어, 피지에서는 연달은 자연재해로 국가 GDP가 감소했을 뿐 아니라 인간개발지수(Human Development Index, HDI) 상에서 사회경제 발전도 낮아졌다(Lal, 2010).

멕시코에서는 자연재해로 HDI가 약 2년 퇴보하였고 빈곤 수준은 증가하였다(Rodriguez-Oreggia 등, 2010). Patt 등(2010)은 후발 개발도상국(least-developed countries)의 취약성이 가장 빨리 상승할 것임을 보여주었는데 이것은 국제지원이 긴급히 필요함을 나타내고 있다.
비용과 영향은 개발도상국과 선진국 사이에서만 차이 나는 것이 아니라 취약성과 복원력의 이질성으로 인해 국가들 사이에서도 그리고 국가, 지역, 지방, 부문 및 시스템 내에서도, 개인들 간에도 차이가 난다(2장 참고). 일부 개인, 부문, 시스템은 덜 영향 받거나 오히려 이익을 볼 수도 있고 반면에 다른 개인, 부문, 시스템은 동일 현상에서 상당한 손실을 겪을 수 있다. 가장 가난한 사람들과 사회적 또는 경제적으로 소외된 사람들이 일반적으로 노출과 취약성 측면에서 가장 위험할 것이다(Wisner 등, 2004). 예를 들어 많은 국가에서 여성과 아동이 재해에 더 취약하며 큰 재해일수록 불공평한 영향을 끼친다고 밝혀졌다(Neumayer and Plumper, 2007).

4.5.3. 극한현상 및 재해의 영향비용과 적응비용 평가방법

4.5.3.1. 영향의 비용추정을 위한 방법과 도구

유형의 직접적인 영향은 비교적 측정하기 쉽지만 비용 산출 접근법이 반드시 표준화되어 있는 것은 아니며 평가도 종종 불완전하다. 따라서 문헌들을 취합하여 비교하기가 어려운 실정이다. 일부 국가들, 예를 들어 영국과 미국 일부에서는 홍수영향에 대한 평가가 오래전 부터 표준화 되어 있다(예: Handmer 등, 2002). 무형의 손실은 일반적으로 가치평가 기법(valuation technique)을 사용해서, 이를테면 인명손실/병에 걸리는 비율(보통은 통계적인 수명의 기준값을 사용해서 추정한다), 대체 가치(replacement value), 이익 전이(benefits transfer), 조건부 가치평가(contingent evaluation), 이동 비용(travel cost), 헤도닉 가격 방법(hedonic pricing methods) 등과 같은 기법을 사용해서 추정할 수 있다(이 주제에 관한 문헌은 방대하다; Handmer 등, 2002; Carson 등, 2003; Pagiola 등, 2004; Ready and Navrud, 2006; TEEB, 2009). 하지만 사회, 문화, 환경 분야에서 극한현상과 재해의 무형의 영향을 평가하기는 더 어려우며, 방법에 관한 이견도 매우 분분하다(Albala-Bertrand, 1993; Tol, 1995; Hall 등, 2003; Huigen and Jens, 2006; Schmidt 등, 2009).

극한현상의 경제적 영향에 관한 연구와 보고서들, 이를테면 보험 또는 재해 후 보고서 같은 것들은 생산된 자본 및 경제활동에 대한 영향 같은 직접적인 유형의 손실에 대부분 초점을 맞춘다. 인명손실과 자연환경 영향 같은 무형의 영향은 일반적으로 화폐 척도를 사용해서 고려하지 않는다(Parry 등, 2009). 미래 변화를 비롯해 자연재해로 인한 인명손실을 고려한 연구도 일부 존재한다(예: BTE, 2001; Jonkman, 2007; Jonkman 등, 2008; Maaskant 등, 2009). 유형 및 무형의 영향을 고려한 영향 추정치는 유형의 영향만 고려한 것보다 훨씬 클 것으로 예상된다(Handmer 등, 2002; Parry 등, 2009). 잠재 영향에는 공공 물품과 자연자본 (특히 생태계 서비스)의 손실뿐 아니라 재해의 장기적 경제영향도 포함하는 모든 직접, 간접 및 무형의 비용이 포함된다. 간접 영향과 무형 영향은 직접 영향을 능가할 수 있다. 따라서 직접 영향만을 고려한 연구들의 추정치와 잠재 영향 사이에는 큰 차이가 있을 것이다.

간접적 경제손실 평가방법은 존재하지만 불확실하고 방법에 의존적인 결과를 내놓는다. 국가, 지역 및 전지구 수준의 그런 평가는 다음 두 범주로 나뉜다. 즉, 연구 중인 전반적인 경제의 모델을 사용하는 '하향식' 접근법과, 경제의 특정 부분의 변화를 식별하고 가치평가를 하는 상향식 또는 부분균형(partial equilibrium) 접근법(van der Veen, 2004)의 두 가지 범주가 존재한다.

하향식 접근법은 해당 경제를 상호작용하는 경제 부문들의 총체로서 설명하는 거시경제에 기초한다. 대부분의 연구는 과거의 실제 사건을 리모델링하는 영향평가에 초점을 맞춰 왔고, 재해의 다양하고 감춰진 후속영향을 추정하는 것을 목표로 한다(예: Elison 등, 1984; Yezer and Rubin, 1987; Guimaraes 등, 1993; West and Lenze, 1994; Brookshire 등, 1997; Hallegatte 등, 2007; Rose 2007). 기존 거시경제식 또는 하향식 접근법은 입출력(Input-Output), 사회 회계 행렬 승수 (Social Accounting Matrix multiplier), 계산 가능한 일반 균형 모델 (Computable General Equilibrium models), 경제성장 프레임워크(economic growth frameworks), 연립방정식 거시경제 모델(simultaneous-equation econometric models) 같은 다양한 모델을 이용한다. 이런 모델들은 경제 전체에서 감지되는 극한현상의 영향을 포착하려 한다. 오직 극소수의 모델들만이 확률적(stochastic) 접근법으로 현상의 잠재 영향과 그 확률을 평가하기 위해 위험에 기반한 기틀 안에서 극한현상을 표현하는 것을 목표로 해왔는데, 극한현상은 비정규적으로 분포하며 분포의 꼬리가 중요하다는 점을 고려하면 이것은 바람직한 방식이다(Freeman 등, 2002; Mechler, 2004; Hallegatte and Ghil, 2007; Hallegatte, 2008).

거시경제에서 파생된 상향식 접근법은 지역 또는 지방 수준의 부문들에서 나온 자료를 일정비율로 확대(scale up)하여 재해비용 및 영향에 대한 평가를 취합한다(van der Veen, 2004). 재해영향 평가에 대한 상향식 접근법은 실제 또는 잠재 재해가 소비자들의 지불 의향 (또는 수용 의향)에 끼치는 영향을 평가하려 한다. 이 접근법은 재산의 직접적 손실 또는 피해뿐 아니라 경제 중단의 손실 또는 피해, 건강과 안녕에 대한 영향, 환경시설 및 생 계 서비스에 대한 영향을 값어치로서 평가한다. 요컨대 이 접근법은 재해가 사회에 미치는 영향의 가치를 평가하려 한다.

종합적으로, 재해의 많은 영향을 평가하는 데는 문제가 많으며, 과대평가(예: 이중 산정) 또는 과소평가 (인명손실이나 환경피해의 가치를 평가하기는 어렵기 때문에) 되기 쉽다. 과대평가와 과소평가는 동일 영향평가의 서로 다른 부분에서 문제가 될 수 있다. 예를 들어 생태계 영향과 생명에 대한 영향의 품질은 무시될 수 있고 반면에 간접영향 측정에서는 이중 산정이 발생한다. 이 절의 앞부분에서 고찰하였듯이 대부분의 대규모 추정은 중요한 비용 분야들을 배제하기 때문에 과소평가 된다. 편향(bias)도 추정치의 정확도에 영향을 준다. 예를 들어 원조(aid)에 대한 전망은 손실을 부풀리기 위해 인센티브가 만들어 질 수 있다. 재해영향의 평가 방식은 평가되는 영향의 유형, 평가의 목적, 고려되는 시간 및 공간 범위, 그리고 중요한 것으로서, 이용 가능한 정보, 전문지식 및 자료 등과 같은 수많은 요인에 좌우된다. 실제로 재해 후 영향평가의 거의 대부분은 실제적으로 사용가능한 모든 자료와 전문지식을 사용하여 이루어진다. 많은 연구들은 재해의 상향식 영향과 경제 전반의 영향을 둘 다 포착하려 시도하는 '통합 평가'에서 부분적 균형분석과 일반 균형분석을 둘 다 이용한다(Ciscar, 2009; World Bank, 2010).

4.5.3.2. 적응비용 평가를 위한 방법과 도구

지난 몇 십년 간, 서로 다른 척도, 기간, 및 가정을 사용하는 매우 다양한 방법들이 개발되었고, 이는 적응 비용 및 이득의 평가에 적용되었다. 그러나 상당 수의 문헌은 여전히 해수면 상승과 농업에의 영향 같은 점진적인 변화에 초점을 맞추고 있다(IPCC, 2007). 극한현상은 과거 영향의 평균에 기초하고 점진적인 기온상승을 조건으로 하는 부가 피해(add-on damage) 함수를 사용하는 임시적인 방법으로 표현된다(Nordhaus and Boyer(2000)의 견해를 참고). 기존 문헌들의 검토에서 Markandya와 Watkiss (2009)는 다음 유형들의 분석을 규명하였다: 투자 및 재정적 흐름; 영향 평가 (시나리오에 기반한 평가); 취약성 평가; 적응평가; 위험관리 평가; 경제 통합평가 모델; 다기준 분석; 계산 가능한 일반 균형 모델; 비용편익 분석; 비용효과 분석; 유가증권(portfolio)/실물(real) 옵션 분석.

본 절의 초점인 전지구 및 지역 적응비용 평가는 본질적으로 다음 두 접근법을 사용해왔다. (1) 순수 재정비용, 즉 특정 적응개입에 필요한 경비 (일명 '투자 및 재정 흐름 분석')를 결정; (2) 종종 통합평가모델(Integrated Assessment Model, IAM)을 사용해서, 보다 폭넓은 종합 비용과 사회 이득을 추정하고 그것을 이주와 비교하여 경제적 비용을 결정. IAM 접근법은 장기간에 걸친 비용 (및 편익)을 더 폭넓게 추정하지만 연구 중인 경제의 상세한 모델이 필요하다(UNFCCC, 2007). 적응비용을 측정하는 방법 하나는 먼저 기후변화 없이 기준 발전경로 (한 국가 또는 모든 국가에 대하여)를 정하고, 그 다음에 기후변화의 영향을 고려하기 위해 기준을 바꿔가는 식이다(World Bank, 2010). 그러면 다양한 적응전략이 발전 또는 성장에 미치는 잠재적 효과를 조사할 수 있다. 적응비용 추정치는 기준 시나리오와 적응대책의 효과에 대한 다양한 가정에 기초한다. 그 가정들이 서로 다르기 때문에 결과를 비교 또는 취합하기가 매우 어렵다(Yohe 등, 1995, 1996; West 등, 2001).

방법론상의 문제를 보여주는 한 예는 적응행동에 대한 다양한 가정을 사용하여 추정을 해온 농업 분야이다(Schneider 등, 2000). 이러한 행동에 대한 관련 가정은 관측된 기후 조건의 변화에 대응하지 않는 농부부터(특히 기상변동성에 대한 작물수확량 민감도를 사용하는 연구들에서) (Deschenes and Greenstone, 2007; Lobell 등, 2008; Schlenker and Lobell, 2010) 선정된 적응대책을 작물수확량 모델에 도입하는 것까지 (Rosenzweig and Parry, 1994), 또는 '완벽한' 적응이라는 가정까지, 즉 농부들은 완전하고 완벽한 지식을 가졌고 그 지식을 결과와 이론적 예측이 정확히 일치하도록 보장하는 방식으로 사용한다는 가정까지(Kurukulasuriya and Mendelsohn, 2008a,b; Seo and Mendelsohn, 2008) 다양하다. 현실적인 평가는 이 양쪽 극단 사이에 위치하며, 미래 적응패턴에 대한 현실적인 표현은 기후변화 시그널 발생 시기의 정확한 탐지 (Schneider 등, 2000; Hallegatte,

2009); 신기술 채택에서의 타성(inertia) (Reilly and Schimmelpfennig, 2000); 가격신호 존재 (Fankhauser 등, 1999); 및 농부들의 타당한 행동에 대한 평가에 달렸다.

비용편익 분석(Cost–Benefit Analysis, CBA)은 발전 개입의 경제적 효율을 구하는 데 사용되는 확립된 도구이다. 비용편익 분석은 그러한 프로젝트를 수행하는 비용을 그것의 이익과 비교하여 순 이익 또는 경제적 효율을 구한다(Benson and Twigg, 2004). 이상적으로 비용편익 분석은 개별 사업에 대한 재정적 영향만이 아니라 환경 영향을 비롯한 사회의 모든 비용과 편익을 고려한다. 모든 비용과 편익을 화폐가치로 환산하므로 상쇄효과를 공통척도와 비교할 수 있다. 무형의 항목과 가치를 평가하기 어려운 기타 항목들이 종종 배제된다는 점은 이 접근법의 주요한 비판의 대상 중 하나이다(Gowdy, 2007). 재해위험저감(Disaster Risk Reduction, DRR)과 재해개입의 경우, 비용편익 분석은 DRR 프로젝트의 비용을 모면된 재해영향 비용과 비교한다. 발전 개입에 의해 생긴 편익은 예를 들어 물리적 또는 사회적 기반시설의 개선으로 인한 추가 편익이지만, DRR에서의 편익은 대부분 모면되거나 저감된 잠재적 피해 및 손실이다(Smyth 등, 2004). 순 편익은 순 현재 가치, 수익률, 또는 편익-비용 비 측면에서 계산할 수 있다. 영국과 미국 같은 OECD 국가들은 물론이고 세계은행(World Bank), 아시아개발은행(Asian Development Bank), 인터-아메리칸개발은행(Inter-American Development Bank) 같은 국제 금융기관들도 개발 지원에 관하여 재해위험 관리(Disaster Risk Management, DRM)를 평가하는 데 비용편익 분석을 사용해왔고 (Venton and Venton, 2004; Ghesquiere 등, 2006), 공학적 DRM 전략을 국내적으로 평가하는 데도 일상적으로 사용한다. 비용편익 분석은 전지구 수준부터 지역 수준까지 어느 수준에서나 적용할 수 있고, 또 적용되어 왔다(Kramer, 1995; Benson and Twigg, 2004; Venton and Venton, 2004; UNFCCC, 2007; Mechler, 2008). 재해현상의 발생 기회는 확률로 표현될 수 있기 때문에 재해현상의 영향 저감의 편익도 확률로 표현할 수 있다. 비용과 편익은 확률에 결과를 곱해서 계산해야 한다. 그러면 위험의 강도와 빈도; 취약성; 및 노출을 포함하는 위험 추정치가 나온다(Smyth 등, 2004; Ghesquiere 등, 2006).

EU의 영국, 핀란드, 네덜란드뿐 아니라 국가 적응 행동 프로그램(National Adaptation Programme of Action) 접근법을 사용하는 보다 많은 수의 개발도상국들에서도 적응효과에 대한 국가 수준의 연구들이 수행되어 왔거나 현재 수행 중이다(Ministry of Agriculture and Forestry, 2005; DEFRA, 2006; Lemmen 등, 2008; de Bruin 등, 2009; Parry 등, 2009). 하지만 적응의 경제적 효율을 비롯한 경제 측면에 기반한 증가는 아직 한정적이며 단편적이다(Adger 등, 2007; Moench 등, 2007; Agrawala and Fankhauser, 2008; Parry 등, 2009). 4.5.3.2절의 시작부분에서 언급했듯이 많은 적응 연구들은 특히 농업의 점진적 변화에 초점을 맞춘다. 극한현상을 고려하고 여러 주요옵션의 순 편익을 발견 또는 보고하는 연구들(Agrawala and Fankhauser, 2008; Parry 등, 2009)은 극한현상을 점진적으로 개시되는 현상과 비슷하게 취급하고, 재해위험에 사용하기에는 문제의 여지가 있는 결정론적 영향 척도를 사용해서 연구한다. 위험에 초점을 맞추어 국가 및 준국가 수준에 집중한 한 최근 연구 (ECA, 2009)는 비용편익비를 중심으로 적응 옵션들을 구성하는 적응비용 곡선을 제안하기도 하였다. 그러나 미래의 위험 전망과 옵션 효과를 비롯해 주어진 가용 데이터를 고려하면 이것은 어쩌면 정책 기초라기보다 경험적(heuristic)인것으로 간주될 것이다.

DRR의 비용편익분석에 필요한 추정에는 몇몇 복잡성과 불확실성이 내재하는데, 여기에 기후변화가 더해짐에 따라 적응평가에서 비용편익분석의 효용성은 감소될 수 있다. 이는 무형의 영향에 대한 취급의 어려움, 특히 극한현상에서 중요한 미래영향에 대한 배제의 어려움을 포함한다. 비용편익 분석은 비용과 편익의 분포 또는 관련된 주식의 문제를 고려하지 않는다. Moench 등 (2007)은 비용편익 분석은 확실한 해답을 주기보다는 정책입안자들이 잠재적 프로젝트의 비용과 편익에 대한 정보를 분류, 구성, 평가, 제시하는 데 도움이 되는 의사결정 지원도구로서 가장 유용하다고 주장한다. 종합하면, 적응평가를 위한 엄격한 비용편익 분석의 적용성은 한정된 증거와 보통 동의수준에 기초해 한정된다.

4.5.3.3. 기후변화 영향의 원인규명: 관측과 한계

기후변화 영향의 원인규명은 물리적 기후시스템을 위한 충분히 발전된 응용성과 비슷한 방식으로 정의되고 사용될 수 있다(IPCC, 2010). 탐지(detection)란 정의된 통계적 의미에서 기후에 영향 받은 시스템이 변화했음을 변화의 이유에 대한 설명 없이 입증하는 과정이다. 원인규명(attribution)은 탐지된 변화의 자연적이든 인위적이든 가장 가능성 높은 원인을 정의된 신뢰수준으로 증명하는 과정이다.

IPCC 제2실무그룹의 4차 평가보고서(IPCC Working Group II Fourth Assessment Report)가 매우 높은 신뢰수준으로 밝힌 바에 의하면, 관측 증거들은 모든 대륙과 대부분의 대양에서 생물학적 시스템들이 이미 최근 기후변화에 의해 특히 지역적 기온상승에 의해 영향 받고 있다는 것을 보여준다(Rosenzweig 등, 2007).

개별적인 기상 및 기후 현상의 변화의 원인을 인위적 강제력에 두는 것은 복잡한데 그 이유는 그런 현상은 자연적 기후변동성의 결과로서 비변경 기후(unmodified climate)의 변화에 의해 일어났을지 모르기 때문이다(FAQ 3.2 참고). 이 문제를 다루는 접근법은 현상 자체의 발생보다는 그러한 현상이 발생할 가능성을 조사해야 한다(Stone and Allen, 2005). 예를 들어 평균 기온의 인위적인 변화는 극한 열파의 가능성을 증가시키는 것으로 나타났다(Meehl and Tebaldi, 2004; Stott 등, 2004). 유럽대륙이라는 넓은 지역에 대하여, Stott 등 (2004)은 인위적 기후변화는 1851년에 계기 관측에 의한 기록 방식이 도입된 이래 초과된 적 없지만 유럽에서 2003년에 초과되었던 여름 평균기온을 초과할 확률을 2배 증가시켰을 가능성이 매우 높다는 것을 보여주었다. 보다 최근 연구는 그런 연관성을 한층 더 뒷받침 한다(Barriopedro 등, 2011; 3.3.1절 참고).

극한현상의 원인을 자연적 및 인위적 기후변화라고 보는 것에 관하여 발표된 대부분의 연구들은 재해손실의 장기간 기록에 초점을 맞추었거나 그런 현상의 발생 가능성을 조사한다. 발표된 대부분의 연구는 장기간 재해손실 기록을 분석하였다.

높은 동의수준과 보통 증거수준에 기초해, 기상 및 기후 관련 재해로 인한 경제손실이 증가했다는 것은 신뢰수준이 높다(Cutter and Emrich, 2005; Pielke Jr. 등, 2009, 2011; UNISDR, 2009; Mechler and Kundzewicz, 2010; Swiss Re 2010; Munich Re, 2011). 핵심적인 의문은 그러한 손실 또는 특정한 현상으로 인한 손실의 추세를 기후변화 때문이라고 볼 수 있는가 여부이다. 이런 맥락에서, 시간이 지남에 따른 손실 변화는 노출과 취약성을 제어할 필요가 있다. 장기간의 재해손실 기록에 대한 대부분의 연구는 이러한 손실 증가의 원인을 위험지역에서 사람들과 자산의 노출 증가 (Miller 등, 2008; Bouwer, 2011), 그리고 영향 취약성을 형성하는 근본적인 사회적 추세(인구, 경제, 정치, 사회 측면의 추세)에 둔다(Pielke Jr. 등, 2005; Bouwer 등, 2007). 일부 저자들은(자연적 또는 인위적) 기후변화 시그널을 재해손실 기록에서 발견할 수 있다고 주장하지만 (예: Mills, 2005; Hoppe and Grimm, 2009), 그들의 연구는 경험적 연구라기보다는 검토와 견해의 성격을 보인다. 노출 및 재산의 변화에 관하여 손실 기록을 정규화 하려는 시도가 있어왔다. 정규화 된 손실의 장기간 추세는 자연적 또는 인위적 기후변화 때문이 아니라는 보통 증거수준과 높은 동의수준이 있다(Choi and Fisher, 2003; Crompton and McAneney, 2008; Miller 등, 2008; Neumayer and Barthel, 2011). 이 절의 말미에서 설명하는 사안 때문에, 증거수준은 보통이다.

자연적 또는 인위적 기후변화 때문이라고 할만한 영향의 추세가 없다는 진술은 열대 및 온대 폭풍과 토네이도에서 뒷받침 된다(Boruff 등, 2003; Pielke Jr. 등, 2003,2008; Raghavan and Rajesh, 2003; Miller et a12008; Schmidt 등, 2009; Zhang 등, 2009; Box 4-2 참고). 대부분의 연구는 1970년대부터 미국의 정규화된 허리케인으로 인한 손실에서 나타난 증가 (Miller 등, 2008; Schmidt 등, 2009; Nordhaus, 2010)를 그 때부터 관측된 자연변동성과 관련시켰다(Miller 등, 2008; Pielke Jr. 등, 2008). Bouwer와 Botzen (2011)는 동일한 허리케인들의 총 경제손실과 보험손실의 기타 정규화된 기록들은 1900년대부터 손실에서 아무런 유의한 추세를 보이지 않는다는 것을 입증하였다.

손실의 측면에서, 홍수의 원인이기도 한 기후변화 시그널이 없는 것은 홍수 손실에서도 마찬가지지만(Pielke Jr. and Downton, 2000; Downton 등, 2005; Barredo, 2009; Hilker 등, 2009), 일부 연구들은 집중호우와 부분적으로 관련 있는 홍수손실이 최근 증가했음을 발견하였다(Fengqing 등, 2005; Chang 등, 2009). 강수 관련 현상(집중호우, 해일, 돌발홍수)의 경우, 이는 더욱 다양하게 나타난다. 일부 연구들은 극한강수의 발생률 변화와 관련된 피해가 증가했다고 주장하지만(Changnon, 2001,2009), 스위스의 돌발홍수와 산사태로 인한 손실의 정규화에서는 아무런 추세가 발견되지 않았다(Hilker 등, 2009). 비슷하게, 호주의 산불로 인한 피해의 정규화에 대한 연구도 노출 및 재산의 증가로 인한 산불 증가를 보여준다(Crompton 등, 2010).

인적 및 경제자산의 노출 증가는 기상 및 기후 관련 재해로 인한 경제손실의 장기간 증가의 주요 원인이었다 (높은 신뢰수준). 경제적 재해손실의 원인규명은 오늘날 연구에서 수많은 한계에 직면한다. 자료의 가용성 (대부분의 자료는 선진국의 표준 경제 부문에 이용할 수 있는 것들이다); 연구된 위험의 유형 (대부분의 연구는 저기압에 초점을 맞추지만 관측된 변화의 추세와, 변화의 원인을 인간의 영향력에 두는 것에 대한 신뢰수준 낮음. 3.4.4절 참고); 시간 경과에 따른 손실 자료 정규화에 사용된 프로세스. 서로 다른 연구는 상이한 정규화 접근법을 사용하고, 대부분의 정규화 접근법은 사람 및 자산의 노출 변화를 고려하지만 의문의 여지가 있는 한정적인 취약성 추세의 척도만을 사용한다. 시간경과에 따른 영향에 대한 자료의 품질과 완전성에 대한 변동성을 다룰 때도 서로 다른 접근법들이 사용된다. 큰 변동성 또는 '잡음(noise)'이 특징인 시스템의 추세 또는 '시그널(signal)'을 발견하기는 어렵고 장기간의 기록이 필요하다. 이것들은 모두 종단적(longitudinal) 손실 연구의 방법과 결론에서 잠재적인 약점 분야이며 보다 경험적이고 개념적인 노력이 필요하다. 그럼에도 불구하고, 비록 위에 언급된 연구들이 서로 다른 데이터세트와 방법을 적용했더라도 비슷한 결과를 보여줌에 따라 연구결과들이 강화된다.

연구에서 일반적인 불확실성 분야는 기상 및 기후 현상이 특히 개발도상국의 임시 거주지 및 경제 부문의 생계와 사람들에 미치는 영향과 관련이 있다. 10억 명이 임시 거주지에서 살고 있으며 (UNISDR, 2011), 일부 개발도상국에서는 절반 이상의 경제가 비공식적이다(Schneider 등, 2010). 이러한 영향들은 체계적으로 문서화되지 않았고, 그 결과 이것들은 대체로 종단적 영향 분석과 정의된 기상 사건의 원인규명에서 배제된다.

또 한 가지 일반적인 불확실성 분야는, 식별 가능하지만 정량하기 어려운 혼란변수(confounding factor)이며, 손실추세 연구에서 일정한 취약성을 가정하는 것과 관련 있다. 이는 복원력을 증가시키고(본 보고서의 2장과 5장 참고) 그럼으로써 기후변화의 영향력을 감출 것으로 예상되는 요인들, 그리고 기후변화의 영향을 증가시키는 작용을 할 수 있는 요인들을 포함한다. 변화의 효과를 감출 수 있는 요인들로는 온난화 및 비상관리(emergency management) (Adger 등, 2005), 건물 규정 (Crichton, 2007), 변화하는 생활양식(예: 에어컨 사용) 등의 점진적인 개선, 그리고 손실 저감에 도움이 될 수 있는 중대한 극한 기상에 대한 거의 즉각적인 미디어 보도가 있다. 그 반대 방향에는 많은 나라에서 저기압 (Pompe and Rinehart, 2008)과 해수면 상승이 발생하기 쉬운 해안지역으로 사람들이 이동하는 등 위험을 증가시킬 수 있는 변화가 있다.

4.5.4. 영향비용 평가

자연재해로 인한 직접적 경제손실의 분석에 관하여 많은 연구가 수행되었다. 아래 언급하는 예시들은 주로 개별 극한 기후와 재해로 인한 국가 및 지역 경제손실에 초점을 맞추며, 경제적 영향의 평가에 관련된 불확실성 문제도 고찰한다.

4.5.4.1. 전지구적 및 지역적 재해비용의 추정

극한영향의 관측된 추세: 1960년대부터 보고된 전지구적 기상 및 기후 관련 재해 손실에 대한 자료는 주로 화폐가치로 환산된 직접적 자산피해를 반영하며, 불균등하게 분포한다. 연간손실 추정치는 1980년대 이래 몇 십억 미국달러부터 허리케인 카트리나가 발생했던 2005년에 2000억 달러 이상(2010년 달러 기준)까지 다양하였다(UNISDR, 2009; Swiss Re 2010; Munich Re, 2011). 이러한 추정치들은 간접손실과 무형의 손실을 포함하지 않는다.

전지구적 범위에서, 대형의 기상 및 기후 현상으로 인한 연간 물질적 피해는 1960년대와 1990년대 사이에 8배 이상 증가한 것으로 밝혀졌고 반면에 보험손실은 동일 기간에 인플레이션을 반영한 화폐가치로 17배 증가한 것으

로 밝혀졌다(Mechler and Kundzewicz, 2010). 1980년과 2004년 사이에 극한 기상 현상의 총 비용은 총 14조 미국달러에 달했고 그 중 1/4은 보험 비용이었다(Mills, 2005). 주로 기상과 물에 관련된 자연재해로 인한 물질피해는 인구나 경제의 성장보다 더욱 급격하게 증가하였고 그러한 요인들만으로는 관측된 피해증가를 완전히 설명할 수 없다. 인명 손실 규모도 큰 편이었다(Mills, 2005; UNISDR, 2011).

개발 중인 지역은 기상 및 기후 관련 극한현상에 노출되고 개발도상국 경제의 상태에 있기 때문에 취약하다. 그러나 재해 영향은 재해유형, 지역, 국가에 따라 그리고 서로 다른 지역사회 및 부문의 노출과 취약성에 따라 불균등하게 분포한다.

지역별 직접적 경제손실의 비율(%): 재해위험 정보는 일반적으로 선진국과 북반구에 편향되어 있다(World Bank and UN, 2010). 그러나 일부 전지구 데이터베이스에서는 재해영향의 지역별 분해가 가능하다. 자연재해의 인간에 미치는 영향의 불균등한 분포는 지역별 재해 및 손실 건수에도 반영된다(그림 4-7). 2000년부터 2008년까지 기상 및 기후 관련 재해는 아시아에서 가장 많이 발생하였다. 경제손실은 아메리카에서 가장 커서 총 손실의 54.6%를 차지하였고, 그 다음이 아시아 27.5%, 유럽 15.9% 순이었다. 아프리카는 지구 경제손실의 0.6%를 차지할 뿐이지만 다른 지역들에 비해 자연재해로 인한 경제피해가 적게 보고된다(Vos 등, 2010). 보고의 편향이 있으나 그 편향들은 2000~2008년 기간의 재해 건수 및 직접적 경제손실의 지역적 분포에 대한 강한 증거를 제공한다고 간주되며, 독립적인 기관들이 수집한 여러 데이터베이스에서 이러한 분포에 대한 동의수준은 높다(Guha-Sapir 등, 2011; Munich Re, 2011; Swiss Re, 2011).

지역별 피해손실의 GDP 비중(%): GDP의 백분율로 표현된 직접손실 측면의 상대적 경제부담은 개발도상국들에서 훨씬 더 높았다. 한정된 증거에 의하면, 자산기반이 급격히 팽창 중인 중소득 국가들이 가장 큰 부담을 지어왔고 2001년부터 2006년까지의 손실이 GDP의 약 1%에 달했다. 반면에 이 비율은 저소득 국가들에서는 GDP의 약 0.3%, 고소득 국가들에서는 GDP의 약 0.1%였다(Cummins and Mahul, 2009). 노출된 작은 국가들, 특히 군소 도서 개발도상국에서는 재해가 발행한 연도와 발생하지 않은 연도를 각각 평균할 때 GDP의 백분율로 나타낸 재산손실은 상당히 더 높을 수 있으며, 1%를 넘는 경우가 많고 1970년부터 2010년까지 가장 극단적인 경우에는 8%를 넘을 수도 있다(World Bank and UN, 2010). 개별적인 현상들은 연간 GDP보다 더 많은 금액을 소모할 수 있다(McKenzie 등, 2005). 이것은 경제적 기반시설의 취약성이 개발도상국에서 훨씬 더 높음을 의미한다(Cavallo and Noy 2009; UNISDR, 2009).

기상 및 기후 관련 재해의 증가: 보고된 기상 및 기후 관련 재해 건수와 그것들의 직접적 재정비용은 지난 몇 십년 간 증가하였다. 그림 4-8은 1980~2010년 기간의 대형 기상 및 기후 관련 재해에 대하여 꾸준히 체계적으로 수집된 자료에 근거한 손실 증가추세(및 큰 경년변동성)을 보여준다

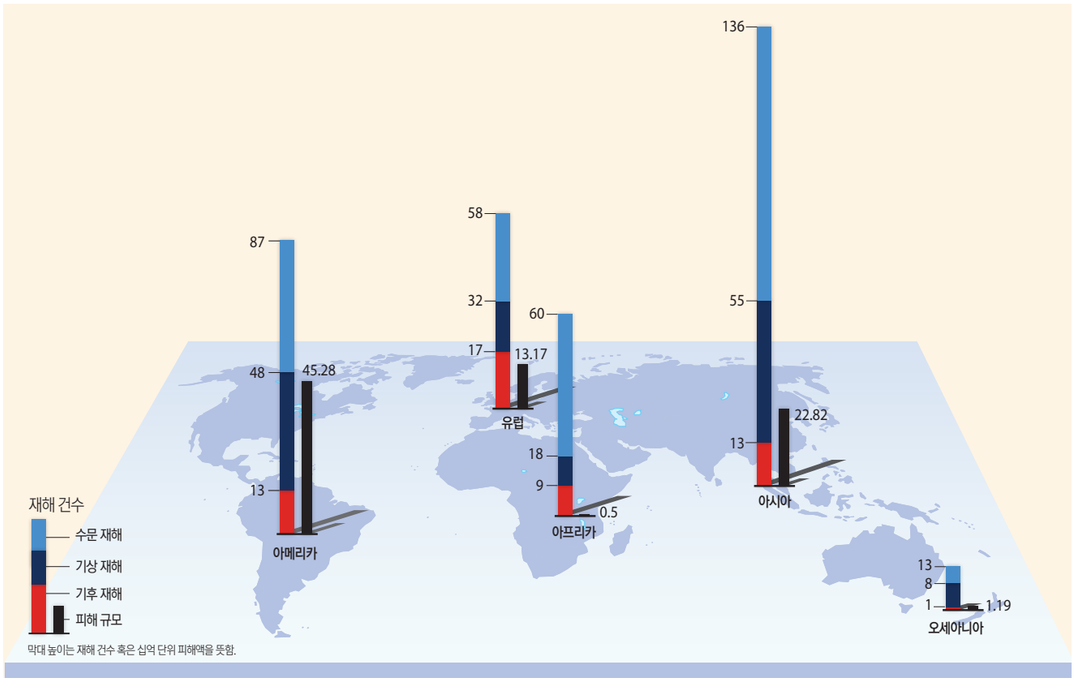


그림 4-7 | 2000~2008년의 기상 및 기후 관련 재해 발생수와 지역별 평균 영향. 지역별 기후재해(예: 극한의 기온, 가뭄, 산불), 기상재해 (예: 폭풍), 수문 재해 (예: 홍수, 산사태)의 발생수가 피해규모와 함께 제시되어 있다(단위: 2009년 기준 10억 미국달러). 자료 출처: Vos 등, 2010.

(Neumayer and Barthel, 2011).

이러한 영향을 받는 인구 및 직접적 경제손실의 증가는 기상 및 기후 관련 재해의 보고건수 증가와도 결부되어 있다(UNISDR, 2009; Munich Re, 2011; Swiss Re 2011).

위의 통계치는 원인을 불문하고 사회의 재해비용이 증가하고 있음을 의미한다. 또한 기상 및 기후 관련 재해 발생수가 비기상적 재해 손실보다 급격하게 증가하였다는 것도 중요하다(Mills, 2005; Munich Re, 2011; Swiss Re, 2011). 이것은 극한 기후의 변화를 의미할 수도 있지만 다른 설명도 가능하다(Bouwer, 2011). 가뭄 영향을 실질적으로 악화시키는 취수량 증가, 홍수 및 가뭄 대비에 악영향을 주는 집수지 저장능력의 감소(도시화, 벌채, 지표면의 포장(sealing surface), 도류화(channelization)), 유출계수 증가, 도시지역 주변 범람원에 거주지 증가 같은 많은 비기후 요인들로 인해 가뭄 및 홍수 손실이 증가했을 것이다(4.2.2 절; Field 등, 2009).

4.5.4.2. 주요 극한영향의 잠재적 추세

3.3~3.5절과 표 3-1과 3-3에도 제시되어 있듯이, 극한 기후의 미래 추세는 각각 상이할 수 있다. 열파는 대부분의 지역에서 기간, 빈도, 강도가 증가할 것으로 전망되고, 반면에 다른 일부 극한현상들의 변화 전망은 신뢰수준이 낮은 편이다. 그러나 불확실성은 위에서 논했던 원인규명 문제, 방법들의 비교 불가, 시간 경과에 따른 노출 및 취약성의 변화, 그밖에 이주와 적응 같은 비기후적인 요인들로 인해 재해/기후변화 추세 분석의 핵심측면이다. 문제는 극한현상의 미래 변화에 따른 손실 전망을 현재의 인구와 경제가 아니라 가능한 미래 사회경제 발전 시나리오에 비추어 조사하도록 보장하는 것이다. 이러한 저기압과 관련한 고찰은 Box 4-2를 참고한다.

아마도 대부분의 강한 열대저기압의 빈도는 일부 해양 분지에서 실질적으로 증가할 것이다(3.4.4절) 많은 연구들이 열대저기압의 영향을 조사하였다(ABI, 2005a, 2009; Hallegatte, 2007; Pielke Jr., 2007; Narita 등, 2009; Bender 등, 2010; Nordhaus, 2010; Crompton 등, 2011). 표 4-3은 이러한 연구들에서 나온 열대저기압의 직접적인 경제손실의 증가를 백분율로 나타낸 전망을 공통의 기준(2000년)과 2040년을 비교해서 보여준다. 노출 증가는 열대저기압의 직접적 경제손실을 증가시킬 것이고 손실은 열대저기압 빈도 및 강도의 미래 변화에 좌우될 것이다(높은 신뢰수준). Bender 등 (2010)의 전지구 기후 모델 결과를 기반으로 한 연구에 의하면, 높은 수준의 확실성을 가지고 손실증가의 원인을 미국에서 열대저기압 활동의 증가 때문이라고 보기 위해서는 폭풍의 높은 자연적 변동성과 그 영향 때문에 또 다른 260년간의 기록이 필요할 것이다(Crompton 등, 2011).

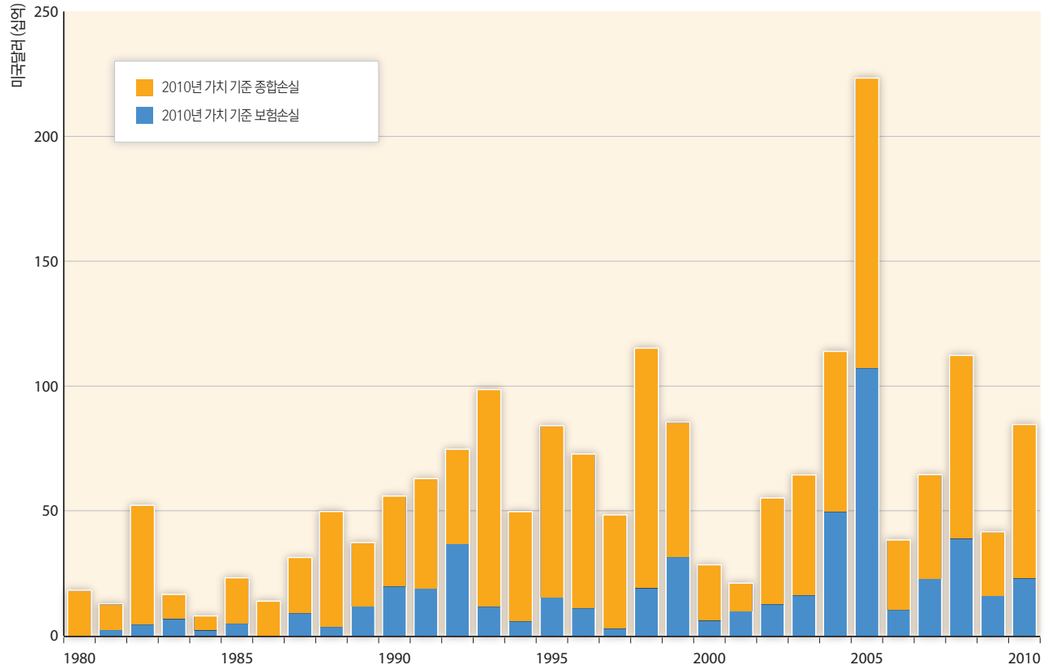


그림 4-8 | 전세계 기상 및 기후 관련 재해의 종합손실과 보험손실 (단위: 2010년 기준 미국달러). 여기에 나타낸 기상 및 기후 관련 자연재앙 자료를 나타낸 그래프에 지구물리 현상으로 인한 손실은 포함되지 않았다. 이 데이터세트에서 사망자 수가 2,000명을 넘거나, 노숙자가 200,000명을 넘거나, 국가의 GDP가 심각하게 타격을 입거나 국가가 국제원조에 의존하면, 그 참사는 '대참사' (great catastrophe)로 간주된다. 사망자 수가 5,000명을 넘거나 종합손실이 6억 5천만 미국달러 (2010년 달러가치)를 넘으면 그 참사는 '파괴적' 참사(devastating catastrophe)로 간주된다. 자료 출처: Munich Re, 2011

표 4-3 | 기상위험의 종류별 중앙값의 추정치를 포함하는 영향연구 21건으로부터 도출된 예상되는 기후변화 및 노출의 변화 아래서 2000년 대비 2040년 재해손실 변화 추정. 출처: Bouwer, 2010.

A. 전망된 기후변화의 영향

연구	위험 종류	지역	2040년 추정 손실변화(%)			
			최소	최대	평균	중앙값
Pielke(2007)	열대 폭풍	대서양	58	1,365	417	30
Nordhaus(2010)	열대 폭풍	미국	12	92	47	
Narita 등(2009)	열대 폭풍	전지구	23	130	46	
Hallegatte(2007)	열대 폭풍	미국	–	–	22	
ABI(2005a,b)	열대 폭풍	미국, 카리브해	19	46	32	
ABI (2005a,b)	열대 폭풍	일본	20	45	30	
ABI (2009)	열대 폭풍	중국	9	19	14	
Schmidt 등(2009)	열대폭풍	미국	–	–	9	15
Bender 등(2010)	열대폭풍	미국	-27	36	14	
Narita 등(2010)	온대폭풍	고위도	-11	62	22	
Schwierz 등(2010)	온대폭풍	유럽	6	25	16	
Leckebusch 등(2007)	온대폭풍	영국, 독일	-6	32	11	
ABI(2005a,b)	온대폭풍	유럽	–	–	14	
ABI(2009)	온대폭풍	영국	-33	67	15	
Dorland 등(1999)	온대폭풍	네덜란드	80	160	120	
Bouwer 등(2010)	하천홍수	네덜란드	46	201	124	65
Feyen 등(2009)	하천홍수	유럽	–	–	83	
ABI(2009)	하천홍수	영국	3	11	7	
Feyen 등(2009)	하천홍수	스페인 (마드리드)	–	–	36	
Schreider 등(2000)	국지적 홍수	오스트레일리아	67	514	361	
Hoes(2007)	국지적 홍수	네덜란드	16	70	47	

B. 예상되는 노출변화의 영향

연구	위험 종류	지역	2040년 추정 손실변화(%)			
			최소	최대	평균	중앙값
Pielke (2007)	열대 폭풍	대서양	164	545	355	172
Schmidt 등 (2009)	열대 폭풍	미국	–	–	240	
Dorland 등 (1999)	온대 폭풍	네덜란드	12	93	50	
Bouwer 등 (2010)	하천홍수	네덜란드	35	172	104	
Feyen 등 (2009)	하천 홍수	스페인 (마드리드)	–	–	349	
Hoes (2007)	국지적 홍수	네덜란드	-4	72	29	

이 문제에 대처하기 위한 위험기반 접근법의 원인규명과 이용에 관해서는 4.5.3.3절 참고. 그 밖의 연구들도 고위도 온대저기압의 빈도 및 강도의 증가로 인한 영향을 조사하였다(Dorland 등, 1999; ABI, 2005a, 2009; Narita 등, 2010; Schwierz 등, 2010; Donat 등, 2011). 일반적으로 온대저기압으로 인한 손실은 기후변화와 함께 증가할 것이고 일부 지역에서는 감소하거나 변화가 일어나지 않을 가능성이 있다(보통 신뢰수준). 일반적으로 예상되는 증가는 열대저기압 증가보다 약간 낮다(표 4-3). Patt 등(2010)은 최빈국의 기상 및 기후 관련 극한현상으로 인한 향후 손실을 전망하였다.

많은 연구들이 영국을 포함한 유럽에 초점을 맞춰 하천 홍수로 인한 미래의 경제손실을 다루었다(Hall 등, 2003, 2005; ABI, 2009), Spain (Feyen 등, 2009), and The Netherlands (Bouwer 등, 2010) (표 4-3 참고). Maas-kant 등 (2009)은 홍수로 인한 미래의 인명손실을 다룬 몇 안 되는 연구 중 하나이며, 네덜란드에서 인구성장을 고려해 2040년까지 잠재적인 홍수 피해자가 최고 4배 증가할 것이라고 전망한다. 미래의 홍수위험에 관한 연구들이 수행되었다(Hall 등, 2005; Mokrech 등, 2008; Nicholls 등, 2008; Dawson 등, 2009; Hallegatte 등, 2010). 추가적 보호대책이 없으면 미래의 홍수 손실이 증가할 지역이 많지만(높은 동의수준, 보통 증거수준), 추정된 변화의 규모는 장소, 사용된 기후 시나리오, 강물 유량 및 홍수 발생에 대한 영향을 평가하는 데 사용된 방법에 따라 매우 가변적이다(지역적 연구들의 비교를 보려면 표 4-3 참고) (Bouwer, 2010).

일부 연구들은 하천 홍수나 저기압에 비해 규모가 작은 다른 종류의 극한 기상으로 인한 경제적 손실을 다루었다. 이는 혼합된 결과를 보여주는 우박 피해도 포함된다. McMaster (1999)와 Niall and Walsh (2005)는 호주의 우박을 동반한 폭풍 손실에 대한 유의한 영향을 발견하지 못했지만, Botzen 등 (2010)은 사용된 접근법들이 매우 다양함에도 불구하고 네덜란드의 농업 부문에서 피해가 유의하게 증가(2050년까지 최고 200% 증가)할 것이라고 전망한다.

Rosenzweig 등 (2002)은 집중호우의 증가로 인한 과잉 토양수분 때문에 작물 손실이 2배 증가할 수 있다고 보고한다. Hoes (2007), Hoes and Schuurmans (2006), 및 Hoes 등(2005)은 네덜란드에서 금세기 중반까지 극한강수로 인해 피해가 증가할 것이라고 추정한다.

극한 기상 및 기후 현상의 빈도와 강도는 위험에 영향을 주는 유일한 요인이며, 인구 변화, 인적 및 경제자산의 노출 변화, 취약성 변화는 손실 잠재력을 결정한다(4.2~4.4절). 이런 요인들을 특정하게 정량화한 연구는 거의 없지만 정량화했던 연구들은 위험에 처한 인구와 자본의 예상 변화 (증가)의 중요한 역할을 강조한다. 일부 연구에 의하면, 노출의 예상 변화가 기후변화의 영향보다 훨씬 크고(표 4-3 참고), 특히 열대폭풍과 온대폭풍의 경우에 더욱 그렇다(Pielke Jr., 2007; Feyen 등, 2009; Schmidt 등, 2009). 노출증가의 효과는 기후변화의 효과만큼 크게 나타나거나 (Hall 등, 2003; Maas-kant 등, 2009; Bouwer 등, 2010), 일반적으로 더 작을 것으로 추정된다 (Dorland 등, 1999; Hoes, 2007). 따라서 (보통의 동의수준과 한정된 증거수준에 기초하여) 일부 극한 기후의 경우, 많은 지역에서 향후 손실증가의 주요 동인이 사회경제적 성격의 동인으로 나타날 것이다(보통 신뢰수준). 마지막으로, 많은 연구들은 두 요인이 서로의 영향력을 증폭시키므로 두 요인 모두 고려할 필요가 있고, 따라서 기후변화의 예상손실에 관한 한 공동으로 연구될 필요가 있다고 강조한다(Hall 등, 2003; Bouwer 등, 2007, 2010; Pielke Jr., 2007; Feyen 등, 2009).

4.5.5. 적응비용 평가

World Bank (2006)는 이상기후방지(climate-proofing)에 대한 해외 직접투자의 비용, 총 국내 투자, 그리고 Stern (2007), Oxfam (2007), and UNDP (2007)의해 착수되고 수정된 공적 개발 원조(Official Development Assistance)의 비용을 추정하였다. 적응비용 추정치의 두 번째 출처는 국제사회가 기후변화 영향에 효과적이고 적절히 대응하는 데 필요한 기존 및 계획된 투자와 재정 흐름을 계산한 UNFCCC (2007)이다. 세 번째 출처는 World Bank (2010)이다. 이것도 UNFCCC (2007) 이후에 전지구적 평가를 보충할 국가수준의 연구를 다수 수행하였지만, 기존 및 신규 기반시설의 이상기후방지를 평가하고 보다 정밀한 원가 추정치를 사용하며 유지관리 비용뿐 아니라 향구 업그레이드 비용, 해수면 상승 및 폭풍해일로 인한 위험 비용을 포함시킴으로써 평가를 향상시키는 것을 목표로 하였다. 또한 극한 기상의 영향을 상쇄하기 위해 필요한 교육 투자도 계산되었다. (단순히 극한현상과 재해에 대한 적응보다는) 기후변화에 적응하는 비용의 추정치는 대부분 개발도상국에 대하여 추정되었으며, 비용 폭이 넓고 평가기간이 상이하다(예: 현재, 2015년 또는 2030년). 2030년의 경우, UNFCCC (2007)가 추정한 전지구 비용은 선진국의 연간 480억 미국달러부터 개발도상국의 연간 670억 미국달러까지 이른다(2005년 달러 기준). 개발도상국에 대한 World Bank (2010)의 최근 추정치에서는 예상 비용이 더 높고 평균 총액의 범위가 늘어나 연간 비용이 최고 1,000억 미국달러에 이른다(표 4-4 참고). 개별적인 전지구적 추정치의 신뢰수준이 낮은 이유는 위에서 언급되었고 Parry 등(2009)이 고찰한 바와 같이, 그 추정치들이 상대적으로 독립적인 단 3건의 연구들에서 도출되었기 때문이며, 그래서 추후 연구들에서는 추정치들이 수렴되는 듯 보인다. Parry 등(2009)은 그 추정치들이 최소한 2~3% 정도 과소평가 되었으며, 만약 생태계 서비스, 에너지, 제조, 소매, 관광 같은 다른 부문들에서 발생한 비용이 포함되었다면 더 과소평가 되었을 수도 있다고 하였다. 적응비용의 추정치도 많은 지역에서 적응비용의 적자로 인한 낮은 투자수준에 기초한다. 불가피한 잔류 피해가 여전히 이 분석들에서 배제되어 있다.

지역적 비용 측면에서, 그리고 World Bank (2010) 연구에서 보고된 바와 같이, 가장 큰 절대적 적응비용은 극동 및 태평양 지역에서 발생할 것이고 그 다음이 라틴 아메리카와 카리브해, 사하라 사막 이남의 아프리카 순일 것이다. 이 패턴은 이 연구에서 평가된 두 시나리오에서도 마찬가지였다. 그 두 시나리오는 IPCC의 SRES A2 시나리오의 사회경제적 동인 정보를 이용하는 연구에 선택된 전체 시나리오 중에서 최대 강수량('강수'(wet))을 가정한 시나리오 1개와 최소 강수량 ('건조'(dry))을 가정한 시나리오 1개를 말한다 (표 4-5 참고).

표 4-4 | 기후변화에 대한 전지구적 적응비용 추정치 출처: Agrawala and Fankhauser (2008)과 Parry 등 (2009)에 기초해 확장함 (2009).

연구	결과 (10억 US$/년1)	기간과 적용범위	부문	방법과 견해
World Bank (2006)	9-411	현재, 개발도상국	미상	이상기후방지(climate-proofing)에 대한 해외 직접투자 비용, 총 국내 투자, 공적 개발 원조(ODA)
Stern (2007)	4-371	현재, 개발도상국	미상	World Bank (2006)의 업데이트
Oxfam (2007)	>501	현재, 개발도상국	미상	World Bank (2006) + 국가 적응행동계획(NAPA) 및 NGO 프로젝트의 비용추정치 외삽
UNDP (2007)	86-1092	2015년, 개발도상국	미상	World Bank (2006) + 빈곤저감 프로그램 적응과 재해대응시스템 강화를 위한 목표 비용
UNFCCC (2007)	48-171 (개발도상국은 28-67) 2	2030년, 선진국과 개발도상국	농업, 산림, 어업: 담수 공급: 보건: 해안지대: 기반시설: 생태계 (2030년 생태계 적응 추정치는 없음)	2030년 적응에 필요한 추가적 투자 및 재정 흐름
World Bank (2010)	70-1002	2010년부터 2050년까지 매년, 개발도상국	농업, 산림, 어업: 물 공급과 홍수 방지: 보건: 해안지대: 기반시설: 극한 기상 현상	적응비용 관련 영향비용, UNFCCC (2007)보다 개선됨: 이상기후방지를 위한 기존 및 신규 기반시설, 보다 정밀한 원가, 유지관리 및 향구의 업그레이드 비용 포함, 해수면 상승과 폭풍해일로 인한 위험, 극한 기상 현상의 영향을 중화하기 위한 교육 투자

표 4-5 | 강수 및 건조 시나리오에서 지역별 연간 적응비용의 범위 (단위: 2005년 기준 10억 미국달러). 추정 비용의 모든 범위를 반영하여, 강수 시나리오 비용은 기후변화 이익을 포함하는 반면에 건조 시나리오 비용은 국가 간 및 국가 내 기후변화의 이익을 포함한다. 출처: World Bank, 2010.

시나리오/지역	극동과 태평양	유럽과 중앙아시아	라틴 아메리카와 카리브해	중동과 북미	남아시아	사하라 사막 이남 아프리카	총합
강수	25.7	12.6	21.3	3.6	17.1	17.1	97.5
건조	17.7	6.5	14.5	2.4	14.6	13.8	69.6

아프리카를 예로 들면, 다양한 추정치에 근거해 적응투자의 잠재적 추가 비용은 2030년까지 연간 30~100억 미국달러이다(UNFCCC, 2007: PACJA, 2009). 그러나 극한 기후에 대한 아프리카의 복원력을 향상하는 것이 바람직하다는 것과 재해 후 국제 인도주의적 지원의 흐름을 생각하면 이 역시 과소평가일 수 있다.

4.5.6. 극한현상 및 재해의 경제비용 평가에서의 불확실성

현재까지의 추정치를 검토한 결과, 기상 및 기후 관련 재해의 비용산출과 적응비용의 추정에는 무수한 가정이 적용되는데, 이는 여전히 예비 단계에 머물러 있고, 불완전하며, 불확실한 결과를 유발한다(Agrawala and Fankhauser, 2008; Parry 등, 2009). 이는 주로 기후변화 및 피해 추정에서 모델링의 불확실성, 한정된 가용 데이터, 재해피해 통계 분석에서 방법상의 단점에서 기인한다. 그러한 비용산정은 수많은 적응옵션과 향후 노출 및 취약성, 사회적 선호도 및 기술에 대한 가정들 간의 상호작용뿐 아니라 특정 사회의 복원력에 의해서도 제한된다. 또한 다음의 문제들도 드러날 수 있다.

위험평가 방법: 짜임새 있는 위험평가 및 피해 비용산출 방법을 개발하는 데는 여전히 기술적 문제가 남아 있다. 상향식 접근법과 하향식 접근법은 연구결과에서 상당한 차이를 보일 수 있다. 위험에 기반한 접근법은 기후 시나리오와 사회 시나리오의 입력정보가 필요한 재해위험 평가 및 전망에 활용된다(Jones, 2004; Carter 등, 2007), 모든 기후 현상은 피해와 재해의 역사적 관계를 빈도 및 강도의 특징이 변하는 상태에서 확신을 가지고 극한현상의 향후 위험을 추정하는 데 사용할 수 없다는 한계가 있다(UNDP, 2004). 하지만 오늘날 기후모델은 공간적으로 명확한 극한 기후를 재현할 때는 조악한 분해능과 관련 프로세스의 물리적 이해 부족, 그리고 저확률 고영향 현상의 모델링에서의 문제 때문에 까다롭다(3.2.3절 참고). 그러므로 미래 극한현상 위험의 전망은 돌발홍수 같은 갑작스런 발생 위험에 대한 이해를 제한할 수 있는 불확실성을 내포한다. 미래의 사회경제 발전 역시 본질적으로 불확실하다. 균일한 가정들은 전지구 전반을 일관성있게 파악하고 지역 간에 비교 및 외삽을 제공하는 데 도움이 될 수 있다.

데이터의 가용성 및 일관성: 데이터 및 정보의 부재는 매우 한정된(종종 너무 국지적인) 증거를 바탕으로 전지구 수준으로 확장할 때 비용산출의 불확실성이 커진다. 여러 부문과 여러 범위에서 분석할 때, 특히 시장가치와 비시장가치 (예: 생태계 서비스)를 부가하는 활동에서, 이중으로 포함되거나 영향의 유형들이 양립하지 못하는 문제가 있다(Downton and Pielke Jr., 2005; Pielke Jr. 등, 2008; Parry 등, 2009). 더욱이 개발도상국에서 기상 및 기후 관련 극한현상들의 모든 영향이 완전히 이해되지 않았으며, 피해, 적응 및 잔류비용에 대한 포괄적 연구의 부재도 전체 비용이 과소평가 됨을 의미한다.

향후 취약성에 대한 정보: 기후변화와는 별개로, 취약성과 노출도 시간이 지나면서 변할 것이므로 이 측면들의 상호작용을 고려해야 한다(Hallegatte, 2008; Hochrainer and Mechler, 2011). 이러한 면이 인정되어, 기후변화 영향, 취약성 및 위험에 대한 평가에서 초점을 바꾸고 있고 의문점들이 점점 통합되고 있다. 초기 연구들은 문제 분석에 초점을 맞추었지만 점차 잠재적 영향과 위험을 평가하는 쪽으로 바뀌었고, 최근에는 그러한 평가들에 특정 위험관리 방법을 고려하는 것도 결합하기 시작했다(Carter 등, 2007).

일부 연구들은 적응계획 프로세스에 재해의 지속적 또는 만성적 경제영향 분석을 포함시킬 것을 주장하였다(Freeman, 2000). 다양한 공간 및 시간 범위의 재해비용과, 인간, 사회, 건설 및 자연 자본에 대한 영향 관련 비용, 그리고 여러 수준의 관련 서비스를 보다 종합적으로 평가하면 재해 발생 이후 발전 전략들을 비교할 수 있는 기반을 마련할 수 있다. 그러면 재해위험저감 계획 및 대비 투자의 비용 효율이 보다 높아질 것이다(Gaddis 등, 2007). 예를 들어, 위험저감 및 복지에서 생태계의 중요한 역할에 대해서는 누구나 동의하므로 생태계 서비스의 가치는 적응 관련 핵심정책 결정에서 필수적인 부분이 될 것이다(Tallis and Kareiva, 2006; Costanza and Farley, 2007).

참고문헌

본장에인용된, 일반인이쉽게열람하기어려운비-저널문헌의디지털라이브러리는 IPCC 검토및초고과정의일부로서취합되었고, IPCC 사무국또는 IPCC 실무그룹 II 웹사이트를통해접근할수있다.

Abegg, B., S. Agrawala, F. Crick, and A. Montfalcon, 2007: Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In: Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management [S. Agrawala (ed.)]. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, pp. 25-60.

ABI, 2005a: Financial Risks of Climate Change: Summary Report. Association of British Insurers, London, UK, 129 pp.

ABI, 2005b: Financial Risks of Climate Change: Technical Annexes. Climate Risk Management Ltd. for the Association of British Insurers, London, UK, 125 pp.

ABI, 2009. The Financial Risk of Climate Change. Research Paper No. 19, Association of British Insurers, London, UK, 107 pp.

Abraham, J., F. Bendimerad, A. Berger, A. Boissonnade, O. Collignon, E. Couchmann, F. Grandjean, S. McKay, C. Miller, C. Mortgat, R. Muir-Wood, B. Page, T. Shah, S. Smith, P. Wiart, and Y. Xien, 2000: Windstorms Lothar and Martin. December 26- 28, 1999. Risk Management Solutions, Newark, CA, 20 pp.

ABS, 2010: Regional Population Growth, Australia, 2008-09.Australian Bureau of Statistics, Canberra, Australia, abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Products/3218.0~2008-09~Main+Features~Main+Features?OpenDocument#PARALINK5.

ACIA, 2004: Impacts of a Warming Arctic. Overview Report of the Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 139 pp.

Adamo, S.B., 2010: Environmental migration and cities in the context of global environmental change. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2(3), 161-165, doi:10.1016/j.cosust.2010.06.005.

Adger, W.N., 2000. Social and ecological resilience: Are they related? Progress in Human Geography, 24, 347-364.

Adger, W.N., 2006: Vulnerability. Global Environmental Change, 16(3), 268-281.

Adger, W.N., T.A. Benjaminsen, K. Brown, and H. Svarstad, 2001: Advancing a political ecology of global environmental discourses. Development and Change, 32(4), 681-715. doi:10.1111/1467-7660.00222.

Adger, W.N., T.P. Hughes, C. Folke, S.R. Carpenter, and J. Rockstrom, 2005: Socialecological resilience to coastal disasters. Science, 309(5737), 1036-1039.

Adger, W.N., S. Agrawala, M.M.Q. Mirza, C. Conde, K. O'Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit, and K. Takahashi, 2007: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 717-743.

Aggarwal, P.K. and A.K. Singh, 2010: Implications of global climatic change on water and food security. In: Global Change: Impacts on Water and Food Security [Ringler, C., A.K. Biswas, and S. Kline (eds.)]. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, Germany, pp. 49-63.

Agrawala, S. and S. Fankhauser (eds.), 2008: Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 133 pp.

Albala-Bertrand, J., 1993: Political Economy of Large Natural Disasters. Oxford University Press, New York, NY, 272 pp.

Alexander, D., 2005: Vulnerability to landslides. In: Landslide Hazards and Risk [Glade, T., M. Anderson, and M. Crozier (eds.)]. Wiley & Sons, Sussex, UK, pp.175-198.

Allen, C.D. and D.D. Breshears, 1998: Drought-induced shift of a forest–woodland ecotone: Rapid landscape response to climate variation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 95(25), 14839 -14842.

Alpa, B., 2009: Vulnerability of Turkish coasts to accelerated sea-level rise. Geomorphology, 107, 58-63.

AMCEN/UNEP, 2002: Africa environment outlook: past, present and future perspectives. United Nations Environmental Programme and the African Ministerial Conference on the Environment, Earthprint, Stevenage, UK, 422 pp.

Amien, I., P. Rejekiningrum, A. Pramudia, and E. Susanti, 1996: Effects of interannual climate variability and climate change on rice yields in Java, Indonesia. Water, Air &Soil Pollution, 92, 29-39.

Anderson, M.G., L. Holcombe, and J.-P. Renaud, 2007: Assessing slope stability in unplanned settlements in developing countries. Journal of Environmental Management, 85(1), 101-111.

Anisimov, O.A. and M.A. Belolutskaya, 2002: Assessment of the impact of climate change and permafrost degradation on infrastructure in northern regions of Russia. Meteorology and Hydrology, 6, 15-22.

Anisimov, O.A. and S.A. Lavrov, 2004: Global warming and permafrost melting: assessment of risks for energy-sector industrial facilities. Tekhnologii TEK, 3, 78-83.

Anisimov, O.A., A.A. Velichko, P.F. Demchenko, A.V. Yeliseyev, I.I. Mokhov, and V.P. Nechaev, 2004: Impact of climate change on permafrost in the past, present and future. Physics of Atmosphere and Oceans, 38(1), 25-39.

Anyamba, A., J-P. Chretien, J. Small, C.J. Tucker, and K.J. Linthicum, 2006: Developing global climate anomalies suggest potential disease risks for 2006-2007. International Journal of Health Geographics, 5(60), doi:10.1186/1476-072X-5-60.

Arianoutsou, M., S. Koukoulas, and D. Kazanis, 2011: Evaluating post-fire forest resilience using GIS and multi-criteria analysis: an example from Cape Sounion National Park, Greece. Journal of Environmental Management, 47, 384-397.

Arkell, B.P. and G.J.C. Darch, 2006: Impact of climate change on London's transport network. Proceedings of the Institute of Civil Engineers – Municipal Engineer, 159(4), 231-237.

Arnone, III, J.A., P.S.J. Verburg, D.W. Johnson, J.D. Larsen, R.L. Jasoni, L.J. Annmarie, C.M. Batts, C. von Nagy, W.G. Coulombe, D.E. Schorran, P.E. Buck, B.H. Braswell, J.S. Coleman, R.A. Sherry, L.L. Wallace, Y. Luo, and D.S. Schimel, 2008: Prolonged suppression of ecosystem carbon dioxide uptake after an anomalously warm year. Nature, 455, 383-386.

AusAID, 2005: Economic Impact of Natural Disasters on Development in the Pacific. Volume 1: Research Report, Australian Agency for International Development, Canberra, Australia, 92 pp., ausaid.gov.au/publications/pdf/impact_pacific_report.pdf.

Baccini, M., T. Kosatsky, A. Analitis, H.R. Anderson, M. D'Ovidio, B. Menne, P. Michelozzi, A. Biggeri, and the PHEWE Collaborative Group, 2011: Impact of heat on mortality in 15 European cities: attributable deaths under different weather scenarios. Journal of Epidemiology and Community Health,65(1), 64-70, doi:10.1136/jech.2008.085639.

Banks, S., M. Blyton, D. Blair, L. McBurney, and D. Lindenmayer, 2011: Adaptive responses and disruptive effects: how major wildfire influences kinship-based social interactions in a forest marsupial. Molecular Ecology, doi:10.1111/j.1365-294X.2011.05282.x.

Barnett, T.P. and D.W. Pierce, 2008: When will Lake Mead run dry? Journal of Water Resources Research, 44, W03201, doi:10.1029/2007WR006704.

Barnett, T.P. and D.W. Pierce, 2009: Sustainable water deliveries from the Colorado River in a changing climate. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(18), 7334-7338, doi:10.1073/pnas.0812762106.

Barredo, J.I., 2009: Normalised flood losses in Europe: 1970-2006. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 97-104.

Barriopedro, D., E.M. Fischer, J. Luterbacher, R.M. Trigo, and R. Garcia-Herrara, 2011: The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. Science, 332, 220-224.

Basara, J.B., H.G. Basara, B.G. Illston, and K.C. Crawford, 2010: The impact of the urban heat island during an intense heat wave in Oklahoma City. Advances in Meteorology, (2010), 230365, doi:10.1155/2010/230365.

Battisti, D.S. and R.L. Naylor, 2009: Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. Science, 323, 240-244.

Bebi, P., D. Kulakowski, and C. Rixen, 2009: Snow avalanche disturbances in forest ecosystems – State of research and implications for management. Forest Ecology and Management, 257(9), 1883-1892.

Becken, S. and J.E. Hay, 2007: Tourism and climate change: risks and opportunities.

Climate Change, Economies and Society Series, Channel View Publications, Clevedon, UK, 352 pp.

Bender, M.A., T.R. Knutson, R.E. Tuleya, J.J. Sirutis, G.A. Vecchi, S.T. Garner, and I.M. Held, 2010: Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes. Science, 327, 454-458.

Beniston, M., 2004: The 2003 heatwave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. Geophysical Research Letters, 31, L02202.

Beniston, M. and H. Diaz, 2004: The 2003 heatwave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. Global and Planetary Change, 44(1-4), 73-81.

Beniston, M., F. Keller, and S. Goyette, 2003: Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: An empirical approach for climate impact studies. Theoretical and Applied Climatology, 74, 19-31.

Benito, G., T. Grodek, and Y. Enzel, 1998: The geomorphic and hydrologic impacts of the catastrophic failure of flood-control-dams during the 1996-Biescas flood (Central Pyrennes, Spain). Zeitschrift fur Geomorphologie, 42(4), 417-437.

Benito, G., R.F. Rohde, M. Seely, C. Kulls, O. Dahan, Y. Enzel, S. Todd, B. Botero, and T. Grodek, 2010: Management of alluvial aquifers in two southern African ephemeral rivers: implications for IWRM. Water Resources Management, 24, 641-667.

Benson, C. and E. Clay, 1998: The Impact of Drought on Sub-Saharan African Economies: A Preliminary Examination. World Bank Technical Paper Series No. 401, World Bank, Washington, DC, 80 pp.

Benson, C. and E.J. Clay, 2000: Developing countries and the economic impacts of natural disasters. In: Managing disaster risk in emerging economies [Kreimer, A. and A. Margaret (eds.)]. Disaster Risk Management Series No. 2, World Bank, Washington, DC, pp. 11-21.

Benson, C. and E. Clay, 2003: Disasters, vulnerability, and global economy. In: Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk [Kreimer, A., M. Arnold, and A. Carlin (eds.)]. Disaster Risk Management Series No. 3, World Bank, Washington, DC, pp. 3-31.

Benson, C. and E. Clay, 2004: Understanding the Economic and Financial Impacts of Natural Disasters. Disaster Risk Management Series, No. 4, World Bank, Washington, DC, 119 pp..

Benson, C. and J. Twigg, 2004. Measuring Mitigation: Methodologies for assessing natural hazard risks and the net benefits of mitigation — A Scoping Study. The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies/The ProVention Consortium, Geneva, Switzerland, 149 pp.

Berrittella M., A. Bigano, and R.S.J. Tol, 2006: A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism. Tourism Management, 27(5), 913-924.

Berry, M., 2003: Why is it important to boost the supply of affordable housing in Australia - and how can we do it? Urban Policy and Research, 21, 413-435.

Berry, H., K. Bowen, and T. Kjellstrom, 2010: Climate change and mental health: a causal pathways framework. International Journal of Public Health, 55, 123-132.

Bertness, M.D. and P.J. Ewanchuk, 2002: Latitudinal and climate-driven variation in the strength and nature of biological interactions in New England salt marshes. Oecologia, 132, 392-401.

Beven, J.L., L.A. Avila, E.S. Blake, D.P. Brown, J.L. Franklin, R.D. Knabb, R.J. Pasch, J.R. Rhome, and S.R. Stewart, 2008: Atlantic hurricane season of 2005. Monthly Weather Review, 136, 1109-1173.

Bhuiyan, C., R.P. Singh, and F.N. Kogan, 2006: Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8(4), 289-302.

Bigano, A., F. Bosello, R. Roson, R.S.J. Tol, 2008: Economy-wide impacts of climate change: a joint analysis for sea level rise and tourism. Mitigation and Adaption Strategies for Global Change, 13, 765-791.

Bindoff, N., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quere, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley and A. Unnikrishnan, 2007: Observations: Oceanic climate change and sea level. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 385-432.

Birch, E.L. and S.M. Wachter (eds.), 2006: Rebuilding Urban Places after Disaster: Lessons from Hurricane Katrina. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, PA, 375 pp.

Bongaerts, P., T. Ridgeway, E.M. Sampayo, and O. Hoegh-Guldberg, 2010: Assessing the 'deep reef refugia' hypothesis: focus on Caribbean reefs. Coral Reefs, 29, 309-327.

Borrell, C, M. Mari-Dell'Olmo, M. Rodriguez-Sanz, P.Garcia-Olalla, J.A. Cayla, J. Benach, and C. Muntaner, 2006: Socioeconomic position and excess mortality during the heat wave of 2003 in Barcelona. European Journal of Epidemiology, 21(9), 633-640.

Boruff, B.J., J.A. Easoz, S.D. Jones, H.R. Landry, J.D. Mitchem, and S.L. Cutter, 2003: Tornado hazards in the United States. Climate Research, 24, 103-117.

Botzen, W.J.W., L.M. Bouwer, and J.C.J.M. van den Bergh, 2010: Climate change and hailstorm damage: Empirical evidence and implications for agriculture and insurance. Resource and Energy Economics, 32, 341-362.

Bouwer, L.M., 2010: Disasters and climate change: analysis and methods for projecting future losses from extreme weather. Ph.D. thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands, 141 pp., dare.ubvu.vu.nl/bitstream/1871/16355/1/dissertation.pdf.

Bouwer, L.M., 2011: Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change? Bulletin of the American Meteorological Society, 92, 39-46.

Bouwer, L.M. and W.J.W. Botzen, 2011: How sensitive are US hurricane damages to climate? Comment on a paper by W.D. Nordhaus. Climate Change Economics, 2, 1-7.

Bouwer, L.M., R.P. Crompton, E. Faust, P. Hoppe, and R.A. Pielke Jr., 2007: Confronting disaster losses. Science, 318, 753.

Bouwer, L.M., P. Bubeck, and J.C.J.H. Aerts, 2010: Changes in future flood risk due to climate and development in a Dutch polder area. Global Environmental Change, 20, 463-471.

Breshears, D.D. and C.D. Allen, 2002: The importance of rapid, disturbance-induced losses in carbon management and sequestration. Global Ecology and Biogeography, 11, 1-5.

Breshears, D.D., N.S. Cobb, P.M. Rich, K.P. Price, C.D. Allen, R.G. Balice, W.H. Romme, J.H. Kastens, M.L. Floyd, J. Belnap, J.J. Anderson, O.B. Myers, and C.W. Meyer, 2005: Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(42), 15144-15148.

Bronstert, A., A. Bardossy, C. Bismuth, H. Buiteveld, M. Disse, H. Engel, U. Fritsch, Y. Hundecha, R. Lammersen, D. Niehoff, and N. Ritter, 2007: Multi-scale modeling of land-use change and river training effects on floods in the Rhine basin. River Research and Applications, 23(10), 1102-1125.

Brooks, N., 2004: Drought in the Africa Sahel: long-term perspectives and future prospects. Working paper 61, Tyndall Centre for Climate Research, University of East Anglia, Norwich, UK, 31 pp.

Brooks, N., W.N. Adger, and P.M. Kelly, 2005: The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global Environmental Change, 15, 151-163.

Brookshire, D.S., S.E. Chang, H. Cochrane, R.A. Olson, A. Rose, and J. Steenson, 1997: Direct and indirect economic losses from earthquake damage. Earthquake Spectra, 13, 683-701.

Brouwer, R., S. Akter, L. Brander, and E. Haque, 2007: Socioeconomic vulnerability and adaptation to environmental risk: acase study of climate change and flooding in Bangladesh. Risk Analysis, 27, 313-326.

BTE, 2001: Economic costs of natural disasters in Australia. Report 103, Bureau of Transport Economics, Canberra, Australia, 170 pp.

Burnley, I. and P. Murphy, 2004: Sea Change: Movement from Metropolitan to Arcadian Australia. UNSW Press, Sydney, Australia, 272 pp.

Burton, I. and E. May, 2004: The adaptation deficit in water resources management. IDS Bulletin, 35(3), 31-37.

Burton, K., R. Kates, and G. White, 1993: The Environment as Hazard. 2nd ed. Guilford Press, New York, NY, 290 pp.

Bussotti, F., E. Cenni, M. Ferretti, A. Cozzi, L. Brogi, and A. Mecci, 1995: Forest condition in Tuscany (Central Italy) - Field surveys 1987-1991. Forestry, 68(1), 11-24.

Butcher, G.V. and S. Ford, 2009: Modeling the regional economic impacts of the 2007/08 drought: results and lessons. Paper presented at the 2009 NZARES Conference, Nelson, New Zealand, 27-28 August 2009, 11 pp., ageconsearch.umn.edu/bitstream/97167/2/2009_22_Economic%20Impact%20of%202007-08%20Drought_ButcherG.pdf.

Butry, D., E. Mercer, J. Prestemon, J. Pye, and T. Holmes, 2001: What is the price of catastrophic wildfire? Journal of Forestry, 99(11), 9-17.

Buzinde, C.N., D. Manuel-Navarrete, E.E. Yoo, and D. Morais, 2010: Tourists' perceptions in a climate of change: Eroding destinations. Annals of Tourism Research, 37(2), 333-354.

Buzna, L., K. Peters, and D. Helbing, 2006: Modelling the dynamics of disaster spreading in networks. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 363(1), 132-140.

Cadier, E., M. Villacis, A. Graces, P. Lhuissier, L. Maisincho, R. Laval, D. Paredes, B. Caceres, and B. Francou, 2007: Variation of a low latitude Andean glacier according to global and local climate variations: first results. In: Glacier Mass Balances and Meltwater Discharge [Ginot, P. and J.E. Sicart (eds.)]. IAHS Pub. No. 318, International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, UK, pp. 66-74.

Campbell, J.R., 2006: Traditional Disaster Reduction in Pacific Island Communities. GNS Science Report 2006/38, Institute of Geological and Nuclear Sciences, Lower Hutt, New Zealand, 46 pp.

Cardemil, L., J.C. Di Tata, and F. Frantischek, 2000: Central America: adjustment and reforms in the 1990s. Finance and Development, 37(1), 34-37, www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2000/03/cardemil.htm.

Carson, R., R. Mitchell, M. Hanemann, R. Kopp, S. Presser, and P. Ruud, 2003: Contingent valuation and lost passive use: damages from the Exxon Valdez oil spill. Environmental and Resource Economics, 25, 257-286.

Carter, L.M., S.J. Cohen, N.B. Grimm, and J.L. Hatfield, 2008: Weather and Climate Extremes in a Changing Climate, Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean and U.S. Pacific Islands. Synthesis and Assessment Product 3.3, Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change, Washington, DC, 162 pp.

Carter, M.R., P.D. Little, T. Mogues, and W. Negatu, 2007: Poverty traps and natural disasters in Ethiopia and Honduras. World Development, 35(5), 835-856, doi:10.1016/j.worlddev.2006.09.010.

Caselli, F. and P. Malhotra, 2004: Natural Disasters and Growth: from Thought Experiment to Natural Experiment, International Monetary Fund, Washington, DC, 29 pp.

Casimiro, E. and J.M. Calheiros, 2002: Human health. In: Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures—SIAM Project [Santos F.D., K. Forbes, and R. Moita (eds.)]. Gradiva Publishers, Lisbon, Portugal, pp. 241-300.

Cavallo, E. and I. Noy, 2009: The Economics of Natural Disasters: A Survey. IDB Working Paper 09-19, Inter-American Development Bank, Washington, DC, 48 pp.

Cavallo, E. and I. Noy, 2010: The Economics of Natural Disasters: A Survey. IDB Working Paper Series, No. IDB-WP-124, Inter-American Development Bank, Washington, DC, 50 pp., www.iadb.org/res/publications/pubfiles/pubIDB-WP-124.pdf.

CCSP, 2008: Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase I. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research [Savonis, M.J., V.R. Burkett, and J.R. Potter (eds.)]. Department of Transportation, Washington, DC, 445 pp.

CDHS, 2007: Review of July 2006 Heatwave Related Fatalities in California. CDHS Report, Epidemiology and Prevention for Injury Control Branch, California Department of Health Services, Sacramento, CA, 10 pp.

Chang, H., J. Franczyk, and C. Kim, 2009: What is responsible for increasing flood risks? The case of Gangwon Province, Korea. Natural Hazards, 48, 399-354.

Changnon, S. (ed.), 1996: The Great Flood of 1993. Westview Press, Boulder, CO, 321 pp.

Changnon, S.A., 2001: Damaging thunderstorm activity in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 82, 597-608.

Changnon, S.A., 2006: Railroads and Weather: From Fogs to Floods and Heat to Hurricanes, the Impacts of Weather and Climate on American Railroading. American Meteorological Society, Boston, MA, 136 pp.

Changnon, S.A., 2009: Increasing major hail losses in the U.S. Climatic Change, 96, 161-166.

Chapin, F.S., T.V. Callaghan, Y. Bergeron, M. Fukuda, J.F. Johnstone, G. Juday, and S.A. Zimov, 2004: Global change and the boreal forest: thresholds, shifting states or gradual change? Ambio, 33, 361-365.

Charveriat, C., 2000: Natural Disasters in Latin America and the Caribbean: An Overview of Risk. IDB Working Paper 434, Inter-American Development Bank, Washington, DC, 104 pp.

Chen, K. and J. McAneney, 2006: High-resolution estimates of Australia's coastal population with validations of global population, shoreline and elevation datasets. Geophysical Research Letters, 33, L16601, doi:10.1029/2006GL026981.

Cheng, S. and R. Wang, 2002: An approach for evaluating the hydrological effects of urbanization and its application. Hydrological Processes, 16(7), 1403-1418.

Choi, O. and A. Fisher, 2003: The impacts of socioeconomic development and climate change on severe weather catastrophe losses: Mid-Atlantic Region (MAR) and the US. Climatic Change, 58(1-2), 149-170.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W. Kwon, R. Laprise, V.M. Rueda, L. Mearns, C.G. Menendez, J. Raisanen, A. Rinke, A. Sarr, and P. Whetton, 2007: Regional climate projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.847-933.

Christensen, N.S., A.W. Wood, N. Voisin, D.P. Lettenmaier, and R.N. Palmer, 2004: The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. Climatic Change, 62(1), 337-363.

Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogee, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, Chr. Bernhofer, A. Carrara, F. Chevallier, N. De Noblet, A.D. Friend, P. Friedlingstein, T. Grunwald, B. Heinesch, P. Keronen, A. Knohl, G. Krinner, D. Loustau, G. Manca, G. Matteucci, F. Miglietta, J.M. Ourcival, D. Papale, K. Pilegaard, S. Rambal, G. Seufert, J.F. Soussana, M.J. Sanz, E.D. Schulze, T. Vesala, and R. Valentini, 2005: Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. Nature, 437(7058), 529-533.

Ciscar, J.C. (ed.), 2009: Climate Change Impacts in Europe: Final Report of the PESETA research project. EUR 24093 EN-2009, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, EU Publications, Luxembourg, Luxembourg, 113 pp.

Clarke, M.L. and H.M. Rendell, 2006: Hindcasting extreme events: the occurrence and expression of damaging floods and landslides in Southern Italy. Land Degradation and Development, 17(4), 365-380.

Collier, P., V. Elliot, H. Hegre, A. Hoeffler, M. Reynal-Querol, and N. Sambanis, 2003: Breaking the Conflict Trap: Civil War and Development Policy. World Bank, Washington, DC.

Corominas, J., 2005: Impacto sobre los riesgos naturales de origen climatico: inestabilidad de laderas. In: Proyecto ECCE. Evaluacion Preliminar de los impactos en Espana por efecto del Cambio Climatico [Moreno, J.M. (ed.)]. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, Spain, pp. 549-579.

Costa, M.H. and G.F. Pires, 2010: Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. International Journal of Climatology, 30(13), 1970-1979.

Costanza, R. and J. Farley. 2007. Ecological economics of coastal disasters: Introduction to the Special Issue. Ecological Economics, 63, 249-253.

Costello, L., 2007: Going bush: the implications of urban-rural migration. Geographical Research, 45, 85-94.

Costello, L., 2009: Urban-rural migration: housing availability and affordability. Australian Geographer, 40, 219-233.

CRED, 2010: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Data Base. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Universite Catholique de Louvain, Louvain, Belgium, www.emdat.be/Database/.

Crichton, D., 2007: What can cities do to increase resilience? Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365(1860), 2731-2739.

Crompton, R.P. and K.J. McAneney, 2008: Normalised Australian insured losses from meteorological hazards: 1967-2006. Environmental Science and Policy, 11, 371-378.

Crompton, R.P., K.J. McAneney, and K. Chen, 2010: Influence of location, population, and climate on building damage and fatalities due to Australian bushfire: 1925–2009. Weather, Climate, and Society, 2, 300-310.

Crompton, R., R.A. Pielke Jr., and J. McAneney, 2011: Emergence timescales for detection of anthropogenic climate change in US tropical cyclone loss data. Environmental Research Letters, 6(1), doi:10.1088/1748-9326/6/1/014003.

Crosta, G.B., H. Chen, and C.F. Lee, 2004: Replay of the 1987 Val Pola Landslide, Italian Alps. Geomorphology, 60(2, 3), 127-146.

Crowards, T., 2000: Comparative Vulnerability to Natural Disasters in the Caribbean. Staff Working Paper No. 1/00, Caribbean Development Bank, Charleston, SC, 21 pp.

Crozier, M.J., 2010: Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. Geomorphology, 124(3-4), 260-267, doi:10.1016/j.geomorph.2010.04.009.

Cruz, A., 2005: NaTech disasters: a review of practices, lessons learned and future research needs. Paper presented at the 5th Annual IIASA-DPRI Forum, Integrated Disaster Risk Management: Innovations in Science and Policy, Beijing, China, 14-18 September 2005, 10 pp.

Cruz, R.V., H. Harasawa, M. Lal, S. Wu, Y. Anokhin, B. Punsalmaa, Y. Honda, M. Jafari, C. Li and N. Huu Ninh, 2007: Asia. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 469-506.

Cummins, J., and O. Mahul, 2009: Catastrophe Risk Financing in Developing Countries: Principles for Public Intervention. World Bank, Washington, DC.

Cuny, F.C., 1983: Disasters and Development. Oxford University Press, Oxford, UK, 278 pp.

Curriero, F.C., J.A. Patz, J.B. Rose, and S. Lele, 2001: The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994. American Journal of Public Health, 91(8), 1194-1199, doi:10.2105/AJPH.91.8.1194.

Cutter, S. and C. Emrich, 2005: Are natural hazards and disaster losses in the U.S. increasing? EOS, 86(41), 381-396.

Cutter, S.L. and C.T. Emrich, 2006: Moral hazard, social catastrophe: the changing face of vulnerability along the hurricane coasts. Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604, 102-112.

Cutter, S.L. and C. Finch, 2008: Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(7), 2301-2306.

Cutter, S.L., L. Barnes, M. Berry, C. Burton, E. Evans, E. Tate, and J. Webb, 2008: A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Global Environmental Change, 18, 598-606. D'Almeida, C., C.J. Vorosmarty, G.C. Hurtt, J.A. Marengo, S.L. Dingman, and B.D. Keim, 2007: The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. International Journal of Climatology, 27,633-648.

Dao, H. and P. Peduzzi, 2004: Global evaluation of human risk and vulnerability to natural hazards In: Proceedings of ENVIROINFO 2004, 18th International Conference Informatics for Environmental Protection, Vol. 1, CERN, Geneva, Switzerland, 21-23 October 2004, Sh@ring, Editions du Tricorne, Geneva, Switzerland, pp. 435-446.

Dasgupta, S., B. Laplante, S. Murray, and D. Wheeler, 2009: Sea-Level Rise and Storm Surges: A Comparative Analysis of Impacts in Developing Countries. Policy Research Working Paper 4901, World Bank Development Research Group, Environment and Energy Team, Washington, DC, 41 pp.

Dash, S., R. Jenamani, S. Kalsi, and S. Panda, 2007: Some evidence of climate change in twentieth-century India, Climatic Change, 85, 299-321.

Davis, R.E, P.C. Knappenberger, P.J. Michaels, and W.M. Novicoff, 2003: Changing heat-related mortality in the United States. Environmental Health Perspectives, 111, 1712-1718.

Dawson, R. J., J.W. Hall, P.D. Bates, and R.J. Nicholls, 2005: Quantified analysis of the probability of flooding in the Thames Estuary under imaginable worst-case sea level rise scenarios. International Journal of Water Resources Development, 21(4), 577-591, doi:10.1080/07900620500258380.

Dawson, R.J., M.E. Dickson, R.J. Nicholls, J.W. Hall, M.J.A. Walkden, P.K. Stansby, M. Mokrech, J. Richards, J. Zhou, J. Milligan, A. Jordan, S. Pearson, J. Rees, P.D. Bates, S. Koukoulas, and A.R. Watkinson, 2009: Integrated analysis of risks of coastal flooding and cliff erosion under scenarios of long term change. Climatic Change, 95, 249-288.

de Bruin, K., R.B.Dellink, A.Ruijs, L. Bolwidt, A. vanBuuren, J. Graveland, R.S. deGroot, P.J.Kuikman, S. Reinhard, R.P. Roetter, V.C. Tassone, A. Verhagen, and E.C. van Ierland, 2009: Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. Climatic Change, 95(1-2), 23-45.

de Wit, M. and J. Stankiewicz, 2006: Changes in water supply across Africa with predicted climate change. Science, 311, 1917-1921.

DEFRA, 2004: Scientific and Technical Aspects of Climate Change, including Impacts and Adaptation and Associated Costs. Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, UK, 19 pp., www.newforestnpa.gov.uk/__data/assets/pdf_file/0016/20473/152-07_annex_3_climate_change.pdf.

DEFRA, 2006: The UK's Fourth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, UK, 135 pp., unfccc.int/resource/docs/natc/uknc4.pdf.

Delpla, I., A.-V. Jung, E. Baures, M. Clement, and O. Thomas, 2009: Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. Environment International, 35(8), 1225-1233.

Deschênes, O. and M. Greenstone, 2007: The economic impacts of climate change: Evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. The American Economic Review, 97(1), 354-385.

Devoy, R.J.N., 2008: Coastal vulnerability and the implications of sea-level rise for Ireland. Journal of Coastal Research, 24(2), 325-341.

DHS, 2009: January 2009 Heatwave in Victoria: an Assessment of Health Impacts. Victorian Govt. Department of Human Services, Melbourne, Australia, 16 pp.

Dodman, D. and D. Satterthwaite, 2008: Institutional capacity, climate change adaptation and the urban poor. Institute of Development Studies Bulletin, 39(4), 67-74.

Donat, M.G., G.C. Leckebusch, J.G. Pinto, and U. Ulbrich, 2010: European storminess and associated circulation weather types: future changes deduced from a multimodel ensemble of GCM simulations. Climate Research, 42, 27-43.

Donat, M.G., G.C. Leckebusch, S. Wild, and U. Ulbrich, 2011: Future changes in European winter storm losses and extreme wind speeds inferred from GCM and RCM multi-model simulations. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 1351-1370.

Dorland, C., R.S.J. Tol, and J.P. Palutikof, 1999: Vulnerability of the Netherlands and Northwest Europe to storm damage under climate change. Climatic Change, 43, 513-535.

Douglas, I., 2009: Climate change, flooding and food security in south Asia, Food Security, 1(2), 127-136.

Douglas, I., K. Alam, M. Maghenda, Y. Mcdonnell, L. Mclean, and J. Campbell, 2008: Unjust waters: climate change, flooding and the urban poor in Africa, Environment and Urbanization, 20 (1), 187-205.

Downton, M. and R.A. Pielke, Jr., 2005: How accurate are disaster loss data? The case of U.S. flood damage. Natural Hazards, 352, 211-228.

Downton, M.W., J.Z.B. Miller, and R.A. Pielke, 2005: Reanalysis of US National Weather Service flood loss database. Natural Hazards Review, 6, 13-22.

Dregne, H.E., 1986: Desertification of arid lands. In: Physics of Desertification [El-Baz, F. and M.H.A. Hassan (eds.)]. Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, pp. 4-34.

DSD,1994: Barbados Declaration. A/CONF.167/9,I, Annex I. Report of the Global Conference on the Sustainable Development of Small Island Developing States, Bridgetown, Barbados, 25 April-6 May 1994, United Nations Division for Sustainable Development, Department of Economic and Social Affairs, New York, NY, USA, 77 pp., islands.unep.ch/dbardecl.htm.

Eakin, C.M., J. A. Morgan, S. F. Heron, T. B. Smith, G. Liu, et al., 2010: Caribbean corals in crisis: record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. Public Library of Science ONE, 5(11), e13969, doi:10.1371/journal.pone.0013969.

Easterling, W. and M. Apps, 2005: Assessing the consequences of climate change for food and forest resources: A view from the IPCC. Climate Change, 70, 165-189.

Easterling, W.E., P.K. Aggarwal, P. Batima, K.M. Brander, L. Erda, S.M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber, and F.N. Tubiello, 2007: Food, fibre and forest products. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 273-313.

Ebersole, B.A., J.J. Westerink, S. Bunya, J.C. Dietrich, and M.A. Cialone, 2010: Development of storm surge which led to flooding in St. Bernard Polder during Hurricane Katrina. Ocean Engineering, 37, 91-103.

Ebi, K.L. and G.A. Meehl, 2007: The Heat is On: Climate Change & Heatwaves in the Midwest. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA, 14 pp., www.pewclimate.org/docUploads/Regional-Impacts-Midwest.pdf.

Ebi, K.L., J. Balbus, P.L. Kinney, E. Lipp, D. Mills, M.S. O'Neill, and M. Wilson, 2008: Effects of global change on human health. In: Analyses of the Effects of Global Change on Human Health and Welfare and Human Systems [Gamble, J.L. (ed.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, pp. 2-1 to 2-78.

ECA, 2009: Shaping Climate-Resilient Development: A Framework for Decision-Making Study. Report of the Economics of Climate Adaptation Working Group, New York, NY, 159 pp.

ECLAC, 2003: Handbook for Estimating the Socio-economic and Environmental Effects of Disasters. LC/MEX/G.5, LC/L 1874, Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Santiago, Chile, 354 pp., www.undp.org/cpr/disred/documents/publications/eclac_handbook.pdf.

EEA, 2004: Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment. EEA Report No. 2/2004, European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark, 100 pp.

EEA, 2008: Impacts of Europe's changing climate- 2008 indicator-based assessment. EEA Report No.4/2008, European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark, 19 pp., doi:10.2800/48117.

EEA, 2009: Regional Climate Change and Adaptation: The Alps Facing the Challenge of Changing Water Resources. EEA Report No. 8, European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark, 143 pp.

Ehmer, P. and E. Heymann, 2008: Climate change and tourism: Where will the journey lead? Deutsche Bank Research, Frankfurt am Main, Germany, 28 pp.

Ellson, R.W., J.W. Milliman, and R.B. Roberts, 1984: Measuring the regional economic effects of earthquakes and earthquake predictions. Journal of Regional Science, 24(4), 559-579.

Elsasser, H. and R. Burki, 2002: Climate change as a threat to tourism in the Alps. Climate Research, 20, 253-257.

Emanuel, K., 2005: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. Nature, 436(7051), 686-688.

Endfield, G.H. and I.F. Tejedo, 2006: Decades of drought, years of hunger: archival investigations of multiple year droughts in late colonial Chihuahua. Climatic Change, 75(4), 391-419, doi:10.1007/s10584-006-3492-7.

Endlicher, W., G. Jendritzky, J. Fischer, and J.-P. Redlich, 2008: Heat waves, urban climate and human health. In Urban Ecology [Marzluff, J.M., E. Shulenberger, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, U. Simon, and C. ZumBrunnen (eds.)]. Springer, New York, NY, pp. 269-278.

Engelthaler, D.M., D.G. Mosley, J.E. Cheek, C.E. Levy, K.K. Komatsu, P. Ettestad, T. Davis, D.T. Tanda, L. Miller, J.W. Frampton, R. Porter, and R.T. Bryan, 1999: Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States. Emerging Infectious Diseases, 5(1), 87-94.

Eriksen, S.H., K. Brown, and P.M. Kelly, 2005: The dynamics of vulnerability: locating coping strategies in Kenya and Tanzania. Geographical Journal, 171, 287-305.

Esteban-Talaya, A., F. Lopez Palomeque, and E. Aguilo Perez, 2005: Impacts in the touristic sector. In: A Preliminary Assessment of the Impacts in Spain due to the Effect of Climate Change [Moreno, J.M. (ed.)]. Ministry of Environment, Madrid, Spain, pp. 653-690.

Eurostat, 2010: Ageing in the European Union: where exactly? Rural areas are losing the young generation quicker than urban areas. Eurostat Statistics in Focus, 26/2010, Eurostat, European Commission, Luxembourg, 16 pp.

Evans, B. and M. Webster, 2008: Adapting to Climate Change in Europe and Central Asia. Background Paper on Water Supply and Sanitation. World Bank Sustainable Development Department, Europe and Central Asia Region, Washington, DC, 34 pp.

Evans, E.P., R. Ashley, J.W. Hall, E.C. Penning-Rowsell, A. Saul, P.B. Sayers, C.R. Thorne, and A. Watkinson, 2004. Foresight Flood and Coastal Defence Project: Scientific Summary: Volume I, Future risks and their drivers. Office of Science and Technology, London, UK, 366 pp., www.bis.gov.uk/foresight/our-work/projects/published-projects/flood-and-coastal-defence/project-outputs/volume-1.

Faccio, S.D., 2003: Effects of ice storm-created gaps on forest breeding bird communities in central Vermont. Forest Ecology and Management, 186(1-3), 133-145.

Fankhauser, S., J.B. Smith, and R.S.J. Tol, 1999. Weathering climate change: some simple rules to guide adaptation decisions. Ecological Economics, 30(1), 67-78.

FAO, 2008: The State of Food Insecurity in the World 2008, High food prices and food security – threats and opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 56 pp.

FAO, 2009: The State of Agricultural Commodity Markets 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 63 pp.

Fallon, P. and R. Betts. 2010: Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation – the importance of an integrated approach. Science of Total Environment, 408, 5667-5687.

Fengqing, J., Z. Cheng, M. Guijin, H. Ruji, and M. Qingxia, 2005: Magnification of flood disasters and its relation to regional precipitation and local human activities since the 1980s in Xinxiang, Northwestern China. Natural Hazards, 36, 307-330.

Few, R., 2003: Flooding, vulnerability and coping strategies: local responses to a global threat. Progress in Development Studies, 3(43), 43-58.

Few, R., M. Ahern, F. Matthies, and S. Kovats, 2004: Floods, Health and Climate Change: A Strategic Review. Working Paper 63, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK, 138 pp.

Feyen, L., J.I. Barredo, and R. Dankers, 2009: Implications of global warming and urban land use change on flooding in Europe. Water and urban development paradigms – towards an integration of engineering. In: Design and Management Approaches [Feyen, J., K. Shannon, and M. Neville (eds.)]. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 217-225.

Field, C.B., L.D. Mortsch, M. Brklacich, D.L. Forbes, P. Kovacs, J.A. Patz, S.W. Running, and M.J. Scott, 2007: North America. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 617-652.

Field, R.D., G.R. Van Der Werf, and S.S.P. Shen, 2009: Human amplification of drought-induced biomass burning in Indonesia since 1960. Nature Geoscience, 2, 185-188.

Fink, A., T. Brucher, A. Kruger, G. Leckebusch, J. Pinto, and U. Ulbrich, 2004: The 2003 European summer heatwaves and drought – synoptic diagnosis and impacts. Weather, 59, 209-216.

Fischlin, A., G.F. Midgley, J.T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M.D.A. Rounsevell, O.P. Dube, J. Tarazona, and A.A. Velichko, 2007: Ecosystems, their properties, goods, and services. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 211-272.

FitzGerald, D.M., M.S. Fenster, B.A. Argow, and I.V. Buynevich, 2008: Coastal impacts due to sea-level rise, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 36(1),

601-647.

Folke, C., S.R. Carpenter, T. Elmquist, L.H. Gunderson, C.S. Holling, and B.H. Walker, 2002: Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. Ambio, 31, 437-440.

Folke, C., S. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Elmqvist, L. Gunderson, and C.S. Holling, 2004: Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 35, 557-581.

Fouillet, A, G. Rey, V. Wagner, K. Laaidi, P. Empereur-Bissonnet, A. Le Tertre, P. Frayssinet, P. Bessemoulin, F. Laurent, P. De Crouy-Chanel, E. Jougla, D. Hemon, 2008: Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. International Journal of Epidemiology, 37(2), 309-317.

Fowler, H.J., C.G. Kilsby, and P.E. O'Connell, 2003: Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience, and vulnerability of a water resource system. Water Resources Research, 39(8), 1222-1232.

Fowler, H.J., C.G. Kilsby, and J. Stunell, 2007: Modelling the impacts of projected future climate change on water resources in north-west England. Hydrology and Earth System Sciences, 11(3), 1115-1124.

Frazier, T.G., N. Wood, B. Yarnal, and D.H. Bauer, 2010: Influence of potential sea level rise on societal vulnerability to hurricane storm-surge hazards, Sarasota County, Florida. Applied Geography, 30(4), 490-505, doi:10.1016/j.apgeog.2010.05.005.

Freeman, P.K., 2000: Estimating chronic risk from natural disasters in developing countries: A case study in Honduras. Presented at the Annual Bank Conference on Development Economics – Europe Development Thinking at the Millennium, Paris, France, 26-28June, 2000, 10 pp.

Freeman, P.K., L. Martin, R. Mechler, K. Warner, with P. Hausman, 2002: Catastrophes and Development, Integrating Natural Catastrophes into Development Planning. World Bank Disaster Risk Management Working Paper Series No.4, World Bank, Washington, DC, 64 pp.

Frey, A.E., F. Olivera, J.L. Irish, L.M. Dunkin, J.M. Kaihatu, C.M. Ferreira, and B.L. Edge, 2010: The impact of climate change on hurricane flooding inundation, population affected, and property damages. Journal of the American Water Resources Association, 46(5), 1049-1059.

Fritze, J., G. Blashki, S. Burke, and J. Wiseman, 2008: Hope, despair and transformation: climate change and the promotion of mental health and wellbeing. International Journal of Mental Health Systems, 2,13.

Fuhrer, J., M. Beniston, A. Fischlin, C. Frei, S. Goyette, K. Jasper, and C. Pfister, 2006: Climate risks and their impact on agriculture and forests in Switzerland. Climatic Change, 79(1-2), 79-102.

Gaddis, E., B. Miles, S. Morse, and D. Lewis, 2007: Full-cost accounting of coastal disasters in the United States: Implications for planning and preparedness. Ecological Economics, 63, 307-318.

Ghesquiere, F., O. Mahul, M. Forni, and R. Gartley, 2006: Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility: A solution to the short-term liquidity needs of small island states in the aftermath of natural disasters. IAT03-13/3, World Bank, Washington, DC, 4 pp., siteresources.worldbank.org/PROJECTS/Resources/Catastrophicriskinsurancefacility.pdf.

Gillett, N.P., A.J. Weaver, F.W. Zwiers, and M.D. Flannigan, 2004: Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. Geophysical Research Letters, 31(18), L18211, doi:10.1029/2004GL020876.

Githeko, A.K., S.W. Lindsay, U.E. Confalonieri, and J.A. Patz, 2000: Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. Bulletin of the World Health Organization, 78, 1136-1147.

Gitlin, A.R., C.M. Sthultz, M.A. Bowker, S. Stumpof, K.L. Paxton, K.A. Kennedy, A. Munoz, J.K. Bailey, and T.G. Whitham, 2006: Mortality gradients within and among dominant plant populations as barometers of ecosystem change during extreme drought. Conservation Biology, 20(5), 1477-1486.

Goldstein, R., 2003: A Survey of Water Use and Sustainability in the United States with a Focus on Power Generation. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 64 pp.

Gössling, S. and C.M. Hall, 2006a: Tourism and Global Environmental Change. Ecological, Social, Economic and Political Interrelationships. Routledge, London, UK, 330 pp.

Gössling, S. and C.M. Hall, 2006b: Uncertainties in predicting tourist flows under scenarios of climate change. Climatic Change, 79(3-4), 163-173.

Gowdy, J., 2007: Toward an experimental foundation for benefit-cost analysis. Ecological Economics, 63, 649-655.

Granier, A., M. Reichstein, N. Breda, I.A. Janssens, E. Falge, P. Ciais, T. Grunwald, M. Aubinet, P. Berbigier, C. Bernhofer, N. Buchmann, O. Facini, G. Grassi, B. Heinesch, H. Ilvesniemi, P. Keronen, A. Knohlc, B. Kostner, F. Lagergren, A. Lindroth, B. Longdoz, D. Loustau, J. Mateusq, L. Montagnanir, C. Nyst, E. Moors, D. Papale, M. Peiffer, K. Pilegaard, G. Pita, J. Pumpanen, S. Rambal, C. Rebmann, A. Rodrigues, G. Seufert, J. Tenhunen, T. Vesala, and Q. Wang, 2007: Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. Agricultural and Forest Meteorology, 143(1-2), 123-145.

Griffith, G.P., E.A. Fulton, and A.J. Richardson, 2011: Effects of fishing and acidification-related benthic mortality on the southeast Australian marine ecosystem. Global Change Biology, 17(10), 3058-3074, doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02453.x.

Grothmann, T. and A. Patt, 2005: Adaptive capacity and human cognition: The process of individual adaptation to climate change. Global Environmental Change, Part A: Human and Policy Dimensions, 3(15), 199-213.

Guha-Sapir, D., F. Vos, R. Below, with S. Ponserre, 2011: Annual Disaster Statistical Review 2010: The numbers and trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Universite Catholique de Louvain, Brussels, Belgium, 42 pp.,cred.be/sites/default/files/ADSR_2010.pdf.

Guimaraes, P., F.L. Hefner, and D.P. Woodward, 1993: Wealth and income effects of natural disasters: An econometric analysis of Hurricane Hugo. Review of Regional Studies, 23, 97-114.

Guo, Y., J. Zhang, L. Zhang, and Y. Shen, 2009: Computational investigation of typhoon-induced storm surge in Hangzhou Bay, China. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 85, 530-553.

Haeberli, W., A. Kaab, D. Vonder Muhll, and P. Teysseire, 2001: Prevention of outburst floods from periglacial lakes at Grubengletscher, Valais, Swiss Alps. Journal of Glaciology, 47, 111-122.

Haines, A., R.S. Kovats, D. Campbell-Lendrum, and C. Corvalan, 2006: Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. The Lancet, 367, 2101-2109.

Hall, J.W., E.P. Evans, E.C. Penning-Rowsell, P.B. Sayers, C.R. Thorne, and A.J. Saul, 2003: Quantified scenarios analysis of drivers and impacts of changing flood risk in England and Wales: 2030-2100. Environmental Hazards, 5, 51-65.

Hall, J.W., P.B. Sayers, and R.J. Dawson, 2005: National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. Natural Hazards, 36(1-2), 147-164.

Hallegatte, S., 2007: The use of synthetic hurricane tracks in risk analysis and climate change damage assessment. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46, 1956-1966.

Hallegatte, S., 2008: A roadmap to assess the economic cost of climate change with an application to hurricanes in the United States. In: Hurricanes and Climate Change [Elsner, J.B. and T.H. Jagger (eds.)]. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, Germany, pp. 361-386.

Hallegatte, S., 2009: Strategies to adapt to an uncertain climate change. Global Environmental Change, 19(2), 240-247.

Hallegatte, S. and P. Dumas, 2009: Can natural disasters have positive consequences? Investigating the role of embodied technical change. Ecological Economics, 68, 777-786.

Hallegatte, S. and M. Ghil, 2007: Endogenous Business Cycles and the Economic Response to Exogenous Shocks. Working Papers 2007.20, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italy, 20 pp.

Hallegatte, S., J.C. Hourcade, and P. Dumas, 2007: Why economic dynamics matter in assessing climate change damages: illustration on extreme events. Ecological Economics, 62, 330-340.

Hallegatte, S., F. Henriet, A. Patwardhan, K. Narayanan, S. Ghosh, S. Karmakar, U. Patnaik, A. Abhayankar, S. Pohit, J. Corfee-Morlot, C. Herweijer, N. Ranger, S. Bhattacharya, M. Bachu, S. Priya, K. Dhore, F. Rafique, P. Mathur, and N. Naville, 2010: Flood Risks, Climate Change Impacts and Adaptation Benefits in Mumbai: An Initial Assessment of Socio-Economic Consequences of Present and Climate Change Induced Flood Risks and of Possible Adaptation Options. OECD Environment Working Papers No. 27, Organization for Economic Co-operation and Development Publishing, Paris, France, 61 pp. dx.doi.org/10.1787/5km4hv6wb434-en.

Hamilton, J.M., D.J. Maddison, and R.S.J. Tol, 2005: Climate change and international tourism: a simulation study. Global Environmental Change, 15, 253-266.

Handmer, J., 2003: We are all vulnerable. Australian Journal of Emergency Management, 18(3), 55-60.

Handmer, J. and S. Dovers, 2007: The Handbook of Disaster and Emergency Policy and Institutions. Earthscan, London, UK, 192 pp.

Handmer, J., C. Reed, and O. Percovich, 2002: Disaster Loss Assessment Guidelines. Department of Emergency Services, State of Queensland, Emergency Management Australia, Commonwealth Australia, 90 pp.

Handmer, J., S. O'Neil, and D. Killalea, 2010: Review of Fatalities in the February 7, 2009, Bushfires. Victorian Bushfires Royal Commission, Melbourne, Australia.

Hanson, S., R. Nicholls, N. Ranger, S. Hallegatte, J. Corfee-Morlot, C. Herweijer, and J. Chateau, 2011: A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. Climatic Change, 104, 89-111.

Hardoy, J.E., D. Mitlin, and D. Satterthwaite, 2001: Environmental Problems in an Urbanizing World: Finding Solutions for Cities in Africa, Asia and Latin America. Earthscan, London, UK, 448 pp.

Harvey, N. and B. Caton, 2003: Coastal Management in Australia. Oxford University Press, Melbourne, Australia, 342 pp.

Hashizume, M., Y. Wagatsuma, A.S. Faruque, T. Hayashi, P.R. Hunter, B.G. Armstrong, D.A. Sack, 2008: Factors determining vulnerability to diarrhoea during and after severe floods in Bangladesh. Journal of Water and Health, 6(3), 323-332.

Hatfield, J.L., 2010: Climate impacts on agriculture in the United States: The value of past observations. In: Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impact, Adaptation and Mitigation [Hillel, D. and C. Rosenzweig(eds.)]. Imperial College Press, London, UK, pp. 239-253.

Hatfield, J.L., K.J. Boote, P. Fay, L. Hahn, C. Izaurralde, B.A. Kimball, T. Mader, J. Morgan, D. Ort, W. Polley, A. Thomson, and D. Wolfe, 2008: Agriculture. In: The Effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, Water Resources, and Biodiversity in the United States. A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC, pp. 21-74.

Hatfield, J.L., K.J. Boote, B.A. Kimball, L. Ziska, R.C. Izaurralde, D. Ort, A.M. Thomson, and D.A. Wolfe, 2011: Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. Agronomy Journal, 103(2), 351-370.

Hay, J. and N. Mimura, 2010: The changing nature of extreme weather and climate events: risks to sustainable development. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 1(1), 3-18.

Heger, M., A. Julca, and O. Paddison, 2008: Analysing the Impact of Natural Hazards in Small Economies: The Caribbean Case. UNU/WIDER Research Paper 2008/25, The World Institute for Development Economics Research, Helsinki, Finland, 27 pp.

Hein, L., M.J. Metzger, and A. Moren, 2009: Potential impacts of climate change on tourism; a case study for Spain. Current Opinion in Environmental Sustainability, 1, 170-178.

Hennessy, K., C. Lucas, N. Nicholls, J. Bathols, R. Suppiah, and J. Ricketts, 2006: Climate change impacts on fire-weather in south-east Australia. CSIRO Marine and Atmospheric Research, Bushfire CRC and Australia Bureau of Meteorology, Clayton South Victoria, Australia, 88 pp.

Hennessy, K., B. Fitzharris, B.C. Bates, N. Harvey, S.M. Howden, L. Hughes, J. Salinger, and R. Warrick, 2007: Australia and New Zealand. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 507-540.

Hess, J.J., J.N. Malilay, and A.J. Parkinson, 2008: Climate change: The importance of place. American Journal of Preventive Medicine, 35(5), 468-478.

Hilker, N., A. Badoux, and C. Hegg, 2009: The Swiss flood and landslide damage database 1972–2007. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 913-925.

Hinkel, J., R.J. Nicholls, A.T. Vafeidis, R.S.J. Tol, and T. Avagianou, 2010: Assessing risk of and adaptation to sea-level rise in the European Union: an application of DIVA. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 15, 703-719.

Hirabayashi, Y. and S. Kanae, 2009: First estimate of the future global population at risk of flooding. Hydrological Research Letters, 3, 6-9.

Hjelle, B. and G.E. Glass, 2000: Outbreak of Hantavirus infection in the Four Corners region of the United States in the wake of the 1997-1998 El Nino-Southern Oscillation. Journal of Infectious Diseases, 181(5), 1569-1573.

Hlavinka, P., M. Trnka, D. Semeradova, M. Dubrovsky, Z. Zalud, and M. Mozny, 2009: Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. Agricultural and Forest Meteorology, 149, 431-442.

Hochrainer, S., and R. Mechler, 2011: Natural disaster risk in Asian megacities. A case for risk pooling? Cities, 28(1), 53-61.

Hoes, O.A.C. 2007: Aanpak wateroverlast in polders op basis van risicobeheer. Ph.D. thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 188 pp., repository.tudelft.nl/assets/uuid:69de94f9-385c-4c50-beff-8cc7b955beba/ceg_hoes_20070319.pdf.

Hoes, O., and W. Schuurmans, 2006: Flood standards or risk analyses for polder management in The Netherlands. Irrigation and Drainage, 55, S113-S119.

Hoes, O.A.C., W. Schuurmans, and J. Strijker, 2005: Water systems and risk analysis. Water Science and Technology, 51, 105-112.

Hoffman, R.N., P. Dailey, S. Hopsch, R.M. Ponte, K. Quinn, E.M. Hill, and B. Zachry, 2010: An estimate of increases in storm surge risk to property from sea level rise in the first half of the twenty-first century. Weather, Climate and Society, 2, 271-293.

Holling, C.S. (ed.), 1978: Adaptive environmental assessment and management. John Wiley, New York, NY, 377 pp.

Holper, P.N., S. Lucy, M. Nolan, C. Senese, and K. Hennessy, 2007: Infrastructure and Climate Change Risk Assessment for Victoria. Consultancy Report to the Victorian Government prepared by CSIRO, Maunsell Australia, and Phillips Fox, Aspendale, Victoria, Australia,84 pp.

Höppe, P. and T. Grimm, 2009: Rising natural catastrophe losses: What is the role of climate change? In: Economics and Management of Climate Change: Risks, Mitigation and Adaptation [Hansjurgens, B. and R. Antes (eds.)]. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 13-22.

Huey, C.A.D., J.J. Tewksbury, L.J. Vitt, P.E. Hertz, H.J.A. Perez, and T. Garland, Jr., 2009: Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. Proceedings of the Royal Society, Biology, 276, 1939-1948.

Huggel, C., W. Haeberli, A. Kaab, D. Bieri, and S. Richardson, 2004: An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. Canadian Geotechnical Journal, 41, 1068-1083.

Hughes, T.P., A.H. Baird, D.R. Bellwood, M. Card, S.R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J.B.C. Jackson, J. Kleypas, J.M. Lough, P. Marshall, M. Nystrom, S.R. Palumbi, J.M. Pandolfi, B. Rosen, and J. Roughgarden, 2003: Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. Science, 301, 929-933.

Huigen, M.G.A. and I.C. Jens, 2006: Socio-economic impact of Super Typhoon Harurot in San Mariano, Isabela, the Philippines. World Development, 34(12),

Huq, S., S. Kovats, H. Reid, and D. Satterthwaite, 2007: Editorial: Reducing risks to cities from disasters and climate change. Environment and Urbanization, 19(1), 3-15.

Hurkman, W.J., W.H. Vensel, C.K. Tanaka, L. Whitehead, and S.B. Altenbach, 2009: Effect of high temperature on albumin and globulin accumulation in the endosperm proteome of the developing wheat grain. Journal of Cereal Science, 49, 12-23.

Iglesias, A., L. Garrote, and F. Martin-Carrasco, 2009: Drought risk management in Mediterranean river basins. Integrated Environmental Assessment and Management, 5, 11-16, doi:10.1897/IEAM_2008-044.1.

Innes, J.L., 1992: Observations on the condition of beech (Fagus sylvatica L.) in Britain in 1990. Forestry, 65(1), 35-60.

IPCC, 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, and K. S. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1032 pp.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.

IPCC, 2010: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Detection and Attribution Related to Anthropogenic Climate Change [Stocker, T.F., C.B. Field, D. Qin, V. Barros, G.-K. Plattner, M. Tignor, P.M. Midgley, and K.L. Ebi (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, 55 pp.

Irish, J.L., A.E. Frey, J.D. Rosati, F. Olivera, L.M. Dunkin, J.M. Kaihatu, C.M. Ferreira, and B.L. Edge, 2010: Potential implications of global warming and barrier island degradation on future hurricane inundation, property damages, and population impacted. Ocean & Coastal Management, 53(10), 645-657, doi:10.1016/j.ocecoaman.2010.08.001.

Jones, B.M., C.D. Arp, M.T. Jorgenson, K.M. Hinkel, J.A. Schmutz, and P.L. Flint, 2009: Increase in the rate and uniformity of coastline erosion in Arctic Alaska. Geophysical Research Letters, 36, L03503, doi:10.1029/2008GL036205. Jones, R.N., 2004: Managing climate change risks. In: The Benefits of Climate Change Policies: Analytical and Framework Issues [Agrawal, S. and J. Corfee-Morlot (eds.)]. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, pp. 249-297.

Jonkman, S.N., 2007: Loss of Life Estimation in Flood Risk Assessment: Theory And Applications. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 354 pp.

Jonkman, S.N., M. Bočkarjova, M. Kok, and P. Bernardini, 2008: Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in The Netherlands. Ecological Economics, 66, 77-90.

Kahn, M.E., 2005: The death toll from natural disasters: The role of income, geography and institutions. The Review of Economics and Statistics, 87(2), 271-284.

Kalkstein, L., S. Greene, D. Mills, and J. Samenow, 2011: An evaluation of the progress in reducing heat-related human mortality in major U.S. cities. Natural Hazards, 56(1), 113-129, doi:10.1007/s11069-010-9552-3.

Kaplan, I.C., P.S. Levin, M. Burden, and E.A. Fulton, 2010: Fishing catch shares in the face of global change: a framework for integrating cumulative impacts and single species management. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 67, 1968-1982.

Karl, T.R., J.M. Melillo, and T.C. Peterson (eds.), 2009: Global Climate Change Impacts in the United States. U.S. Global Change Research Program, Cambridge University Press, New York, NY, 188 pp., downloads.globalchange.gov/usimpacts/pdfs/climate-impacts-report.pdf.

Karoly, D., 2010: The recent bushfires and extreme heat wave in southeast Australia. Bulletin of Australian Meteorological and Oceanographical Societies, 22, 10-13.

Kazama, S., T. Kono, K. Kakiuchi, and M. Sawamoto, 2009: Evaluation of flood control and inundation conservation in Cambodia using flood and economic growth models. Hydrological Processes, 23, 623-632.

Kellenberg, D.K. and A.M. Mobarak, 2008: Does rising income increase or decrease damage risk from natural disasters? Journal of Urban Economics, 63(3), 788-802.

Kettlewell, P.S., R.B. Sothern, and W.L. Koukkari, 1999: U.K. wheat quality and economic value are dependent on the North Atlantic Oscillation. Journal of Cereal Science, 29, 205-209.

Kim, H.Y., T. Horie, H. Nakagawa, and K. Wada, 1996: Effects of elevated CO2 concentration and high temperature on growth and yield of rice. II. The effect of yield and its component of Akihikari rice. Japanese Journal of Crop Science, 65, 644-651.

Kim, S., Y. Tachikawa, E. Nakakita, and K. Takara, 2009: Reconsideration of reservoir operations under climate change: case study with Yagisawa Dam, Japan. Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 53, 597-611.

Kim, U. and J.J. Kaluarachchi, 2009: Climate change impacts on water resources in the upper blue Nile river basin, Ethiopia. Journal of the American Water Resources Association, 45(6), 1361-1378.

Kleinen, T. and G. Petschel-Held, 2007: Integrated assessment of changes in flooding probabilities due to climate change. Climatic Change, 81(3), 283-312.

Knowlton, K., M. Rotkin-Ellman, G. King, H.G. Margolis, D. Smith, G. Solomon, R. Trent, and P. English, 2008: The 2006 California heatwave: Impacts on hospitalizations and emergency department visits. Environmental Health Perspectives, 117(1), 61-67.

Koppe, C., G. Jendritzky, R.S. Kovats, and B. Menne, 2004: Heat Waves: Risks and Responses. Health and Global Environmental Change, Series No. 2, World Health Organization, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 123 pp., www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/96965/E82629.pdf.

Korf, B., 2004: War, livelihoods and vulnerability in Sri Lanka. Development and Change, 35(2), 275-295.

Kosatsky, T., 2005: The 2003 European heatwaves. Euro Surveillance, 10(7), 148-149.

Kovats, R.S. and R. Akhtar, 2008: Climate, climate change and human health in Asian cities. Environment and Urbanization, 20(1), 165-175.

Kovats, R.S. and K. Ebi, 2006: Heatwaves and public health in Europe. European Journal of Public Health, 16(6), 592-599.

Kramer, R.A. 1995. Advantages and limitations of benefit-cost analysis for evaluating investments in natural disaster mitigation. In: Disaster Prevention for Sustainable Development: Economic and Policy Issues [Munasinghe, M. and C. Clarke (eds.)]. World Bank, Washington, DC, pp. 61-76.

Kshirsagar, N., R. Shinde, and S. Mehta, 2006: Floods in Mumbai: Impact of public health service by hospital staff and medical students. Journal of Postgraduate Medicine, 52(4), 312.

Kumar, R., R. Venuprasad, and G.N. Atlin, 2007: Genetic analysis of rainfed lowland rice drought tolerance under naturally-occurring stress in eastern India: Heritability and QTL effects. Field Crops Research, 103, 42-52.

Kundzewicz, Z., 2003: Water and climate – The IPCC TAR perspective. Nordic Hydrology, 34(5), 387-398.

Kundzewicz, Z.W. and H.-J. Schellnhuber, 2004: Floods in the IPCC TAR perspective. Natural Hazards, 31, 111-128.

Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N. Arnell, P. Doll, P. Kabat, B. Jimenez, K. Miller, T. Oki, Z. Sen, and I. Shiklomanov, 2007: Freshwater resources and their management. Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.173-210.

Kunst, A.E., C.W.N. Looman, and J.P. Mackenbath, 1993: Outdoor air temperature and mortality in The Netherlands: a time-series analysis. American Journal of Epidemiology, 137, 331-341.

Kurukulasuriya, P. and R. Mendelsohn, 2008a: Crop switching as a strategy for adapting to climate change. African Journal of Agricultural and Resource Economics, 2(1), 105-126.

Kurukulasuriya, P. and R. Mendelsohn, 2008b: How Will Climate Change Shift Agro-Ecological Zones and Impact African Agriculture? Policy Research Working Paper Series 4717, World Bank, Washington, DC, 31 pp.

L'HÔte, Y., G. Mahe, B. Some, and J.P. Triboulet, 2002: Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000: the drought continues. Hydrological Science Journal, 47, 563-572.

Lal, P.N., 2010. Vulnerability to natural disasters: an economic analysis of the impact of the 2009 floods on the Fijian sugar belt. Pacific Economic Bulletin, 25(2), 62-77.

Langner, J., R. Bergstrom, and V. Foltescu, 2005: Impact of climate change on surface ozone and deposition of sulphur and nitrogen in Europe. Atmospheric Environment, 39(6), 1129-1141.

Laschewski, G. and G. Jendritzky, 2002: Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from southwest Germany. Climate Research, 21, 91-103.

Lavorel, S. and W. Steffen, 2004: Cascading impacts of land use through time: the Canberra bushfire disaster. In: Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure [Steffen, W., A. Sanderson, P.D. Tyson, J. Jager, P.A. Matson, B. Moore III, F. Oldfield, K. Richardson, H.J. Schellnhuber, B.L. Turner II, and R.J. Wasson (eds.)]. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 186-188.

Leckebusch, G.C., U. Ulbrich, L. Frohlich, and J.G. Pinto, 2007: Property loss potentials for European midlatitude storms in a changing climate. Geophysical Research Letters, 34, L05703, doi:10.1029/2006GL027663.

Legesse, D., C. Vallet-Coulomb, and F. Gasse, 2003: Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: case study South Central Ethiopia. Journal of Hydrology, 275, 67-85.

Lehner, B., P. Doell, J. Alcamo, T. Henrichs, and F. Kaspar, 2006: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis. Climatic Change, 75(3), 273-299.

Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R.H. Thomas, and T. Zhang, 2007: Observations: Changes in snow, ice and frozen ground. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 337-383

Lemmen, D., F. Warren, J. Laeroix, and E. Bush (eds.), 2008: From Impacts to Adaptation: Canada in a Changing Climate 2007. Climate Change Impacts and Adaptation Division, Earth Sciences Sector, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada, 448 pp.

Lenton, T., A. Footitt, and A. Dlugolecki, 2009: Major Tipping Points in the Earth's Climate System and Consequences for the Insurance Sector. World Wide Fund for Nature, Gland, Switzerland and Allianz SE, Munich, Germany, 89 pp.

Létard, V., H. Flandre, and S. Lepeltier, 2004: France and the French response to the heatwave: Lessons from a crisis. In: Information report of the Senate number 195(2003-2004), Paris, France, 391 pp. (in French).

Levy, B.S. and V.W. Sidel (eds.), 2000: War and Public Health. American Public Health Association, Washington DC, 436 pp.

Li, L.H., H.G. Xu, X. Chen, and S.P. Simonovic, 2010: Streamflow forecast and reservoir operation performance assessment under climate change. Water Resources Management, 24(1), 83-104.

Lim, J.H., J.H. Chun, and J.H. Shin, 2010: Global warming related dieback of evergreen coniferous forests in Korea due to high temperature and drought stress in winter season. Proceedings of the XXIII IUFRO 2010 World Congress, 23-28 August, Seoul. The International Forestry Review, 12(5), 44-44.

Lindenmayer, D., D. Blair, L. McBurney, and S. Banks, 2010: Forest Phoenix: How A Great Forest Recovers After Wildfire. CSIRO, Melbourne, Australia.

Lise, W. and R.S.J. Tol, 2002: Impact of climate on tourism demand. Climatic Change, 55(4), 429-449.

Liu, X.P., J.Q. Zhang, D.W. Zhou, Z.S. Song, and X.T. Wuet, 2006: Study on grassland fire risk dynamic distribution characteristic and management policy. Chinese Journal of Grassland, 28(6), 77-83 (in Chinese).

Loayza, N., O. Eduardo, R. Jamele, and L. Christiaensen, 2009: Natural Disasters and Growth - Going Beyond the Averages. Policy Research Working Paper Series 4980, World Bank, Washington, DC, 40 pp.

Lobell, D.B., M.B. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W.P. Falcon, and R.L. Naylor, 2008: Prioritizing climate change adaptation needs forfood security in 2030. Science, 319, 607.

Lobell, D.B., W. Schlenker, and J. Costa-Roberts, 2011: Climate trends and global crop production since 1980. Science,333(6042), 616-620, doi:10.1126/science.1204531.

Love, G., A. Soares, and H. Puempel, 2010: Climate change, climate variability and transportation. Procedia Environmental Sciences, 1, 130-145.

Loveridge, F.A., T.W. Spink, A.S. O'Brien, K.M. Briggs, and D. Butcher, 2010: The impact of climate and climate change on infrastructure slopes, with particular reference to southern England. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 43(4), 461-472.

Lugeri, N., Z.W. Kundzewicz, E. Genovese, S. Hochrainer, and M. Radziejewski, 2010: River flood risk and adaptation in Europe – assessment of the present status. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 15(7), 621-639, doi:10.1007/s11027-009-9211-8.

Luo, Q., M.A.J. Williams, W. Bellotti, and B. Bryan, 2003: Quantitative and visual assessments of climate change impacts on South Australian wheat production. Agricultural Systems, 77, 173-186.

Lyon, B., 2003: Enhanced seasonal rainfall in northern Venezuela and the extreme events of December 1999. Journal of Climate, 16, 2302-2306.

Maaskant, B., S.N. Jonkman, and L.M. Bouwer, 2009: Future risk of flooding: an analysis of changes in potential loss of life in South Holland (The Netherlands). Environmental Science and Policy, 12, 157-169.

MacDonald, A.M., R.C. Calow, D.M.J. MacDonald, W.G. Darling, and B.E.O. Dochartaigh, 2009: What impact will climate change have on rural groundwater supplies in Africa? Hydrological Sciences Journal, 54(4), 690-703.

MacDonald, G.M., 2010: Climate change and water in Southwestern North America special feature: water, climate change, and sustainability in the southwest. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107, 21256-21262.

Magrin, G., C. Gay Garcia, D. Cruz Choque, J.C. Gimenez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre, and A. Villamizar, 2007: Latin America. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 581-615.

Maloney, S.K. and C.F. Forbes, 2011: What effect will a few degrees of climate change have on human heat balance? Implications for human activity. International Journal of Biometeorology,55(2), 147-160.

Mark, B.G. and G.O. Seltzer, 2003: Tropical glacier meltwater contribution to stream discharge: a case study in the Cordillera Blanca, Peru. Journal of Glaciology, 49, 271-281.

Markandya, A. and P. Watkiss, 2009: Potential Costs and Benefits of Adaptation Options: A Review of Existing Literature. Technical paper prepared for the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, Bonn, Germany.

Marques, S.C., U.M. Azeiteiro, F. Martinhoa, and M.A. Pardala, 2007: Climate variability and planktonic communities: The effect of an extreme event (severe drought) in a southern European estuary. Estuarine Coastal and Shelf Science, 73(3-4), 725-734.

McClung, D.M. and Schaerer, P., 2006: The Avalanche Handbook. The Mountaineers Books, Seattle, WA, 342 pp.

McGranahan, G., D. Balk, and B. Anderson, 2007: The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. Environment and Urbanization, 19(1), 17-37.

McGregor, G., M. Pelling, T. Wolf, and S. Gosling, 2007: The Social Impacts of Heat Waves. Science Report SC20061/SR6, Environment Agency, Bristol, UK.

McInnes, K.L., K.J.E. Walsh, G.D. Hubbert, and T. Beer, 2003: Impact of sea-level rise and storm surges on a coastal community. Natural Hazards, 30, 187-207.

McKechnie, A.E. and B.O. Wolf, 2010: Climate change increases the likelihood of catastrophic avian mortality events during extreme heatwaves. Biology Letters, 6(2), 253-256.

McKenzie, E., B. Prasad, and A. Kaloumaira, 2005: Economic Impact of Natural Disasters on Development in the Pacific. Volume I, South Pacific Applied Geoscience Commission and University of the South Pacific, Suva, Fiji.

McMaster, H.J., 1999: The potential impact of global warming on hail losses to winter cereal crops in New South Wales. Climatic Change, 43, 455-476.

McMichael, A.J., D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalan, K.L. Ebi, A.K. Githeko, J.D. Scheraga, and A. Woodward (eds.), 2003a: Climate Change and Human Health: Risks and Responses. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 322 pp.

McMichael, A., R. Woodruff, P. Whetton, K. Hennessy, N. Nicholls, S. Hales, A. Woodward, and T. Kjellstrom, 2003b: Human Health and Climate Change in Oceania: A Risk Assessment 2002. Commonwealth Department of Health and Ageing, Canberra, Australia, 128 pp.

McMichael, A.J., R.E. Woodruff, and S. Hales, 2006: Climate change and human health: present and future risks. The Lancet, 367, 859-869.

McMichael, A.J., P. Wilkinson, R.S. Kovats, S. Pattenden, B. Armstrong, N. Vajanapoom, E.M. Niciu, H. Mahomed, C. Kingkeow, M. Kosnik, M.S. O'Neill, I. Romieu, M. Ramirez-Aguilar, M.L. Barreto, N. Gouveia, and B. Nikiforov, 2008: International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. International Journal of Epidemiology, 37, 1121-1131.

Mechler, R., 2004: Natural Disaster Risk Management and Financing Disaster Losses in Developing Countries. Verlag Versicherungswirtsch, Karlsruhe, Germany, 235 pp.

Mechler, R., 2008: From Risk to Resilience. The Cost-Benefit Analysis Methodology. Working Paper 1, Provention Consortium, Geneva, Switzerland.

Mechler, R. and Z.W. Kundzewicz, 2010: Assessing adaptation to extreme weather events in Europe. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 15(7), 611-620.

Meehl, G.A. and C. Tebaldi, 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. Science, 305(5686), 994-997.

Meizhu, C., X. Guangji, W. Shaopeng, and Z. Shaoping, 2010: High-temperature hazards and prevention measurements for asphalt pavement. In: Proceedings of the International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), Wuhan, China, 26-28 June 2010.Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, pp. 1341-1344, doi:10.1109/MACE.2010.5536275.

Mendelsohn, R., 2007: What causes crop failure? Climatic Change, 81(1), 61-70.

Mendelsohn, R., A. Dinar, A. Dafelt, 2000: Climate Change Impacts on African Agriculture. World Bank, Washington, DC, 25 pp., www.ceepa.co.za/Climate_Change/pdf/%285-22-01%29afrbckgrnd-impact.pdf.

Meyer, M.D., 2008: Design Standards for U.S. Transportation Infrastructure. The Implications of Climate Change. Accession number 01104982, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 30 pp., onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Meyer.pdf.

Micklin, P., 2007: The Aral Sea disaster. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 35, 47-72.

Miller, S., R. Muir-Wood, and A. Boissonnade, 2008: An exploration of trends in normalised weather-related catastrophe losses. In: Climate Extremes and Society [Diaz, H.F. and R.J. Murnane (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 225-247.

Mills, E., 2005: Insurance in a climate of change. Science, 309, 1040-1044.

Mimura, N., L. Nurse, R.F. McLean, J. Agard, L. Briguglio, P. Lefale, R. Payet, and G. Sem, 2007: Small islands. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 687-716.

Ministry for the Environment, 2008: Coastal Hazards and Climate Change. A Guidance Manual for Local Government in New Zealand. 2nd ed. Revised by Ramsay, D. and R. Bell, Ministry of Agriculture and Forestry, Government of New Zealand, Wellington, New Zealand, 129 pp., mfe.govt.nz/publications/climate/coastal-hazards-climate-change-guidance-manual/coastal-hazardsclimate-change-guidance-manual.pdf .

Ministry of Agriculture and Forestry, 2005: Finland's National Strategy for Adaptation to Climate Change. Ministry of Agriculture and Forestry of Finland, Helsinki, Finland, 281 pp.

Ministry of Environment and Forest, 2005: National Adaptation Programme of Action (NAPA), Final Report. Government of the People's Republic of Bangladesh, Dhaka, Bangladesh.

Mirvis, V.M., 1999: Regularities of a change in the air temperature regime in Russia. In: Investigations in the Main Geophysical Observatory. Gidrometeoizdat, St. Petersburg, Russia.

Mitchell, J.K., 1998: Introduction: Hazards in changing cities. Applied Geography, 18, 1-6.

Moench, M., R. Mechler, and S. Stapleton, 2007. Guidance note on the costs and benefits of disaster risk reduction. In: UNISDR High Level Platform on Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland, 4-7 June 2007. International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 29 pp.

Mohammed, A.R. and L. Tarpley, 2009: High nighttime temperatures affect rice productivity through altered pollen germination and spikelet fertility. Agricultural and Forest Meteorology, 149, 999-1008.

Mokrech, M., R.J. Nicholls, J.A. Richards, C. Henriques, I.P. Holman, and S. Shackley, 2008: Regional impact assessment of flooding under future climate and socio-economic scenarios for East Anglia and North West England. Climatic Change, 90, 31-55.

Molesworth, A.M., L.E. Cuevas, S.J. Connor, A.P. Morse, and M.C. Thomson, 2003: Environmental risk and meningitis epidemics in Africa. Emerging Infectious Diseases, 9, 1287-1293.

Moline, M.A., N.J. Karnovsky, Z. Brown, G.J. Divoky, T.K. Frazer, C.A. Jacoby, J.J. Torres, and W.R. Fraser, 2008: High latitude changes in ice dynamics and their impact on polar marine ecosystems. Annals of the New York Academy of Sciences, 1134, 267-319, doi:10.1196/annals.1439.010.

Molua, E.L. and C.M. Lambi, 2006: The Economic Impact of Climate Change on Agriculture in Cameroon. CEEPA Discussion Paper No. 17, Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, Pretoria, South Africa, 33 pp.

Morin, E., T. Grodek, O. Dahan, G. Benito, C. Kulls, Y. Jacoby, G. Van Langenhove, M. Seely, and Y. Enzel, 2009: Flood routing and alluvial aquifer recharge along the ephemeral arid Kuiseb River, Namibia. Journal of Hydrology, 368, 262-275.

Morrissey, S.A. and J.P. Reser, 2007: Natural disasters, climate change and mental health considerations for rural Australia. Australian Journal of Rural Health, 15, 120-125.

Morton, D.C., M.E. Roessing, A.E. Camp, and M.L. Tyrrell, 2003: Assessing the Environmental, Social, and Economic Impacts of Wildfire. Research Paper 001, Yale University Global Institute of Sustainable Forestry, New Haven, CT, 54 pp. Mouillot, F., S. Rambal, and R. Joffre, 2002: Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem. Global Change Biology, 8, 423-437.

Moulin, C., C.E. Lambert, F. Dulac, and U. Dayan, 1997: Control of atmospheric export of dust from North Africa by the North Atlantic Oscillation. Nature, 387, 691-694.

Mozumder, P., E. Flugman, and T. Randhir, 2011: Adaptation behavior in the face of global climate change: Survey responses from experts and decision makers serving the Florida Keys. Ocean & Coastal Management, 54(1), 37-44, doi:10.1016/j.ocecoaman.2010.10.008.

Muller, C., W. Cramer, W.L. Hare, and H. Lotze-Campen, 2011: Climate change risks for African agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108, 4313-4315.

Munich Re, 2011: TOPICS GEO, Natural catastrophes 2010, Analyses, assessments, positions. Munich Reinsurance Company, Munich, Germany, www.munichre.com/publications/302-06735_en.pdf

Narita, D., R.S.J. Tol, and D. Anthoff, 2009: Damage costs of climate change through intensification of tropical cyclone activities: an application of FUND. Climate Research, 39, 87-97.

Narita, D., R.S.J. Tol, and D. Anthoff, 2010: Economic costs of extratropical storms under climate change: an application of FUND. Journal of Environmental Planning and Management, 53, 371-384.

NCDC, 2005: State of the Climate: Hurricanes & Tropical Storms for Annual 2005. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center, Washington, DC, 7 pp., www.ncdc.noaa.gov/sotc/tropical-cyclones/2005/13.

NCDC, 2011: State of the Climate: Global Hazards for December 2010. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center, Washington, DC, lwf.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2010/12.

Neria, Y., A. Nandi, and S. Galea, 2008. Post-traumatic stress disorder following disasters: a systematic review. Psychological Medicine, 38, 467-480.

Neumayer, E. and F. Barthel, 2011: Normalizing economic loss from natural disasters: a global analysis. Global Environmental Change, 22(1), 13-24.

Neumayer, E. and T. Plumper, 2007: The gendered nature of natural disasters: The impact of catastrophic events on the gender gap in life expectancy, 1981-2002. Annals of the Association of American Geographers, 97(3), 551-566.

New, M., 2002: Climate change and water resources in the southwestern Cape, South Africa. South African Journal of Science, 98, 369-373.

Niall, S. and K. Walsh, 2005: The impact of climate change on hailstorms in southeastern Australia. International Journal of Climatology, 25, 1933-1952.

Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden, and C.D. Woodroffe, 2007: Coastal systems and low-lying areas. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 315-356.

Nicholls, R.J., S. Hanson, C. Herweijer, N. Patmore, S. Hallegatte, J. Corfee-Morlot, J. Chateau, and R. Muir-Wood, 2008: Ranking Port Cities With High Exposure And Vulnerability to Climate Extremes: Exposure Estimates. OECD ENV/WKP 2007-1, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 62 pp.

Nicholson, S.E., X. Yin, and M.B. Ba, 2000: On the feasibility of using a lake water balance model to infer rainfall: An example from Lake Victoria. Hydrological Sciences Journal, 45, 75-95.

Nilsson, C., I. Stjerquist, L. Barring, P. Schlyter, A.M. Jonsson, and H. Samuelson, 2004: Recorded storm damage in Swedish forests 1901-2000. Forest Ecology and Management, 199, 165-173.

Nkomo, J.C. and G. Bernard, 2006: Estimating and Comparing Costs and Benefits of Adaptation Projects: Case Studies in South Africa and The Gambia. AIACC Project No. AF 47, Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change, International START Secretariat, Washington, DC, 137 pp.

Nordhaus, W.D., 2010: The economics of hurricanes and implications of global warming. Climate Change Economics, 1, 1-20.

Nordhaus, W.D. and J. Boyer, 2000: Warming the World: Economic Models of Global Warming. MIT Press, Cambridge, MA, 232 pp.

Nöthiger, C. and H. Elsasser, 2004: Natural hazards and tourism: new findings on the European Alps. Mountain Research and Development, 24(1), 24-27.

Noy, I., 2009: The macroeconomic consequences of disasters. Journal of Development Economics, 88(2), 221-231.

NRC, 2008: Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation. National Research Council, Transportation Research Board Special Report 290, National Academy of Sciences, Washington, DC.

NWS, 2011: National Weather Service Natural Hazard Statistics. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Climate, Water, and Weather Services, Silver Spring, MD, www.nws.noaa.gov/om/hazstats.shtml.

OCDESC, 2007: National Hazardscape Report. Officials Committee for Domestic and External Security Coordination, Department of the Prime Minister and Cabinet, Wellington, New Zealand, 139 pp.

OECD-FAO, 2008: OECD-FAO Agricultural Outlook 2008-2017, Highlights. Organization for Economic Co-operation and Development and Food and Agriculture Organization, Paris, France, 72 pp., www.fao.org/es/ESC/common/ecg/550/en/AgOut2017E.pdf.

Oh, C.H. and R. Reuveny, 2010: Climatic natural disasters, political risk, and international trade. Global Environmental Change, 20, 243-254.

Ojeda, J. and L. Donnelly, 2006: Landslides in Colombia and their Impact on Towns and Cities. IAEG2006 Paper 112, Geological Society of London, London, UK, 13 pp., iaeg.info/iaeg2006/papers/iaeg_112.pdf.

Okuyama, Y. and S. Sahin, 2009: Impact Estimation of Disasters: A Global Aggregate for 1960 to 2007. World Bank Policy Research Working Paper 4963, World Bank, Washington, DC, 40 pp.

Opdam, P. and D. Wascher, 2004: Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. Biological Conservation, 117, 285-297.

Osman-Elasha, B., M. Medany, I. Niang-Diop, T. Nyong, R. Tabo, and C. Vogel, 2006: Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Africa. Background paper for the African Workshop on Adaptation, Implementation of Decision 1/CP.10 of the UNFCCC Convention, Accra, Ghana, 21-23 September 2006, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, 54 pp.

Otero, R.C. and R.Z. Marti, 1995. The impacts of natural disasters on developing economies: Implications for the international development and disaster community. In: Disaster Prevention for Sustainable Development: Economic and Policy Issues [Munasinghe, M. and C. Clarke (eds.)]. World Bank, Washington, DC, pp.11-40.

Oxfam, 2007: Adapting to Climate Change. What is Needed in Poor Countries and Who Should Pay? Oxfam Briefing Paper 104, Oxfam International, Oxford, UK, 47 pp.

PACJA, 2009: The Economic Cost of Climate Change in Africa. The Pan African Climate Justice Alliance, Nairobi, Kenya, 49 pp.

Pagiola, S., K. von Ritter, and J. Bishop, 2004: Assessing the Economic Value of Ecosystem Conservation. World Bank Environment Department Paper No.101, World Bank, Washington, DC, 58 pp.

Palecki, M.A., S.A. Changnon, and K.E. Kunkel, 2001: The nature and impacts of the July 1999 heatwave in the midwestern United States: Learning from the lessons of 1995. Bulletin of the American Meteorological Society, 82(7), 1353-1368.

Pandey, S., D.D. Behura, R. Villano, and D. Naik, 2000: Economic Costs of Drought and Farmers' Coping Mechanisms: A Study of Rainfed Rice Systems in Eastern India. IRRI Discussion Paper Series 39, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 35 pp.

Park, J.H., L. Duan, B. Kim, M.J. Mitchell, and H. Shibata, 2010: Potential effects of climate change and variability on watershed biogeochemical processes and water quality in Northeast Asia. Environment International, 36(2), 212-225.

Parmenter, R., E. Yadav, C. Parmenter, P. Ettestad, and K. Gage,1999: Incidence of plague associated with increased winter-spring precipitation in New Mexico. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 61(5), 814-821.

Parmesan, C., T.L. Root, and M.R. Willig, 2000: Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. Bulletin of the American Meteorological Society, 81, 443-450.

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof and co-authors, 2007. Technical summary. Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 23-78.

Parry, M., N. Arnell, P. Berry, D. Dodman, S. Fankhauser, C. Hope, S. Kovats, R. Nicholas, D. Satterthwaite, R. Tiffin, and R. Wheeler, 2009: Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A review of the UNFCCC and other recent estimates. International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London, UK, 111 pp.

Pascal, M., K. Laaidi, M. Ledrans, E. Baffert, C. Caserio-Schonemann, A. Le Tertre, J. Manach, S. Medina, J. Rudant, and P. Empereur-Bissonnet, 2006: France's heat health watch warning system. International Journal of Biometeorology, 50, 144-153.

Patt, A.G., M. Tadross, P. Nussbaumer, K. Asante, M. Metzger, J. Rafael, A. Goujon, and G. Brundrit, 2010: Estimating least-developed countries' vulnerability to climaterelated extreme events over the next 50 years. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(4), 1333-1337.

Pearce, D.W., W.R. Cline, A.N. Achanta, S.R. Fankhauser, R.K. Pachauri, R.S.J. Tol, and P. Vellinga, 1996: The social costs of climate change: Greenhouse damage and the benefits of control. In: Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group III. Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change [Bruce, J.P., H. Yi, and E.F. Haites (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 179-224.

Pearce, G., A.B. Mullan, M.J. Salinger, T.W. Opperman, D. Woods, and J.R. Moore, 2005: Impact of Climate Change on Long-Term Fire Danger. Research Report Number 50, New Zealand Fire Service Commission, Wellington, New Zealand, 75 pp.

Peduzzi, P., H. Dao, C. Herold, and F. Mouton, 2009: Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 1149-1159.

Peduzzi, P., B. Chatenoux, H. Dao, C. Herold, and G. Giuliani, 2011: Preview Global Risk Data Platform. UNEP/GRID and UNISDR, Geneva, Switzerland, preview.grid.unep.ch/index.php?preview=tools&cat=1&lang=eng.

Pelling, M. and J.I. Uitto, 2001: Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change. Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, 3(2), 49-62.

Pelling, M., A. Ozerdem, and S. Barakat, 2002: The macro-economic impact of disasters. Progress in Development Studies, 2(4), 283-305.

Perry, A., 2003: Impacts of climate change on tourism in the Mediterranean. In: Climate Change in the Mediterranean: socio-economic perspectives of impacts, vulnerability and adaptation [Gioponi, C., M. Schechter, and E. Elgar (eds.)]. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK, pp. 279-289.

Petley, D.N., G.J. Hearn, A. Hart, N.J. Rosser, S.A. Dunning, K. Oven, and W.A. Mitchell, 2007: Trends in landslide occurrence in Nepal. Natural Hazards, 43(1), 23-44, doi:10.1007/s11069-006-9100-3.

Phillips, O.L., L. Aragao, S.L. Lewis, J.B. Fisher, J. Lloyd, G. Lopez-Gonzalez, Y. Malhi, A. Monteagudo, J. Peacock, and C.A. Quesada, 2009: Drought sensitivity of the Amazon rainforest. Science, 323, 1344-1347.

Pielke Jr., R.A. 2007: Future economic damage from tropical cyclones: sensitivities to societal and climate changes. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365, 2717-2729.

Pielke Jr., R.A. and Downton, M.W., 2000: Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932-1997. Journal of Climate, 13(20), 3625-3637.

Pielke Jr., R.A., J. Rubiera, C. Landsea, M.L. Fernandez, and R. Klein, 2003: Hurricane vulnerability in Latin America and the Caribbean: normalized damage and loss potentials. Natural Hazards Review, 4, 101-114.

Pielke Jr., R.A., S. Agrawala, L.M. Bouwer, I. Burton, S. Changnon, M.H. Glantz, W.H. Hooke, R.J.T. Klein, K. Kunkel, D. Mileti, D. Sarewitz, E.L. Thompkins, N. Stehr, and H. von Storch, 2005: Clarifying the attribution of recent disaster losses: a response to Epstein and McCarthy. Bulletin of the American Meteorological Society, 86, 1481-1483.

Pielke Jr., R.A., J. Gratz, C.W. Landsea, D. Collins, M. Saunders, and R. Musulin, 2008: Normalized hurricane damages in the United States: 1900-2005. Natural Hazards Review, 9, 29-42.

Pomeranets, K.S., 2005: Three Centuries of Floods in St-Petersburg. Iskusstvo, St. Petersburg, Russia, 214 pp.

Pompe, J.J. and J.R. Rinehart, 2008: Mitigating damage costs from hurricane strikes along the southeastern U.S. Coast: A role for insurance markets. Ocean & Coastal Management, 51(12), 782-788.

Power, S.A., 1994: Temporal trends in twig growth of Fagus sylvatica L and their relationships with environmental factors. Forestry,67(1), 13-30.

Prasad, P.V.V., K.J. Boote, L.H. Allen, Jr., J.E. Sheehy, and J.M.G. Thomas, 2006: Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. Field Crops Research, 95, 398-411.

Pulhin, J., M. Tapia, and R. Perez, 2010: Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: Initiatives and challenges in the Philippines. Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction: An Asian Perspective. Community, Environment and Disaster Risk Management, 5, 217-235.

Quarantelli, E.L. (ed.), 1998: What is a Disaster? Perspectives on the Question. Routledge, London, UK, 312 pp.

Quinn, W.H., D.O. Zopf, K.S. Short, R.T.W. Kuo Yang, 1978: Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Nino, and Indonesian droughts. Fishery Bulletin, 76, 663-678.

Rachold, V., H. Lantuit, N. Couture, and W. Pollard (eds.), 2005: Arctic Coastal Dynamics. Report of the 5th International Workshop, McGill University, Montreal, Canada, 13-16 October 2004.Reports on Polar and Marine Research 506, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany, 131 pp.

Raddatz, C., 2009: The Wrath of God: Macroeconomic Costs of Natural Disasters. Policy Research Working Paper 5039, Development Research Group, Macroeconomics and Growth Team, World Bank, Washington, DC, 35 pp.

Radeloff, V.C., R.B. Hammer, S.I. Stewart, J.S. Fried, S.S. Holcomb, and J.F. Mckeefry, 2005: The wildland–urban interface in the United States. Ecological Applications, 15(3), 799-805.

Raghavan, S. and S. Rajesh, 2003: Trends in tropical cyclone impact: a study in Andhra Pradesh, India. Bulletin of the American Meteorological Society, 84, 635-644.

Ranger, N., S. Hallegatte, S. Bhattacharya, M. Bachu, S. Priya, K. Dhore, F. Rafique, P. Mathur, N. Naville, F. Henriet, C. Herweijer, S. Pohit, and J. Corfee-Morlot, 2011: An assessment of the potential impact of climate change on flood risk in Mumbai. Climatic Change, 104, 139-167.

Raschky, P.A. 2008: Institutions and the losses from natural disasters. Natural Hazards Earth Systems Science, 8, 627-634.

Rasmussen, T.N., 2004: Macroeconomic Implications of Natural Disasters in the Caribbean. IMF Working Papers WP/04/224, International Monetary Fund, Washington, DC.

Ready, R. and S. Navrud, 2006: International benefit transfer methods and validity tests. Ecological Economics, 60, 429-434.

Reason, C.J.C. and A. Keibel, 2004: Tropical cyclone Eline and its unusual penetration and impacts over the Southern African mainland. Weather Forecast, 19, 789-805.

Reason, C.J.C., S. Hachigonta, and R.F. Phaladi, 2005: Interannual variability in rainy season characteristics over the Limpopo region of southern Africa. International Journal of Climatology, 25, 1835-1853.

Rebetez, M. and M. Dobbertin, 2004: Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. Theoretical and Applied Climatology, 79, 1-9.

Rehfeldt, G.E., N.L. Crookston, M.V. Warwell, and J.S. Evans, 2006: Empirical analysesof plant-climate relationships for the western United States. International Journal of Plant Sciences, 167(6), 1123-1150.

Reid, H., L. Sahlen, J. MacGregor, and J. Stage, 2007: The economic impact of climate change in Namibia: How climate change will affect the contribution of Namibia's natural resources to its economy. Environmental Economics Programme Discussion Paper 07-02, International Institute for Environment and Development, London, UK, 46 pp.

Reid, W.V., H.A. Mooney, A. Cropper, D. Capistrano, S.R. Carpenter, K. Chopra, P. Dasgupta, T. Dietz, A.K. Duraiappah, R. Hassan, R. Kasperson, R. Leemans, R.M. May, A.J. McMichael, P. Pingali, C. Samper, R. Scholes, R.T. Watson, A.H. Zakri, Z. Shidong, N.J. Ash, E. Bennett, P. Kumar, M.J. Lee, C. Raudsepp-Hearne, H. Simons,J. Thonell, and M.B. Zurek (eds.), 2005: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC, 155 pp.

Reilly, J. and D. Schimmelpfennig, 2000: Irreversibility, uncertainty, and learning: portraits of adaptation to long term climate change. Climatic Change, 45(1), 253-278.

Revi, A., 2008: Climate change risk: an adaptation and mitigation agenda for Indian cities. Environment and Urbanization, 20(1), 207-229, doi:10.1177/0956247808089157.

Revich, B., 2008: Climate Change Impact on Public Health in the Russian Arctic. United Nations in the Russian Federation, Moscow, Russia, 24 pp.

Rey, G., A. Fouillet, E. Jougla, and D. Hemon, 2007: Heat waves, ordinary temperature fluctuations and mortality in France since 1971. Population (English Edition), 62, 457-485, doi:10.3917/pope.703.0457,cairn.info/revue-population-english-2007-3-page-457.htm.

Rich, P.M., D.D. Breshears, and A.B. White, 2008: Phenology of mixed woodyherbaceous ecosystems following extreme events: net and differential responses. Ecology, 89(2), 342-352.

Richard, Y., N. Fauchereau, I. Poccard, M. Rouault, and S. Trzaska, 2001: 20th century droughts in Southern Africa: spatial and temporal variability, teleconnections with oceanic and atmospheric conditions. International Journal of Climatology, 21, 873-885.

Rico, M., G. Benito, A.R. Salgueiro, A. Diez-Herrero, and H. Pereira, 2008: Reported tailings dam failures. A review of the European incidents in the worldwide context. Journal of Hazardous Materials, 152, 846-852.

Rignot, E., M. Koppes, and I. Velicogna, 2010: Rapid submarine melting of the calving faces of West Greenland glaciers. Nature Geoscience, 3, 187-191, doi:10.1038/ngeo765.

Rittmaster, R., W. Adamowicz, B. Amiro, and R.T. Pelletier, 2006: Economic analysis of health effects from forest fires. Canadian Journal of Forest Research, 36(4), 868-877.

Rizwan, A.M., L. Dennis, and C. Liu, 2008: A review on the generation, determination, and mitigation of urban heat island. Journal of Environmental Sciences, 20(1), 120-128.

Rodell, M., I. Velicogna, and J. Famiglietti, 2009: Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. Nature, 460, 999-1002.

Rodriguez-Oreggia, E., A. de la Fuente, R. de la Torre, H. Moreno, and C. Rodriguez, 2010: The Impact of Natural Disasters on Human Development and Poverty at the Municipal Level in Mexico. CID Working Paper No. 43, Center for International Development at Harvard University, Cambridge, MA, USA, 34 pp.

Rogers, K. and T. Ralph (eds.), 2010: Floodplain Wetland Biota in the Murry-Darling Basin: Water and Habitat Requirements. CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria, Australia, 348 pp.

Rose, A., 2007: Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions. Environmental Hazards, 7(4), 383-398.

Rosenzweig, C. and M.L. Parry, 1994: Potential impact of climate change on world food supply. Nature, 367, 133-138.

Rosenzweig, C., F.N. Tubiello, R. Goldberg, E. Mills, and J. Bloomfield, 2002: Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. Global Environmental Change, 12, 197-202.

Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin, and P. Tryjanowski, 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P.Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 79-131.

Roshydromet, 2005: Strategic Prediction for the Period of up to 2010—2015 of Climate Change Expected in Russia and Its Impact on Sectors of the Russian National Economy. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet), Moscow, Russia, 24pp.

Roshydromet, 2008: Assessment Report on Climate Change and Its Impacts on the Territory of the Russian Federation. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet),Vol.II, Climate Change Impacts, RIHMI-WDC, Obninsk, Kaluga Region, Russia, 288pp.

Rübbelke, D. and S. Vogele, 2011: Impacts of climate change on European critical infrastructures: The case of the power sector. Environmental Science & Policy, 14, 53-63.

Saenz, R., R.A. Bissell, and F. Paniagua, 1995: Post-disaster malaria in Costa Rica. Prehospital Disaster Medicine, 10(3), 154-160.

Sanderson, M.G., C.D. Jones, W.J. Collins, C.E. Johnson, and R.G. Derwent, 2003: Effect of climate change on isoprene emissions and surface ozone levels. Geophysical Research Letters, 30(18), 1936, doi:10.1029/2003GL017642.

Satterthwaite, D., 2008: Climate Change and Urbanization: Effects and Implications for Urban Governance. Paper presented at the United Nations Expert Meeting on Population Distribution, Urbanization, Internal Migrationand Development, New York, NY, 21-23 January 2008, United Nations Population Division, New York, NY, 29 pp., un.org/esa/population/meetings/EGM_PopDist/P16_Satterthwaite.pdf.

Satterthwaite, D., S. Huq, M. Pelling, H. Reid, and P. Romero-Lankao, 2007: Adapting to Climate Change in Urban Areas: The Possibilities and Constraints in Low- and Middle-income Nations. Human Settlements Working Paper Series, Climate Change and Cities No.1, International Institute for Environment and Development, London, UK, 107 pp., pubs.iied.org/pdfs/10549IIED.pdf.

Savelieva, N.I., I.P. Semiletov, G.E. Weller, and L.N. Vasilevskaya, 2004: Climate change in the northern Asia in the second half of the 20th century. Pacific Oceanography, 2(1-2), 74-84.

Schär, C. and G. Jendritzky, 2004: Climate change: Hot news from summer 2003. Nature, 432, 559-560.

Schär, C., P.L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, M.A. Liniger, and C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, 427, 332-336.

Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke, and B. Walker, 2001: Catastrophic shifts in ecosystems. Nature, 413, 591-596.

Schelhaas, M.J., G.J. Nabuurs, and A. Schuck, 2003: Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. Global Change Biology, 9(11), 1620-1633.

Schlenker, W. and D. Lobell, 2010: Robust negative impacts of climate change on African agriculture. Environmental Research Letters, 5(1), doi:10.1088/1748-9326/5/1/014010.

Schlenker, W. and M.J. Roberts, 2009: Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106, 15594-15598.

Schmid, D., I. Lederer, P. Much, A. Pichler, and F. Allerberger, 2005: Outbreak of norovirus infection associated with contaminated flood water, Salzburg, 2005. Eurosurveillance, 10(24), E050616.

Schmidt, S., C. Kemfert, and E. Faust, 2009: Simulation of Economic Losses from Tropical Cyclones in the Years 2015 and 2050: The Effects of Anthropogenic Climate Change and Growing Wealth. Discussion paper 914, German Institute for Economic Research, Berlin, Germany, 29 pp.

Schneebeli, M., M. Laternser and W. Ammann, 1997: Destructive snow avalanches and climate change in the Swiss Alps. Eclogae Geologicae Helvetiae, 90, 457-461.

Schneider, F., A. Buehn, and C.E. Montenegro, 2010. Shadow Economies All over the World: New Estimates for 162 Countries from 1999 to 2007. Policy Research Working Paper 5356, World Bank Development Research Group, Poverty and Inequality Team and Europe and Central Asia Region, Human Development Economics Unit, Washington, DC, 52 pp. www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/2010/10/14/000158349_20101014160704/Rendered/PDF/WPS5356.pdf.

Schneider, S.H., W.E. Easterling, and L.O. Mearns, 2000: Adaptation: Sensitivity to natural variability, agent assumptions and dynamic climate changes. Climatic Change, 45, 203-221.

Scholes, R.J. and R. Biggs (eds.), 2004: Ecosystem Services in Southern Africa: A Regional Assessment. A contribution to the Millennium Ecosystem Assessment, CSIR, Pretoria, South Africa, 76 pp., www.icp-confluence-sadc.org/sites/default/files/SAfMA_Regional_Report_-_final.pdf.

Schreider, S.Y., D.I. Smith, and A.J. Jakeman, 2000: Climate change impacts on urban flooding. Climatic Change, 47, 91-115.

Schulze, R., J. Meigh, and M. Horan, 2001: Present and potential future vulnerability of eastern and southern Africa's hydrology and water resources. South African Journal of Science, 97, 150-160.

Schwierz, C., P. Kollner-Heck, E. Zenklusen Mutter, D.N. Bresch, P.L. Vidale, M. Wild, and C. Schar, 2010: Modelling European winter wind storm losses in current and future climate. Climatic Change, 101, 485-514.

Scott, D., G. McBoyle, B. Mills, and A. Minogue, 2006: Climate change and the sustainability of ski-based tourism in eastern North America. Journal of Sustainable Tourism, 14(4), 367-375

Scott, D., B. Amelung, S. Becken, J.P. Ceron, G. Dubois, S. Gossling, P. Peeters, and M.C. Simpson, 2008: Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges. United Nations World Tourism Organization, Madrid, Spain, 256 pp.

Semyonov, V.A. and A.A. Korshunov, 2006: Floods on the Russian rivers in the late 20th century and the early 21st century. Issues of Geography and Geo-ecology, 5, 6-12.

Sénat. 2004. France and the French face the canicule: The lessons of a crisis. Information Report no. 195, Senat, Paris, France, pp. 59-62 (in French), www.senat.fr/rap/r03-195/r03-19510.html.

Seo, N. and R. Mendelsohn, 2008: An analysis of crop choice: Adapting to climate change in Latin American farms. Ecological Economics, 67, 109-116.

Shankman, D., B. D. Keim, and J. Song, 2006: Flood frequency in China's Poyang Lake Region: trends and teleconnections. International Journal of Climatology, 26, 1255-1266.

Shen, C., W.-C. Wang, Z. Hao, and W. Gong, 2008: Characteristics of anomalous precipitation events over eastern China during the past five centuries. Climate Dynamics, 31(4), 463-476, doi:10.1007/s00382-007-0323-0.

Sherstyukov, A.B., 2009: Climate Change and Its Impact in the Russian Permafrost Zone. RIHMI-WDC, Obninsk, Russia, 127 pp.

Skidmore, M. and H. Toya, 2002: Do natural disasters promote long-run growth? Economic Inquiry, 40(4), 664-687.

Skylas, D.J., S.J. Cordwell, P.G. Hains, M.R. Larsen, D.J. Basseal, B.J. Walsh, C. Blumenthal, W. Rathmell, L. Copeland, and C.W. Wrigley, 2002: Heat shock of wheat during grain filling: proteins associated with heat-intolerance. Journal of Cereal Science, 35, 175-188.

Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R. Klein, and G. Yohe, 2001: Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. In: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary,

D.J. Dokken, and K.S. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 879-906.

Smith, D.E, S.B. Raper, S. Zerbini, and A. Sanchez-Arcilla (eds.), 2000: Sea Level Change and Coastal Processes: Implications for Europe. Proceedings of the Climate change and Sea level research in Europe: State of the art and future research needs Conference, Mataro, Spain, April 1997. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 247 pp.

Smith, O., 2006: Trends in Transportation Maintenance Related to Climate Change. Paper presented to the Climate Change Workshop, Center for Transportation and Environment, Washington, DC, 29 March, 2006.

Smyth, A.W., G. Altay, G. Deodatis, M. Erdik, G. Franco, P. Gulkan, H. Kunreuther, H. Lus, E. Mete, N. Seeber, and O. Yuzugullu, 2004: Probabilistic benefit-cost analysis for earthquake damage mitigation: Evaluating measures for apartment houses in Turkey. Earthquake Spectra, 20(1), 171-203.

Spranger, M., 2008: Special nature of disaster risk in megacities. In: Natural Catastrophe Risk Insurance Mechanisms for Asia and the Pacific, Tokyo, Japan, 4-5 November 2008. Munich Reinsurance Company, Munich, Germany, 11 pp.

Stedman, J.R., 2004: The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. Atmospheric Environment, 38, 1083-1085.

Steffen, W., G. Love, and P.H. Whetton, 2006: Approaches to defining dangerous climate change: an Australian perspective. In: Avoiding Dangerous Climate Change [Schellnhuber, H.J., W. Cramer, N. Nakicenovic, T. Wigley, and G. Yohe (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 392 pp.

Steiger, R., 2010: The impact of climate change on ski season length and snowmaking requirements in Tyrol, Austria. Climate Research, 43, 251-262.

Stern, N., 2007: The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Stewart, I.D., 2011. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. International Journal of Climatology, 31(2), 200-217.

Stirling, I. and C.L. Parkinson, 2006: Possible effects of climate warming on selected populations of polar bears in the Canadian Arctic. Arctic, 59(3), 261-275.

Stone, D.A. and M.R. Allen, 2005: The end-to-end attribution problem: from emissions to impacts. Climatic Change, 71, 303-318.

Stott, P.A., D.A. Stone, and M.R. Allen, 2004: Human contribution to the European heatwave of 2003. Nature, 432, 610-614.

Straneo, F., G.S. Hamilton, D.A. Sutherland, L.A. Stearns, F. Davidson, M.O. Hammill, G.B. Stenson and A. Rosing-Asvid, 2010: Rapid circulation of warm subtropical waters in a major glacial fjord in East Greenland. Nature Geoscience, 3, 182-186, doi:10.1038/ngeo764.

Stribley, G.H. and M.R. Ashmore, 2002: Quantitative changes in twig growth pattern of young woodland beech (Fagus sylvatica L.) in relation to climate and ozone pollution over 10 years. Forest Ecology and Management, 157(1-3), 191-204.

Sturm, M., C. Racine, and K. Tape, 2001: Climate change: Increasing shrub abundance in the Arctic. Nature, 411, 546-547.

Su, H. and G.X. Liu, 2004: Elementary analyses on the progress of grassland fire disaster information management technique. Grassland of China, 26(3), 69-71 (in Chinese).

Suzuki, T., 2009: Estimation of inundation damage caused by global warming in three major bays and western parts of Japan. Global Environmental Research, 14(2), 237-246 (in Japanese).

Swenson, S. and J. Wahr, 2009: Monitoring the water balance of Lake Victoria, East Africa, from space. Journal of Hydrology, 370, 163-176.

SWIPA, 2011: SWIPA 2011 Assessment Executive Summary: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic. Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA), Arctic Monitoring and Assessment Programme Secretariat, Oslo, Norway, 15pp, amap.no/swipa/SWIPA2011ExecutiveSummaryV2.pdf.

Swiss Re, 2009: The Effects of Climate Change: An Increase in Coastal Flood Damage in Northern Europe. Focus Report, Swiss Reinsurance Company, Zurich, Switzerland, 4 pp., media.swissre.com/documents/the_effects_of_climate_change_an_increase_in_coastal_flood_damage_in_northern_europe.pdf.

Swiss Re, 2010: Natural Catastrophes and Man-Made Disasters in 2009:Catastrophe Claims Few Victims, Insured Losses Fall. Sigma, No 1/2010, Swiss Reinsurance Company, Zurich, Switzerland, 36 pp.

Swiss Re, 2011: Natural Catastrophes and Man-Made Disasters in 2010: A Year of Devastating and Costly Events. Sigma, No 1/2011, Swiss Reinsurance Company, Zurich, Switzerland, 36 pp.

Takahashi, T., H. Nakagawa, Y. Satofuka, and K. Kawaike, 2001: Flood and sediment disasters triggered by 1999 rainfall in Venezuela; a river restoration plan for an alluvial fan. Journal of Natural Disaster Science, 23(2), 65-82.

Takara, K., S. Kim, Y. Tachikawa, and E. Nakita, 2009: Assessing climate change impact on water resources in the Tone River Basin, Japan, using super-high-resolution atmospheric model output. Journal of Disaster Research, 4(1),12-23.

Tallis, H.M. and P. Kareiva, 2006: Shaping global environmental decisions using socio-ecological models. Trends in Ecology & Evolution, 21(10), 562-568.

Tan, J., Y. Zheng, X. Tang, C. Gup, L. Li, G. Song, X. Zhen, D. Yuan, A. Kalkstein, and F. Li, 2010: The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. Journal of Biometeorology, 54(1),

Tape, K., M. Sturm, and C. Racine, 2006: The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic. Global Change Biology, 12, 686-702.

TEEB, 2009: The Economics of Ecosystems and Biodiversity for National and International Policy Makers – Summary: responding to the value of nature. The Economics of Ecosystems and Biodiversity, UNEP, Geneva, Switzerland, 39 pp.

Thibault, K.M. and J.H. Brown, 2008: Impact of an extreme climatic event on community assembly. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(9), 3410-3415.

Thomas, M.F. and M.B. Thorp, 2003: Palaeohydrological reconstructions for tropical Africa – evidence and problems. In: Palaeohydrology: Understanding Global Change [Benito, G. and K.J. Gregory (eds.)]. John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 167-192.

Thonicke, K. and W. Cramer, 2006: Long-term trends in vegetation dynamics and forest fires in Brandenburg (Germany) under a changing climate. Natural Hazards, 38, 283-300.

Thornton, P.K., P.G. Jones, T. Owiyo, R.L. Kruska, M. Herrero, P. Kristjanson, A. Notenbaert, N. Bekele, and A. Omolo, with contributions from V. Orindi, B. Otiende, A. Ochieng, S. Bhadwal, K. Anantram, S. Nair, V. Kumar, and U. Kulkar, 2006: Mapping Climate Vulnerability and Poverty in Africa. ILRI Report to the Department for International Development, International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya, 171 pp.

Tian, X, T. Matsui, S. Li, M. Yoshimoto, K. Kobaysai, and T. Hasegawa. 2010: Heatinduced floret sterility of hybrid rice (Oryza sativa L.) cultivars under humid and low wind conditions in the field of Jainghan basin, China. Plant Production Science, 13(3), 243-251.

Tol, R.S.J., 1995: The damage costs of climate change: Toward more comprehensive calculations. Environmental and Resource Economics, 5, 353-374.

Tol, R.S.J., 2001: Estimates of the damage costs of climate change. Environmental and Resource Economics, 21, 47-73.

Tol, R.S.J. and F.P.M. Leek, 1999: Economic analysis of natural disasters. In: Climate, Change and Risk. [Downing, T.E., A.A. Olsthoorn, and R.S.J. Tol (eds.)]. Routledge, London, UK, pp. 308-327.

Toole, M.J., 1997: Communicable diseases and disease control. In: The Public Health Consequences of Disasters. [Noji, E.K. (ed.)]. Oxford University Press, New York, NY, pp. 79-100.

Toya, H. and M. Skidmore, 2007: Economic development and the impacts of natural disasters. Economics Letters, 94, 20-25.

Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and atmospheric climate change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 237-336.

Trewin, B. and H. Vermont, 2010. Changes in the frequency of record temperatures in Australia, 1957-2009. Australian Meteorological and Oceanographic Journal, 60, 113-119.

Truong, G., A.E. Palm, and F. Felber, 2006: Recent invasion of the mountain birch Betula pubescens ssp. tortuosa above the treeline due to climate change: genetic and ecological study in northern Sweden. Journal of EvolutionaryBiology, 20(1), 369-380.

Tsubo, M., S. Fukai, J. Basnayake, M. Ouk, 2009: Frequency of occurrence of various drought types and its impact on performance of photoperiod-sensitive and insensitive rice genotypes in rainfed lowland conditions in Cambodia. Field Crops Research, 113, 287-296.

U.S. Census Bureau, 2010: Coastline Population Trends in the United States: 1960 to 2008. U.S. Department of Commerce, Economics and Statistics Administration, U.S. Census Bureau, Washington, DC, 27 pp., www.census.gov/prod/2010pubs/p25-1139.pdf.

UN-HABITAT, 2008: State of the World's Cities 2008/2009: Harmonious Cities. United Nations Human Settlements Programme, Earthscan, London, UK, 259 pp.

UNCTAD, 2009: Multi-year Expert Meeting on Transport and Trade Facilitation: Maritime Transport and the Climate Change Challenge, 16-18 February 2009. Summary of Proceedings, UNCTAD/SDTE/TLB/2009/1, UN Conference on Trade and Development, Geneva, Switzerland, 47 pp.

UNDP, 2004: Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. United Nations Development Programme, Bureau for Crisis Prevention and Recovery, New York, NY, 146 pp.

UNDP, 2007: Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World [Watkins, K. (ed.)]. Human Development Report 2007/2008 of the United Nations Development Programme, Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK, 384 pp.

UNECE, 2009: Self-Made Cities: In search of sustainable solutions for informal settlements in the United Nations Economic Commission for Europe region. United Nations Economic Commission for Europe, United Nations, Geneva, Switzerland, 113 pp.

UNFCCC, 1992: United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations, FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62220 (E) 200705, Secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, 24 pp., unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf.

UNFCCC, 2007: Investment and Financial Flows to Address Climate Change. Secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, 272 pp.

UNHCR, 2010: 2009 Global Trends: Refugees, Asylum-seekers, Returnees, Internally Displaced and Stateless Persons. United Nations High Commissioner for Refugees, Division of Programme Support and Management, Geneva, Switzerland, 29 pp.

UNISDR, 2005: Framework for Action 2005-2015. Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 22 pp., http://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Hyogo-declaration-english.pdf.

UNISDR, 2009, Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and Poverty in a Changing Climate – Invest Today for a Safer Tomorrow. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat, Geneva, Switzerland, Oriental Press, Manama, Kingdom of Bahrain, 207 pp., www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/report/index.php?id=1130&pid:34&pih:2.

UNISDR, 2011: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat, Geneva, Switzerland, Information Press, Oxford, UK, 178 pp.

UNWTO, 2003. Tourism, Peace, and Sustainable Development for Africa: Luanda, Angola, 29-30 May 2003. United Nations World Tourism Organization, Madrid, Spain, 276 pp.

Usbeck, T., T. Wohlgemuth, M. Dobbertin, C. Pfister, A. Burgi, and M. Rebetez, 2010: Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. Agricultural and Forest Meteorology, 150, 47-55.

Uyarra, M.C., I.M. Cote, J.A. Gill, R.T.T. Tinch, D. Viner, and A.R. Watkinson, 2005: Island-specific preferences of tourists for environmental features: implications of climate change for tourism-dependent states. Environmental Conservation, 32(1), 11-19.

van der Veen, A., 2004: Disasters and economic damage: macro, meso and micro approaches. Disaster Prevention and Management, 13(4), 274-279.

van der Werf, G.R., J. Dempewolf, S.N. Trigg, J.T. Randerson, P.S. Kasibhatla, L. Giglio, D. Murdiyarso, W. Peters, D.C. Morton, G.J. Collatz, A.J. Dolman, and R.S. DeFries, 2008: Climate regulation of fire emissions and deforestation in equatorial Asia. Proceeding of the National Academy of Sciences, 105(51), 20350-20355.

Vanacker, V., M. Vanderschaeghe, G. Govers, E. Willems, J. Poesen, J. Deckers, and B. De Bievre, 2003: Linking hydrological, infinite slope stability and land use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on landslide susceptibility in High Andean watersheds. Geomorphology, 52, 299-315.

Vandentorren, S., P. Bretin, A. Zeghnoun, L. Mandereau-Bruno, A. Croisier, C. Cochet, J. Riberon, I. Siberan, B. Declercq, and M. Ledrans, 2003: August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. European Journal of Public Health, 16(6), 583-591.

Vanham, D., E. Fleischhacker, and W. Rauch, 2009: Impact of an extreme dry and hot summer on water supply security in an alpine region. Water Science and Technology, 59(3), 469-477.

Veijalainen, N., E. Lotsari, P. Alho, B. Vehvilainen, and J. Kayhko, 2010: National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. Journal of Hydrology, 391(3-4), 333-350.

Venton, C., and P. Venton, 2004: Disaster Preparedness Programmes in India: A Cost Benefit Analysis. Network Paper 49, Humanitarian Practice Network at Overseas Development Institute, London, UK, 21 pp., odihpn.org/documents/networkpaper049.pdf.

Verschuren, D., K.R. Laird, and B.F. Cumming, 2000: Rainfall and drought in equatorial east Africa during the past 1,100 years. Nature, 403, 410-414.

Victorian Bushfires Royal Commission, 2010: The 2009 Victorian Bushfires Royal Commission Final Report. State Government of Victoria, Melbourne, Australia, 42 pp., royalcommission.vic.gov.au/Commission-Reports/Final-Report.

Villalba, R. and T.T. Veblen, 1997: Regional patterns of tree population age structures in northern Patagonia: climatic and disturbance influences. Journal of Ecology, 85, 113-124.

Villers, L. and I. Trejo, 2004: Evaluacion de la vulnerabilidad en los sistemas forestales. Cambio Climatico. In: Una Vision desde Mexico [Martinez, J. and A. Fernandez Bremauntz (eds.)]. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturalesand Instituto Nacional de Ecologia, Tlalpan, Mexico, pp. 239-254.

Voigt, T., H.-M. Fussel, I. Gartner-Roer, C. Huggel, M. Zemp, and C. Marty, 2010: Impacts of Climate Change On Snow, Ice, and Permafrost in Europe: Observed Trends, Future Projections, and Socio-Economic Relevance. ETC/ACC Technical Paper 2010/13, The European Topic Centre on Air and Climate Change, Bilthoven, The Netherlands, 117 pp.

Vörösmarty, C.J., 2002: Global change, the water cycle, and our search for Mauna Loa. Hydrological Processes, 16, 135-139, doi:10.1002/hyp.527.

Vörösmarty, C.J., E.M. Douglas, P.A. Green, and C. Revenga, 2005: Geospatial indicators of emerging water stress: an application to Africa. Ambio, 34, 230-236.

Vos, F., J. Rodriguez, R. Below, and D. Guha-Sapir, 2010: Annual Disaster Statistical Review 2009: The Numbers and Trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Universite Catholique de Louvain, Brussels, Belgium, 38 pp.

Wamsley, T.V., M.A. Cialone, J.M. Smith, J.H. Atkinson, and J.D. Rosati, 2010: The potential of wetlands in reducing storm surge. Ocean Engineering, 37, 59-68.

Wang, J.X.L. and J.K. Angell, 1999: Air Stagnation Climatology for the United States (1948-1998). NOAA/Air Resources Laboratory ATLAS, No.1, Silver Spring, MD, 73 pp.

Wardekker, J.A., A. de Jong, J.M. Knoop, and J.P. van der Sluijs, 2010: Operationalising a resilience approach to adapting an urban delta to uncertain climate changes. Technological Forecasting & Social Change, 77, 987-998.

Washington, R. and A. Preston, 2006: Extreme wet years over southern Africa: role of Indian Ocean Sea surface temperatures. Journal of Geophysical Research, 111, D15104, doi:10./029/2005 JD006724.

Washington, R., M. Harrison, and D. Conway, 2004: African Climate Report. Report commissioned by the UK Government to review African climate science, policy and options for action, UK Department for Environment Food and Rural Affairs and the Department for International Development, London, UK, 45 pp.

West, C.T. and D.G. Lenze, 1994: Modeling the regional impact of natural disaster and recovery: A general framework and an application to Hurricane Andrew. Inter-

national Regional Science Review, 17(2), 121-150.

West, J.J., M.J. Small, and H. Dowlatabadi, 2001: Storms, investor decisions, and the economic impacts of sea level rise. Climatic Change, 48, 317-342.

Westerling, A.L. and B.P. Bryant, 2008: Climate change and wildfire in California. Climatic Change, 87, 231-249.

Westerling, A.L., H.G. Hidalgo, D.R. Cayan, and T.W. Swetnam, 2006: Warming and earlier spring increases western U.S. forest wildfire activity. Science, 313, 940-943.

Wheeler T.R., P.Q. Craufurd, R.H. Ellis, J.R. Porter, and P.V. Vara Prasad, 2000: Temperature variability and the yield of annual crops. Agriculture, Ecosystems and Environment, 82, 159-167.

Whitehead, P.G., R.L. Wilby, R.W. Battarbee, M. Kernan, and A.J. Wade, 2009: A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. Hydrological Sciences Journal, 54(1), 101-123.

WHO, 2003: The Health Impacts of 2003 Summer Heat-Waves. Briefing note for the delegations of the fifty-third session of the World Health Organization Regional Committee for Europe, Vienna, Austria, 8-11 September 2003, WHO Regional Committee for Europe, Copenhagen, Denmark, 12 pp.

WHO/UNICEF, 2000: Global Water Supply and Sanitation Assessment: 2000 Report. World Health Organization, Geneva, 87 pp., who.int/entity/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf.

Widawsky, D.A., and J.C. O'Toole, 1990: Prioritizing the rice biotechnology research agenda for Eastern India. Rockefeller Foundation Press, New York, NY, 86 pp.

Wilbanks, T.J., P. Romero Lankao, M. Bao, F. Berkhout, S. Cairncross, J.-P. Ceron, M. Kapshe, R. Muir-Wood and R. Zapata-Marti, 2007: Industry, settlement and society. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 357-390.

Wilbanks, T., V. Bhatt, D. Bilello, S. Bull, J. Ekmann, W. Horak, J. Huang, M. Levine, M. Sale, D. Schmalzer, and M. Scott, 2008. Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States. U.S. Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.5, Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC, 84 pp.

Wilby, R.L., 2003: Past and projected trends in London's urban heat island. Weather, 58, 251-260.

Wilby, R.L., 2007: A review of climate change impacts on the built environment. Built Environment, 33(1), 31-45.

Wildavsky, A. 1988: Searching for Safety. Transaction Books, New Brunswick, NJ, 253 pp.

Wiley, J.W. and J.M. Wunderle, Jr., 1994: The effects of hurricanes on birds, with special reference to Caribbean islands. Bird Conservation International, 3, 319-349.

Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon, and I. Davis, 2004: At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. Routledge, London, UK, 471 pp.

Woodruff, R.E., S. Hales, C. Butler, and A.J. McMichael, 2005: Climate Change Health Impacts in Australia: Effects of Dramatic CO2 Emission Reductions. Australian Conservation Foundation and the Australian Medical Association, Canberra, Australia, 44 pp.

Woodworth, P.L., J.M. Gregory, and R.J. Nicholls, 2005: Long term sea level changes and their impacts. In: The Global Coastal Ocean: Multiscale Interdisciplinary Processes [Robinson, A.R. and K.H. Brink (eds.)]. Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 715-753.

World Bank, 2000: Cities, Seas and Storms: Managing Change in Pacific Island Economies. Volume IV, Adapting to Climate Change, Papua New Guinea and Pacific Islands Country Unit, International Bank for Reconstruction and Development/World Bank, Washington, DC, 48 pp., web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/EASTASIAPACIFICEXT/PACIFICISLANDSEXTN/0,,contentMDK:20218394~pagePK:141137~piPK:217854~theSitePK:4 41883,00.html.

World Bank, 2006: Clean Energy and Development: Towards an Investment Framework. World Bank, Washington, DC, 146 pp.

World Bank, 2007: Disasters, Climate Change, and Economic Development in Sub-Saharan Africa: Lessons and Future Directions. Evaluation Brief 3, Independent Evaluation Group, World Bank, Washington, DC, 31 pp.

World Bank, 2010: Economics of Adaptation to Climate Change: Synthesis Report. World Bank, Washington, DC, 101 pp.

World Bank and UN, 2010: Natural Hazards, UnNatural Disasters: The Economics of Effective Prevention. International Bank for Reconstruction and Development/World Bank, Washington, DC, 254 pp., gfdrr.org/gfdrr/nhud-home.

Xiao, F. and Z. Xiao, 2010: Characteristics of tropical cyclones in China and their impacts analysis. Natural Hazards, 54, 827-837

Yee, E.L., H. Palacio, R.L. Atmar, U. Shah, C. Kilborn, M. Faul, T.E. Gavagan, R.D. Feigin, J. Versalovic, and F.H. Neill, 2007: Widespread outbreak of norovirus gastroenteritis among evacuees of Hurricane Katrina residing in a large "megashelter" in Houston, Texas: lessons learned for prevention. Clinical Infectious Diseases, 44, 1032-1039.

Yezer, A.M. and C.B. Rubin, 1987: The Local Economic Effects of Natural Disasters. National Hazard Research, George Washington University, Washington, DC.

Yohe, G., J. Neumann, and H. Ameden, 1995: Assessing the economic cost of greenhouse induced sea level rise: Methods and applications in support of a national survey. Journal of Environmental Economics and Management, 29, S78-S97.

Yohe, G., J. Neumann, P. Marshall, and H. Ameden, 1996: The economic cost of greenhouse induced sea level rise in the United States. Climatic Change, 32, 387-410.

Yu, G., Z. Schwartz, and J.E. Walsh, 2009: A weather-resolving index for assessing the impact of climate change on tourism related climate resources. Climatic Change, 95, 551-573.

Zebisch, M., T. Grothmann, D. Schroter, C. Hasse, U. Fritsch, and W. Cramer, 2005: Climate change in Germany–Vulnerability and adaptation of climate sensitive sectors. Report commissioned by the Federal Environmental Agency, Germany (UFOPLAN 201 41 253), Potsdam Institute of Climate Impact Research, Potsdam, Germany, 205 pp.

Zhang, J.Q., D.W. Zhou, Z.S. Song, and Z.J. Tong, 2006: A new perception on risk assessment and risk assessment of grassland fire disaster. Journal of Basic Science and Engineering, 14, 56-62 (in Chinese).

Zhang, Q., L. Wu, and Q. Liu, 2009: Tropical cyclone damages in China: 1983-2006. Bulletin of the American Meteorological Society, 90, 489-495.

Zimmerman, R. and C. Faris, 2010: Infrastructure impacts and adaptation challenges. In: Annals of the New York Academy of Sciences. 2010. Blackwell Publishing Inc., New York, NY, pp. 63-86.

5

지역 수준의 극한기후 위험 관리

총괄 대표저자

Susan Cutter (미국), Balgis Osman-Elasha (수단)

대표저자:

John Campbell (뉴질랜드), So-Min Cheong (대한민국), Sabrina McCormick (미국), Roger Pulwarty (미국), Seree Supratid (태국), Gina Ziervogel (남아프리카공화국)

감수 편집자:

Eduardo Calvo (페루), Khamaldin Daud Mutabazi (탄자니아)

기여저자:

Alex Arnall (영국), Margaret Arnold (세계은행), Joanne Linnerooth Bayer (미국), Hans-Georg Bohle (독일), Christopher Emrich (미국), Stephane Hallegatte (프랑스), Bettina Koelle (남아프리카공화국), Noel Oettle (남아프리카공화국), Emily Polack (영국), Nicola Ranger (영국), Stephan Rist (스위스), Pablo Suarez (아르헨티나), Gustavo Wilches-Chaux (콜롬비아)

본 장을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

Cutter, S., B. Osman-Elasha, J. Campbell, S.-M. Cheong, S. McCormick, R. Pulwarty, S. Supratid, and G. Ziervogel, 2012: Managing the risks from climate extremes at the local level. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 291-338.

목 차

본문 요약 275

5.1. 서론: 왜 지역이 중요한가? 278

5.2. 오늘날 지역 사회는 어떻게 재해 위험에 대응하고 있는가? 280
5.2.1. 긴급 지원과 재해 구호 280
5.2.2. 인구 이동 282
5.2.3. 복구와 재건 282

5.3. 미래 재해 위험에 대한 예측과 대응 283
5.3.1. 위험 커뮤니케이션 283
5.3.1.1. 메시지 설계 283
5.3.1.2. 위험 커뮤니케이션의 방식과 시기 284
5.3.1.3. 경보와 경보 체계 284
5.3.2. 구조적 대책 286
5.3.3. 토지 이용과 생태계 보호 286
5.3.4. 자원의 저장과 배급 287

5.4. 변화하는 기후에 대한 지역수준의 위험 관리 능력 구축 288
5.4.1. 선제적 활동과 방어적 조치 288
5.4.2. 지역 의사결정을 위한 권한부여 290
5.4.3. 사회적 동인 290
5.4.4. 지역 지식의 통합 291
5.4.5. 지방 정부와 민간의 계획과 관행 292

5.5. 도전과 기회 293
5.5.1. 대응과 위험 관리의 차이 293
5.5.1.1. 성별, 연령 및 부(富) 293
5.5.1.2. 생계와 수급권 294
5.5.1.3. 건강과 장애 295
5.5.1.4. 인간 정주(定住) 296
5.5.2. 재해 위험 및 극한 기후로 인한 위험 관리 비용 296
5.5.2.1. 영향 비용, 사후 대응 비용 296
5.5.2.2. 적응과 위험 관리 – 현재와 미래 297
5.5.2.3. 지역수준의 비용 및 손실 추정의 일관성과 신뢰성 298
5.5.3. 지역 적응의 한계 298
5.5.4. 진보하는 사회 및 환경 정의(正義) 299

5.6. 관리 전략 299
5.6.1. 변화하는 기후에서의 계획의 골자 299
5.6.2. 지역사회 기반 적응 300
5.6.3. 지역수준의 위험 분담 및 이전 301
5.6.4. 관리 전략을 위한 변환적 체계 302

5.7. 지역수준의 정보, 자료 및 연구의 격차 302

5.8. 요약 304

참고문헌 305

본문 요약

재해 관련 경험은 지역수준에서 가장 극명하게 이루어 진다(높은 동의수준, 강한 증거수준) 재해로 인한 인명 및 재산 손실을 실제로 경험하는 것은 지역사회와 지역주민이다. 이러한 국지적 영향은 차례로 국가적 결과와 국제적 결과를 야기할 수 있다. 본 장에서, 지역은 준국가(sub-national) 규모로 존재하는 일련의 장소, 사회적 집단, 경험, 관리, 제도, 상태 및 지식 집합을 통칭한다. [5.1]

기후변화에 따른 재해 위험 관리 전략을 개발할 때 특수한 지역 상황을 고려하여 그에 맞게 만들어진 다양한 접근방법이 필요하다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 이러한 차이와 그 차이가 위치한 상황(국가 대 전지구, 도시 대 농촌)이 지역 취약성과 지역 영향을 좌우한다. [5.1]

극한 기후 및 기상 현상의 영향은 지역수준에서 인간의 안전을 위협할 수도 있다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 지역수준의 취약성은 사회적, 정치적 및 경제적 여건과 국지적 환경 파괴 및 기후변화를 비롯한 동인들에 기인한다. 지역수준에서 재해 위험과 극한 기후를 다루기 위해서는 지속가능한 발전에 관련된 보다 폭넓은 문제들에 주목할 필요가 있다. [5.1]

구조적 대책은 재해에 대한 어느 정도의 보호를 제공하긴 하지만, 그릇된 안전 의식을 만들어 낼 수도 있다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 구조적 대책은 부동산 개발 증가, 인구 밀도 증가, 재해 노출 증가를 야기한다. 구조적 대책을 위한 현재의 규제 및 설계 수준이 기후변화 상황 하에서는 부적절할 수도 있다. [5.3.2]

지속가능한 토지 관리는 효과적인 재해 위험저감 도구이다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 토지 관리에는 토지 이용, 계획, 용도 지정, 보존 지대, 완충 지대, 토지 취득 등이 포함된다. 개발에 대한 정치적, 경제적 압력으로 인해 지방 정부가 토지 관리 대책을 이행하는 데에는 어려움이 따른다. 하지만, 지역수준에서는 종종 토지 관리 대책이 구조적 대책보다 환경을 덜 파괴하며, 지속가능성이 더욱 두드러진다. [5.3.3]

재해 위험저감 대책이 존재하지 않거나 부적절한 때에는 흔히 인도주의적 구호가 필요하다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 인도주의적 원조는, 지역의 사회적, 문화적, 경제적 여건을 고려하고, 재해 대응에 있어 지역 기관의 권한을 인정하며 재해 발생 동안 및 재해 직후의 초기 원조는 대부분이 지역에서 이루어진다는 점을 인지할 때 더 효과적이다. [5.2.1]

재해 발생 후 복구 및 재건은 기상 및 기후 관련 재해 위험을 저감시키고 적응 능력을 향상시킬 기회를 제공한다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 신속하게 주택을 다시 짓고, 기반시설을 재건하며, 생계를 회복하는 데 중점을 두는 것은 흔히 기존의 취약성을 재생시키거나 심지어 증가시키기도 하며 복원력과 지속가능한 발전을 증강시키기 위한 장기 계획 및 정책 변경을 불가능하게 하는 방식으로 복구가 이루어지게 한다. 지역 주체들을 포함시키는 것이 복구 과정에 유익하다. [5.2.3]

극한 기후와 관련된 재해는 인구 이동 및 이주에 영향을 미침으로써 이주민 지역사회와 원주민 지역사회에 영향을 미친다(보통 동의수준, 보통 증거수준). 대부분의 사람들은 그들이 살던 지역으로 돌아와 재해 복구에 참여한다. 재해가 더 빈번하고/거나 더 큰 규모로 발생한다면, 어떤 지역은 생계를 유지하거나 삶을 영위하는 터전으로서의 한계가 점점 더 많이 드러나게 될 것이다. 그러한 경우에는, 이동과 이주가 영구적인 것이 될 수 있고, 이주 지역에는 새로운 압력이 가해질 수 있다. 산호환상대와 같은 장소에서는, 어떤 경우에는 많은 거주민이 이주해야만 하게 될 가능성이 있다. 다른 경우에는, 기후변화에 대한 적응으로서 이주가 이루어지고, 송금을 통해 집에 남아있는 지역사회 구성원을 지원하게 된다. [5.2.2]

지역의 지식을 추가적인 과학 기술 지식과 통합함으로써 재해 위험저감과 기후변화 적응을 개선할 수 있다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 지역 주민들은 변화하는 기후, 특히 극한기상 현상에 대한 그들의 경험을 다양한 방식으로 기록하는데, 이렇게 자체 생성된 지식은 선제적인 적응 전략의 논의를 이끌어내고 지역사회 내부의 기존 능력과 당면한 주요 문제를 드러낼 수 있다. [5.4.4]

효과적인 위험 커뮤니케이션을 위해서는 의사결정자와 지역 주민이 다수의 경로를 통해 정보를 교환해야 한다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 위험 커뮤니케이션을 하나의 사회적 과정으로 보는 것은 효과적인 참여적 접근방법과 관계 구축, 그리고 지역 이해관계자에 의한 이용을 위한 시각적이고 설득적이며 관심을 끄는 정보의 생성을 가능하게 한다. [5.3.1]

불균등은 지역 대응 및 적응 능력에 영향을 미치고, 재해 위험 관리와 적응에 어려움을 야기한다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 이 불균등은 성별, 연령, 부, 계층, 민족성, 건강 및 장애의 차이를 나타낸다. 또한 불균등은 생계수단 및 수급권에 대한 접근성의 차이에서 나타날 수도 있다. 지역수준의 생계수단의 맥락에서 대응 메커니즘들을 이해하고 그에 대한 인식을 증진시키는 것이 기후변화 적응 계획과 위험 관리에 중요하다. 이것은 적응 계획 및 재해 대응에 이들 차이를 포함시킬 때 생기는 기회를 강화하기 위해서는 이들 차이를 식별하고 수용하는 것이 필요함을 의미한다. [5.5.1]

파괴되고 있는 환경 상태를 다루는 데 중점을 두는 생태계 관리 및 복원 활동은 극한 기후에 직면하여 사람의 생계를 보호하고 유지하는 데 필수적이다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 그러한 활동으로는 유역계 복원, 생태농업, 산림경관 복원 등이 있다. 더욱이, 자원에 대한 우수한 접근성과 관리를 제공하는 것은 사람들의 생계를 개선하고 장기 적응 능력을 구축할 것이다. 이 접근방법은 과거에도 권장되었던 것이지만, 지금까지는 능력 구축과 통합되지 않았었다. [5.3.3]

지역수준의 제도 및 자체 조직이 사회적 학습, 혁신 및 행동에 매우 중요하다. 이 모두는 지역 위험 관리와 적응의 필수 요소이다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 적응 능력은 아무 것도 없는 상태에서 생겨나지 않는다 – 지역 제도가 지역사회 기반 적응 계획 및 이행을 가능하게 할 환경을 제공한다. 지역 참여(지역사회 기반 조직, 개발 위원회)가 가장 취약한 사람들에게 권한을 부여하고 혁신을 강화하는 데 기여한다. 지역수준에서 정치적 및 문화적 문제들을 다루는 것이 지속적인 재해 위험 관리 및 적응을 목표로 하는 전략을 개발함에 있어 핵심적이다. [5.4]

준국가에서 인구의 급격한 도시화와 대도시의 성장은, 특히 개발도상국에서, 주로 임시 주거지와 불충분한 토지 관리에 기인한 매우 취약한 도시 지역사회의 출현을 초래했으며, 이는 재해 관리에 어려움을 야기했다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 이러한 중대한 취약성을 다루는 것은 지방에서 도시로의 이주, 생계수단의 변화, 부의 불균등을 비롯한 사회적, 정치적 및 경제적 원동력이 의사결정의 주요 입력 자료로서 고려된다는 것을 의미한다. [5.5.1]

효과적인 지역 적응 전략에는 극한 기후와 재해로부터 자신을 보호하기 위해 필요한 대책을 강구하는 지역 주민의 능력을 제한하는 많은 요소들을 다루는 것이 필요하다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 자연 자원에 의존하는 지역사회의 취약성을 저감시키기 위해서는 정보 격차를 줄이는 것이 매우 중요하다. 중요 자원 및 자산에 대한 공평한 접근성과 수급권을 보장하는 사회의 능력을 유지하는 것은 변화하는 기후에서 지역 적응 능력을 구축하는 데 필수적이다. 더욱이, 지역 생계수단을 다각화하기 위한 능력 구축 및 새로운 기능의 개발은 유연한 재해 저감, 지역 적응 개선 및 재해 관리에 핵심적이다. [5.5]

지역 재해 위험에 대한 종합적 평가가 많은 지역에서 부족한 실정이다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 관리 옵션들의 기반으로서, 지역 기반 취약성 평가(노출과 민감도) 및 잠재 비용에 대한 방법론의 더 많은 개발과 지역 상황에의 적용 시험이 필요하다. [5.6]

보험은 지역수준에서 이용되는 위험 이전 메커니즘이다(보통 동의수준, 보통 증거수준). 위험 분담 (공식 보험, 소액 서민 보험, 농작물 보험)이 위험저감과 재해 후 생계 복원을 위한 도구가 될 수 있다. 어떤 상황에서는 그러한 도구들이 위험의 공간적(다른 장소로) 또는 시간적(미래로) 이전을 통해 지역수준의 재해 위험을 저감시키는 것을 억제할 수 있다. [5.6.3]

지역 참여는 재해 위험 및 극한 기후 관리에 유용한 지역사회 기반 적응을 뒷받침한다(보통 동의수준, 보통 증거수준). 하지만, 인적 및 금융 자본의 가용성과 지역 이해관계자들에게 맞춰진 재해 위험 및 기후 정보의 가용성을 개선하는 것도 지역사회 기반 적응을 증진시킬 수 있다. [5.6]

자연 재해 및 재해 위험저감에 대한 자료가 지역수준에서 부족한 실정이며, 이로 인해 지역 취약성 저감의 개선이 제약될 수 있다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 이것은 모든 지역에서 그러하며, 개발도상국들이 특히 그러하다. 재해 위험 관리에서는 흔히 지역 지식 체계가 무시된다. 재해 관리 활동을 지원하기 위하여 지리정보시스템이 지역수준의 지식을 포함하도록 개선될 상당한 가능성이 있다. [5.7]

재해 손실 추정은 비일관적이고 분석 규모에 크게 의존하기 때문에, 지역사회, 주, 도 및 준국가 지역들 간에서 큰 변동성을 보인다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 간접 손실이 부정적인 경제 영향을 예측함에 있어 중요한 요소로서 점점 더 많이 고려되고 있다. 적응 비용은, 예측이 어렵긴 하지만, 기후변화 적응이 기존의 재해 위험 관리에 통합되고, 재해 위험 관리가 결국 개발 전략과 의사결정에 포함된다면, 저감될 수 있다. [5.5]

재해 위험 관리를 정책 및 관행에 주류로 편입시킴으로써 지역수준의 기후변화 적응에 적용되는 중요한 교훈을 얻게 된다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 단기적으로 사회 복지, 삶의 질, 기반시설, 생계를 다루고 다중위험 접근법을 재해에 대한 계획 및 조치에 포함시키는 것은 장기적으로 극한 기후에 대한 적응을 용이하게 한다. [5.4, 5.5, 5.6]

획일적인 전략은 특정 장소 및 이해관계자에 대해 제한적일 수 있으므로, 극한 기후에의 지역 적응에 대한 중요한 도전과제는 접근방법들의 균형잡인 포트폴리오를 적용하는 것이다. (높은 동의수준, 보통 증거수준) 성공적 대책은 지역의 집단 행동 증진에 관련된 근본적인 문제들과 그러한 지역 행동을 보완, 지원 및 정당화하는 국가 및 국제 규모의 접근방법의 창안을 동시에 다룬다. [5.4, 5.6]

5.1. 서론: 왜 지역이 중요한가?

재해는 가장 먼저 지역수준에서 발생하고 지역주민에게 영향을 미친다. 이후 이러한 국지적 영향은 국가 및 국제적인 악영향으로 이어질 수 있다. 따라서, 지역, 국가 및 전지구 규모에서 그러한 위험을 관리할 책임이 있다. 일부 재해 위험 관리 옵션은 지역사회가 지역사회를 위해 설계한 상향식 전략인 반면, 다른 관리 옵션은 전지구적 협의의 산물(7장)로 국가 제도를 통해(6장) 지역수준으로 이행된다. 제도, 주체, 국정운영 및 지리적 분석 단위는 지역, 국가 및 전지구 규모에 걸쳐 균일하지 않으며, 각 규모 내에서도 차이가 존재한다. 일부 지역사회는 재해 위험에 대응할 수 있지만, 다른 지역사회는 제한된 재해 복원력을 가지고 있으며 기후 변동성 및 극한 기후에 적응하는 능력은 고사하고 현재 재해 위험에 대응하는 능력도 제한적이다. 이 장의 논제는 다음과 같다: 재해가 어디에서 발생하는가, 현재 재해 위험이 어떻게 관리되고 있는가, 그리고 기후 변동성 및 변화에 직면하는 대응 메커니즘과 대응 능력의 변동성에 관한 증거를 지역사회와 지역 주체의 관점에서 제시한다. 이 장에서는 세 가지 주제를 탐색한다: 현재 재해 위험이 어떻게 관리되고 있는가; 극한 기후의 영향이 어떻게 지역수준에서 인간의 안전을 위협하는가; 지역수준에서 재해 위험 및 극한 기후의 취약성, 대응, 적응 능력 및 관리에서 변동성을 형성함에 있어 규모와 상황의 역할.

지역이라는 개념은 많은 함축적 의미를 가지고 있다. 본 보고서에서, 지역은 국가보다 작은 규모로 존재하는 일련의 장소, 관리 구조, 제도, 사회적 집단, 상태, 경험 및 지식의 집합을 통칭한다. 행정 단위로서의 지역은 마을, 구역, 교외, 도시 및 대도시에서 지역, 주 및 도에 이르기까지 다양할 수 있다. 지역이라는 개념은 지역주민을 유지하고 보호하며 공간 및 자원을 행정적으로 통제하는 일련의(공적 및 사적) 제도를 포함한다. 이들 지역사회에서는, 재해 위험 관리와 극한 기후에의 적응을 위한 선택 및 조치가 처음에는 국가 개입과 무관할 수 있다. 지역수준에서는, 재해 위험에 관한 전통 지식과 그것을 관리하기 위한 풀뿌리(grassroot) 조치가 존재한다. 유역계, 생태구역 또는 경제지역과 같은 기능적 또는 물리적 단위들은 그 이용과 관리를 통제하는 사적 및 공적 제도를 포함하여, 지역수준에서 운용된다. 지역이 갖는 다양한 각각의 함축적 의미는 재해 위험 관리 관행의 내용과 그 접근방법의 다양성, 이해관계자 및 이해 집단의 다양성, 그리고 더 중요하게는 국가 및 국제 차원과의 관계의 다양성이 있다는 것을 의미한다(Adger 등, 2005). 우리는 많은 국가에서 주 및 도가 소규모 국가와 비슷한 힘을 가진 크고 복잡한 독립체라는 것을 인정한다. 이 장에서 주와 도, 그리고 비슷한 행정 구조에 대하여 논의할 때, 우리는 명확한 표현을 위해 그러한 행정 구조를 준국가로 칭한다.

지역은 누가, 무엇이 위험한 상태에 있는지, 영향 및 대응의 잠재적 지리적 범위 등 재해 경험 이해관계자 및 의사결정자 등의 요소에 따라 상이한 모습을 보인다. 지역은 단기적인 대응 조치 및 재해 위험에 대한 조정에 관해서는 물론(UNISDR, 2004), 지역적인 수방 대책의 구축, 가뭄에 잘 견디는 작물의 선택 또는 1명 이상 가족 구성원의 계절적 또는 장기적 이주와 같은 보다 장기적인 적응에 관해서도 상당한 경험을 가지고 있다. 예를 들어, 송금은 재해 후 소득의 실질적 원천이며 복원력을 증진시키고 극한 현상에 사전 대응하기 위하여 생계수단을 다각화하는 하나의 수단으로 잘 이용된다(Adger 등, 2002).

홍수, 열대저기압, 가뭄, 열, 산불과 같이 기후에 민감한 위험요소들은 많은

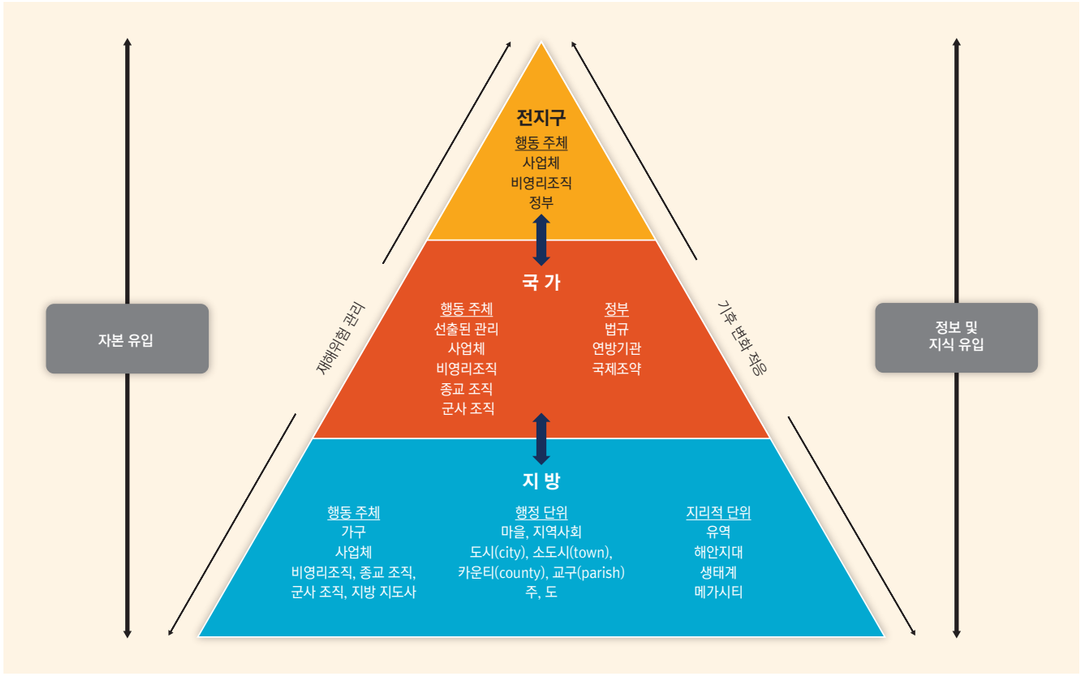


그림 5-1 | 지역 주체와 전지구 주체의 연계 및 책임

Box 5-1 | 기후변화와 폭력적 갈등

기후변화와 폭력적 갈등을 연계시키는 것은 논쟁의 여지가 있다. 개념적 토의에서는 기후변화를 자원 부족(또는 생계를 뒷받침하는 데 필수적인 자원)과 연계시키는데, 자원부족은 인간의 불안전을 야기한다. 지방 차원에서는 무력 분쟁 또는 이주라는 두 가지의 확실한 결과가 나타난다: 후자는 이주를 받아들이는 지역에서 갈등이 증가할 가능성이 있다(Barnett and Adger, 2007; Nordas and Gleditsch, 2007). 예를 들어, 어떤 연구는 생계를 뒷받침하기 위해 토지를 두고 경쟁하기 때문에 환경 스트레스로 인한 긴장이 지역들 간에 유발됨을 보여준다(Kates, 2000; Barnett, 2003; Osman-Elasha and El Sanjak, 2009). 가뭄, 열파와 같은 극한 현상은 이미 물 부족과 환경 파괴의 상황에 직면해 있는 지역에서 이러한 긴장을 가중시킬 수 있으며, 그 결과 갈등이 증가하여 많은 난민과 국경 지대 주민들을 혼란에 빠뜨릴 수 있다. 하지만, 기후변화와 폭력적 갈등 간의 연계성을 뒷받침하는 동의수준과 증거수준은 제한적이며, 특히 아프리카에서는 더욱 그렇다(Burke 등, 2009; Buhaug, 2010). 문헌에서는(기후변화가 폭력적 갈등의 위험을 증가시킨다는) 인과관계 사슬이 정책공동체(policy community) 내에서 통용되는 것으로 시사되지만, 과학적 문헌에서는 충분히 입증되어 있지 않다(낮은 동의수준, 제한적 증거수준). 실증적인 연구가 있지만, 방법론 적으로 결함이 다양하게 나타난다: 집단 크기를 통제하지 않음; 오직 갈등 사례에만 초점을 맞추고 이주 사례에는 전혀 초점을 맞추지 않음; 통합된 기후 자료를 이용하고 준국가 규모로 세분화된 기후 자료를 이용하지 않음; 사용된 시간의 틀 내에서 내재적 불일치성이 존재함(폭력적 갈등의 단기 변동성; 기후의 장기 변동성). 인과관계가 존재하는지의 여부를 결정하기 위해서는 지역 기후–갈등 관계에 관한 더 많은 연구가 필요하다.

지역에 상습적인 영향을 미치는데, 그로 인한 손실은 빈번하지만 낮은 수준이다(UNISDR, 2009). 그러한 위험요소들의 빈번한 발생으로 인해, 지역들은 광범위한 사후적 재해 위험 관리 관행을 개발해왔다. 하지만, 또한 재해 위험 관리는 생계, 사회서비스 및 환경서비스를 개선하기 위한 일상적인 노력을 수반한다. 극한 기후에 대한 지역 대응 및 장기 적응에는 기후 변동성의 역할을 인정하는 재해 위험 관리가 필요할 것이다. 이것은 모든 관할권 차원(지역, 국가, 국제)에서 혁신적인 조직적, 제도적 및 정부 대책을 통한 지방 재해 위험 관리 원칙과 경험의 수정 및 확대를 의미할 수 있다. 제도적으로 추진되는 방식은 지역 조치를 제약하거나 지연시킬 수 있고 궁극적으로 지역사회의 대응 능력과 적응을 제한할 수 있다.

지역사회들은 일상적으로 유해한 영향을 경험하는데, 그 중 많은 수가 극한기상·기후 현상으로부터 야기된다(3장 참고). 극한기상 및 기후 현상은 장소마다 다를 것이며 모든 장소가 그러한 특별한 현상을 똑같이 경험하는 것이 아니기 때문에, 지역 관점에서 극한기상 및 기후 현상을 논의하는 것이 중요하다. 연구는 재해 경험이 후발 현상에 대비하고 대응함에 있어 사전적 행동에 영향을 미침을 보여준다(5.4.1절 참고). 기후변화의 상황에서, 일부 지역은 특정 유형의 위험요소를 처음 경험할 수 있으며 대비 및 대응 능력을 가지고 있지 않을 수 있다. 예를 들어, 허리케인 카타리나(Catarina)는 2004년 3월 브라질 포르투 알레그레(Porto Alegre) 바로 북쪽에 1급 태풍으로 상륙한 최초의 남대서양 허리케인이었으며(McTaggart-Cowan 등, 2006), 이로써 이 지역은 처음 허리케인을 경험했다. 하지만 과거 열대 저기압이 기록된 적이 없는 남대서양 지역에서 허리케인 발생의 장기적 증가의 원인규명에 대한 신뢰수준은 낮다(표 3-2). 마지막으로, 모든 극한 현상이 국가적 또는 국제적 규모의 재해를 야기하기에 충분한 정도로 극심해지는 것은 아니라고 하더라도, 극한 현상은 지방 재해 위험 관리에 있어 계속적으로 문제가 될 것이다.

본 장의 두 번째 주제는 극한 기후가 어떻게 지역 주민의 인간 안전을 위협할 수 있는가를 살펴본다. 이들 위험은 흔히 사회의 기본 기능에 영향을 미치기 때문에, 기후변화 적응과 재해 위험 관리가 지속가능성을 증가시키기 위한 개발 계획 및 이행의 필수 요소가 되어야 한다는 인식이 증가하고 있다(Thomalla 등, 2006; Box 5-1 참고). 다시 말해, 기후변화 적응과 재해 위험 관리 모두는 국가 개발 계획, 빈곤 퇴치 전략, 부문별 정책 및 기타 개발 도구와 기술에 주류로 편입되어야 한다(UNDP, 2007). 예를 들어, 세계 많은 지역의 농촌 지역사회들은 저지대에 위치한 연안 지역의 홍수, 물 부족 및 가뭄, 농업 수확량 및 수산 자원의 저감, 생물 자원의 부족으로 인한 더 큰 생계 손실 위험에 직면하게 된다(Osman-Elasha and Downing, 2007). 반복되는 홍수가 엘니뇨-남방 진동(ENSO) 현상과 밀접한 관련이 있는 일부 아프리카 국가에서는(Ward 등, 2010), 그 결과로서 모잠비크(Mirza, 2003; Obasi, 2005), 소말리아 같은 장소에서 심각한 경제적 및 인적 손실이 나타나고 있다. 기반시설과 보건서비스가 덜 발달되어 있는 그러한 지역사회들의 경우에는, 흔히 홍수의 영향이 물 부족 및 수질과 관련있는 영양실조, 설사, 콜레라, 말라리아 같은 보건 문제들로 인해 더욱 가중된다(Kabat 등, 2002).

재해 위험 관리와 기후 적응을 위한 대비책을 고안하기 위해 지역 간의 상황 차이가 고려되어야 할 것이다. 여기에는 취약성에 영향을 미치는 주민 특성의 차이, 도시에서 지방에 이르는 거주지 패턴의 차이, 지방자치단체에서 도 정부에 이르는 행정 단위의 차이, 그리고 개발도상국과 선진국의 내부적 상황의 차이가 포함된다. 광범위한 차이를 고려해 볼 때, 재해 위험 관리를 위한 단일 해법은 불가능할 것임이 확실하다. 예를 들어, 도시 지역사회와 농촌 지역사회는 재해 및 기후변화 취약성과 재해 위험 및 적응 옵션에 차이가 있다. 급속한 도시화와 먼 지역으로의 교통 통신망 확산을 고려해 볼 때, 많은 지역에서 도시와 농촌 간의 구분이 명확하게 나타나지 않는다. 취약성이 혼재되어 있고 전적으로 도시도 농촌도 아닌 관할 지역 문제가 존재하는 등, 지방과 농촌의 특성을 모두 보이는 지역사회들이 하나의 연속체로서 존재한다(McGregor 등, 2006; Aragon-Durand, 2007).

스칼라(scalar)적인 고려사항들 역시 계획 과정에서 강조되어야 한다. 지역 규모에서 더 크고 더 공평한 능력을 구축하기 위한 노력들은 기후에 민감한

위험요소들로 인한 현재 및 미래 위험에 대응하는 지역 기관 및 지역사회가 능력을 증진시키는 국가 차원의 정책에 의해 뒷받침되어야 한다. 기후변화와 관련된 위험요소들에 대한 취약성을 효과적으로 저감시키기 위해서는, 지방 차원에서 시작해서 광범위한 이해관계자들을 참여시키는 것과 더불어 여러 차원 및 부문에 걸친 조정이 필요하다(UNISDR, 2004; DFID, 2006; Tearfund., 2006; Devereux and Coil-Black, 2007; Davies, 2009). 지역이 처해있는 더 큰 전지구적 상황이 결과에 영향을 미친다. 자원 채굴의 역사, 글로벌화 및 현재 이행 중인 개발 과정은 지역수준에서 재해 취약성을 저감시키기보다는 증가시킬 가능성이 높다(2장 참고). 재해 위험을 저감시키고 기후변화에 적응하기 위한 전략을 선택하는 사람들은 이 과정들을 고려할 필요가 있으며, 이는 개발도상국의 경우에 더욱 중요하다(UNISDR, 2009).

극한 기후에 대비한 계획을 수립할 때에는 이러한 상황 요소들이 매우 중요하다. 이 요소들은 기후변화 적응과 재해 위험 관리 간의 조정을 지역수준에서 강화하는 것이 필요함을 시사하는데, 이 조정은 순차적으로 계획 이행 방안의 개선을 도모할 것이다(Mitchell and van Aalst, 2008). 그러한 조정은 잠재적으로 분절화된 적응 계획과 개발 계획에 기인한 것일 가능성이 있는 여러 다른 부문 또는 규모에 걸친 부정적 영향을 피하기 위해서도 필요하다. 이것은 대규모 집단이나 국가 이해관계자에게는 유익할 수도 있지만 지역 주민, 토착 주민 및 가난한 주민에게는 유해할 수도 있는, 대규모 농업, 관개 및 수력발전과 같은 일부 적응 전략의 이행에서 명확히 드러난다(Kates, 2000; Rojas Blanco, 2006). 일부 출처에는 새로운 재해 위험저감 또는 기후변화 적응 전략들이 지역 주체를 강화하고 그들의 생계를 증진시키는 데 기반을 두는 것이 필수적이라고 제시되어 있다(Osman-Elasha, 2006a). 더욱이, 성별, 연령, 장애, 민족성, 지리적 위치, 생계 및 이주 상태에 근거하여 기후변화의 차별적인 사회적 영향을 식별하는 것은 지역수준의 적응을 계획함에 있어 중요한 측면이다(Tanner and Mitchell, 2008). 가장

FAQ 5.1 | 기후변화 적응과 재해 위험 관리에 있어 지역 상황이 중요한 이유는 무엇인가?

본 보고서에서, 지역은 준국가 규모로 존재하는 다양한 장소(지역사회, 도시, 도, 지역, 주), 관리 구조, 제도, 사회적 집단, 상태, 경험 및 지식 집합을 통칭한다. 여기에는 사회적 관계를 유지 및 보호하고 공간 및 자원을 행정적으로 통제하는 일련의(공적, 사적) 제도들도 포함된다. 지역의 정의는 재해 위험 관리에 대한 상황, 재해 경험, 기후변화에 대한 상태, 조치 및 적응에 영향을 미친다. 지역이 중요한 것은 지역이 직접적으로 재해를 경험하고, 재해 저감 및 적응 계획에 귀중한 지역 및 전통 지식을 보유하고 있으며, 마지막으로 적응 계획을 이행하기 때문이다.

취약한 집단에 도움이 되고, 그 집단의 시급한 요구를 처리하며, 복원력을 증대하는 적응 대책을 식별하는 데 주안점을 두는 것이 필요하다. 이것은 흔히 다양한 이해관계자 집단들이 참여하는 보다 잘 조정되고 통합된 관리 접근방법을 이용하는 것을 의미하는데(Sperling and Szekely, 2005), 이는 부문 또는 규모들 전반에 걸쳐 잘못된 적응을 피하는 데 도움이 될 수도 있고 윈-윈(win-win) 해법을 제공할 수도 있다.

5.2. 오늘날 지역 사회는 어떻게 재해 위험에 대응하고 있는가?

지역주민은 그들이 주변 환경과 상호작용하는 것을 가능하게 하는 기술, 지식 및 관리 체계를 발전시켜 왔다. 흔히 이러한 상호작용은 유익하며 지역사회에서 살고 있는 주민이 의존하는 생계수단을 제공한다. 그와 동시에, 지역사회들은 파괴적인 환경 현상들에 대응하는 방법들을 개발해왔다. 이러한 대응 메커니즘으로는 파괴 현상들의 영향을 완화시키거나 현상 그 자체의 속성 또는 환경적 양상의 일부를 완화시키고자 하는 대책 및/또는 재해 위험 부담을 분담 또는 저감시키는 조치가 포함된다(Burton 등, 1993). 같은 이유로, 지역수준에서 취해지는 일부 조치들(예: 산림벌채, 산호채취)이 재해 위험을 증가시킬 수도 있다. 기후변화가 어떤 극한 기후의 크기 및/또는 빈도를 변화시킬 수도 있긴 하지만 (3장 참고), 다른 환경적, 사회적, 정치적 또는 경제적 과정들(이들 중 다수가 규모 면에서도 전지구적)이 지역사회가 재해 위험 및 기후에 민감한 위험요소에 대응하는 능력에 영향을 미치고 있음을 인정하는 것이 중요하다(Wisner 등, 2004; Adger and Brown, 2009). 재해 손실은 최근 수십 년 동안 크게 증가했다(UNDP, 2004; UNISDR, 2004). 이러한 사회적, 경제적 및 정치적 과정들은 복잡하고 뿌리 깊으며, 재해 위험을 저감시킴에 있어 중요한 장애물이 되고, 기후변화 상황 하에서 극한 현상에 대한 지역사회 취약성을 저감시키려는 노력에 제약이 될 수도 있다.

5.2절에서, 우리는 일반적인 지역수준의 대응 전략 세 가지, 긴급 지원과 재해 구호, 인구 이동, 복구와 재건에 대한 개략적인 설명을 제시한다:

5.2.1. 긴급 지원과 재해 구호

인도적 지원은 재해를 줄이기 위한 다른 대책들이 성공하지 못한 경우에 필요하며 지역 주민이 재해의 영향에 대응하는 것을 돕는 데 있어 매우 중요한 역할을 한다. 그러한 구호는 보통 지역수준의 고통과 괴로움을 상쇄시키고 복구와 재건을 지원하는 데 도움이 된다. 재해를 당한 지역주민은 일반적으로 완전히 무력하거나 수동적인 것이 아니라 스스로 도움이 될 수 있기 때문에, 때로는 외부 구호가 불필요하거나 부적절한 경우도 있다(Cuny, 1983; De Ville de Groyet, 2000). 이러한 견해는 재해의 일반적인 정의, 즉 지역사회 또는 국가가 외부 지원 없이 대응할 수 없다는 점으로 뒷받침된다(Cuny, 1983; Quarantelli, 1998).

재해가 발생하는 동안 및 발생 후에 제일 먼저 지원을 제공하는 주체가 지역 자선단체, 친족 관계망 또는 지방 정부를 통해 구호를 제공하는, 재해를 당한 지역사회의 구성원들임을(De Ville de Groyet, 2000) 인지하는 것이 중요하다. 소도서 개발도상국 외곽 섬과 같은 고립된 지역사회의 경우에는, 외부 지원이 지연될 수 있고, 특히 지원이 도착하기 전에는 자조(self-help)가 대응의 필수 요소가 된다. 선진국에서의 긴급 지원과 재해 구호는 국가 및 주/도 차원의 정부가 지역사회에 제공하는 지원의 전형적인 형태로 이루어진다. 국제 구호는 통상적으로 경제협력개발기구(OECD) 회원국으로부터 개발도상국가에 제공된다(Development Initiatives, 2009). 외부 구호 제공자가 구호 활동을 계획함에 있어 지역 지식을 활용해야 한다는 인식이

FAQ 5.2 | 지역 규모에서 효과적인 재해 관리 및 기후변화 적응에 대하여 어떤 교훈을 얻었는가?

지속가능하고 재해에 탄력적인 지역을 조성함에 있어, 지역이 극한 기후에 대응하기 위해서는 기후 변동성 및 변화의 역할과 관련 불확실성을 인정하고 장기 적응에 기여할 재해 위험 관리가 필요하다. 기후변화에 관련된 위험과 불확실성을 예측하기 위한 지역수준의 최신 접근방법 및 대응이 다수 존재한다. 일련의 대응은 변화하는 기후 위험에 관한 정보를 재해 계획과 미래의 시나리오 평가에 통합시키는 데 중점을 둔다. 예를 들어, 사전에 계획을 수립하는 것은 극한 현상이 덮치기 전에 커뮤니케이션 체계를 강화시킬 수 있도록 한다. 또 다른 대응은 지역사회 기반 적응(Community-Based Adaption, CBA)인데, 이것은 기후변화를 고려하면서 위험을 관리하기 위한 해법을 규정하는 데 도움이 된다. CBA 대응은 지역의 참여를 증가시키고, 지역 상황에 대한 인식을 증진시키며, 적응 자원에의 접근을 증가시키고 지역사회 내부의 적응 능력을 증진시킨다. 지역사회 기반 조치들에서 중요한 요소는 지역사회 구성원들이 관련 과정을 통제할 권한을 갖는 것이다. 지역사회 기반 접근방법의 규모 확장은 기후 정보와 생태계 관리 및 복원, 유역계 복원, 생태농업, 산림경관 복원과 같은 다른 개입을 통합시키는 것과 마찬가지로 도전을 야기한다. 이러한 유형의 개입은 지역 규모에서 자연 자원을 보호 및 강화하고, 미래 기후에 적응하는 지역 능력을 증진시키며, 당면한 개발 요구를 다룰 수도 있다.

증가하고, 개발 기구들과 인도주의 기구들이 모두 재해 구호에 참여하게 됨으로써, 지역사회에 대한 국제사회의 재해 구호 제공은 지난 20년 동안 매우 복잡해졌고 더욱 광범위해졌다(Morgan, 1994; Darcy and Hofmann, 2003; Meheux 등, 2010). 재해 발생 후 평가의 지원, 식량 제공, 식수 및 위생, 의료 지원 및 보건 서비스, 가정용품, 임시 대피처, 차량, 도구 및 장비, 보안, 물류, 통신 및 사회 봉사와 같은 것들이 구호 그 자체에 포함된다(Bynander 등, 2005; Cahill, 2007). 이러한 활동 가운데 다수가 국제연합의 조정을 받는, 다자간 기구 및 비정부 기구(NGO)의 전문가 집단에 의해 조직된다.

대다수의 구호가 지역 규모보다 국가 및 국제 규모에서 많이 조직되는 경향이 있지만, 구호물자의 분배 및 이용은 지역수준에서 이루어진다. 이러한 관점에서 볼 때, 제공되는 구호의 유형과 관련하여 어떤 것이 지역에 적절한지, 그리고 그것이 어떻게 분배되는지를 이해하는 것이 중요하다(Darcy and Hofmann, 2003; Kovac and Spens, 2007). 마찬가지로, 지역 자원 및 능력이 가능한 많이 활용되어야 한다(Beamon and Balcik, 2008). 국제 인도주의 기구들이 지역 파트너와 일하는 경향이 있었지만, 가끔 이로 인해 외부의 문화적 가치가 도입됨으로써 분노나 저항이 야기될 수도 있다(Hillhorst, 2002).

그럼에도 불구하고, 구호는 흔히 핵심적인 대응 전략으로 간주된다. 구호 기구들은 최근 수년 동안의 경험을 토대로 능력을 구축해왔고, 책임 역시 증대되는 추세이며, 인도주의 원칙을 따르고 있다. 이러한 개선에도 불구하고, 여전히 몇 가지 문제가 존재한다. 구호로 모든 손실을 해결할 수 없으며, 따라서 손실의 대부분을 지역에서 감당하게 된다. 구호는 지역 대응 능력을 약화시키고 복원력과 지속가능성을 저감시킬 수 있으며(Susman 등, 1983; Waddell, 1989), 취약성을 특징으로 하는 현재 상황을 강화할 수 있고(O'Keefe 등, 1976), 어떤 경우에는 재해 '피해자'로부터 독립 또는 자치권을 빼앗음으로써 복구 단계 동안 지역의 소유권 행사 및 통제의 권리를 상실시키는 역할을 할 수 있다(Hillhorst, 2002). 구호는 흔히 불균등하게 분배되며, 일부 재해의 경우 구호가 불충분하기도 하다. 흔히 그 지역의 엘리트집단이 다른 주민에 비해 더 많은 이익을 얻기 때문에 어떤 구호 작업에서는 부패도 하나의 요소가 된다. (Pelling and Dill, 2010). 인도주의 기구들이 점점 더 이러한 우려를 자각하고 있으며, 많은 기관들이 재해 구호에 있어 성별 불균등을 고심하고 지역 기구들과 협력하여 작업하는 등 활동을 조정함으로써 그러한 우려를 해결해 나가고 있다. 인도주의 작업에서 책임의 필요성에 대한 인식 역시 증가하고 있다(Humanitarian Accountability Partnership International, 2011).

지역사회가 받는 지원의 수준이 다양한 것과 마찬가지로, 모든 재해에 동일한 대응이 필요한 것은 아니다. 예를 들어, 작은 현상에도 크게 영향 받는 이들은 전지구 범위의 현상으로 인한 피해와 동일한 수준의 고통을 체감할 수 있지만 구호 기구 측은 이를 곧잘 간과한다. 쓰나미와 같이 갑자기 발생하는 이상 재해의 경우, 대중의 관심이 대폭 집중되어 정부, NGO 및 대중으로부터 상당 금액의 성금이 모이게 된다. 이를 때때로 CNN 요인이라 칭한다(Olsen 등, 2003). 주요 스포츠 행사 보도와 같은 뉴스거리나 매스컴 화제에 가려진 재해는 흔히 낮은 수준의 구호 지원을 특징으로 한다(Eisensee and Stromberg, 2007). 매스컴을 통해 널리 보도되는 경우에는, 흔히 NGO와 정부가 구호 및 인력의 과잉공급의 가능성이 있음에도 불구하고, 신속하게 대응하도록 압력을 받게 된다. 이것은 흔히 재해에 대한 취약성의 기저가 되는 상황 요소들을 거의 이해하지 못하는 기자들이 구호 팀보다 먼저 재해 현장에 '투하'되는 최근에 더욱 심해지고 있다(Silk, 2000). 그러한 매스컴 보도는 흔히 약탈, 무기력, 사회 붕괴와 같은 재해 신화를 함부로 내뱉음으로써 인도적 지원이 더 도움이 되는 경우에도 조정자들이 구호 대신 군사 옵션을 선택하도록 압력을 가한다(Tierney 등, 2006).

구호는 재해 위험 관리보다 정치적 호소력을 지니며(Seck, 2007), 구호의 필요성을 상쇄시킬 수 있는 대책보다도 더 큰 정치적 지지와 재정지원을 받는다. 구호 제공은 대중의 요구에 관심을 갖고 그에 대하여 조치를 취하고 대응하고자 하는(원조국 및 수혜국) 정치인들의 모습을 잘 보여준다(Eisensee and Stromberg, 2007).

재해 구호 및 복구 비용은 여전히 재해를 당한 국가의 정부가 대부분을 부담한다. 구호는 원조국으로부터의 물자에 제한되며, 대부분의 구호는 부정부

패에 대한 대중들의 인식을 완화시키기 위해 비교적 엄격한 기준이 적용된다. 두 경우 모두에서, 유연성이 심하게 제약된다. 또한 구호는 시장이 구호물자로 넘쳐나게 됨으로써 상점들이 문을 닫게 되는 것과 같은 지역 경제의 왜곡을 야기할 수 있다. 건축자재, 종자 등을 구입하도록 지역주민에게 직접 현금을 전달함으로써 이러한 문제를 극복할 수 있다. 그러한 프로그램은 지역 물자를 이용할 수 있는 경우 훌륭하게 수행된다(Farrington and Slater, 2009). 동시에, 재해 구호가 복지후생 프로그램으로서 보여지게 되는 경우에는, 지역사회가 그 자체의 입지 선택, 토지 이용 및 완화 관행의 부족에 대하여 책임질 것을 강요 받지 않기 때문에, 재해 구호가 지역수준에서 의존하고 기대하는 문화를 만들 수 있다는 견해도 있다(Burby, 2006).

5.2.2. 인구 이동

두 번째 대응 전략은 인구 이동이다. 자연 재해는 다양한 방식의 인구 이동과 관련이 있다(Hunter, 2005; Perch-Nielson 등, 2008; Warner 등, 2010). 대피는 어떤 재해 현상이 일어나기 전, 일어나는 동안, 그리고 일어난 후에 이루어진다. 때로는 재해를 당한 지역사회의 보다 장기적인 이주가 일어나기도 한다. 이주는 일시적일 수도 있고 영구적일 수도 있다. 이러한 여러 가지 형태의 인구 이동은 관심 대상 지역사회에 다양한 사회적, 정신적, 건강관련 및 재정적 영향을 미친다. 인구 이동은 이동성이 자발적인 것인지 강제적인 것인지(퇴거), 그리고 국경을 넘는 것인지 아닌지에 따라 구별될 수도 있다. 가장 최근 연구에서는 인구 이동성을 완전히 자발적인 이동에서부터 완전히 강제된 이주까지에 이르는 하나의 연속체로 본다(Laczko and Aghazarm, 2009). 국제 연합 인도주의 업무 조정국과 국제 난민 감시 센터에 따르면 2008년 최소 3,600만 명이 자연 재해로 인해 이동한 것으로 추정된다. 이동한 주민들은 출발 지역으로부터 와서 목적 지역에 도착했지만 이동의 지역적 영향과 시간 틀에 관한 정보는 거의 없다(UNOCHA and IDMC, 2009). 기후변화가 생계 및 거주지의 한계성을 지속가능한 수준을 넘어서 증가시키는 경우에는, 지역사회의 이주 또는 이동이 강제될 수도 있다(McLeman and Smit, 2006). 이주의 원인은 복합적이고 환경(기후 포함)도 그 중 하나일 뿐이지만, 호우와 같은 극한 기후는 흔히 이주를 촉진하는 현상으로써의 역할을 한다(Hugo, 1996). 더욱이, 많은 연구자들은 강제 이동 이외의 기후 관련 이주가 반드시 문제가 되지 않을 수도 있고 남아있는 주민들이 송금으로부터 이익을 얻음으로써 실제 긍정적 적응 대응이 될 수도 있는 것으로 생각한다(Barnett and Webber, 2009; Tacoli, 2009). 유목민은 생계의 일부로서 이주하지만 흔히 이동의 패턴을 변경함으로써 생계에 지장을 주는 현상에 대응하게 된다(Anderson 등, 2010). 이주는 동인 및 영향이 성별과 크게 관련이 있기 때문에 남성과 여성 간에 차이가 있지만, 이러한 차이가 기후변화의 상황에서 어떻게 연출될 것인지는 명확하지 않다(Hugo, 2010).

전지구적 추정은 그러한 대규모 이주 패턴이 지역에 미치는 영향에 대해 거의 통찰력을 제공하지 못한다. 이주는 이주민이 발생한 지역사회에 대해서뿐만 아니라 그들이 정착할 지역사회에 대해서도 지역적 영향을 미칠 것이다. Barnett과 Webber (2009)는 이주의 선택이 덜 자발적일수록 이주가 더 큰 차질을 빚을 것이라고 말한다. 예를 들어, Hwang 등(2007)은 댐 건설의 경우 강제 이주를 예상하고 있는 지역사회가 스트레스를 경험한다는 것을 발견했다. 또한, Hwang 등(2010)은 강제 이주가 직접적으로 우울증의 정도를 증가시키고 이전(relocation) 과정에서 사회 보호망을 약화시킨다는 것을 알아냈다. 많은 재해 후 이전은 일시적이며, 이것은 사회관계망의 붕괴, 트라우마와 같은 정신적 및 사회적 영향과도 관련이 있다(Neria 등, 2009). 기후변화가 초래하는 결과 중 하나는 전체 지역사회가 이전하는 것이 필요하게 될 수도 있다는 것이고, 산호환상대에 위치한 국가의 거주민들과 같은 일부 경우에서는 이전이 '국제적'인 것으로 인식될 것이다. 그러한 이전은 상당한 사회적, 문화적 및 정신적 영향을 미칠 수 있다(Campbell, 2010b). 지역사회의 이전 계획은 전체 지역사회가 새로운 비노출 위치로 이전하는 계획이다. 일례로 Perry and Lindell(1997)은 아리조나(Arizona)주 알렌빌(Allenville)의 사례를 조사했다. 그들은 이전 프로젝트에서 긍정적 결과를 얻기 위한 다섯 가지 원칙을 수립했다: 1) 이전되어야 하는 지역사회는 조직화되어 있어야 한다; 2) 모든 잠재적 이전 대상자들이 이전 의사결정 과정에 참여해야 한다; 3) 시민들이 이전이 수행되어야 하는 다원-조직적 상황을 이해하고 있어야 한다; 4) 이전 대상자들의 사회적 및 개인적 요구에 각별히 유의해야 한다; 5) 사회관계망이 보존되어야 한다. 대다수의 공동체에게 이전은 어려운 일인데, 공동으로 토지를 소유하는 지역사회의 경우에는 특히 그러하다. 예를 들어, 태평양 섬들에서는, 실제 거주하고 있는 섬 내부에서의 이전은 최소한의 지장만을 야기하지만 거주지를 완전히 떠나는 것은 이전해 온 이들이 토지를 이용할 수 있도록 해야 하기 때문에 훨씬 더 어렵다.

5.2.3. 복구와 재건

복구와 재건에는 재해 지역의 일상 생활을 정립 또는 재정립하고자 하는 조치가 포함된다(Hewitt, 1997). 흔히 재건을 통해 지역사회들과 기업들은 재해 이전에 존재하던 것과 동일한 상태로 되돌릴 수 있는데, 이러한 경우 최초로 재해를 야기했던 것과 동일한 노출이 재현됨으로써 향후 유사한 손실을 입을 가능성이 생긴다(Jha 등, 2010). 복구와 재건(특히 주택 복원과 재건축)은 재해 대응의 요소 중 가장 논란의 여지가 있는 요소이다. 복구를 둘러싼 주요 쟁점들 중 하나는 과정으로서의 복구와 결과로서의 복구 간에 명료성이 부족하다는 점이다. 전자는 기존의 취약성에 대한 쟁점들을 해결하는 개선 과정을 강조한다. 후자는 주택 또는 기반시설의 건설과 같은 복구의 물질적 측면에 중점을 둔다. 흔히 대규모 재해 이후의 하향식 프로그램은 주택의 재건을 수반하지만 가정을 제공하는 데에는 실패한다(Petal 등, 2008). 더욱이, 급조된 재건은 단기적으로는 목적을 달성하지만 종종 지속 불가능한 결과와 취약성의 증가를 야기한다(Ingram 등, 2006). 허리케인 카트리나(Katrina)의 여파에서 나타난 것과 같이, 복구에는 상당한 지역 격차가 존재하므로 누구를 위한 복구이고 무엇에 대한 복구인지가 문제가 된다(Curtis 등, 2010; Finch 등, 2010; Stevenson 등, 2010). 노동력의 부족, 지역 건설업체들의 능력 부족, 자재 부족, 토지 보유 문제의 해결 및 불충분한 자금을 비롯하여, 효과적이고 시기 적절한 재건을 방해하는 많은 장애물들이 존재한다(Keraminiyage 등, 2008). 사람들이 새집을 마련하고, 생계를 회복하는 것이 긴급하긴 하지만, 신중하게 실시되는 재건을 통해 더 큰 재해 복원력을 성취함으로써 장기적 이익을 얻을 수도 있다(Hallegatte, 2008; Hallegatte and Dumas, 2009)

복구와 재건에 관한 대부분의 연구는 주택공급과 소위 생명선(lifeline)의 역할을 하는 기반시설에 중점을 두는 경향이 있었다: 전기, 상수도, 수송 연계. 실제 그보다 더 중요하지는 않더라도 똑같이 중요한 생계의 복원에 관한, 그리고 선진국 및 개발도상국 모두에서 재해 후 경제적 및 정치적 권력에 의한 토지 및 자원의 장악을 흔히 포함하는 권력 불균등성의 문제를 다루는 간행물은 별로 없다. 농업 재건(예: 종자, 재식 재료, 비료 및 비축물의 제공과 토지 복원)은 자급자족 또는 반자급자족 사회와 같이 지역 생계가 직접 영향을 받는 경우에 특히 중요하다(Dorosh 등, 2010). 게다가, 가뭄과 같은 어떠한 기

후 관련 재해 현상은(예: 홍수, 열대 저기압) 항상 건조 환경 기반시설을 직접 파괴하는 것이 아니기 때문에 생계, 특히 지속가능한 생계의 복원은 재해 위험저감 및 개발의 중요한 측면이 되고 있다(Nakagawa and Shaw, 2004).

구호의 경우와 마찬가지로, 복구와 재건의 계획 및 이행이 당해 지역사회의 손을 벗어나 이루어지는 경우에 중대한 문제들이 발생할 수 있다. 또한(문화적, 사회적, 또는 환경적으로) 부적합한 자재 및 기술이 이용되는 경우에는 재건된 주택이 입주자에게 적합하지 않을 수도 있다(Jha 등, 2010). Davidson 등(2007)이 발견한 것과 같이, 이는 실제로 종종 발생하는 일이며 지역사회 구성원들이 복구 과정 동안 의사결정에 거의 참여하지 못하는 결과를 낳게 된다. 대신 그들은 노동력을 제공하는 데 이용된다. 재해 후 복구가 종종 모든 지역사회 구성원에게 미치지 못하고, 많은 복구 프로그램에서, 최대의 손실로 인해 고생하는 가장 취약한 사람들이 흔히 재해로부터 회복되지 못하고 장기간 어려움을 겪는다는 것을 인정하는 것 또한 중요하다(Wisner 등, 2004). 이러한 상황에서는, 많은 지역에서 생계수단의 다양성을 고려하는 것과 지역 거주자 및 이해관계자들과 협력하여 미래 현상에 직면했을 때 잠재적으로 보다 탄력적인 전략을 개발하는 것이 중요하다(Pomeroy 등, 2006).

복구 후, 대부분의 의사결정자들 및 운영주체들에 대한 다수의, 때로는 대립하는 의제들을 고려해 볼 때, 재건에는 정책 프로그래밍을 면밀히 검토하고, 우선순위를 설정한 뒤 배열하는 과정이 필요하다. 흔히 이 시점에서 정책 방향 및 의제 설정을 지역수준에서 국가 차원으로 변경할 기회가 있다(Birkland, 1997). 조치 및 자원을 위한 재해 발생 후 로비 활동에는 단기적 요구와 장기적 목표 간의 균형이 필요하다. 가장 중요한 것은 장기적이고 보다 지속가능한 개발 정책을 수립하는 것 보다는 재해 발생 전 상태로의 신속한 복귀에 대한 압력이다(Christoplos, 2006; Kates 등, 2006). 얼마나 오랫동안 그러한 기회가 주어질 것인지, 혹은 정확하게 어떤 요인이 주어진 일련의 상황 하에서 그 기회를 사라지게 할 것인지는, 특수한 경우 3~6개월이라고 인정되고 있지만 이는 잘 알려져 있지 않다(Kates 등, 2006).

지역수준에서 현재 재해 위험에 대응하기 위하여 가장 흔히 이용되는 전략은 긴급 지원(재해 구호 포함), 인구 이동, 복구와 재건이다. 위에 설명된 것과 같이, 지역사회들은 이러한 조치들이 어떻게 이행될 것인지, 그리고 조치의 이용이 미치는 영향이 무엇인지에 관하여 상당한 변동성을 보인다.

5.3. 미래 재해 위험에 대한 예측과 대응

본 절에서는 지역사회가 미래 위험을 어떻게 예측하고 어떻게 거기에 대응하는지를 조사한다. 커뮤니케이션의 강화 외에도, 미래 위험을 예측하고 그에 대응하기 위한 다른 접근방법으로 둑 또는 댐과 같은 구조적 개입, 자연 자원 계획 및 생태계 보호, 그리고 자원의 저장 및 배급이 있다.

5.3.1. 위험 커뮤니케이션

효과적인 커뮤니케이션은 특별한 제약 및 가능성에 직면하는 지역수준에서 재해 관리 사이클 – 저감, 대비, 대응 및 복구 – 전반에 걸쳐 필요하다: 특히 커뮤니케이션이 건설적 행동과 정책 선택에 동기를 부여하기 위하여 기후변화의 영향에 관한 커뮤니케이션에 장애가 되는 요인을 탐색하는 분야의 연구가 급증하고 있다(Frumkin and McMichael, 2008). 기후변화의 극한 영향 가능성에 관한 커뮤니케이션은 중요하고도 어려운 도전과제이다(Moser and Dilling, 2007). 기후 커뮤니케이션에 관한 연구에서는 정보가 어떻게 설계될 수 있는지, 그리고 정보 배포의 메커니즘 및 시기가 다루어진다.

5.3.1.1. 메시지 설계

여기에서 이용되는 위험 커뮤니케이션이라는 용어는 여러 경로를 통해 다양한 청중(예: 일반 대중, 위험한 상태에 있는 특정 지역사회)에게 위험요소 및 위험요소 조정에 관한 정보를 제공하기 위한 하나 이상의 정보원(예: 국제기구, 국가 정부, 지역 정부) 측에서의 의도적인 노력을 통칭한다. 지역의 위험요소 조정 채택에 중요한 영향을 미치는 메시지의 특성으로는 정보의 질(특이성, 일관성 및 출처 확실성)과 정보 강화(경보의 횟수 및 반복) (Mileti and O'Brien, 1992; O'Brien and Mileti, 1992; Mileti and Fitzpatrick, 1993), 그리고 정보가 설계된 방식이 있다. 특정 청중을 표적으로 하는 메시지가 그렇지 않은 메시지보다 더 쉽게 받아들여진다(Maibach 등, 2008). 미래 세대에 대한 위협을 목표로 하는 것은 당대의 기후변화 영향을 저감시키기 위한 명시적 조치들보다 더 많은 우려를 야기할 수도 있다(Maibach 등, 2008). 또한, 커뮤니케이션은 위험에 관한 정보가 대응 능력을 넘어서지 않고 그럼으로써 복원력을 촉발할 때 보다 효과적이다(Fritze 등, 2008). 몇몇 연구는 기후변화로 인한 특정 피해의 개인적 위험에 초점을 맞추는 것이 관심과 행동 변화에 동기를 부여함에 있어 가장 중요한 요소일 수 있음을 시사한다(Leiserowitz, 2007). 위험 메시지들은 위협의 특이성, 지침(guidance)의 특이성, 반복성, 일관성, 확실성, 명확성, 정확성 및 충분도에서 차이가 있다(Mileti and Sorensen, 1990; Mileti and Peek, 2002).

사회적, 대인관계적, 물리적, 환경적 및 정책적 요소들을 포함하고 있는 커뮤니케이션은 위험저감의 기본이 되는 시민 참여와 사회 변화를 증진할 수 있다(Brulle, 2010). 참여적 접근방법은 신용, 신뢰 및 협력을 도와주는 커뮤니케이션의 다중 경로에 대한 필요성을 강조하는데 (NRC, 1989; Frumkin and McMichael, 2008), 이것은 극한

기후와 관련이 있는 것과 같은 스트레스 수준이 높은 상황에서 특히 중요하다. 예를 들어, 참여적인 홍보 영상의 제작은 기후변화의 극한 영향에 관한 커뮤니케이션에 있어 효과적이다(Suarez 등, 2008; Baumhardt 등, 2009). 참여적인 홍보 영상은 스토리보딩 및 제작을 통해 자체 영상을 만드는 지역사회나 집단이 참여한다. 그러한 프로젝트는, 가난한 지역사회의 경우와 같이 정확한 기후 정보에의 접근에 제약이 있는 상황에서 전통적으로 이용되는 방법이다(Patt and Gwata, 2002; Patt and Schriiter, 2008). 다른 접근방법은 사회관계망에 접근함에 있어 정보를 배포할 지역사회 지도층이나 여론 주도층과 관계를 맺는 것이다. 이 접근법은 전통적으로 보건 교육자들이 이용하는 방법이지만 지역사회 상황에서 기후 위험의 전달에도 적용 가능하다(Maibach 등, 2008). 보건 커뮤니케이션에서 이용되고 기후 교육과 관련이 있는 또 다른 접근방법으로 지역사회 구성원들이 보건 위험에 관한 커뮤니케이션을 위해 연극에 참가하는 '지역사회의 드라마'가 있다(Middlekoop 등, 2006). 이러한 유형의 커뮤니케이션 프로젝트들은 대비를 촉진하는 데 필요한 지역사회 조치에 동기를 부여할 수 있다(Semenza, 2005; Jacobs et al, 2009).

지도화, 영상 지도, 그래픽 표현과 같은 시각화 방법들이 극한 현상의 영향을 받을 수도 있는 이해관계자들의 관심을 끌기 위해 이용되기도 한다(Mc-

Call, 2008; A. Shaw 등, 2009). 의사결정자들이 변화하는 환경에 적응하는 것을 돕기 위하여 시각화를 이용하는 방법이 많은 프로그램에서 개발 중이다. 이것은 그러한 도구들이 기후 관련 지식을 증가시킬 수 있음을 시사한다(Niepold 등, 2008). 시각화는 강력한 도구일 수 있지만, 그러한 작업에서는 타당성, 주관성 및 해석의 문제가 심각하게 고려되어야 한다(Nicholson-Cole, 2004). 이러한 커뮤니케이션은 지역 경험 또는 관점과 지역적으로 관련이 있는 장소들이 고려될 때 가장 효과적이다(O'Neill and Ebi, 2009). 시각화 프로젝트에 대한 평가는 거의 이루어져 있지 않기 때문에, 극한 현상의 미래 위험에 관한 정보를 어떻게 하면 가장 효과적으로 전달할 수 있는가를 이해함에 있어 차이가 존재한다.

5.3.1.2. 위험 커뮤니케이션의 방식과 시기

위험정보의 생성과 수용은 다양한 경로를(channel) 통해 이루어진다. 그러한 경로로는 다음과 같은 것들이 있다: 특정 연구자들과의 대면 접촉; 계획과 개념적 통찰; 계획 과정에 관한 외부 협의; 정보의 사용자 지향으로의 변환; 개인 및 조직 리더십 (NRC, 2006). 연구자들은 동료집단(친구, 친척, 이웃 및 직장동료)과 뉴스 매체를 비롯한 다양한 비공식적인 정보원 수단을 오래 전부터 인정해왔다(Drabek, 1986). 이들 정보원은 인지된 전문성, 신뢰성 및 보호 책임과 같은 특성 측면에서 체계적인 차이가 있다(Lindell and Perry, 1992; Lindell and Whitney, 2000; Pulwarty, 2007). 위험-지역 거주자들은 여러 용도로 정보의 경로를 이용한다: 인터넷, 라디오, 텔레비전은 즉각적인 업데이트에 유용하고; 회의는 질문의 명확한 답을 얻기에 유용하며; 신문과 안내책자는 추후 필요할 수도 있는 정보를 보유하기에 유용하다. 또한, 가뭄 기간과 같은 생계에 대한 위험에 관한 지역사회 내부 토의는 위험 커뮤니케이션과 대응 조치를 위한 메커니즘의 역할을 한다(Dekens, 2007).

커뮤니케이션과 사전 경보에 영향을 미치는 정책 및 조치는 적응 능력과 생계의 복원력에 중대한 영향을 미친다. 기상(및 기후) 관련 정보의 수집 및 전달은 흔히 정부의 기능이며, 시기 적절한 배포는 특히 국가의 조기 경보 장치로부터 지역사회로 전달되는 커뮤니케이션의 경우에서 여전히 기후 정보 체계의 가장 중요한 약점이다(UNISDR, 2006). 이웃 감시 체계와 같이 신속하게 이용될 수 있는 다른 국지적 형태의 커뮤니케이션도 존재한다(Lichterman, 2000). 문자 메시지, 페이스북, 트위터와 같은, 몇몇 사적 커뮤니케이션 방법이 정부 지시보다 먼저 재해를 당하는 주민들에게 도달할 수도 있다(Palen 등, 2007). 하지만, 어떤 연구는 커뮤니케이션을 위해 (라디오와 같은) 일방적 도구에 너무 많이 의존하고 있음을 보여주는데, 이러한 일방적 도구는 농업에 적용하기에 부적합한 것으로 여겨졌다(예를 들어, 농부가 제공된 정보에 관하여 더 이상 질문을 할 수 없다)(Ziervogel, 2004). 많은 농촌 지역사회 내부에서는, 낮은 대역폭과 열악한 컴퓨터 인프라로 인해 위험 메시지를 전달받는데 심각한 제약을 받는다. 그러한 격차는 개발도상국은 물론 선진국에서도 명백하게 나타난다.

정보의 수용도와 정보 제공자에 대한 신뢰도가 재해 및 기후 정보를 전달하는 상황을 좌우한다(Box 5-2 참고). 의사결정-이전 단계들(수용, 주의, 이해)이 재해 메시지의 효과성에 영향을 미친다(Lindell과Perry, 2004). 장기간에 걸쳐 효과적인 커뮤니케이션을 만들어내는 의사결정-이전 관행들의 특성이 여러 연구에서 식별되었다(Fischhoff, 1992; Cutter, 2001; Pulwarty, 2007). 그러한 특성은 다음과 같다: 1) 표적 체계(target system)에서 지역사회의 목표, 목적 및 제약을 이해한다; 2) 연구, 농업 지도 및 농부 집단에서 공동의 문제 정의 및 사실 확인 전략으로서 수행된 다양한 결과에 대한 실질적 경로를 계획한다; 3) 정보 전달자들(예: 농업 지도 인력, 연구 집단 등)로 하여금 현재 정보를 이용 가능한 정보로 변환하기 위하여 무엇을 해야 하는지 이해하게 한다; 4) 정보 수요, 원하는 정보의 형식 및 전달 시기를 더 잘 이해할 수 있도록 실제적 및 잠재적 사용자들과 상호작용한다; 5) 신뢰성, 합법성, 양립성(적절한 규모, 내용, 기존 관행과의 조화) 및 수용성의 문제를 포함하여 정보 흐름의 장애와 기회를 평가한다; 6) 기존 이해관계자 관계망 및 조직에 의존하여 기후 정보 및 예보를 전파하고 평가한다.

기후변화에 관한 위험 커뮤니케이션에 관한 연구는 아직 많이 수행되지 않았다. 예를 들어, 메시지 전달의 정확성, 일상 활동으로의 침투, 메시지 특이성, 메시지 왜곡, 시간에 따른 전파 속도, 수용자 특성, 정보 요건 및 되먹임과 같은 여러 특성에 근거한 지역 조치를 유도함에 있어 메시지 효과에 관한 체계적 조사는 거의 이루어지지 않고 있다(Lindell and Perry, 1992; NRC, 2006). 한 가족 내에서 정보가 어떻게 배포될 수 있는지에 대한 연구는 거의 없지만, 기존 연구는 그러한 배포에 감정적, 사회적, 구조적 장애가 존재함을 보여준다(Norgaard, 2009).

5.3.1.3. 경보와 경보 체계

재해 연구 단체에 따르면, 임박한 위험요소에 대한 경보는 위험요소에 의해 실제로 야기되는 위험과 특수한 상황에서 피해를 완화시키기 위한 잠재적 전략 및 경로에 관한 정보를 통해 보완될 필요가 있다(Drabek, 1999; UNISDR, 2006). 전통적인 지식(물의 변색, 바람 급변)에 근거한 지역수준의 조기 경보가 빈번하게 이용된다. 라디오, 확성기 및 휴대폰이 지역수준에서 경보를 하기 위해 이용되기도 한다.
효과적인 조기 경보는 취약한 것으로 추정되는 환경으로의 정보 개입을 의미

Box 5-2 | 지역의 위험 기반 기후 정보의 성공적 커뮤니케이션

다음 질문들은 위험 기반 기후 정보의 성공적인 커뮤니케이션에 기여하는 것으로 식별되었다(Ascher, 1978; Fischhoff, 1992; Pulwarty, 2003):

사람들이 제기되고 있는 위험에 관하여 무엇을 알고 있고, 어떻게 생각하고 있는가?

- 과거 정보 이용의 경험/결과는 무엇인가?
- 특정 지역사회에서의 의사결정과 관련이 있는 새로운 정보가 있는가?
- 의도한 사용자가 신뢰할 수 있는 정보원/정보 제공자인가?
- 전문가(예: 농부)들이 정보 및 연구결과를 수용하는가?
- 의사결정자들이 정보에 접근할 수 있는가?
- 정보가 기존 의사결정 모형(예를 들면, 농사법에 대한 의사결정 모형)들과 양립 가능한가?
- 지역사회(또는 지역사회 내 개인)가 정보를 이용할 능력을 가지고 있는가?

Box 5-3 | 브라질의 대규모 댐: 기후 적응에 대한 스칼라 도전(Scalar challenges)

효과적인 기후 적응의 경우, 모든 규모에 걸쳐 관리에 대한 우려사항을 고려해야 한다. 지방에서 지역으로, 국가로, 초국가로 관할권을 가로지르는 프로젝트나 영향력은 모든 차원의 관리를 고려하는 관점을 이용할 때 가장 잘 계획된다(Adger 등, 2005). 브라질 아마조니아(Amazonia)에서 예정되어 있거나 건설된 대규모 댐(McCormick, 2011)은 이러한 문제의 전형적인 예이다. 이 댐들은 수자원 관리와 관련이 있으며 지방, 지역 및 국가 경계를 초월할 것이다. 국가 차원에서, 이 댐들은 대규모 에너지 수요를 충족시키고 국내 주요 도심지 및 산업 부문에 기여할 것이다. 지역 차원에서, 아마존강 유역의 대규모 댐들은 에너지를 생산할 수 있고 수자원의 저장을 통해 가뭄 관리에 도움을 줄 수 있다(Postel 등, 1996). 대규모 댐은 범위와 영향의 광범위함 때문에 대규모 댐의 계획 및 관리는 기후 적응에 관한 다양한 스칼라적인 우려사항을 야기한다. 한 차원에서만 볼 때는 댐이 지역 및 국가적으로는 이익이 될 수도 있지만, 지역적으로는 심각한 환경 및 사회적 문제를 야기할 수도 있다(McCormick, 2009). 예를 들어, 댐 상류에서는 삼각주의 침식과 범람이 발생할 수 있다(Yang 등, 2011).

수력발전과 대규모 수자원 관리에는 많은 환경적 이익이 존재하지만, 기후변화의 불확실성은 그러한 이익을 국지적 규모에서 전지구 규모로 변화시키며 이들 프로젝트의 사회적 및 환경적 결과에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 저수지 건설로 인한 홍수는 국지적으로 영향을 받은 지역사회의 이주를 야기하고 그럼으로써 지역사회 분열, 빈곤과 인간 및 생물의 건강 악화를 야기할 수 있다(Kingsford, 2000). 댐 건설이 지방 및 지역에 미치는 이러한 영향으로인해 많은 지역에서 기후변화에 대한 취약성이 증가될 수도 있다. 변화하는 강수 패턴은 저수지 수위에 영향을 미치므로 국가 차원에서 발전 가용성에 영향을 미칠 수 있다(DeLucena 등, 2009). 동식물의 부패 역시 국지 및 전지구 규모에서 추가적인 온실가스 배출을 야기한다(Fearnside, 1995).

한다(Olson, 2000). 이러한 배경은 지난 15년간의 계절 기후 예보를 이용하면서 식별된 중요한 교훈들을 통해 강화되었다(Podesta 등, 2002; Pulwarty, 2007). 예측 가능한 기후 변동성 및 영향의 존재가 계절 예보를 포함한 기후 정보의 효과적 이용을 성취하기 위해서는 기후 변동성 및 영향의 예측 가능성이 필수적이지만 충분하지 않다는 것이 현재 널리 받아들여지고 있다. 지역 규모에서 미래 상황에 관한 정보를 이용하는 데 대한 실질적 장애물은 다양하다. 그러한 경로로는 다음과 같은 것들이 있다: 기후시스템의 복잡성을 모델화함에 있어서의 한계(예: 낮은 시·공간 해상도에서의 전망; 일부 관련 변수의 제한된 예측가능성; 및 예측 기술 특성화; 3장 참고); 기후 정보를 수용하거나 이해함에 있어서의 절차적, 제도적 및 인지적 장애물; 그리고 조치를 변경하고자 하는 의사결정자의 능력 및 의지(Kasperson 등, 1988; Stern and Easterling, 1999; Roncoli 등, 2001; Patt and Gwata, 2002; Marx 등, 2007). 또한, 기능적, 구조적 및 사회적 요인들로 인해 정보 제공자와 사용자 간 공동의 문제 식별과 협력적 지식 생성이 억제된다. 그러한 요인으로는 목적, 요구, 범위 및 우선순위의 다양성; 제도적 환경 및 표준의 다양성; 그리고 문화적 가치, 이해 및 불신의 다양성이 있다(Pulwarty 등, 2004; Rayner 등, 2005; Weichselgartner and Kasperson, 2010).

감시, 계측 및 자료 수집의 개선과 관련하여 경보 체계가 유의하게 발전했지만 (사례연구 9.2.11), 정보 관리와 위험한 상태에 있는 주민에 대한 정보 전파에는 아직 문제의 소지가 있다(Sorensen, 2000). 연구자들은 예측 자체의 성질 이외에 사회적으로 존재하고 있을 수도 있는 이해관계자의 인식, 핵심적인 관계, 언어 및 용어와 같은 커뮤니케이션의 다양한 측면을 식별했다. 위험 연구자 등의 정보 생성자 및 제공자가 그들의 위험 커뮤니케이션 메시지에서 경보를 다루는 정도에 관하여 알려져 있는 것보다, 이러한 메시지의 특성이 경보를 접하는 사람에게 미치는 영향에 관하여 더 많은 것이 알려져 있다. 예를 들어, (쓰나미 조기 경보 시스템과 같이) 경보가 작동된다 하더라도 재해를 당할 가능성이 있는 지역사회에 경보가 도달하지 않을 수도 있다(Oloruntoba, 2005). 유사하게, 많은 지역사회가 경보방송 라디오(tone alert radio), 긴급 경보 체계, 비상 전화번호(미국에서는 911, 세계 다른 지역에서는 110, 112, 등)와 같은 기후에 민감한 위험에 대한 경보 체계에 접근하지 못하며, 따라서 정보에 따라 행동하기는커녕 경보 메시지를 듣지도 못한다(Sorensen, 2000). 반면, Valdes (1997)는 지역사회 운영 및 참여에 기초한 코스타리카 홍수 경보 체계를 이용했을 때 조기 경보가 생명과 재산을 구하는 역할을 하는지의 여부에 관하여 차이가 생겼음을 보여주었다. 지역사회 조기 경보 체계(강수 자료와 하천을 따라 위치한 관측소의 수위와의 상관관계와 같이)를 가동하는 것은 지역사회가 위험요소 완화 접근방법에 있어 사전 대책을 강구하도록 장려하는 역할을 한다.

위험 커뮤니케이션에 관한 연구 격차의 일부는 재해 대비에 영향을 미치는지 여부를 시험, 확인할 수 있는 프로젝트의 결여에 기인한다. 가장 기본적인 차원에서, 재해 대비에 필요한 정보에 대해서는 상당한 이해가 존재하지만, 어떤 정보와 어떤 신뢰할 수 있는 커뮤니케이션 과정이 기후변화에 대한 지역 신뢰도 및 대비를 만들어내는 데 필요한 지에 대한 이해는 아직 불명확하다(Fischhoff, 2007). 브라질 동북부 세아라(Ceará) 지역에서는 재해를 당할 가능성이 있는 지역사회의 기후 예보 및 전망에 대한 토의가 가뭄에 관한 담론을 민주화하는 수단으로 활용되었다(Finan and Nelson, 2001). 긴급 대응, 대비 및 대책과 적응에 걸친 하나의 매끄러운 연속체를 개발하기 위해서는 다양한 유형의 재해로 인해 지역에 제기될 요구들과 기본적인 긴급 기능 – 현상 발생 전 평가, 사전 위험 완화 및 돌발상황 관리를 수행할 필요성에 관한 통찰이 필요하다(Lindell and Perry, 1996). 이전 IPCC 보고서에 언급된 것과 같이 (IPCC, 2007), 단기 재해에 대비하는 것이 더 장기적인 기후변

화에 적응하는 능력을 강화시킨다.

5.3.2. 구조적 대책

홍수, 가뭄, 연안 범람 및 열파와 같은 기후 관련 현상들로 인한 영향을 저감시키기 위하여 구조적 대책을 이용할 수도 있다. 극한 현상의 영향을 저감시키기 위한 구조적 개입에는 흔히 홍수로부터의 보호를 제공하기 위한, 둑, 제방, 방조제, 하천 수로 변경, 수문 및 저수지와 같은 토목 공사 작업이 적용된다. 하지만(건설 및 개보수 동안) 건물을 보강하고, 가뭄 빈발 지역의 취수를 향상시키며(예: 지붕 집수, 물탱크, 우물), 열파의 영향을 저감시키는(예: 단열 및 냉각 시스템) 대책들 역시 구조적 대책에 포함된다. 이러한 구조적 개입 중 많은 것이 재해 영향을 저감시킴에 있어 성공적일 수 있지만, 유지관리의 부족, 노후 또는 공학적 설계 기준을 초과하는 극한 현상으로 인해 구조적 개입이 실패할 수도 있다(Galloway, 2007; Doyle 등, 2008; Galloway 등, 2009). 기후변화의 결과로서 극한 현상의 빈도와 크기가 강해지는 경우에는, 새로운 설계 기준이 필요할 수도 있다. 기술적 고려사항에는 지역의 사회적, 문화적 및 환경적 고려사항도 포함되어야 한다(WMO, 2003; Opperman 등, 2009).

계획부터 이행에 걸쳐 사전대책을 강구하는 지역 거주민들에 의한 참여적 접근방법을 포함하는 구조적 대책을 실시하는 것은, 흔히 지역 권한의 증가와 보다 지속가능한 결과를 가져온다. 그 예로 방글라데시에서의 사이클론 대피소의 건설, 관리 및 유지보수 프로그램이 있다(Zimmermann and Stiissel, 2011). 준국가 규모의 구조적 프로젝트가 흔히 효과가 없는 중요한 이유 중 하나는 프로젝트가 기술 정보와 지역 지식 모두에 근거하기 보다는 기술 정보에만 근거하여 승인되기 때문이다(ActionAid, 2005; Prabhakar 등, 2009; 5.4.4장 참고). 또한, 흔히 다른 비구조적 접근방법보다 구조적 대응을 선호하는 지역 및 국가의 제도적 장치로 인해, 국가 법률이 지역 수준의 재해 위험저감 전략의 선택에 막대한 영향을 미친다(Burby, 2006; Galloway, 2009). 기술에만 의존한 대응은 하류 지역에서 홍수 위험요소의 증가, 장기적인 홍수 방재 작업 비용의 증가, 또는 연안 방재 작업으로 인해 퇴적물이 제거된 지역에서의 연안 침식의 증가를 비롯해 의도하지 않은 지형학적 및 사회적 결과들을 또한 초래할 수 있다(Adger 등, 2005; Hudson 등, 2008; Box 5-3).

수천 년 간 둑을 건설함으로써 지역 전체를 보호하는 방법이 이용되어 왔으며 이는 홍수 빈발 국가의 지역사회들에 의해서 여전히 이용되고 있다. 제방, 둑, 두렁, 및 홍수 방벽은 모두 물을 하천 수로에 가두어 바로 너머에 있는 지역을 보호함으로써 홍수로부터 지역을 보호하기 위하여 설계된 것이다. 둑을 건설하는 것은 홍수 관리에 있어 가장 경제적인 방법 중 하나이다(Asian Disaster Preparedness Centre, 2005). 지역사회에 의한 둑 건설에는 통상 낮은 수준의 기술과(흙으로 둑을 쌓는 것과 같은) 전통 지식이 관련된다. 모래 주머니를 쌓는 것 역시 매우 흔한 형태의 홍수 방지법이다. 일반적으로 흙으로 건설된 구조물은 침식에 매우 민감하기 때문에 젖은 부분에는 수로 매몰 및 물의 이동 감소가, 마른 부분에는 경사면 불안정 및 붕괴가 발생한다. 다양한 방법으로 경사면을 안정화시킬 수 있는데, 방글라데시와 태국에서는 각각 버들강아지와 베티베르풀과 같은 초목을 심는 잔디심기 방법으로 경사면을 안정화시킨다. 하지만 잔디 띠가 침식을 방지하는지, 토양 비옥도 대신 침식이 실제 주요 문제인지, 그리고 농부들이 여전히 경사면을 안정화시킬 필요가 있는지 여부에 관한 논쟁이 지역 규모에서 계속되고 있다(Forsyth and Walker, 2008).

대규모 구조적 대책에 대한 의사결정은 흔히 비용-편익 분석과 기술적 접근방법에 근거한다. 많은 경우에서, 특히 선진국에서, 구조적 대책은 중앙 정부 및 지역 정부의 보조금이 지원되므로 지역사회는 단지 비용의 일부만을 부담하면 된다. 뉴질랜드에서는, 이로 인해 비구조적 대책을 가능하게 했던 계획법에도 불구하고 구조적 대책이 우세하게 되었다. 그 결과, 대재해 가능성은 높아졌고, 개발은 구조적 대책이 있는 지역에 집약되어 공학적 설계 기준을 넘어선 재해에 의해 이 지역에 심각한 피해가 발생하였다(Ericksen, 1986). 뉴질랜드에서는 1980년대 중반 중앙 정부 보조금이 축소되고 법안이 변경되면서 재해를 당한 지역사회가 재해 위험 관리 비용에 더 많은 책임을 지게 되었고 더욱 통합된 재해 위험 저감 과정을 향한 움직임이 생겼다(Ericksen 등, 2000). 흔히 비구조적 대책보다 구조적 대책이 선호되는 연안 방재와 관련해서도 이와 유사한 경향이 관찰되었다(Titus 등, 2009; Titus, 2011).

건축법은 재해 위험 저감을 위한 공학적 및 건축학적 구조적 접근방법과 거의 일치한다(Petal 등, 2008; Kang 등, 2009). 홍수의 경우에는 빌딩의 해발고도와 1층 기준이 건축법에 포함된다(Aerts 등, 2009; Kang 등, 2009). 건축법이 존재한다 하더라도, 특히 개발도상국에서는, 그것이 채택되지 않는 문제가 있다(Spence, 2004). 구조물 피해는 법규를 준수하지 않음으로써 발생할 뿐만 아니라, 검사의 결여, 구조물의 소유권 상태, 지역 거버넌스의 정치적 상황 및 메커니즘에 의해서도 발생한다(May and Burby, 1998). 보험 제도는 지역 정부 및 가정이 건축법을 이행할 동기를 제공할 수 있다(Botzen 등, 2009).

5.3.3. 토지 이용과 생태계 보호

토지 이용의 변경은 전지구 기후변화에 영향을 미칠 뿐만 아니라 경제, 정책 및 환경 변화의 다양한 신호에 대한 적응도 반영한다(Lambin 등, 2001). 용도 지정, 지역 종합 계획, 후퇴 및 이전(relocation) 정책에 포함된 지역 토지 이용 계획은 위험에 노출된 지역으로부터 인명과 재산을 지키기 위한 재해 위험 관리의 유용한 접근방법이다(Burby, 1998). 하지만 일부 국가 및 지방에서는 개발이나 주거지를 제한하는 공식적인 토지 이용 규정이 부재할 수 있다. 토지 이용 관리는 상습 위험 지대에서의 사람 및 산업의 이동을 규제하기 때문에, 그러한 정책들은 개발 압력, 재산권이 수반된 부동산 이해관계 및 토지 취득에 대한 지역 저항으로 인해 강한 반대에 부딪힌다(Burby, 2000; Thomson, 2007). 홍수 및 해수면 상승 전망에 근거한 완충 지대, 연안 지대의 건축 제한선 및 범람 지대는 논란의 여지가 있을 수 있고, 강제되지 않는 경우에는 임시 정착, 토지 투기 및 새로운 취약성이 야기될 수 있다(Ingram 등, 2006; Jha 등, 2010). 예를 들어, 스리랑카 정부는 2004년 인도양 쓰나미 후 완충지대를 만들고 주민들을 보다 안전한 지역으로 이전시켰다. 주민의 연안 생계 기반으로부터의 거리와 사회 혼란은 완충 지대와 새 정착지의 변형을 야기했다(Ingram 등, 2006). 미국에서는, 연안 부동산이 높은 가치를 가지고 있고 부유한 부동산 소유주들이 연안을 따라 건설하도록 정치적 압력을 행사할 수 있기 때문에 연안 후퇴 대책을 실시하기 어렵다(Ruppert, 2008). 해변 부동산 소유주들과 부동산업자들은 규제가 성장을 방해할 것으로 간주하기 때문에 특히 건축선 후퇴 규정에 반대한다(NOAA, 2007).

토지 이용 계획과 공간적 위험요소 정보의 적용은 재해 위험 관리, 특히 위험요소 완화로 나아가는 또 다른 길이다. Berke and Beatley (1992)는 다양한 위험요소 완화 대책을 조사하고 효과성과 시행 용이성에 따라 순위를 매겼다. 가장 효과적인 대책은 토지 취득, 밀도의 감소, 개발의 집적, 신규 건설에 관한 건축법, 기존 구조물의 강제 개보수이다. 토지 매입 프로그램은 높은 비용 부담으로 인해 소지역사회에게 매력이 없을 수 있다. 다양한 위험 동인이 위협과 특성 면에서 서로 차이를 보이는 방식들에 대한 체계적인 과학적 특성화는 제한되어 있으므로, 가구, 기업 및 지역사회 위험 관리 조직에 의한 다양한 영향-전 개입과 영향 후의 대응이 필요하다. 하지만, Burby 등 (1997)은 일부 지역사회의 경우에는 이전의 재해 발생이 이후에 적용되는 위험 완화 기법의 종류에 큰 영향을 미치지 못한다는 증거를 발견했다. 재해 위험 관리 수단으로써의 토지 이용 계획에 대한 공식적인 접근방법은 흔히 전통적 관습 및 토지 소유 제도가 작용하는 개발도상국의 많은 농촌 지역에서는 별로 적절하지 않다. 토지 소유 제도는 흔히 매우 복잡하고 탄력적이며 취약성 저감에 기여할 수 있다. 건조지 환경의 목축민들의 경우에는 방목과 물을 얻기 위해 토지를 공유하는 것이 중요한 가뭄 대응이다(Anderson 등, 2010). 이것이 항상 사실인 것은 아니며, 일부 토지 소유 제도는 어떤 집단을 몰아냄으로써 그 집단의 취약성을 증가시키기도 한다(Clot and Carter, 2009; Robledo 등, 2011). 또한, 빈민가 및 불법 주거지에 관한 토지 이용 계획에는 제약이 따른다. 빈곤과 기반시설 및 서비스의 부족은 재해로 인한 부정적 영향에 대한 도시 빈민의 취약성을 증가시키고 중앙 정부와 국제 기구는 그러한 경향을 역전시킴에 있어 성공한 적이 거의 없다. 그 결과, 위험 노출을 저감시키기 위한 성공적인 노력은 지역수준에서 정부가 주도하기보다는 지역적으로 이루어졌고, 성공적인 계획에 기반을 두었으며 비공식적 대책으로 구성되었다(Satterthwaite 등, 2007; Zimmermann and Stiissel, 2011).

토지 취득은 재산과 인명을 위험 지역으로부터 멀리 이전시킴으로써 보호를 강구하는 또 다른 수단이다(Olshansky and Kartez, 1998). 많은 관할권들이 재산을 구입할 수용권을 가지고 있지만 재해 위험 관리(Godschalk 등, 2000) 또는 기후변화 적응의 형태로서 이용되는 경우는 드물다. 예를 들어, 토지의 임의 취득은 지역 당국이 재해에 노출된 재산을 구입할 것을 요구하며, 이는 차례로 가구들이 이 과정에서 큰 경제적 손실을 겪지 않으면서 어디에서건 덜 위험한 부동산을 얻을 수 있게 하지만 (Handmer, 1987), 자원 및 정치적 지원의 부족으로 인해 개발도상국에서는 이 방법이 드물게 이용된다. 세계 각지의 연안 지역 및 범람원에서의 빠른 인구 성장과 미국, 오스트레일리아 같은 선진국 연안 지대에서 노출되어 있는 재산의 많은 수와 높은 가치를 고려할 때, 이 매수 전략은 엄청나게 높은 비용을 요하며 따라서 드물게 이용된다(Anning and Dominey-Howes, 2009). 유사하게, 개발도상국의 임의 취득 계획 역시 주민들이 토지에 강한 유대감을 가지고 있고 지역사회의 정체성과 그 구성원이 속한 토지를 분리할 수 없는 태평양 섬들과 같은 장소에서는 토지가 지역사회 소유이기 때문에 똑같이 많은 문제를 안고 있다(Campbell, 2010b). 따라서 단독적인 토지 이용 계획이 단일 전략으로서는 성공하지 못할 수도 있지만, 감세 또는 증세 조치, 보험, 배수 및 하수 시스템과 같은 관련 정책들과 결합될 때에는 효과적일 수 있다(Yohe 등, 1995; Cheong, 2011 b). 하지만, 해수면이 지역의 연안 지대에 부정적인 영향을 미친다면, 모든 노출된 관할 구역에서 어떤 형태의 이전이 필요하게 될 수도 있다. 미국에서는, 일부 주 및 지역 정부가 장기 지역권을 채택했다. 장기 지역권은 취약 지역에서의 건설은 허용되지만 습지 또는 해변의 육지 쪽 가장자리가 침식되는 경우에는 구조물이 철거되어야 한다는 요구사항이 적용된다(Titus, 2011).

생태계 보전은 극한 기후로부터의 장기적인 보호를 제공한다. 토양 침식, 산사태, 파도 및 폭풍 해일의 완화는 극한 현상 및 재해로부터 인명 및 기반시설을 보호하는 생태계 서비스의 일부이다(Sudmeier-Rieux 등, 2006). 2004년 인도양 쓰나미는 해안으로 밀려오는 대형 파도의 유입을 완화시킴에 있어 맹그로브, 산호초 및 사구가 유용했음을 입증한다(Das and Vincent, 2009). 개발된 해안선을 따라 재산을 보호하기 위한 사구 관리 지구의 이용은 미국 동부 해안 등을 따라 많은 장소에서 성공을 거두었다(Nordstrom, 2000, 2008). 탄소 격리는 지속가능한 유역계 및 지역사회 삼림 관리에 기초한 생태계 기반 적응의 또 다른 이익이다(McCall, 2010). 생태계가 제공하는 보호 기능의 정도에 대해서는 아직 논쟁이 있지만 (Gedan 등, 2011), 생태계 서비스의 장점은 대체로 인정되고 있으며 서비스의 정량화 모형 개발이 잘 진행되고 있다(Barbier 등, 2008; Nelson 등, 2009). 이러한 비구조적 대책들은 덜 간섭적이고 더 지속가능한 것으로 간주되며, 공학적 대응과 통합됨으로써 재해 및 극한 기후에 적응하기 위한 메커니즘을 제공한다(Galloway, 2007; Opperman 등, 2009; Cheong, 2011 a).

5.3.4. 자원의 저장과 배급

지역사회들은 재해로 인한 자원 부족에 대응하기 위하여 잉여물의 생산 및 저장을 비롯한 다양한 접근방법을 취할 수 있다. 잉여물을 이용할 수 없는 경우에는, 식량 배급이 이루어질 수도 있다. 다수의 지역이 잉여 식량을 생산하며, 잉여 식량은 계절 또는 재해로 인해 식량 공급이 붕괴된 동안 그 지역이 생존할 수 있도록 한다. 그러한 관행은 자본주의 이전 사회에서 더 일반적이었다. 예를 들면, 태평양 도서 지역사회들에서는 흔히 토란, 빵나무와 같은 식용 작물을 나뭇잎을 깔아 둔 구덩이에서 발효시킴으로써 1년 이상 저장해둔다. 건조 지역에서는 얌(yam)을 수년 간 보관할 수 있었다. 대부분의 지역사회에서는 야생 얌, 습지 토란, 사고(sago)와 같은 구황 식품을 저장해두었데, 이 구황 식품은 식량이 부족한 시기 동안에만 수확되었다(Campbell, 2006). 이러한 관습의 축소를 초래한 요인 중 두드러진 것은 재해 구호의 제

공이다(Campbell, 2010a). 말리(Mali)에서는 여성들이 가뭄에 대한 대비책으로 수확물의 일부를 저장하곤 했다(Intercooperation, 2008). 긴급 대응 장비, 자재, 식량, 의약품 및 의료 장비의 비축 및 사전배치 역시 지역수준의, 특히 많은 토착 지역사회를 위한, 중요한 형태의 재해 대비책이다.

배급은 식량 위기에 임박했거나 식량 위기가 시작될 때 식량 부족에 대한 초기 대응으로 나타날 수 있다. 그렇지만, 많은 경우에서 계절에 따른 배급이 필요하다. 지역수준의 배급은 흔히 가구, 특히 부 또는 잉여물을 축적할 능력이 없는 빈곤 가구 차원에서 도입되는 자체 배급이다. 흔히, 배급은 여성과 아동에서 먼저 시작된다(Hyder 등, 2005; Ramachandran, 2006). 대부분의 배급은 식량 부족에 대응하여 이루어지며, 대다수 빈민 지역사회에서는 생계 파괴에 대한 최초 대응으로 배급이 이루어진다(Walker, 1989; Barrett, 2002; Devereux and Sabates-Wheeler, 2004; Baro and Deubel, 2006). 많은 경우, 식품 가격 상승으로 인해 수입이 불충분한 사람들은 배급을 받을 수밖에 없게 된다.

식량 부족 현상이 더 심해지면 가정에서 종자를 먹거나 가축을 팔아버리기 때문에 미래의 안전이 약화될 수 있으며, 식량 부족이 계속되면 심한 질병, 이주, 기아, 사망으로 이어질 수도 있다. 기후변화가 가뭄의 빈도 및 강도를 변화시킬 수도 있지만(3.5.1절 참고), 식량 위기의 원인은 다양하며 기후 변동성 이외에도 사회적, 경제적 및 정치적 과정에도 기인한다(Sen, 1981; Corbett, 1988; Bohle 등, 1994; Wisner 등, 2004).

대부분의 지역사회가 자급자족 생산에 기초하지 않는 선진국에서는 식량 배급이 흔치 않다. 선진국에서는 복지 제도와 NGO 기구가 생계수단이 없는 이들의 요구에 대응한다. 하지만, 특별히 가뭄 현상에 대응하는 다른 형태의 배급 제도가 존재한다. 다음과 같은 많은 대책을 통해 물 이용을 감소시킨다: 계량, 배급제도 (정량제, 비례적 감소 또는 자발적 감소) 감압, 누수 감소, 절수 기기, 배관 규격, 시장 메커니즘(예: 양도성 할당제, 관세, 가격 책정) 및 물 이용 제한 (Lund and Reed, 1995; Froukh, 2001).

전기 공급 역시 재해로 인해 지장이 생길 수 있으며, 그 결과 부분적인 또는 전체적인 정전이 야기될 수도 있다. 많은 국가가 전력망을 가지고 있지만, 전기 부족에 대한 대응의 결정은 흔히 국지적 수준에서 이루어지므로 여타 서비스, 가정 고객 및 기업들이 상당한 지장을 겪게 된다. Rose 등(2007)은 많은 미국 기업이 그러한 상황에서, 에너지 절약을 비롯한 다양한 전략에 적응하거나, 대체 에너지를 이용하거나, 대체 발전 방법을 이용하거나, 일정을 조정하여 활동을 나중으로 미루거나, 기업 운영의 저-에너지 또는 무-에너지 요소에 초점을 맞추는 등, 상당히 탄력적으로 대응할 수 있음을 보여준다. Rose and Liao(2005)에 따르면, 물 공급 중단의 경우에도 비슷한 결과가 나타났다. 적은 강수로 인해 수력발전이 감소할 때에는 전력 저장 및 배급이 필요할 수도 있는데, 기후 전망에 따르면 일부 지역에서 이러한 시나리오의 가능성이 있다(Viiriismarty 등, 2000; Boyd and Ibarraran, 2009). 어떤 경우에는 공업, 농업, 발전, 가정용수와 같은 다양한 부문 간에 물을 확보하기 위한 경쟁이 존재할 수도 있는데 (Vorosmarty 등, 2000) 이러한 경쟁은 배급제도와 위에 열거된 것과 같은 다른 대책을 통해 해결되어야 할 것이다. 어떤 소비자가 물 또는 전력 이용에서 우선권을 갖는지를 개략적으로 보여주는 명확한 규칙이 중요하다.

자연 위험요소 또는 재해의 결과로서 배급의 대상이 될 수도 있는 다른 요소로는, 재해로 인해 동시에 의료 지원 수요가 급증하고 의료 시설, 장비, 의약품 및 인력이 저감한 경우에서 의료 및 보건 서비스의 우선순위 설정이 있다. 여기에는 환자를 분류하고, 필요성이 가장 크고 긍정적 결과의 가능성이 가장 높은 환자에게 우선권을 주는 것이 필요할 수도 있다. 이 접근방법은 최대한 많은 이를 위하여 최선의 결과를 얻기 위한 것이다(Alexander, 2002; Iserson and Moskop, 2007).

미래 재해 위험에 대한 대응은 지역수준에서 다수의 접근방법을 필요로 할 것이다. 위험 커뮤니케이션과 경보 정보를 시작으로, 지역이 미래 위험에 대응함에 있어 현재 착수한 조정의 범위는 구조적 대책, 토지 이용 계획, 생태계 보호, 자원의 저장 및 배급으로 이루어진다.

5.4. 변화하는 기후에 대한 지역수준의 위험 관리 능력 구축

지역 위험 관리는 전통적으로 기후변화 상황을 고려하지 않은 채 극한 현상을 다루어왔다. 본 장에서는 재해 위험에 대한 적응의 예와 지방 정부 및 NGO에 의한 지역사회 차원의 그러한 사전 활동이 어떻게 기후변화의 장기적 영향을 저감시키기 위한 지침을 제공하는지의 예시가 제공된다. 극한 현상과 그 영향에 대응하는 것이 중요하기는 하지만, 현재 및 미래 극한 현상의 영향을 개선하기 위해서는 지역사회, 도시 및 부문의 복원력을 구축하는 데 중점을 두는 것이 매우 중요하다.

5.4.1. 선제적 활동과 방어적 조치

연구자들은 현상이 발생하는 동안 효과적인 파트너십과 이행 조치의 채택을 가능하게 하는 몇 가지 물리적 및 사회적 특성을 식별했다(Birkland, 1997; Pulwarty와 Melis, 2001). 그러한 특성으로는 상당한 대중적 관심과 주요 지도층의 개인적 관심을 끈(재해적 극한 현상과 같은) 과거의 강력한 현상의 발생, 긴밀한 관할권-간 협력관계를 비롯한 사회적 협력 기반, 그리고 지원을 받는 연구와 관리 간의 협동 체계의 존재가 있다.

White 등(2001)은 이러한 결과를 좌우하는 요소들을 "더 잘 아는 것과 훨씬 더 많이 잃는 것(knowing better and losing even more)"으로 통칭했다. 이 맥락에서, "더 잘 아는 것"은 영향의 동인들과 효과적인 위험 관리 관행들에 관한, 즉시 이용 가능한 지식의 축적을 의미한다. 예를 들어, 연구자들은 허리케인 카트리나에 앞서 뉴올리언스를 강타한 대형 허리케인의 결과를 이해했으며 계획 및 대응의 필요성에 대해서도 상세하게 이해했다. 하지만 허리케인 카트리나 이후 지역수준을 포함한 모든 차원의 정부에서 이러한 지식이 무시되었던 것으로 판단된다(Kates 등, 2006). White 등 (2001)은 그러한 상황이 왜 존재하는지에 대한 네 가지 설명을 정보의 관점에서 제안한다: 1) 지식은 무지의 영역으로 인해 계속 결함이 존재한다; 2) 지식이 이용 가능하지만 효과적으로 이용되지 않는다; 3) 지식이 효과적으로 이용되지만 영향을 주기까지 오랜 시간이 걸린다; 4) 지식이 몇몇 측면에서는 효과적으로 이용되지만 취약성과 인구, 부 및 빈곤의 증가가 지식을 압도한다. 또 다른 가능성은 일부 개인 또는 지역사회가 위험한 줄 알면서도 모험을 하기로 한다는 것이다. 예를 들어, 연안 근처 주거의 가치는, 특히 선진국에서, 주택 가치 상승으로 인해 수년 내에 구조물에 투자한 자금을 회수할 수 있기 때문에 개인 및 지역사회가 위험을 감수할 가치가 있음을 보여주는 증거가 있다. 마지막으로, 지식은 흔히 도외시된다.

개개인은 그들의 위험을 저감시킬 것을 선택할 수 있지만, 그들이 거주하고 일하는 사회의 사회적 관계, 상황 및 어떤 구조적 특징으로 인해 이러한 선택과 그 효과는 조율된다. 위험과 불안을 해결하는 것이 빈곤층의 생계 전략을 개발하는 방법의 가장 중요한 부분이라는 인식으로 인해, 재해 완화 및 대비는 많은 빈곤자 부양책의 중요 요소로 높은 우선순위를 갖게 된다 (Cuny, 1983; Olshansky and Kartez, 1998; UNISDR, 2009). 기후변화 상황에서의 극한 기후는 물론이고 무수한 도전과제들은 재해 후 때때로 나타나는, 규모는 크지만 느슨한 이해관계자 연합이 현재의 재해 위험을 저감시키는 데 필요한 종류의 노력을 지속하기에 충분히 긴 시간 동안 유지되는 일이 드물기 때문에 미해결 상태로 장기간 유지된다.

가정과 지역사회 차원에서, 개인들은 흔히 극한 현상이 그들의 자식, 가족, 친구 및 이웃에 미치는 영향을 최소화하기 위한 예방 조치에 참여한다. 어떤 경우에는, 개인들이 경보 메시지를 무시하고 위험 지역에 머무를 것을 선택하기도 한다. 조치의 범위와 선택은 흔히 현상 특이적이고 시간 의존적이지만, 장소, 충분한 기반시설, 사회경제적 특성, 재해 위험 정보에의 접근성 및 위험 지각으로 인해 제약을 받기도 한다(Tierney등, 2001). 예를 들어, 열대성 저기압, 홍수, 산불의 경우와 같이 피해를 입지 않도록 임시 이주에 대한 충분한 경보가 있을 때에는 피난이 이용된다. 장소, 집단 크기, 수송망 및 급속한 현상 발생을 고려해볼 때, 집단 피난이 항상 가능한 것은 아니다. 동시에, 개인 피난은 수송 체계에의 접근성, 금융 자원, 건강 장애, 직무 책임, 성별에서부터 집을 떠나는 것에 대한 거리낌에 이르는 다수 요인에 의해 제약을 받을 수도 있다. 예를 들어, 미국에서 허리케인 피난에 관하여 일관된 다수의 문헌에 따르면: 1) 개인들은 가족 단위로 피난하는 경향이 있지만, 흔히 피난에 1대가 넘는 개인 차량을 이용한다; 2) 사회적 영향력(이웃, 가족, 친구)이 개인 및 가정 피난 의사결정에 있어 중요하다; 이웃이 떠나는 경우, 개인은 피난하는 쪽으로 마음이 더 기울고 반대의 경우도 마찬가지이다; 3) 피난을 설득함에 있어서는 허리케인에 대한 이전의 부정적 경험보다 위험 지각, 특히 개인에 의한 위험의 개인화가 더 중요한 요소이다; 4) 애완동물과 재산 안전에 대한 우려는 피난을 하고자 하는 가정의 의욕을 저하시킨다; 5) 사회적 및 인구학적 요소(연령, 어린이의 존재, 노인 또는 가정의 애완동물, 성별(gender), 수입, 장애 및 인종 또는 민족성)은 특정 상황에 따라 피난을 제약하기도 하고 피난의 동기를 부여하기도 한다(Perry and Lindell, 1991; Dow- and Cutter, 1998, 2000, 2002; Whitehead 등, 2000; Batemanand Edwards, 2002; Van Willigen 등, 2002; Sorensen 등, 2004; Lindell 등, 2005; Dash and Gladwin, 2007; McGuire 등, 2007; Sorensenand Sorensen, 2007; Edmonds and Cutter, 2008; Adeola, 2009). 문화 역시 피난의 의사결정에서 중요한 역할을 한다(Clot과 Carter, 2009). 예를 들어, 방글라데시에서의 최근 연구는 경보체계의 개선과 대피소의 건설에도 불구하고 피난하지 않는 비율이 높다는 것을 보여주었다. 여기에는 여러 이유가 있지만, 성별과 관련된 문제(예: 대피소가 남성에 의해 통제되었고 대피소에 남성 및 여성 전용 공간이 분리되어 있지 않았다)가 여성이 피난하지 않는 중대한 이유이다(Paul and Dutt, 2010; Paul 등, 2010).

다른 보호 조치인 현위치에서의 피신(shelter-in-place)은 극한 현상에 대응해 행동할 시간이 거의 없거나 지역사회를 떠나는 것이 개인을 더 큰 위험에 빠트릴 때에 일어난다(Sorensen 등, 2004). 물이 차오르는 것을 피하기 위하여 주거 구조물에서 더 높은 곳을 찾거나 더 높은 층으로 이동하는 것이 그 예이다. 또 다른 보호 조치로는 강풍을 피하기 위하여 건물 내부 공간으로 이동하는 것이 있다. 산불의 경우, 현위치에서의 피신은 피난 경로가 불로 인해 통제될 때 대체 전략이 되며, 구조물을 정원 호스로 보호하는 것과 일시적 피난처로 수역(호수 또는 뒤뜰 수영장)과 같은 안전한 지역을 찾는 것이 여기에 포함한다(Cova 등, 2009). 오스트레일리아의 현위치에서의 피신 조치는 이와 약간 차이가 있다. 여기에서는 산불에 대한 지역사회 참여가 머무르면서 방어하거나 조속히 떠나는 것, 두 가지의 옵션을 갖는다: 이 상황에서, 머무르기로 하는 의사결정은 사회관계망, 산불에 대한 과거의 경험, 성별(남성들은 재산을 보호하고 지키기 위해 남을 것이다) 및 지역 소방대의 개입에 근거하여 이루어진다(McGee and Russell, 2003). 연구에서는 농촌 거주자들이 교외 거주자들보다 더 자립적이고 방어할 태세가 되어있었다는 것도 밝혀졌다(McGee and Russell, 2003).

사회의 사회 조직은 보호 조치를 선택함에 있어 융통성에 영향을 미친다(미국, 오스트레일리아, 유럽에서와 같이). 어떤 사회는 자발적으로 보호 조치에 참여하지만, 쿠바, 중국과 같은 경우 중앙집권 기관이 개인 또는 가정을 대상으로 보호 조치를 조정한다. 모든 사람들이 자연 재해의 경우에 신속하게 집결하도록 어릴 때부터 교육받는 쿠바에서는 재해에 대한 계획이 삶의 한 방식이다(Sims and Vogelmann, 2002; Bermejo, 2006). 중앙집권 정부 기관과 함께 활동하는 구역, 인근 및 지역사회 차원의 민방위 조직은 쿠바에서만 볼 수 있는 것이다(Sims and Vogelmann, 2002; Bermejo, 2006). 쿠바는 최근 경험한 몇 차례의 허리케인에서 인명 손실이 거의 없었는데, 이는 그러한 노력들이 성공적임을 시사한다. 많은 전통적 또는 자본주의 이전의 사회에서는, 자연 재해와 같은 주기적 충격으로부터 지역사회 구성원들을 보호하는 메커니즘이 있었던 것으로 보인다. 때때로 도덕 경제로도 불리는 이러한 메커니즘은 호혜에 의해 뒷받침되었고 착취를 제한함으로써 모든 사람들의 기본적 안전이 보장되었다. 메커니즘은 흔히 친족관계 관계망과 연결되어 있고 자원을 재분배함으로써 극심한 손실을 입은 이들에 대한 영향을

Box 5-4 | 직장에서의 집단 행동과 도덕 경제

식민지화 이전 태평양 지역에는 재해 손실을 상쇄시키기 위하여 이용되는 다양한 사회정치적 관계망이 존재했다(Sahlins, 1962; Paulson, 1993). 그러한 체계의 일례로 서남태평양 군소도서 국가인 바누아투(Vanuatu) 북부에 존재했던 등급 사회, 즉 Suqe가 있다. Suqe에서 이른바 'big men'은 조개껍데기 화폐, 특수하게 직조된 돗자리, 돼지와 같은 가치재의 잉여분을 적립함으로써 최고의 지위에 올랐다. 남성들은 더 높은 순위의 남성에게 이들 상품을 지급함으로써 체계 내에서 자신의 등급을 올렸다. 품목을 적립함에 있어, 남성들은 그들이 그것을 빌렸던 남성에 대한 의무도 적립했을 것이다. 그 결과, 바누아투 북부 섬들 사이에 관계망과 연합체가 나타났다. 열대 저기압으로 인해 작물이 파괴되었을 때, 의무가 요청되고 피해를 벗어난 섬에 살고 있는 관계망의 구성원들로부터 지원이 제공될 수 있었을 것이다. 식민주의와 관련된 많은 과정들(사회정치적 질서의 변화), 현금 경제의 도입(조개껍데기 화폐의 대체)과 Suqe를 금지시킨 종교로의 전환은 재해 후 구호의 제공과 더불어 도덕 경제의 다양한 요소들도 무용지물로 만들었다(Campbell, 2006).

저감시키는 역할을 하는데, 동남아시아(Scott, 1976), 서아프리카(Watts, 1983) 및 태평양 섬들(Paulson, 1993)에서 이 메커니즘이 확인되고 있다. 도덕 경제는 사회적, 문화적, 정치적 및 종교적 방식을 포함하고 있으며, 이는 모든 지역사회 구성원이 최소한 최저 생활 수준을 유지할 수 있도록 했다(Box 5-4 참고). 예를 들어, 반건조 기후를 보이는 남아프리카 북부 림포포(Limpopo)강 유역의 전통적 정치 체계에서는 족장들이 흉년 동안 잉여물을 재분배할 수 있었지만, 잉여물을 판매하는 현대 체계 하에서는 이러한 관습이 줄어들고 있다(Dube and Sekhwela, 2008). 케냐 북부에서는, 일부 유목민 집단들 사이에 가뭄 현상 후 식량 및 가축 비축물을 재분배할 수 있는 사회 안전망이 존재했다. 하지만, 이 안전망 역시 여러 요인들로 인해, 특히 지역 경제의 화폐화로 인해 파괴되고 있다(Oba, 2001).

도덕 경제의 개념이 대체로(과거에) 자본주의 이전 사회와 자본주의로 이행 중인 사회들에 연관된 것이라 하더라도, 호혜, 물물교환, 작물 공유, 그리고 다른 형태의 가족간 및 지역사회간 협력이나 농지, 물 또는 삼림의 지역사회 기반 관리와 같은 도덕 경제의 중요한 특징들은 더 이상 자본주의 이전 사회로 볼 수 없는 개발도상국에서 아직도 실제 사회의 일부를 이루고 있다. 많은 연구가 지역사회 소유 토지의 접근, 이용 및 지속적인 재분배를 규제하는 전통 제도와 같은 도덕 경제 기반 사회관계가 아직도 존재하고 있음을 보여준다(Sundar and Jeffery, 1999; Rist, 2000; Hughes, 2001; Trawick, 2001; Rist 등, 2003). 그러한 도덕 경제 기반 지식, 기술, 협력 형태 및 가족간 조직 형태의 재활성화, 강화 및 혁신은 자연 자원 관리에 관련된 위험요소에 대한 예방 및 대응을 촉진하는 역할을 하는 집단 행동을 조성하는 중요하고 여전히 유효한 원천이다. 전통적 도덕 경제의 양상들이 많은 사회에서 쇠퇴하고 있지만, 비공식적 관계망은 재해 위험저감에 있어 여전히 중요하다(5.4.3절 참고).

도덕 경제라는 개념은 그러한 관행이 지속되게 할 수 있고(예를 들면, 성별에 기반한 권력 관계) 덜 위험한 과거라는 비현실적 관념을 제공하는 경향이 있는 일부 사회 체계에서 나타나는 불균등을 인식하지 못한다. 또한, 친족 기반 공유 관계망은 일부 구성원들 사이에서 무임승차를 조장할 수도 있다(diFalco and Bulte, 2009). 그럼에도 불구하고, 도덕 경제를 비롯한 전통적 대응 메커니즘의 감소는 재해 손실의 증가와 구호 의존성의 증가로 나타난다(Campbell, 2006).

재해 위험 및 극한 기후 영향에 대비하거나 대응하기 위한 집단 행동은 국지적 조직과 사회 운동에 의해서도 추진될 수 있다. 그러한 많은 집단이 기후에 민감한 재해에 대한 관계망 또는 최초 대응자에 해당한다. 하지만, 이러한 사회 운동은 다른 운동 조직과 연계하고 접근 가능한 방식으로 문제의 틀을 잡아야 하기 때문에 효과적인 연합을 구성함에 있어 많은 제약에 직면하게 된다(McCormick, 2010). 지역수준에서 집단 대응을 동원하는 한 가지 수단은 지역사회에 기반한 재해의 저감 또는 대비와 같은 재해 위험저감에 대한 참여적 접근방법을 통하는 것이다(5.6.2절 참고). 그러한 접근방법들은 지역 요구 및 우선순위, 지식, 사회 구조를 기반으로 하며 기후변화 적응과 관련하여 점점 더 많이 이용되고 있다.

5.4.2. 지역 의사결정을 위한 권한부여

지역사회에 기반한 재해 위험저감의 주요 요소는 지역사회 구성원들이 관련 과정을 통제하는 권한을 가지고 있어야 한다는 점이다. 소외(Mustafa, 1998;Adger와 Kelly, 1999; Polack, 2008)와 권한상실(Hewitt, 1997)은 취약성을 야기함에 있어 매우 중요한 요소이며 이러한 특성을 저감시키기 위한 노력이 탄력적인 지역사회를 구축함에 있어 중요한 역할을 한다. 이 장에서, 권한부여는 지역사회 구성원에게 외부로부터의 지원과 함께 그들의 삶에 대한 통제권을 넘겨주는 것을 의미한다(Sagala 등, 2009). 권한부여에는 지역사회 구조와 전통 및 지역 지식 체계를 존중하고, 지원은 하지만 주도적 역할을 하지 않으며, 지식을 공유하고 지역사회 구성원으로부터 배우는 외부 조력자가 필요하다(Petal 등, 2008). 지역사회에 대한 권한부여의 핵심 요소는 지역사회와 외부 조력자 간의 신뢰 구축이다(Sagala 등, 2009). 예를 들어, Allen (2006)은 필리핀에는 지역 제도 및 구조에 기반을 두고 있으며, 독립적으로 행동하는 지역의 능력을 구축하고, 프로젝트 성과의 성취를 통해 신뢰를 구축하는 것과 같은 지역사회 재해 대비의 많은 측면들이 이미 존재하고 있음을 발견했고 또한 그녀는 기관들이 이러한 특수한 소규모 프로젝트 내에서 재해의 원인으로 물리적 위험요소에 초점을 맞추고 근본적 원인인 사회 취약성을 무시하는 경우에는, 결과적으로 권한상실이 나타난다는 것도 알아냈다. 지역사회들이 다양한 재해 관리 옵션들 중에서 선택할 권리를 가지고 있다는 점에 유의하는 것 역시 중요하다(Mercer 등, 2008). 지역사회 기반 재해 위험 관리에서 권한부여는, 지역사회 내부에서 권한이 주어지지 않는다면 목소리를 낼 수 없거나 더 취약한 위치에 있는 지역사회내 집단에도 적용될 수 있다(Wisner 등, 2004). 그러한 집단으로 여성(Wiest 등, 1994; Bari, 1998; Clifton and Gell, 2001; Polack, 2008)과 장애인(Wisner, 2002)이 있다.

권한부여의 또 다른 핵심 요소는 재해 관리에 대한 주인의식 혹은 책임의식이다(Buvinic 등, 1999). 이것은 지역사회가 구호와 재건의 통제권을 갖도록 하는 재해 그 자체에 대한 주인의식에서부터 대비를 개선하기 위한 지역 프로젝트에 이르기까지, 재해의 모든 측면에 적용된다. 권한부여와 주인의식은 지역 요구가 충족되고, 지역사회 단결이 유지되며, 재해 관리 성공 확률이 높아질 것임을 보장한다. 재해 영향에 관한 권한부여와 주인의식은(지역에 대하여) 유용한 재해의 사후 평가가 이루어지도록 함에 있어 특히 중요할 수도 있다(Pelling, 2007). 외부 주체들이 지역구를 대변하는 목소리를 식별하는 것이 중요하다. 또한, 재해 및 기후 관리의 책임 및 거버넌스에 관련된 문제들의 중요성 역시 증가하고 있다.

5.4.3. 사회적 동인

사회적 규범, 사회적 자본 및 사회관계망은 극한 현상 전-후 및 극한 현상 동안의 행동과 조치를 형성하기 때문에, 그 역할이 권한부여와 비슷하다. 이 요소들은 각각 단독적으로 작용하며, 어떤 경우에는 서로 교차하기도 한다. 재해 및 기후변화에 대한 취약성은 사회적으로 구축되므로(2.4절 및 2.5.2절), 집단 행동의 실패는 흔히 취약성을 증가시킨다. 성별과 관련된 규범 역시 결과에 어떤 영향을 미친다. 예를 들어, 여성은 남성에 비해 수영을 잘 하지 못했고 아이들을 구하려고 시도했었기 때문에 아시아 쓰나미 동안 남성보다 익사 가능성이 높았다(Rofi 등, 2006; Section 2.5.8).

사회적 규범은 특정 사회 집단의 기대를 반영하는 규칙 및 행동양식이다(Horne, 2001). 규범은 기후변화와 관련하여 다양한 종류의 많은 조치를 구성한다(Pettenger, 2007). 규범은 재해를 당하는 비공식 집단은 물론 공식적인 제도적 대응에도 영향을 미친다. 사회적 분열을 이어주는 호혜, 신뢰 및 유대의 규범이 지역사회 능력을 조성하는 사회적 단결에서 가장 중요한 부분이다(Kawachi and Berkman, 2000). 종교, 이웃, 문화 및 가정 집단을 비롯한 많은 종류의 집단이 규범을 만드는데, 이는 결과적으로 취약성을 조장한다(Brenkert and Malone, 2005). 극한 현상 발생 시, 재해를 당한 집단은 상황에 맞는 일련의 규범을 만드는 시도를 하면서 상호작용한다. 이것은 집단 행동의 규범 생성 이론으로도 알려져 있다(NRC, 2006). 이것은 지역수준에서 처음으로 재해를 당하는 사람들의 규범 및 관련 사회적 자본이 대응 능력에 영향을 미치는 경우에서 두드러지게 나타난다(Dolan and Walker, 2004).

사회적 자본은 사람들이 협력하게 하고 긍정적 집단 가치를 생성하는 지역사회 내부의 다양한 사회 계약을 포착하는 다면적 개념이다. 사회적 자본은 재해 대비, 대처 및 대응의 중요 요소이다. 관계망, 사회적 책임, 신뢰, 공유된 기대와 같은 지역사회의 사회 자원이 재해를 예방하고 재해에 대비 및 대처하기 위한 사회적 자본을 창출하기 때문에, 사회적 자본은 극한 기후에 직면함에 있어 중요한 요소이다(Dynes, 2006). 기후변화 적응에서, 학자들과 정책결정자들은 장기 적응 전략으로서 사회적 자본을 점점 더 많이 조성하고 있다(Adger, 2003; Pelling and High, 2005). 사회적 자본은 흔히 긍정적 결과를 낳지만, 부정적 결과를 초래할 수도 있다. 내부적인 사회관계망은 흔히 자기 지시적이고 배타적이다(Portes and Landolt, 1996; Dale and Newman, 2010). 이것은 기후변화 적응의 필수 요소들인 혁신과 다양성이 결여된 닫힌 사회를 초래한다. 재해 그 자체는 압도적이기 때문에 지역사회의 사회적 자본의 침식과 종말을 야기할 수 있다(Ritchie and Gill, 2007). 이것은 재해 및 극한 현상에 대한 지역수준의 조치를 넘어 외부 참여를 불러들인다(Brondizio 등, 2009; Cheong, 2010). 외부 지원의 유입, 전문지식 및 재해에 대응하기 위한 새로운 집단의 출현은 지역 경계를 벗어나 사회적 자본이 이어지고 연결됨을 보여준다.

사회적 자본은 친족, 금융 교환 또는 권위와 같은 여러 유형의 의존성을 통해 사회관계망(Lin, 2001)이나 개인 및 조직들로 이루어진 사회 구조에 내재된다(Wellman and Berkowitz, 1988). 사회관계망은 이해관계자들 사이에서 전문지식 및 자원의 공유를 용이하게 하는 등, 다양한 기능을 제공한다(Crabbe and Robin, 2006). 사회관계망은 예방의 옹호 활동이나 옹호자들의 예방 활동 촉진 참여를 통해 지역사회 내부에서 메시지를 홍보하는 기능을 할 수 있다(Weibel, 1988). 보건의 위험에 관한 정보는 흔히 여론 주도층을 가이드로 이용하는 사회관계망 구조를 통해 효과적으로 배포되어 왔으며(Valente와 Davis, 1999; Valente 등, 2003), 기후 적응에 관한 행동 변화에 적용될 가망이 있다(Maibach 등, 2008). 그러한 여론 주도층은 공식적인 선출직 공무원, 연예인, 저명 지도자들에서 지역의 사회관계망에 깊이 자리잡고 있는 지역사회 구성원들에 이르기까지 다양하다. 인구적 측면에서 개인 차원의 지시보다는 지역사회 차원의 개입이 행동에 영향을 미칠 가능성이 더 높다는 점에 유의하는 것이 중요하다(Kawachi and Berkman, 2000). 지역 및 국제 관계망이 정책 및 관행의 개발을 뒷받침함으로써 더 큰 규모의 대비가 가능할 수 있다(Tompkins, 2005). 기후변화에 맞서는 지역 복원력은 효과적인 대응을 뒷받침하는 강력한 사회관계망에 의해 조성될 수 있다(Ford 등, 2006). 예를 들어, 관계망은 위험에 관한 정보의 전파를 용이하게 한다(Berkes and Jolly, 2001). 따라서, 더 강력한 사회관계망을 가진 지역사회가 정보 및 사회적 지원에 대한 접근이 용이하기 때문에 극한 기후 영향에 더 잘 대비하는 것으로 보인다(Buckland and Rahman, 1999).

동시에, 사회관계망이 항상 극한 현상에 대한 효과적인 적응을 조성하기에 충분하지 않을 수도 있음에 유의하는 것이 중요하다. 실제로 어떤 사회 관계망은 사람들이 고-위험 지역으로부터 이동하는 것을 단념하게 만든다. 예를 들어, 거주민들이 떠나기를 원치 않을 때 발생하는 폭풍 및 홍수의 경우가 여기에 해당된다(Eisenman 등, 2007). 기후변화 자체의 영향으로 사회관계망의 구조 및 유용성이 바뀔 수도 있다. 사람들이 기후 및 기타 위험을 피해 이주하거나 사회 또는 생태 자원을 위해 대체 지역으로 이끌려 갈 때, 뒤에 남겨진 사람들은 사회관계망이 분열되거나 약화되는 것을 경험할 수 있다. 불법 및 합법 정착민이나 이민자와 같은 특정 사회 집단의 지위 역시 사회관계망의 활용을 방해할 수 있다(Wisner 등, 2004). 극한 현상을 관리함에 있어서의 사회 관계망의 역할을 개념화할 때에는 다른 사회적 및 환경적 상황 요인들이 고려되어야 한다. 예를 들어, 강력한 사회 관계망은 이뉴잇족 지역사회의 적응을 용이하게 했지만 전통적 삶의 방식이 해체되면서 사회관계망이 점차 약화되고 있다(Ford 등, 2006).

5.4.4. 지역 지식의 통합

지역 및 전통 지식은 재해를 대비할 때 포함시켜야 하는 중요한 정보로 그 가치가 점차 증가하고 있다(McAdoo 등, 2009; R. Shaw 등, 2009). 지역 및 전통 지식은 지역의 문화적 및 사회적 상호작용에 내재되어 있으며 입을 통해 세대에서 세대로 전해진다(Berkes, 2008). 지역 지식의 영향력은 취약 지역의 장소 기반 기억, 되풀이되는 극한 현상에 대응하기 위한 노하우, 이상 환경 상태의 탐지에서 드러난다. 지역 지식은 흔히 암묵적이고 외부인에게 보이지 않기 때문에, 문제 해결을 위한 대안 관점들과 접근방법들을 제공할 수 있는 이러한 정보를 재해 관리에 이용하기 위해서는 지역사회의 참여가 필수적이다(Battista and Baas, 2004; Turner and Clifton, 2009).

기후변화 상황에서는, 흔히 토착민들과 장기 거주민들이 변화하는 환경 상태에 관한 중요한 정보를 제공하고 적극적으로 변화에 적응함으로써 그들의 자원을 현상유지시킨다(Sa lick and Byg, 2007; Macchi 등, 2008; Salick and Ross, 2009; Turner and Clifton, 2009). 지역 주민이 경험하고 있는 변화를 문서화하는데 유용한 연구가 시작되고 있다(Ensor and Berger, 2009; Sa lick and Ross, 2009). 이는 외부 연구자들의 과학적 관측결과와 비슷하긴 하지만, 지역사회들이 변화를 관측하고 있다는 사실은 지역사회 내부로부터 기후변화에 대한 기존 적응과 가능한 적응에 대한 논의가 사실상 시작되고 있음을 보여주는 것이다.

이것은 다음 예로 설명된다: 티벳 동부 카와 카르포(Khawa Karpo) 산 인근 6개 촌락에서는, 전 지역에 걸쳐 기온 상승, 적설량 감소 및 빙하 후퇴에 대한 지역 기록이 일관성을 보였지만, 하천 수위와 산사태 발생에 관한 관측결과를 비롯한 다른 관측결과들은 더 많이 변하였다(Byg and Salick, 2009). 브리티시 컬럼비아, 하틀리 베이(Hartley Bay)의 Gitga'at 부족(연안에 거주하는 침샨(tsimshian)족)에서는, 토착 주민이 몇 가지 종의 감소를 관측했으며, 식량 수확에 영향을 미치는 다른 종의 새로운 출현, 기상 패턴의 이상, 삼림 및 초원의 상태 악화도 관측하고 있다(Turner and Clifton, 2009). 알래스카 원주민 보건 컨소시엄(Alaska Native Tribal Health Consortium)은 관측결과, 자료 및 전통 생태 지식으로부터 기후변화와 건강 영향을 평가한 보고서를 작성했다(ANTH(, 2011). 토착 집단으로부터의 지식 이외에도, 현대 사회 및 도시와 관련이 있는 지역 지식이 존재하지만, 이 지역에 대해서는 보다 많은 연구가 필요하다(Hordijk and Baud, 2011).

지역 지식을 외부의 과학, 전지구 및 기술 지식과 통합하는 것은 기후변화 적응 및 재해 관리에 있어 중요하다. 환경 관리와 통합 평가에 대한 경험은 그러한 지식이 상향식, 하향식으로 전달되는 메커니즘을 보여준다(Burton 등, 2007; Prabhakar 등, 2009). 예를 들어, 지역사회들은 기술 기반 조기 경보 시스템과 같은 외부 지식과 지역 지식 체계를 포함하는 혁신적이고 지속가능한 농업 기술을 이전하고 전달하기 위하여 믿을 수 있는 중개자를 내세운다. 또 다른 예로는 전통적인 건조 기후 어도비 벽돌 건축(adobe construction)을 주기적인 강수에 잘 견디도록 건설되는 보다 안정화된 흙건축(earth construction)으로 전환하는 경우에서 보이는 것과 같은, 기후변화에 적응하기 위한 지역 관행의 재편이 있다. 위험요소 취약성 평가, 기후변화의 모델화 또는 시나리오 개발에의 이후 투입물에 대한 지역 이해관계자들의 관점을 끌어내기 위한 참여적 방법들의 활용에 대해서는 충분히 문서화되어 있다. 참여 또는 매개 모델 방법을 사용하는 이해관계자 상호작용과 관련 워크숍으로부터 모델의 가정, 지역에 미치는 영향, 관측된 패턴과 모델화 패턴의 일관성 및 적응 전략에 관한 논의가 도출된다(Cabrera 등, 2008; Langsdale 등, 2009).

적응 전략의 일부로 지역 지식을 활용함에 있어 장애물이 존재한다. 토착 주민들은 특히 재해 발생 시 다양한 야생 식물과 작물, 그리고 주변 환경에 의존하기 때문에, 기후로 인한 생물다양성 변화는 토착 주민의 관습적인 대응 전략에 위협을 가한다(Turner and Clifton, 2009). 나미비아(Namibia), 보츠와나(Botswana)와 같은 건조 지역에서는, 빈번한 가뭄에 가장 잘 적응된 토착 전략으로 유목을 비롯한 가축 몰이가 있다(Ericksen 등, 2008). 울타리 및 사유화로 인한 수자원 접근성의 감소로 이 견고한 전략은 제약을 받게 되었다. 또한, 보츠와나에서는, 정부 정책이 지역사회 제도와 충분히 포용하지 못했기 때문에 정부 정책이 전통 제도 및 관습을 약화시켰고, 그 결과 자원 재분배 메커니즘이 충분히 강화되지 못한 것으로 나타났다(Dube and Sekhwela, 2008).

5.4.5. 지방 정부 및 민간 계획과 관행

거버넌스는 재해 위험을 다루고 대응을 통지함에 있어 효율성, 효과성, 균등성 및 합법성을 형성하는 데 도움이 되는 중추적 역할을 한다(Adger 등, 2003; UNISDR, 2009). 어떤 곳에서는 기후변화 관리 관행이 국가 차원에서 집중화된다(6장 참고). 이것은 많은 극한 기후가 환경시스템에 영향을 미치는 방식, 즉 정치적 경계를 가로지르기 때문에 지역이 단독으로 관리하는 경우 부조화를 야기하는 데(Cash and Moser, 2000)에 기인한 것일 수도 있지만, 오래된 운영 관행에 근거한 것일 수도 있다. 다른 곳에서는, 조치들이 분권화되어 지역수준에서 나타나고 지역 상황에 맞게 조정된다(Bizikova 등, 2008). 다차원의 계획이 이행되어야 하는 경우, 국가 정책이 지역 규모로 실시되는 동안 공정성이 보장되도록 하기 위해서는 지역수준의 촉진 및 지도 메커니즘이 필요하다(Thomas and Twyman, 2005). 지방 정부들은 기반시설을 제공하고, 재해에 대비 및 대응하며, 계획을 수립 및 이행하고, 중앙 정부 프로그램을 지역사회와 연계시킬 책임이 있기 때문에 중요한 역할을 한다(Huq 등, 2007; UNISDR, 2009). 제공되는 이 서비스들의 질이 재해 및 기후적 위험에 영향을 미친다(Tanner 등, 2009). 예를 들면 국지적 규모에서 계획은 기후변화의 원인과 결과를 모두 최소화시킬 수 있다(Bulkeley, 2006).

지방 정부가 주도하는 기후 적응 정책 및 계획이 기후변화 완화 대책보다 덜 현저하긴 하지만, 점점 더 많은 도시 및 준국가 단체들이 적응 계획을 개발하고 있다. 하지만 전략을 이행한 단체는 거의 없다(Heinrichs 등, 2009; Birkmann 등, 2010). 예를 들어, 런던시(2010)는 런던을 위한 기후변화 적응 전략의 공청회용 초안을 작성했다. 이 초안은 세기를 통해 변화하는 홍수, 가뭄 및 열파 위험과 그것을 관리하기 위한 조치에 중점을 두고 있다. 그러한 조치로는 지표 홍수 위험 관리의 개선, 홍수 및 더운 날씨의 영향을 완충하기 위한 도시 녹화 프로그램, 그리고 물 및 에너지 효율을 개선하기 위한 주택 개량, 등이 있다. 전세계 1,200개 지방 정부 회원으로 구성된 비영리 연합인 ICLEI는 기후 복원력 및 기후변화 적응을 평가함에 있어 맞춤형 도구와 사례 연구를 이용함으로써 지역의 지속가능한 노력을 지원하는 웹 기반 정보(www.iclei.org)를 제공한다.

도시 적응에 대한 몇 건의 평가가 이루어졌다. 예를 들어, 8개 도시(보고타, 케이프타운, 델리, 주강(Pearl river) 삼각주, 푸네, 산티아고, 상파울로, 싱가포르)의 적응 노력은 기존의 재해 관리 전략을 뒷받침하는 경향이 있다(Heinrichs 등, 2009). 보스턴, 케이프타운, 핼리팩스, 호치민 시, 런던, 뉴욕, 로테르담, 싱가포르, 토론토를 포함하는 9개 도시에서 공식적인 적응 계획과 덜 공식적인 적응 연구를 함께 비교한 또 다른 연구는 이 도시들이 위험 저감과 시민 및 기반시설의 보호에 중점을 두고 있고 로테르담은 적응을 탈바꿈의 기회로 여기고 있음을 보여준다(Birkmann 등, 2010). 이 9개 도시들은 사회경제적 영향보다 예상되는 생물물리학적 영향에 더 중점을 두었으며 취약성과 관련 민감성 및 대응 능력에는 크게 중점을 두지 않았다. 도시 적응 대응이 하나의 통합된 접근을 목표로 하려는 의도에도 불구하고, 도시들은 부문별로 대응하고 있으며 지역 목소리의 통합은 제한되는 경향이 있다. 영향은 잘 이해되지만, 정책의 실시와 현장의 결과를 이해하는 것은 어렵다(Bulkeley, 2006; Burch and Robinson, 2007).

이들 적응 전략에서는, 지방 정부의 규모가 중요한데, 그것은 인구와 지역에 따라 달라진다. 종주 도시 및 대도시들은 보다 독립적으로 활동하지만, 소규모 지방 정부들은 더 높은 차원의 정부 기관에 더 많이 의존하며 흔히 자원을 공동관리하기 위한 연합을 형성한다(Lundqvist and Borgstede, 2008). 소규모 지방 정부들의 경우에는, 주에서 위임한 프로그램과 주에서 제공한 보조금이 완화 정책을 만들어 내는 중요한 장려책이며 (Aall 등, 2007) 적응 정책에도 적용될 수 있다. 자원 및 능력의 부족은 지역 적응 계획의 아웃소싱으로 이어지고, 그 결과 둔감하고 정제되지 않은 지역 해법이 만들어지고 마침내 기술적 해결에 대한 의존성이 더 커질 수 있다(Crabbe and Robin, 2006).

분권화의 역사와 과정은 적응 정책을 수립하고 실시하는 지방 정부의 능력에 있어 중요하다. 지역 기후 적응 정책을 주/도 및 국가/연방 단위와 함께 조율하는 것은 지역 정부의 중요한 도전과제이다(Roberts, 2008; van Aalst 등, 2008). 기후변화 적응에서 분권화의 사례는 비교적 새로운 것이며, 우리는 분권화된 자연 자원 관리 및 위기 관리로부터 몇 가지 교훈을 얻을 수 있다. 분권화의 문제점 중 하나는 정책 설계자들이 지역사회와의 협의 및 이해 부족으로 인해 흔히 각 지역의 복잡성과 독특성을 고려하지 못한다는 것인데, 어떤 경우에는 이로 인해 전 과정이 다시 중앙집권화되는 결과가 초래될 수 있다(Ribot 등, 2006; Geiser and Rist, 2009). 해결책으로는 지역 기관과 협력하고, 여러 권리 및 접근의 적절한 이전을 보장하며, 과정 동안 충분한 시간을 제공하는 방법이 있다(Ribot, 2003). 위기 관리에 관한 문헌 역시 중앙 정부와 지방 정부 간의 조정 및 통합 부족을 지적하고 있다(Waugh and Streib, 2006; Schneider, 2008). Moynihan (2009)은 하나의 해결책으로 관계망에 기반한 협력을 제시했으며 심지어 미국의 사고 지휘 체계와 같은 계층적 재해 관리 구조도 교섭, 신뢰 및 호혜의 관계망 원칙에 의거해 운영된다고 단언했다.

정부 주체가 핵심 역할을 한다 할지라도, 공공 주체, 시민 주체, 민간 주체 간의 협력관계가 기후 위험 관련 적응을 다룸에 있어 매우 중요하다는 것은 명백하다(Agrawal, 2010). 국제 기구, 민간 부문 및 NGO는 지방, 주 및 국가 차원에서 규범 설정 의제를 다루지만, 지역사회 기반 조직(CBO)은 흔히 지역 규모에서 더 큰 동원 능력을 가지고 있다(Milbert, 2006). NGO 및 CBO 관계망은 지역 생계 현실을 파악하고, 정보 공유를 용이하게 하며, 지역 능력을 강화시키는 지역 제도의 역할을 식별함에 있어 중요한 역할을 한다(Bull-Kamanga 등, 2003). 범도시적인 강력한 계획들은 보통 전략적 제휴에 기초하며, 지역사회 조직들은 도시 계획이 운영되도록 하는 데 있어 필수적이다(Hasan, 2007). 이것은 블룸버그 시장 직속의 장기 계획 및 지속가능성 담당부서(Office of Long-term Planning and Sustainability)와 지역의 중요 기반시설을 관리하는 약 40개 공공 기관 및 민간 부문 조직으로 구성된 이익 단체인 뉴욕시 기후변화 적응 대책 위원회(New York City Climate Change Adaptation Task Force)의 과학 자문단의 역할을 하는 뉴욕시 기후변화 패널 (New York City Panel on Climate Change)의 사례에서 확인할 수 있다(Rosenzweig 등, 2011). 패널과 이해관계자들은 시장 직속 담당부서의 조정 하에 과학자들(지식 제공)과 이해관계자들(계획 및 조치)의 기능을 분리했고 기후변화 불확실성에 관한 정보를 나누었다(Rosenzweig 등, 2011).

재해 위험을 관리하는 임무를 맡고 있는 많은 비정부 주체들은 위험저감 노력에 지역사회들을 참여시키고 지역 및 준국가 차원의 계획에 영향을 미치기 위해 지역사회 위험 평가 도구들을 이용한다(van Aalst, 2006; Twigg, 2007). NGO의 위험 관리 활동 참여는 시범 프로젝트, 훈련 및 의식-고취, 법률 지원, 동맹 구축, 소규모 기반시설 및 사회경제 프로젝트에서부터 주류화 및 옹호 작업에 이르기까지 다양하다(Luna, 2001; Shaw, 2006). 시민과 정부간 격차를 좁히는 것은 시민사회 조직의 인정된 역할이며, NGO는 흔히 도시의 위험 관리에 필수적인 사회 촉매제 또는 사회적 자본으로서의 역할을 한다. 역으로, 사회적 자본의 잠재적 이익은 지방 정부 또는 비정부기구 내부의 불신, 빈약한 의사소통, 기능 부족으로 인해 항상 최대화되지만은 않는다. 이것은 위험저감에 막대한 영향을 미치며(Wisner, 2003), 지방 정부 또는 준국가 차원에서의 비정부 계획에 가장 취약한 사람들이 참여하는 것은 보장되지 않는다(Tanner 등, 2009).

본 절에서는 의사결정의 권한부여에서부터 사회관계 망의 이용에 이르는, 극한 기후에 대한 지역 적응 능력을 구축하기 위한 메커니즘에 대해 고찰했다. 지역 지식, 사전 행동, 그리고 정부 및 비정부 계획 및 관행을 정확히 포착하는 접근방법들의 균형 잡힌 포트폴리오가 지역수준에서 극한 기후의 위험을 관리함에 있어 가장 성공적인 것으로 입증될 것이다.

5.5. 도전과 기회

본 장의 초반에 설명된 것과 같이, 재해 위험 관리 조치들은 단기적으로는 지역이 재해에 대응하는 능력을 증진시키고, 장기적으로는 지역사회 회복력에 이익을 제공한다. 지역수준에서 재해 위험을 관리하기 위한 비용에 따른 대응, 위험 관리 및 적응의 차이는 극한 기후에 대한 적응에 있어 도전과 기회를 의미한다. 그러한 차이는 인간 안전에 영향을 미치고, 차이의 규모와 정황은 위험저감 및 기후변화 적응을 위한 사전 활동의 기회를 분명히 보여주고 그러한 활동의 제약을 보여준다.

5.5.1. 대응 및 위험 관리의 차이

지역들 및 주민 집단들 간에는 재해 및 극한 기후에 대비하고, 대응하며, 복구하고, 적응하는 능력에 상당한 차이가 있다. 지난 세기 동안, 사회과학 연구자들은 재해 발생 후 현장 조사와 재해 사전 평가를 통해 가정과 지방 단체들의 대응에 영향을 미치는 그러한 요인들을 조사했다(Mileti, 1999; NRC, 2006). 가장 중요한 개별 특성은 성별, 연령, 부, 민족성, 생계, 수급권, 건강 및 거주지이다. 하지만, 이 특성들은 개별적으로 작용할 뿐만 아니라 지역수준에서 위험에 대응하고 위험을 관리함에 있어 취약성을 증가시키는 상승효과도 유발한다.

5.5.1.1. 성별, 연령 및 부(富)

문헌에 따르면, 지역수준에서는 성별이 취약성과(2.4절) 재해로 인한 변별적인 사망률에 있어서의 차이를 만든다(Neumayer and Plumper, 2007). 증거수준은 강하고 동의수준은 높다. 재해 시, 여성들은 남성들과 다른 대응 전략을 가지고 있으며 행동에 대하여 다른 제약을 받는 경향이 있다(Fothergill, 1996; Morrow and Enarson, 1996; Peacock 등, 1997). 이러한 차이는 사회적 지위(계급), 혼인 여부, 교육, 부 및 돌보는 사람으로서의 역할과 같은 사회화된 성별 요인들과 키 및 지구력과 같은 신체적 차이에 기인한다. 예를 들어 지역수준에서는, 전세계 많은 지역에서 나타나는 여성들의 기동성 및 자원 접근성 부족, 영향력 및 법적 보호 결여, 사회적 고립이 재해 위험과 취약성을 증가시킨다(Schroeder, 1987; IFRC, 1991; Mutton and Haque, 2004; UNIFEM, 2011). 구호 및 복구 작업은 흔히 성별 문제에 무신경하며(Hamilton and Halvorson, 2007), 따라서 그러한 물품 및 서비스의 제공은 특히 지역수준에서의 다양한 대응 능력에 영향을 미친다(Enarson, 2000; Ariyabandu, 2006; Wachtendorf 등, 2006; Fulu, 2007). 하지만, 여성들의 적극적 참여는 예방, 재해 구호, 복구 및 재건의 효과성을 증가시키고 그럼으로써 재해 관리를 개선하는 것으로 밝혀졌다(Enarson and Morrow, 1997, 1998; Fothergill, 1999, 2004; Hamilton and Halvorson, 2007; Enarson, 2010; Box 5-5 참고).

연령 역시 재해 위험에 대응함에 있어 중요한 요소이다(Cherry, 2009). 노년층의 건강 상태는 악화되고, 고립되고, 장애가 생기고, 움직이기 힘든 상태가 될 수 있는데(Dershem and Gzirishvili, 1999; Ngo, 2001), 이것은 극한 현상에 대응함에 있어 노인들의 대응 능력에 부정적인 영향을 미친다(사례연구 9.2.1 참고). 예를 들어, 북미에서는 은퇴한 이들이 온화한 날씨와 라이프스타일 때문에 플로리다 또는 바하 캘리포니아와 같은 위험한 지역에 사는 것을 선택하는데, 이는 기후에 민감한 위험에 노출될 가능성을 증가시킨다. 노인들은 흔히 난청, 정신능력 또는 기동성으로 인해 경보 메시지를 받거나 예방 조치를 취하기가 어려우며 피난을 더 꺼리는 경향이 있다(O'Brien and Mileti, 1992; Hewitt, 1997). 하지만, 노인들은 특정 재해/극한 현상에 대하여 축적된 노하우로 인해 더 많은 경험과 지혜, 그리고 실제 경험으로부터 얻은 대응 전략을 이전할 수 있는 뛰어난 능력을 가지고 있다.

어린이들은 흔히 위험, 위험한 장소 및 취약성에 관하여 성인들과는 다른,

그들만의 지식을 가지고 있다(Plush, 2009; Gaillard and Pangilinan, 2010). 연구는 허리케인 카트리나 후 어린이들 사이에서 대응 기능이 상당히 감소했다는 것을 (그리고 외상 후 스트레스 장애 및 기타 정신사회적 효과가 증가했다는 것을) 보여주었다(Barrett 등, 2008; Weems and Overstreet, 2008). 신체적 영향과 안전성(Lauten and Lietz, 2008; Weissbecker 등, 2008) 이외에도, 연구를 통해 가족과의 이별에 대한 두려움에 기인한 정서적 고통과 재해 후 학업량의 증가가 어린이들의 대응 능력에 영향을 미쳤다는 것도 알 수 있다(Babugura, 2008; Ensor, 2008). 하지만, 연구는 어린이들이 상당히 회복력이 강하고 환경 변화에 적응할 수 있으며, 그럼으로써 가정 및 지역사회의 적응 능력이 증진된다는 것도 보여준다(Bartlett, 2008; Manyena 등, 2008; Mitchell 등, 2008; Pfefferbaum 등, 2008; Ronan 등, 2008; Williams 등, 2008).

부는, 특히 지역수준에서, 재해 현상에 대비하고 대응하며 그 현상으로부터 다시 일어서는 가정 또는 지역의 능력에 영향을 미친다(Cutter 등, 2003; Masozera 등, 2007). 부유한 지역은 대규모 금전 손실의 가능성이 더 크지만, 그와 동시에 영향에 대응하고 극한 현상으로부터 회복할 자원(보험, 소득, 정치 자금)을 보유하고 있으며 사회적으로 덜 취약하다 예를 들면, 아시아에서는 부로 인해 건설 관행이 목재에서 석조로 바뀌었는데, 이는 특히 지진 지역에서 많은 도시들을 재해 위험에 더 취약하게, 그리고 더 대응하기 어렵게 만들었다(Bankoff, 2007). 가난한 주민들은 흔히 값이 더 싸고 위험에 쉽게 노출되는 지역에 살고 있으며 현상에 대한 대응은 물론 복구에 있어서 도 어려움을 겪는다. 빈곤 역시 재해 위험을 증가시킨다(Carter 등, 2007). 어떤 경우에는, 복구에 어려움을 겪는 계층이 빈곤층도 부유층도 아닌 그 사이 계층의 주민들이 된다. 다시 말해 자력으로 재해 위험에 대응하기에 충분한 정도로 부유하지도 않고 연방 정부 또는 국제 지원을 받기에 충분한 정도로 빈곤하지도 않은 사람들이 복구에 어려움을 겪는다.

어떤 지역에서는, 단순히 부 또는 빈곤이 대응 전략 및 재해 위험 관리에 영향을 미치는 것이 아니라, 오히려 시간을 관통하고 공간을 가로질러 복잡한 사회 계층 체계를 구성하는 부, 권력 및 지위 간의 상호작용이 대응 전략 및 재해 위험 관리에 영향을 미친다(Heinz Center, 2002). 이것을 보여주는 가장 좋은 예는 허리케인 카트리나에 대한 인간의 경험이다(Box 5-6 참고).

Box 5-5 | 직선제적 활동에서 여성의 역할

허리케인 미치(Mitch)가 온두라스를 강타한 후, 가족 및 지역사회 복구에 결정적인 역할을 한 것은 대피소를 운영하고 식품을 조리하는 등의 활동을 한 여성들의 참여였다. 1/3이 여성에 의해 운영되었고 수도권에서는 이 비율이 42%에 이르렀다. 인구 24,336명 중 대부분이 농촌 주민인 온두라스 라 마시카 시 정부는 특이하게도 아틀랜타 북부의 다른 지방 정부와는 달리 미치 발생 후 사망이 단 1건도 보고되지 않았다. 어떤 이들은 이 결과가 재해로부터 약 6개월 전부터 시작된 지역사회 비상 계획 과정에 기인한 것으로 보았다. 성별 관련 강의가 제공되었고, 그 결과 지역사회는 모든 위험 관리 활동에 남성과 여성이 똑같이 참여하는 것으로 합의하였다. 미치가 강타했을 때, 시 정부는 준비가 되어 있었고 즉시 그 지역을 떠났으며, 따라서 사망을 피할 수 있었다. 여성들은 모든 구호 작업에 적극적으로 참여했다. 여성들은 구조 임무를 계속했고, (학교와 같은) 지역 기반시설을 복구했으며, 남성들과 함께 식량을 배급했다. 또한 여성들은 남성들이 포기한 조기 경보 시스템의 지속적 감시 임무를 이어 받았다. 이 사례연구는 여성들의 적극적인 재해 대비 및 대응 활동 참여가 재해의 영향을 저감시킴에 있어 성공을 보장하는 데 도움이 된다는 가장 일반적인 결과를 보여준다(Buvinic 등, 1999; Cupples, 2007; Enarson, 2009).

5.5.1.2. 생계와 수급권

적응 능력은 위험에 대한 개인 대응을 지배하는 제도적 규칙과 행동 규범의 영향을 크게 받는다(Dulal 등, 2010). 또한 적응 능력은 연령, 민족성, 계급, 종교 및 성별에 따라서도 달라진다(Adger 등, 2007). 지역 제도는 적응 자원에의 접근을 규제한다: 자원에 대한 균등한 접근 기회를 보장하는 제도가 지역사회 및 다른 지역 단체들 내부의 적응 능력을 증진시킨다(Jones 등, 2010). 제도는, 게임 규칙의 전달자로서(North, 1990), 생계 자산에 대한 사회의 차등적 권위를 중재하고 그럼으로써 수급권의 보호 또는 손실을 결정한다.

생계는 삶의 수단으로 요구되는 모든 능력, 자산 및 활동을 총칭하는 것이다. 생계는 가족과 지역사회가 스트레스 및 충격에 어떻게 대응하고 그로부터 어떻게 회복하는가에 영향을 미친다(Carney, 1998). 생계의 또 다른 정의는 사회적 관계(성별, 계급, 친족 및 신념 체계)와 제도의 영향을 받는 자산 및 활동에의 접근을 더 강조한다(Ellis, 2000). 자연 자원에 의존하는 사람들이 더 넓은 생계 영향의 상황에서 어떻게 기후변화에 대응하는가를 이해하는 것은 유효한 적응 틀을 만드는 데 있어 매우 중요하다.

지역 주민들의 생계와 그들의 자원에의 접근 및 관리는 극한 기후(예: 홍수, 가뭄), 분쟁 혹은 해충 및 질병과 같은 농업 문제, 그리고 생계에 큰 영향을 미칠 수 있는 경제적 충격과 같이 그들의 통제를 크게 벗어난 현상의 영향을 받을 수 있다(Chambers and Conway, 1992; Jones 등, 2010). 가파른 사면, 건조지, 범람원과 같이 취약하고 척박한 땅에서 살고 있는 빈곤한 공동체가 복구할 충분한 시간없이 짧은 간격으로 반복되는 재해 현상에 노출되는 경우, 극한 기후가 생계를 완전히 상실하도록 할 수 있는 추가 위협요소로 작용한다. 지역 적응 능력 개선을 목표로 하는 조치들은 악화되어 가는 환경 조건을 다루는 데 더 중점을 둔다. 적응 전략의 중심 요소는 유역계 복원, 생태농업, 산림경관 복원과 같은 생태계 관리 및 복원 활동이다(Ellis, 2000; Ellis and Allison, 2004; Osman-Elasha, 2006b). 일부에서 시사되는 것과 같이(Spanger-Siegfried 등, 2005), 이러한 유형의 개입은 흔히 지역수준에서 자연 자원을 보호하고 강화하며 당면한 개발 우선순위를 다루지만, 미래 기후변화에 적응하는 지역 능력을 개선시킬 수도 있다. 지역 주민들의 생계 수단 및 제도의 완충 능력이 극한 기후 스트레스에 대한 적응에 있어 매우 중요하다. 완충 능력은 흔히 자율 형성과 사회적 학습 및 혁신 가능성을 만들어내는 지역사회의 능력에 달려있다(Adger 등, 2006).

재해 저감을 위한 지속가능한 전략은 생계 개선에 도움이 되지만 (UNISDR, 2004), 사회적 자본과 지역사회망은 가뭄 및/또는 흉작 시 긴급 구호 필요

Box 5-6 | 인종, 계급, 연령 및 성별: 허리케인 카트리나 복구 및 재건

인종, 계급, 연령 및 성별의 공통점은 허리케인 카트리나(Katrina) 전-후와 카트리나동안 뉴올리언스에서 다양한 의사결정; 취약성 및 노출의 불균등 분포; 현상 후 지원, 복구 및 재건에의 가변적 접근에 영향을 미쳤다(Elliott and Pais, 2006; Hartman and Squires, 2006; Tierney, 2006). 피난을 통해 신체상해와 사망을 피할 수는 있지만, 누가 언제 피난할 수 있는가에 대해서는 불균등이 존재하며 노인, 빈민 및 소수집단 거주민들의 경우 도움 없이는 피난이 어렵다(Cutter and Smith, 2009). 장기간에 걸친 피난(또는 수 주~수 개월 간 지속되는 일시 이전)은 부정적 효과를 낳는다. 장기간의 피난은 다수의 신체적 및 정신적 건강 문제를 야기할 수 있다(Curtis 등, 2007; Mills 등, 2007). 더욱이, 가족 및 지역사회 구성원들로부터의 분리와 언제 집으로 돌아갈지 모르는 상태도 피난민들 사이에서 스트레스를 가중시킬 수 있을 것이다(Curtis 등, 2007). DeSalvo 등(2007)은 뉴올리언스 노동자들에 관한 연구에서 장기간의 이전이 외상 후 스트레스 장애의 주요 원인들 가운데 하나임을 발견했다. 이러한 일시적 이전이 특정 사회 집단의 영구적 외부 이주를 야기할 수도 있다. 이것은 허리케인 카트리나 발생 5년 후 뉴올리언스의 인구 감소로 확인된다(Myers 등, 2008). 보다 장기적인 복구와 관련하여, 뉴올리언스에서는 복구가 진행 중이지만, 대규모 인명, 주택 및 고용 손실은 도시에 대한 단지 부분적 복구의 패턴만을 시사하는데 이러한 패턴은 근린 또는 지역사회 차원에서 장소 및 시점에서 상당한 차이가 있다(Finch 등, 2010).

성을 낮춤으로써 적응과 재해 위험저감을 뒷받침한다는 점이다(Devereux and Coil-Black, 2007; Section 5.2.1 참고) 많은 연구를 통해 드러났다. 남아시아에서의 연구는 적응 능력과 생계 복원력이 가정 차원에서 사회적 자본(다시 말해, 개인이 보다 넓은 경제 내에서 기능할 수 있도록 하는 교육 및 기타 요소들), 지역 권능 제도(enabling institution)의 존재 또는 부재(지역 조합, 은행, 자조 집단), 그리고 상품, 정보, 서비스 및 사람들의 이동을 가능하게 하는 보다 큰 물리적 및 사회적 기반시설에 좌우됨을 시사한다. 효과적인 적응의 촉매 작용을 하는 개입은 이들 다수 차원 모두에서 중요하다(Moench and Dixit, 2004). 농업 내부의 다양화와 농업을 벗어난 다양화는 많은 개발도상국에서 위험을 저감시키고 복리를 증진시키는 것으로 널리 인정되고 있는 전략이다(Ellis, 2000; Ellis and Allison, 2004).

수급권은 모든 개인과 가정의 자산이다. 여기서 자산은 광범위하게 정의되며 토지와 같은 물리적 자산뿐만 아니라 교육, 훈련과 같은 인적 자본도 포함한다. 지역수준의 자산은 기술 지원 또는 융자와 같은 제도적 자산; 상호 지원 관계망과 같은 사회적 자본; 물, 위생 등의 기본 기반시설과 같은 공공 자산; 자원에의 접근 및 그 소유와 같은 환경 자산을 포함한다(Leach 등, 1999). 재해 위험, 자원에의 접근, 적응 간의 관계는 문헌에 폭넓게 기재되어 있다(Sen, 1981; Adger, 2000; Brooks, 2003). 극한 기후 현상은 일반적으로 지역 주민이 기후 스트레스를 다루고 적응할 수 있도록 하는 생계 자원에 접근하고 그것을 이용하는 권리 및 기회와 관련하여 수급권의 축소를 야기한다.

생계의 평가는 개인, 가구, 지역사회 및 다른 지역 단체의 조직 구조 및 권력 관계 내에서, 자질, 자격, 능력에 대한 이해를 토대로 대응의 차이에 관한 설명을 제공한다(Scoones, 1998). 자산 및 수급권에의 접근은 취약성을 저감시키고 재해 및 환경 변화에 대처 및 대응하는 지역의 능력을 향상시킴에 있어 중요한 요소이다. 어떠한 경우에는 이것이 사실이 아닐 수도 있다. 예를 들어, 재해가 가계 자산에 영향을 미치지만 가계가 아직도 자산의 초기 비용에 대한 부채를 상환 중이라면, 그리고 자산이 위험에 대하여 보호되지 않거나 보험에 가입되어 있지 않다고 가정하면, 자산 손실은 대출 상환 요구와 결합되어 가계를 더 취약하게 만든다(Twigg, 2001). 수급권 보호는 이와 같이 적응형 제도 및 행동 패턴을 필요로 하며 (Meehl 등, 2007), 특수한 권력 관계 배열 내에서 지역 주민 단체에 초점을 맞춰야 한다. 그러므로 가장 취약한 사람들에게 그들의 수급권을 강화하고 그들이 극한 기후 스트레스에 직면할 때 적응 및 복원력의 사회적 원천으로 간주하는 것을 보호하는 생계 옵션을 따를 권한을 주는 것이 필요하다.

재해 위험을 더 잘 관리할 때 기후변화에 적응하는 데 이용할 수 있는 자원의 이용이 극대화된다(Kryspin-Watson 등, 2006).

5.5.1.3. 건강과 장애

극한 현상의 변화와 기후변화의 영향은 현재 많은 주민들의 질병률과 사망률에 영향을 미치고 있으며 미래에는 그러한 현상이 더욱 심화될 것이다(Campbell-Lendrum 등, 2003). 기후변화의 극한 영향(3.1.1 및 4.4.6절 참고)은 많은 주민들의 건강에 직접 또는 간접적으로 영향을 미치는데, 이것은 지역수준에서 맨 처음 감지될 것이다. 열파는 열사병과 심혈관 질환을 야기하고, 흔히 온도가 상승할 때 증가하는 오존과 같은 대기 오염 농도 변화는 다른 질환의 이환을 야기한다(Bernard 등, 2001). 열파는 인종, 성별, 연령(Diaz 등, 2002)과 의학적및 사회경제적 상태(O'Neill and Ebi, 2009)에 따라 집단에 차별적으로 영향을 미치며, 그 결과 지역수준에서 특히 건강 불균등에 관한 우려를 증가시킨다(사례연구 9.2.1 참고). 최소한의 자원을 보유한 사람들은 흔히 적응 능력도 최저이며 따라서 가난한 사람들과 권리를 상실한 사람들이 기후 관련 질병에 가장 취약하게 되기 때문에, 건강 불균등은 기후변화의 극한 영향에서 더욱 우려의 대상이 된다(McMichael 등, 2008). 극한 현상의 경우에는, 취약 집단을 특징 짓는 기존의 건강 상태가 재해 현상의 영향을 악화시킬 수 있다. 이것은 이 집단이 재해 영향으로 인해 더 쉽게 상해를 입기 때문이다(Brauer, 1999; Brown, 1999; Parati 등, 2001). 만성적인 건강 상태/질환 역시 단기적으로는 속발성 전염병과

질병을 야기하고, 지속되는 만성 질병과 더 장기적인 정신 건강 상태를 야기할 수 있다(Shoaf and Rottmann, 2000; Bourque 등, 2006; Few and Matthies, 2006).

말라리아, 뎅기열, 한타바이러스, 블루텅(blue tongue), 로스리버바이러스(RRV), 콜레라를 비롯한 다양한 매개 전염병이 기후와 연관되어 있다(Patz 등, 2005). 예를 들어, 콜레라는 기후변화에 의해 직접 감염될 수도 있는 계절 변동성을 가지고 있다(Koelle 등, 2004). 매개체 감염 질병이 온도 상승에 따라 지리적 범위 및 심각도 측면에서 증가할 것으로 전망되었지만(McMichael 등, 2006), 이러한 변화는 삼림벌채 및 토지 이용과 같은 다양한 인간 개입에 좌우된다. 모기 및 기타 매개체의 서식지가 이전에는 그러한 매개체가 전파되지 않았던 지역으로 이동하고 있다(Lafferty, 2009). 모기의 번식지인 고인 물 웅덩이는 그 개수가 증가할 것으로 보이며, 따라서 질병 노출도 증가할 것이다(Depradine and Lovell, 2004; Meehl 등, 2007). 그와 동시에, 말라리아와 같은 질병이 원래 생각되던 것보다 덜 증가할 것임을 보여주는 문헌도 있다(Gething 등, 2010). 이 문헌의 미묘한 차이의 상당 부분은 이들 결과의 지역-특이적 성격에 기인한 것이다. 따라서, 매개체 통제 프로그램은 변화하는 위험의 지역적 특성에 최대한 적합해야 할 것이다. 감시에 적합하게 맞춰진 프로그램과 같은 일부 프로그램들은 국가 프로그램을 뒷받침하기 위한 공통 특성을 필요로 하며, 그리고 지역에서 국가에 이르는 차원들 전반에 걸쳐, 그리고 지역들 간에서 조정될 필요가 있다. 게다가, 준국가 규모 또는 도시 규모에서 가장 적절하게 관리되는 질환 발생률에 영향을 미칠 가능성이 있는 다양한 사회적 요인들이 존재한다. 예를 들어, 어떤 유형의 인구 성장 또는 변화가 위험을 증가시키고 질환 발생률에 영향을 미칠 수도 있다(Patz 등, 2005). 인구 증가와 그에 관련된 토지 이용 변화 역시 질환 발생률을 증가시킬 수 있다. 일반적으로 지역수준에서 실시되는 매개체 통제 프로그램도 건강 결과에 영향을 미칠 가능성이 있다(Tanser 등, 2003). 감염병의 패턴도 극적으로 변화할 가능성이 있으며, 따라서 지역 환경 변화에 관한 지식을 가지고 있는 지역 의료 제공자가 만든 개선된 예방책이 필요하다(Parkinson and Butler, 2005).

특히 취약 집단에 대해서는, 생계를 파괴하고 이주를 초래하는 폭풍과 홍수가 정신 건강에 미치는 영향에 관한 우려가 있다(Balaban, 2006). 일부 허리케인의 경우에는, 허리케인의 영향을 받은 지역사회 거주민들의 정신 건강이 장기간에 걸쳐 극히 부정적인 영향을 받는다(Weisler 등, 2006). 현상에 대한 정책 대응은 이러한 영향을 관리하기에 부족했으며, 따라서 미래 현상에 대하여 더 많은 정신 건강 서비스가 필요할 수도 있다는 교훈을 제공한다(Lambrew and Shalala, 2006). 공중 보건 및 장애를 관리하는 것이 재해 대응에서 중요하다 Shoaf and Rottmann, 2000).

인간의 건강은 기후변화에 연관된 많은 극한 현상으로 인해 위험한 상태에 있다. 지역보다 상위 차원들로부터 자원을 제공받는 것이 종종 필요하지만, 그 자원을 가장 잘 적용하는 방법을 알고 있는 지역 주체가 자원을 지휘하고 사용하는 것이 극한 기후에 연관된 인간의 질병률 및 사망률에 상당한 영향을 미칠 수 있다.

5.5.1.4. 인간 정주(定住)

정주 패턴은 재해 위험 관리 및 극한 대응에 영향을 미치는 또 다른 요인이다. 인간의 거주지는 그들의 물리적 및 거버넌스 구조, 인구 성장 패턴과 재해의 유형, 동인, 영향 및 그에 대한 대응에서 차이가 있다. 앞서 언급한 것과 같이(5.5.1.2절 참고), 농촌에서는 생계와 빈곤이 재해 위험의 동인이기는 하지만, 반드시 유일한 동인인 것은 아니다. 빈곤, 자원의 희소성, 자원에의 접근, 접근의 어려움이 재해 위험 관리를 제약한다. 이 요소들이 기후 취약성, 분쟁 및 건강문제와 결합될 때, 지방의 대응 능력은 저감된다(UNISDR, 2009). 다른 쪽의 극단에는 인구 밀도, 과밀 및 불량 주택을 포함하는 열악한 주거 조건, 위생 및 깨끗한 물의 부족, 공해 및 적절한 건강관리의 결여로 인한 건강 손상으로 인해 재해 위험이 확대되는 소도시 및 도시의 집중 거주지가 있다(Bull-Kamanga 등, 2003; De Sherbinin 등, 2007). 주택, 기반시설 및 재해 대응과 관련하여 지역 능력을 강화하는 것은 기후 민감 위험요소들에 대한 도시의 도시 복원력 및 적응 능력을 개선시키는 것으로 입증된 하나의 메커니즘이다(Pelling, 2003). 각기 다른 능력을 가진 지역사회들이 어떻게 유사한 문제를 다루고 있는지에 주목하는 것 역시 유용하다(Walker and Sydneysmith, 2008).

기반시설의 밀도, 위험한 상태에 있는 인구, 증가하는 임시 주거지의 수 및 장소, 복잡한 거버넌스 및 재해위험 관리로 인해, 대도시는 연구 및 정책 측면에서 상당한 주목을 받고 있는 중요한 지역이다(사례연구 9.2.8 참고)(Mitchell, 1999). 현재 세계 최대 도시들의 급격한 성장률과 증가하는 도시화를 고려할 때, 재해 위험은 향후 10년 동안 증가할 것이며, 고도로 노출된 지역에 위치한 수십억 달러 규모의 기반시설과 더불어 더욱 많은 이들이 위험에 처하게 될 것이다(Munich Re Group, 2004; Kraas 등, 2005; Wenzel 등, 2007).

많은 지역에서 이미 건축법, 토지 관리 및 재해 위험 완화를 통해 도시의 노출을 줄이는 능력을 발휘해왔지만, 손실은 꾸준히 증가하고 있다. 재해 저감이 보다 효과적으로 이루어지기 위해서는, 대도시들이 그들의 사회적 취약성과 그것을 만들어내는 원동력(농촌에서 도시로의 이동, 생계수단 패턴의 변화, 부의 불균등, 비공식 주거지)에 대하여 고심할 필요가 있을 것이다(Wisner and Uitto, 2009). 많은 대도시가 기후변화의 영향을 받는 미래 재해에 대한 적응은 고사하고, 현재 재해에 대한 대비 및 대응 능력에 있어서도 대단히 위태로운 상태이다(Fuchs, 2009; Heinrichs 등, 2009; Prasad 등, 2009).

하지만, 대도시만 문제가 되는 것이 아니라, 도시인구의 전반적 성장도 문제가 된다. 현재 전세계 인구의 절반 이상이 도시 지역에 살고 있으며 다수의 위험 요소에 노출되는 인구는 점점 증가하고 있다(UNFPA, 2009). 무계획적인 도시화와 가속화된 농촌 지역 또는 소도시로부터의 이동으로 인해 다양한 규모의 도시에서 위험이 증가하고 있다(UN-HABITAT, 2007). 2009년 재해 위험 경감 평가보고서 (Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (UNISDR), 2009)에는 재해 위험을 가속화하는 근본적인 두 가지 주요 요인으로 무계획적인 도시화와 그릇된 도시 거버넌스 방식이 제시되어 있다. 위험한 상태가 되기 쉬운 지역에 있는 임시 주거지의 세계적인 도시 성장의 증가로 임시 주거지 인구는 9억 명에 이르렀고 매년 2,500만 명씩 증가할 것으로 보인다(UNISDR, 2009). 도시 위험요소들은 기반시설에 대한 투자 부족과 불량한 환경 관리로 인해 재해 위험을 악화시키며, 따라서 이들 지역의 적응 능력을 제한한다.

5.5.2. 재해 위험 및 극한 기후로 인한 위험 관리 비용

5.5.2.1. 영향 비용, 사후 대응 비용

대부분의 경제 자료는 국가 차원에서만 이용 가능하기 때문에, 특히 지역수준에서 허리케인 카트리나와 같은 대규모 재해의 총 비용을 평가하기는 극히 어렵다. 직접 손실은 직접 시장 손실과 직접 비시장 손실(무형 손실)로 이루어진다. 직접 비시장 손실에는 건강 영향, 인명 손실, 자연 자산 피해 및 생태계 손실, 역사적 및 문화적 자산의 피해가 포함된다. 간접 손실(고차원 손실(Rose, 2004) 또는 숨겨진 비용(Heinz Center, 1999)으로도 칭함)에는 재해 그 자체로 인해 유발된 것이 아니라 그 결과에 의해 유발된 모든 손실이 포함된다.

간접 손실을 측정하는 것은 그것이 사회에 대한 재해의 경제적 영향을 평가하는 것이기 때문에 중요하다. 지역수준에서 경제적 손실을 측정함에 있어서의 또 다른 어려움은 지역적 분석을 위한 경계 설정과 관련이 있다. 예를 들어, 지역 손실은 재해 지역 외부로부터 유입되는 다양한 상품, 노동자, 자본, 그리고 정부 또는 외국 원조로 보상될 수 있다(Eisensee and Stromberg, 2007). 또한, 지역 재해는 세계 시장에 파급 효과 및 영향을 미친다. 예를 들어, 허리케인 카트리나의 경우에는 석유시추시설의 일시적 정지로 인해 유가가 영향을 받았다. 특히 지역수준에서 간접 손실을 추정할 때에는 여러 공간 규모에서의 트레이드오프(tradeoff)를 고려하는 것이 중요하다. 따라서, 재해 손실 추정치는 분석 규모에 따라 크게 달라지며 지역사회, 주, 도 및 준국가 지역들 사이에서 상당한 변동성을 보인다.

지역에 미치는 경제 영향 평가의 어려움에도 불구하고, 몇 건의 연구가 이루어졌다. 예를 들어, Strobl (2008)은 미국에서 국가 차원 경제 성장에 대한 허리케인 상륙의 영향을 경제 측면에서 분석했다. 이 분석은 1년간 최소 1회 허리케인이 강타한 국가는 경제 성장이 평균 0.79% 감소했다가 다음 해 0.22% 증가함을 보여주었다. 1993년 미국의 미시시피 홍수의 경제적인 영향은 재해 지역들 내에서 상당한 공간적 변동성을 보였다. 특히, 농업 부문에 크게 의존하는 주들이 경제가 다각화되어 있던 주들에 비해 부의 손실에서 불균등성을 보였다(Hewings and Mahidhara, 1996). Noy and Vu (2010)는 베트남에서 재해가 경제 성장에 미치는 영향을 도 차원에서 조사한 결과, 치명적 재해는 경제적 생산을 저감시켰지만 많은 비용을 요하는 재해는 단기 성장을 증가시켰다는 것이 밝혀졌다. Rodriguez-Oreggia 등 (2010)은 멕시코에서 시 정부 차원의 빈곤과 세계은행 인간개발지수(Human Development Index)를 집중적으로 다루었으며 재해를 당한 시 정부에서 빈곤이 1.5~3.6% 증가했음을 보여주었다. 연구들은 지방의 간접 손실이 직접 손실 대비 비선형적으로 증가하며(Hallegatte, 2008) 재해 지역 외부로부터 재건 수단(노동자, 장비, 자금)을 수입함으로써 간접 손실을 보상할 수 있음을 또한 보여주었다.

미국 노동청 통계자료(2006)도 루이지애나에서 허리케인 카트리나가 노동시장에 미친 영향을 상세히 분석한 결과를 제공한다. 루이지애나 기업들이 현저한 경제 및 고용 손실, 재해 직후의 높은 실업률, 피난민이 돌아온 2006년까지 꾸준한 실업을 경험한 것으로 확인되었다. 가계 차원에서는, Smith와 McCarty (2006)가 가계의 구조적 손실보다는 기반시설 문제로 인해 가구가 재해 지역 외부로 더 많이 이동하게 된다는 것을 보여준다.

모형화 접근방법도 준국가 차원에서의 재해 간접 손실을 평가하는 데 이용된다. 투입-산출 모형(Okuyama, 2004; Haimes 등, 2005; Hallegatte, 2008)과 일반 균형 연산 모형(Rose 등, 1997; Rose and Liao, 2005; Tsuchiya 등, 2007)이 이 접근방법에 포함된다. 발표된 분석의 대부분이 선진국에서 수행된 것이었다. 예를 들어, 미국에서는 West and Lenze (1994)가 다각화를 위해 여러 영향 모형들의 장점을 결합하고, 불확실성을 낮추기 위하여 보다 우수한 일차 자료를 얻으며, 재구성 시나리오를 이용하여 플로리다에 대한 허리케인 앤드류의 영향을 추정하는 도구를 개발하는 것의 장점에 관하여 논한다. 개발도상국에서 재해 손실 추정치에 대한 연구 부족은 정치적 또는 기타 이익에 따라 경제적 손실을 과소신고하거나 재해 손실을 과대평가하는 문제를 낳는다. 이것은 큰 연구 격차를 나타낸다..

5.5.2.2. 적응과 위험 관리 – 현재와 미래

지방 재해위험관리 비용에 관한 연구는 아직까지 드물고 단편적이며, 대부분 농촌 지역에서 수행된 것이다. 한 건의 연구에서는 인도 비하르 및 안드라 프라데시 촌락들에서 재해 관리 및 대비 프로그램의 편익/비용 비율을 각각 3.76과 13.38로 추정했는데(Venton and Venton, 2004), 이는 비용보다 편익이 더 큼을 시사한다. 인도, 네팔, 파키스탄의 다수 사례에 대한 사회•환경 전환 기구(Institute for Social and Environmental Transition)의 연구는 지역 개입의 경우에서 편익이 비용을 능가함을 보여주었다(Dixit 등, 2008; Moench and Risk to Resilience Study Team, 2008). 예를 들어, 그들은 자본 투자를 필요로 하는 제방 기반시설 전략들과 비교했을 때 저비용 개입(예: 주택 주춧돌 및 사료 저장고 높이기, 지역사회 기반 조기 경보, 지역사회 곡물 및 종자 은행 설립, 중요 배수 지점의 지역 관리)에 대한 이익률이 특히 견고한 것에 주목했다(Moench and Risk to Resilience Study Team, 2008). 연구들은 두 접근방법의 효과성의 분명한 차이를 입증했고 제방이 역사적으로 연구 대상 지역에서 경제적으로 만족할만한 성과를 내지 못했다는 결론을 도출했다. 그에 반해, 지역수준의 전략에 대한 편익/비용 비율은 시간에 따른, 그리고 모든 기후변화 시나리오에 대하여 경제적 유효성을 보여주었다(Dixit 등, 2008). 선진국에서는, 도시 지역과 농촌 지역 간에 적응 전략 비용의 차이가 존재한다. 예를 들어, 일본에서는 재해 피해가 농촌 지역보다 도시 지역에서 수백 배 더 많은 비용을 야기하는데, 이것은 편익 위험 분석 결과에 따라 각기 다른 재해 위험 관리 전략이 필요함을 보여준다(Kazama 등, 2009).

재해 위험 관리 및 적응 전략들이 밀접하게 관련되어 있기는 하지만, 위험 관리 및 적응을 통합한 비용 분석결과는 지역수준에서 거의 이용 불가능하다. 도시 규모 적응의 비용에 관한 최근 연구들에서 일례를 얻을 수 있다. Rosenzweig 등(2007, 2011)은 뉴욕에서 전망되는 물 가용성 감소에 대한 정교한 분석적 대응 방법을 개발했다. 이 대응에서는 영향 위험을 식별하고 정량화한 후, 적응 옵션들을 식별하고, 그 다음 선별, 평가를 거쳐 최종적으로 이행함으로써 하나의 단계적 의사결정 분석 내에서 적응을 평가한다. 또 다른 일련의 연구에서는 단순화된 재해 위험 평가를 이용하여 코펜하겐과 뭄바이에 대한 경제적 투입-산출 모형과 결합된 해수면 상승 시나리오 하에서 폭풍 해일의 직접 비용을 계산했다(Hallegatte 등, 2008a,b, 2011; Ranger 등, 2011). 산출물은 생산, 실업, 재건 기간, 업그레이드된 연안 방어의 투자 편익을 포함하는, 기후변화 하에서 폭풍 해일의 직접 및 간접적인 경제 영향에 대한 평가결과이다. 결과는 적응을 고려하는 것이 기후변화에 관련된 극한 재해 위험의 경제성 평가에서 중요한 요소임을 보여준다(Hallegatte 등, 2011). Ranger et al. (2011)은 뭄바이에서 배수 체계를 개선함으로써 100년 빈도로 출현하는 홍수 현상에 관련된 손실을 70%만큼 저감시킬 수 있었음을 보여준다. 이것은 기후변화에도 불구하고 연간 손실이 현 수준과 비교했을 때 절대적으로 저감될 수 있었음을 의미한다. 홍수에 대한 종합 보험 역시 직접 비용을 절반으로 낮출 수 있었다. 이러한 분석 결과는 극한 현상 및 기후변화에 대한 적응이(예: 연안 방어의 업그레이드를

FAQ 5.3 | 지역수준에서 위험 관리 및 적응의 비용을 추정하는 것이 가능한가?

지방 재해위험관리 비용에 관한 연구는 아직까지 드물고 단편적이며, 대부분 농촌 지역에서 수행된 것이다. 대부분의 경제 자료(예: 투입-산출 표, 수입 자료)는 국가 차원에서 이용 가능하다. 더욱이, 개발도상국의 재해 추정치에 대한 연구는 확실히 부족하며, 이는 미래 연구를 필요로 하는 큰 격차를 의미한다. 선진국에서는, 도시 지역과 농촌 지역 간에 적응 전략 비용의 차이가 존재한다. 재해 경제 손실 추정치의 신뢰성은, 공간 범위 및 해상도의 전지구적 성격에 관련된 요소들로 인해, 지역수준에서 특히 문제가 있다. 게다가, 기후변화 및 적응 능력의 물리적 영향에 관한, 그리고 비시장 비용 (예를 들면, 생물다양성이나 문화 유산)의 평가에 관한 동의 부족과 같은 지역수준의 경제분석에 영향을 미치는 충격 및 적응 비용에는 다소 모호성이 존재하며, 이것은 지역의 충격 및 적응 비용에 대하여 다소의 불확실성을 야기한다.

통해) 직접 손실을 저감시키거나, 혹은 경제를 보다 견고하게 만들거나, 보험을 활용하거나, 재해 후 소규모 기업들을 지원하는 공공 정책을 제정함으로써 간접 손실을 저감시키는 데 초점을 둘 수 있다는 사실을 강조해 보여준다.

5.5.2.3. 지역수준의 비용 및 손실 추정의 일관성과 신뢰성

모든 차원(지역, 국가, 전지구)에서의 재해 관련 경제 손실 자료에는 궁극적으로 그러한 추정치들의 정확성에 영향을 미치는 불일치성이 존재한다(Guha-Sapir and Below, 2002; Downton and Pielke Jr., 2005; Pielke Jr. 등, 2008). 재해 경제 손실 추정치의 신뢰성은 특히 지역수준에서 그 문제점을 보여준다. 첫째, 데이터베이스의 공간 범위 및 해상도는 그 범위 면에서 전지구적이며 도, 주 또는 군과 같이 국가 내 소단위가 아니라 국가 전체를 대표하는 자료만이 존재한다. 둘째, 경제적으로 유의미한 대규모 재해들만이 포함되어 있는 경우에, 포함 기준은 손실이 적은 다수의 소규모 현상들보다는 손실이 큰 단일 현상들에 대한 자료에 편중된다. 셋째, 무엇이 고려되는가는 데이터베이스 간에 차이가 있다(예를 들면, 보험에 가입된 손실 대 보험에 가입되지 않은 손실; 직접 손실 대 간접 손실; Gall 등, 2009). 더욱이, 재해 손실 추정은 그 목적이 다양하다(예를 들면, 외국 원조 필요성의 평가; 예방 투자의 비용-편익 분석; World Bank, 2010). 목적에 따라, 손실만을 다루는 자료를 포함시킬 것인지, 손실 및 이익 추정치와 비시장 손실의 계산치를 결합하여 포함시킬 것인지가 달라지며 그 결과 공간 및 개념 격차가 존재하게 된다.

이와 유사하게, 지역수준의 경제성 분석에 영향을 미치는 충격 및 적응 비용에 대해서도 모호성이 존재한다. 기후변화 및 적응 능력의 물리적 영향에 대한 동의 부족(4.5절 참고)이 한 가지 쟁점이다. 또 다른 쟁점으로는 할인율 (Heal, 1997; Tol, 2003; Nordhaus, 2007; Stern, 2007; Weitzman, 2007)과 비시장 비용의 평가, 특히 생물다양성 또는 문화 유산의 가치 평가가 있다(Pearce and Moran, 1994). 후자는 지역 영향 및 적응 비용에 대한 어떤 불확실성에 기여한다. 마지막으로, 저-확률 고-영향 기후변화의 가능성이 대부분의 분석에 충분히 포함되어 있지 않다(Stern, 2007; Weitzman, 2007; Lonsdale 등, 2008; Nicholls 등, 2008).

5.5.3. 지역 적응의 한계

지역 적응은 보다 큰 공간적 및 시간적 규모 내에서 이루어지는데(Adger 등, 2005), 이것은 관련 주체의 범위와 적응 과정에 존재할 수 있는 장벽의 종류에 영향을 미친다(Moser and Ekstrom, 2010; Section 6.3 및 7.6 참고). 지역 규모에서, 지역 적응에 대한 한계 및 장벽은 대체로 상호 연결된 세 가지 범주(생태학적 및 물리학적 장벽; 지식, 기술, 경제 및 재정에 관련된 인간 정보에 관련된 장벽; 정신적, 행동적 및 사회문화적 장벽 (ICIMOD, 2009; Adger 등, 2010))에 속한다: 적응에 대한 사회적 및 문화적 한계에 대한 연구는 미완상태이며, 현재까지는 기후변화 문헌 내에서 거의 주목 받지 못했다.

지역 주민이 정보에 접근하지 못하는 경우, 지역주민들은 자신을 재해 및 기후변화 영향으로부터 보호하기 위하여 개선된 대책을 착수하는 데 도움이 되는 필수 요소인 지식, 이해 및 기능 향상에 제약을 받았다(Agrawal 등, 2008). 정보 격차는 특히 사망률 및 인구통계 동향과 변화하는 환경 상태에 관한 과학적 자료를 수집, 분석 및 이용하는 능력이 제한적인 다수의 개발도상국에서 두드러지게 나타난다(IDRC, 2002; Carraro 등, 2003; NRC, 2007). Fischer 등 (2002)에 근거할 때, 정보 격차를 줄이는 것이 아프리카에서 생계 및 식량 안전에 대한 기후변화 관련 위협을 줄이는 데 있어 매우 중요하다.

또한, 능력과 기능의 부족은, 특히 여성의 경우에서, 효과적인 지방 적응 조치를 제한하는 요인으로 식별되어 왔다(Osman-Elasha 등, 2006). 예를 들어, 빈번한 가뭄과 같은 극한 기후가 발생하기 쉬운 지역의 주민들은 그들이 가혹한 상태에서 생존하는 데 도움이 되는 어떤 대응 조치들을 개발해 왔다. 시간이 흐름에 따라, 그러한 대응 조치들은 문제의 크기로 인해 부적절하다는 것이 입증되었다(Ziervogel 등, 2006). 예를 들어, 말리에서는, 여성들에게 권한을 부여하고 생계를 다양화하기 위한 기능을 제공함으로써 환경 관리, 재해 위험저감 및 핵심 자원 관리자로서의 여성의 지위를 연결하는 내용을 포함하는 계획이 있다(UNISDR and UNOCHA, 2008).

금융 측면에서, 소액금융 서비스는 지역수준에서 해결되어야 하는 긴급하고 즉각적인 요구가 있는 최빈곤층과 가장 취약한 집단에 도달하지 못한다(Amin 등, 2001; Helms, 2006). 핵심 자원 및 자산에 대한 균등한 접근 및 자격을 보장하는 지역사회의 능력이 지역 적응 능력을 구축함에 있어 핵심 요소이다.

선진국에서는, 재해 위험저감 및 적응에 관한 가구의 결정이 흔히 비용 이외의 요인에 의해 좌우된다. 예를 들어, Kunreuther 등(2009)은 대부분의 개인은 위험을 과소평가하기 때문에 위험 보험에 가입하고 적절한 보장을 받기로 결정함에 있어서 비용-편익 트레이드오프를 하지 않는다는 것을 알아냈다. 그들은 또한 위험 보험 가입이 자산 보호의 필요성을 물론, 불안을 감소시키고 대출 요건 및 사회 규범을 만족시키기 위한 목적으로도 결정된다는 것을 시사하는 경험적 증거를 발견했다. 다른 유형의 재해 완화 활동에 대하여, 가구들은 위험을 과소평가하고, 장기보다는 단기적 관점을 취하며, 이전 경험으로부터 학습하지 않기 때문에, 자발적으로 비용효과적 완화에 투자하지 않는다. 하지만, 그들은 사회 규범이 중요하다는 것을 발견했다: 이웃의 주택소유자가 허리케인 셔터를 설치한다면, 대부분은 이를 따라할 것이다; 이것은 보험 가입에 있어서도 마찬가지였다(Kunreuther 등, 2009). 지방 정부의 경우, 허리케인 빈발 지역에서 건축법을 채택함으로써 플로리다에서 1996~2004년 건설된 주택 1m2당 US$ 108의 손실을 줄였다(Kunreuther 등, 2009). 하지만, 지방 정부의 건축법 시행은 매우 가변적이므로 재해 위험 관리 및 적응에서 제한 요소가 된다.

지역수준의 적응 조치들은 대다수의 경우 선행적으로 보이고 정책 및 프로그램의 공식화를 수반하는 보다 상위 차원의 국가 또는 지역 계획과 달리, 대응적이고 단기적인 것으로 그려진다(Bohle, 2001; Burton 등, 2003). 빈곤, 도시화의 증가 및 극한 기후 현상은 지역 규모에서 계획된 생계 적응을 시작하는 능력을 제한한다. 극한 현상이 더 빈번하게 혹은 더 큰 강도나 크기로 발생한다면, 일부 지역은 반복적으로 장기간에 걸쳐 사람이 못 살 수도 있고 그 결과 지속가능한 개발이 불가능해질 수도 있다. 그러한 상황에서는, 모든 장소가 상당한 혼란 및 비용(경제적, 사회적, 문화적 및 정신심리적) 없이 적응하는 것이 반드시 가능하지만은 않을 것이다. 어떤 경우에는 강제 이주가 유일한 대안이 될 수도 있다(Brown, 2008).

위에 제시된 것과 같이, 극한 기후에 대한 지역 적응에 있어 주요 도전과제는 지역 집단 행동의 강화에 관련된 근본적 문제들과 그러한 지역 조치를 보완하는 국가 및 국제 규모의 부수적 구조들의 설치를 동시에 다루는 대책들 간의 적절한 균형을 찾는 것이다. 이것은 기후 민감 위험들의 종류, 빈도 및 극한성의 국지적 표현이 이러한 국가 및 국제 상황 내에서 정해질 것임을 의미한다.

5.5.4. 진보하는 사회 및 환경 정의(正義)

재해 위험 관리 및 기후변화 적응을 위한 지역 전략의 성과를 조사함에 있어 중요한 쟁점 중 하나는 공정성과 균등성의 원칙이다. 지역, 국가 및 전지구 규모에서 적응 정책의 차별적 영향을 검토하는 기후 정의에 관한 연구 문헌 수가 급증하고 있다(Kasperson and Kasperson, 2001; Adger 등, 2006). 지역수준에서의 주요 고려사항은 현재 관리 조치(또는 무조치)로 인한 지역사회, 하위집단 및 지방에 미치는 정책의 차별적 영향이다(Thomas and Twyman, 2005). 재해 위험의 취약성을 한 지역 장소에서 다른 장소로 이전(공간적 불균등성)하거나 한 세대에서 다른 세대로 이전(세대간 균등성)함에 있어 현재 관리(또는 무조치)의 영향에 관한 우려도 존재한다(Cooper and McKenna, 2008). 모든 규모에서의 보다 큰 책임 및 통제 문제와는 관계없이, 지역 규모에서 사회 및 환경 정의를 증진시키는 데 필요한 메커니즘이나 실질적 조치에 관한 연구는 거의 없다. 이것은 문헌 간의 큰 차이를 나타내는 것이다.

5.6. 관리 전략

5.6.1. 변화하는 기후에서의 계획의 골자

관리 전략 및 적응 대안의 개발 및 이행에 앞서, 지역 단체들은 재해 위험과 극한 기후의 잠재적 영향에 대한 기저 평가를 실시할 필요가 있다. 지역 재해 위험 평가에는 세 가지 독특한 요소가 포함되어 있다. 1)노출 위험 평가, 혹은 위험요소의 식별과 그 요소가 특정 지역 사회와 관련될 때의 그 잠재적 크기/심각도 (아래 참고); 2) 그러한 노출에 대한 주민의 민감도와 주민이 그에 대응하고 그로부터 회복하는 능력을 식별하는 취약성의 평가(아래와 2.6.2 및 4.4절 참고); 3) 특정 현상으로 인해 발생한 직접 및 간접 손실을 확정하는 피해 평가(가상 현상의 모델화를 통한 실제 현상의 사후 또는 사전 평가) (5.5.2절에 기술; 4.5.1절 참고). 위 요소 각각은 특정 지역의 위험 취약성을 이해함에 있어, 또는 지역 사회에서 누가 위험한 상태에 있는지 뿐만 아니라 재해 취약성 차이의 이면에 존재하는 원인을 특성화함에 있어 각각의 역할을 한다. 노출 및 취약성 평가 방법론과 척도의 예는 무수히 많다(Birkmann, 2006; 2장 참고). 특히 주목할 점은 그러한 연구들이 미국에 대한 연방 재난 관리국(Federal Emergency Management Agency)의 다중위험 평가(FEMA,

FAQ 5.4 | 지역수준에서의 적응에 대한 한계는 무엇인가?

전통적으로, 지역 위험 관리 전략들은 변화하는 기후에 의해 나타나는 장기적 현상을 고려하지 않은 채 단기 기후 현상에만 초점을 맞추었다. 극한 기후 현상 및 그 영향에 대응하는 것이 중요하다 하더라도, 이제는 미래 기후변화의 영향을 완화시키기 위하여 지역사회, 도시 및 부문들의 복원력을 구축하는 데 초점을 맞추는 것이 더욱 중요하다. 개인이나 가구 차원에서 취할 수 있는 조치들의 범위와 선택은 흔히 현상 특이적이고 시간 의존적이다. 그러한 조치들은 장소, 충분한 기반시설, 사회경제적 특성, 재해 위험 정보에의 접근성에 의해서도 제약을 받는다. 예를 들어, 도시화 및 인구 증가에 기인한 도시 취약성 증가는 기반시설 투자 부족과 불량한 환경 관리에 의해 재해 위험을 악화시키고 농촌 지역에 파급 효과를 미칠 수 있다.

커뮤니케이션 및 교환에 대한 장애물은 기후시스템 모델링의 제약에서부터 기후 정보와 사전 경보를 수용 또는 이해함에 있어서의 절차적, 제도적 및 인지적 장벽과 조치를 변경하려는 의사결정자의 능력 및 자발성에 이르기까지 다양하다. 많은 농촌 지역사회 내부에서는, 낮은 대역폭과 열악한 컴퓨팅 인프라로 인해 위험-메시지 수령의 제약이 심각하다. 그러한 격차는 개발도상국은 물론 선진국에서도 명백하게 나타난다. 지역적으로 조직된 집단 행동에는, 다른 조직과의 효과적 연합 구축의 어려움으로 인해, 제약이 존재한다.

1997)와 같이 연안 위험(Gornitz 등, 1994; Hammar-Klose and Thieler, 2001), 가뭄(Wilhelmi and Wilhite, 2002; Alcamo 등, 2008; Kallis, 2008) 또는 복합 위험에 대한 준국가 규모에서 노출을 평가하는 데 중점을 두고 있다는 것이다.

취약성 평가는 재해 위험 노출과 사회적 취약성의 상호작용적 성격을 강조한다. 다수의 평가들이 정성적 측면에 기초하고 있지만(Bankoff 등, 2004; Birkmann, 2006), 취약성 지수 형태의 정량적 척도에 관한 새로운 문헌도 존재한다. 하지만, 가장 일반적인 취약성 지수는 국가 규모의 것으로(SOPAC and UNEP, 2005; Cardona, 2007) 준국가규모에서 장소를 비교하는 것이 아니라 국가들을 서로 비교한다. 예외로는 경험 기반 사회 취약성 지수(Cutter 등, 2003)와 그 확장(Fekete, 2009)이 있다.

취약성 평가는 통상 위험 특이적이며, 많은 평가들이 메사추세츠 리비어(Revere)의 극한 폭풍(Clark등, 1998), 뉴저지 케이프 메이(Cape May)의 해수면 상승(Wu 등, 2002), 독일의 홍수(Fekete, 2009), 미국의 홍수(Burton and Cutter, 2008; Zahran 등, 2008)와 같이 기후에 민감한 위협들에 집중되어 있다. 다중위험 영향 평가에 초점을 맞춘 연구는 모든 위험에 대한 지역 기반 카운티 수준에서의 평가(Cutter 등, 2000)에서부터 바베이도스 및 세인트 빈센트에 대한 모든 위험에 관한 평가(Boruff and Cutter, 2007), 그리고 보다 작은 하위집단 규모의 기후 관련 위협에 관한 평가(O'Brien 등, 2004; Brenkert and Malone, 2005;Alcamo 등, 2008)에 이르기까지 다양하다. 기후 민감 위험들에 대한 지역 노출과 사회 취약성의 교차에 대한 평가가 최근 미국 동북부 지역(Cox등, 2007)과 남부 지역(Oxfam, 2009)에 대하여 실시되었다. 하지만, 위험 노출과 사회 취약성을 국지적 또는 관심 대상 지역에 대한 종합적인 취약성 평가에 통합하여 다룬 경우는 대부분의 장소에 대해 아직 부족한 실정이다. 이것은 과학적 입력 자료가 두 부분으로 나뉘어 제공되는 데 일부 기인한다(예: 노출 평가를 위한 관련 자료와 모델은 대부분 자연 과학자들에 의해 제공되지만 위험한 상태에 있는 주민에 대한 입력 자료는 사회 과학자들에 의해 제공된다). 이것은 또한 분야 또는 지식 경계를 넘나드는 작업의 어려움과도 관련이 있다.

기후 적응평가를 위한 방법론과 척도의 개발이 최근 이루어지고 있는데, 대부분이 위에 언급된 취약성 평가에 적용된 방법론들에서 파생된 것들이다. 예를 들어, 일부 방법론은 지역사회 취약성 평가 방법론들의 확장이거나 변형이며 월드비전(Greene, n.d.), 적십자(van Aalst등, 2008), 등에서 이용한 것과 같은 지역사회 참여 접근방법을 적용한다. 하지만 다른 방법론들은 생계 또는 위험 평가 틀에서 시작하며, 다기준 의사결정 분석(Eakin and Bojorquez-Tapia, 2008); 지수 구성(Vescovi 등, 2009); 세분화와 지역에서 전지구까지의 비교(Torresan등, 2008); 시나리오(Wilby등, 2009)를 비롯하여 광범위한 기법을 이용한다.

5.6.2. 지역사회 기반 적응

지역사회 기반 적응 (Community-based adaptation, CBA)은 기후 위험에 대비하기 위하여 지역사회가 어떻게 하고자 하는지 결정할 권리와 기후변화에 대한 적응을 달성하기 위하여 지역사회 조치를 조정할 권리를 지역사회에게 이양한다(Ebi, 2008). 여기에는 부분적으로 지역사회의 위험, 취약성 및 능력을 평가하는, 기후변화 적응에 대한 지역사회 위험 평가가 필요하다(van Aalst 등, 2008). 기후변화 적응은 지역사회 기반 재해 대비 등의 명칭으로도 불려져 왔다. 목적은 지역사회에 뿌리를 두고 있으며 피해를 입은 사람들이 자체 위험 평가에 참여할 수 있도록 하는 정보를 수집함에 있어 적극적인 참여를 조성하고 사회적 관계를 비롯한 사회-제도적 대책들을 강화함으로써 복원력을 증진시킬 수 있는 대응을 식별하는 데 있다(Allen, 2006; Patino and Gauthier, 2009). 단기 및 장기 위험을 평가함에 있어, 취약 집단의 요구가 흔히 배제된다(Douglas등, 2009). 취약 집단을 평가 과정에 참여시키기 위한 도구로는 기후 관련 위험요소들과 미래에 일어날 수 있는 기후변화 영향에 관한 위험 및 스토리라인을 포착하는 답사와 위험 지도가 있지만 (Ebi, 2008; van Aalst 등, 2008; Patino and Gauthier, 2009), 이 도구들은 흔히 장기 기후 정보를 가지고 있는 지역사회 외부 참여자의 자료 입력을 필요로 한다.

지역사회 기반 적응 접근방법을 이용할 때의 어려움으로는 정보의 규모 확장 문제(Burton등, 2007)와 그것이 자원-집약적이라는 사실(van Aalst 등, 2008), 그리고 지역 스토리가 왜곡되거나 충분한 가치가 없을 때 권한상실이 일어날 수 있다는 인식(Allen, 2006)이 있다. 기후변화 정보의 통합은 불확실성의 층을 더 두껍게 하고 CBA를 단순하게 유지한다는 원칙에 위배될 수 있으므로 결과적으로 이러한 도전을 증가시킨다. 기후변화에 관한 보조 자료가 CBA에 이용되었음을 보여주는 증거는 거의 없다. 이것은 부분적으로는 지역수준에서 관련이 있는 축소된 규모의 기후변화 시나리오에 대한 접근이 제한되어 있기 때문이고 부분적으로는 전망의 불확실성 때문이다.

지역사회 기반 접근방법의 예들은 일부 관련 과정들을 보여준다. 방글라데시 북부에서는, 홍수 적응 프로젝트가 촌락들 내부에 지역사회 외부 조직과 연결된 조기 경보 위원회를 설립하는 데 도움이 되었는데, 이 촌락들은 원래 지역사회 외부 조직과 대개 상호작용하지 않았으며 역사적으로 집단 행동과 자원 분배를 차단했었다(Ensor and Berger, 2009). 이러한 변경된 거버넌스 구조를 통해, 홍수 영향을 완화시키기 위한 작은 도로의 건설, 지하배수로 굴착 및 나무 심기가 가능하게 되었다. 오리건 주 포틀랜드의 또 다른 프로젝트는 다양한 주체들을 참여시킴으로써 도시열섬의 영향을 완화시켰다. 이 프로젝트에서는 주민들을 참여시키고 주민들을 전문가들과 연결시켜 녹화 옥상, 도시 녹지 및 분수를 설치하도록 함으로써 개선에 있어 주인의식을 고취시켰다(Ebi, 2008). 필리핀에서는 지역사회 기반 접근방법 덕분에 이전의 재해 관리 상황에서보다 지역의 특수한 취약성을 더 깊이 이해할 수 있게 되었다(Allen, 2006). 이들 지역사회 기반 접근방법은 개별적으로 중요하긴 하지만, 지방 차원과 국가 차원을 포함하는 여러 차원의 동인을 인정하는 더 폭넓은 체계의 일부로서 받아들여져야 한다.

CBA 대응은 참여와 지역 상황에 대한 인식을 증진시키는데, 이것은 기후변화에 적응할 때 중요하다(Box 5-7 참고). 조직화된 집단 행동의 필요성이 캄팔라에서 나타났다. 캄팔라(Kampala)에서는 토지 피복 변화와 변화하는 기후로 인해 도시 홍수의 빈도 및 심각도가 증가하고 있고 기존의 대응 활동은 조정되지 않는 배수로 청소로 이루어진다(Douglas 등, 2009). 하지만, 거주민들은 홍수를 방지하고, 배수 시스템을 개선하며, 쓰레기 및 고형 폐기물의 처리를 개선하고, 건물 검사 단위를 강화하며, 주택 및 정화 시설의 건설을 법에 따라 시행함에 있어 역할 및 책임 의식을 고취시키는 것을 비롯하여, 빈번해진 홍수에 적응하기 위하여 더 많은 것을 할 수 있다고 생각했다. 이와 유사하게, 아크라(Accra)에서도 주민들이 계획 및 도시 설계에 대하여 지방자치단체법이 집행될 필요가 있다고 생각했는데, 이것은 지역사회 대응과 지방자치단체 대응 간의 강력한 유대가 필요함을 시사한다(Douglas 등, 2009).

Box 5-7 | 생계 전략을 개선하기 위한 집단 행동: 남아프리카 노던 케이프(Northern Cape)에서 기후변화에 적응하는 소규모 농부들

남아프리카 노던 케이프 주는 가뭄이 빈번하고 심하게 발생하며 사람, 동물, 식물이 살기에 조건이 극히 나쁜 황량한 지역이다. 이러한 특징은 가장 수익이 나지 않는 생산 지역의 일부에 살고 있는 소규모 루이보스 재배 농부들에게 오랫동안 부정적인 영향을 미쳐왔다. 루이보스는 덥고 건조한 여름철 조건에 잘 맞는 토착 작물이지만 장기적인 가뭄에는 민감하다. 루이보스차는 전세계 시장에서 잘 판매되게 되었지만 이러한 성공이 소외된 소규모 생산자들의 개선으로 이어지는 경우는 극히 드물었다.

2001년, 소집단의 농부들이 그들의 생계를 개선하기 위하여 집단 행동을 취하기로 결정하고 Heiveld Co-operative Ltd를 설립했다. 처음에는 농부들이 공동으로 차를 생산 및 판매하는 것을 돕는 거래 협동조합으로 설립되었지만, 나중에는 지역 조직이 더 넓은 지역사회에서 사회적 변화의 중요한 수단도 될 수 있음이 분명해졌다(Oettle 등, 2004). Heiveld는 지속가능한 루이보스 생산에 관련된 지역 및 과학 지식의 보고이자 원천이 되었다. 극심한 가뭄(2003-2005년)과 인지된 기상 변동성의 증가에 따라, Heiveld 농부들은 지역 기후를 감시하고 분기별 기후변화 대비 워크숍에서 계절 예측과 가능한 전략을 논의하기로 결정하였다. 이 워크숍은 2개 지역 NGOs(Indigo 및 Environmental Monitoring Group)와의 공동 작업을 통해 용이하게 진행된다. 또한, 과학자들이 워크숍을 지원함으로써 지역 지식과 과학적 입력 자료가 통합되어 지역 생계의 탄력성을 증진시킬 수 있음을 보장하기 위한 참여적 행동 연구 접근방법으로 농부들의 문제를 다룬다. Heiveld 협동조합은 장기 협력자들의 든든한 지원을 받으며, 기후 변동성 및 변화에 대응하고 대비하는 협동 학습 접근방법을 통한 가능성 있는 적응 전략의 개발을 지원하는 데 중점을 둔 이 학습 과정의 중요한 조직 수단이었다.

이 사례 연구에서 묘사된 사회, 참여 및 조직 학습을 기후변화 적응으로 확장하기 위해서는, 식별 가능한 기후변화 신호들의 중요성, 비공식적 네트워크, 그리고 변화하는 기후에 대한 사람 및 조직의 대비를 증진시키기 위한 경계 조직이 강조되어야 한다(Berkhout 등, 2006; Pelling등, 2008). 참여 학습이 특히 강조된다(Berkhout, 2002; A. Shaw등, 2009; R. Shaw등, 2009). 현재 기후 위험을 관리하는 것으로부터 무엇이 학습될 수 있는가에 초점을 맞추는 것은, 특히 가난하고 소외된 지역사회들에 대하여, 훌륭한 출발점이 된다(Someshwar, 2008).

5.6.3. 지역수준의 위험 분담 및 이전

위험 이전과 위험 공유는 경제적 위험을 한쪽에서 다른 쪽으로 옮기는 재해 전 금융 협력 체계인데, 이에 대해서는 2장, 7.4.4절 및 사례연구 9.2.13에서 더 상세히 논의한다. 재해 후 구호 및 재건에 대해서는 비공식적 위험 분담이 일반적이며 중요하다. 보험과 같은 보다 공식적인 메커니즘이 없는 경우에는, 손실을 입은 사람들이 국제적 지원의 연대, 송금, 대체 가능한 자산의 매각 및 저당, 대부업자로부터의 대출에 의존하는 것과 같은, 다양한 비-보험 금융 전략을 이용할 수도 있다. 일례로 전통적인 가축 담보 대출이 있다(Oba, 2001). 위험한 환경에 있는 저소득 국가의 개인들은 상호교환, 친족 결속, 지역사회 자조에 광범위하게 의존한다. 예를 들어 고위험 지역의 여성들은 비공식적인 위험 헤지 제도에 가입하고 다수의 소액금융기관의 고객이 되거나 호혜적 사회관계를 유지함으로써 재해 후 자본에 접근하는 혁신적인 방식을 활용한다. 다수 조사에 대한 통합 분석결과는 저소득 및 중저소득 국가 가정의 약 40%가 정해진 해에 수급자 또는 제공자로서 사적인 이전에 연루됨을 보여준다(Davies and Leavy, 2007).

엘살바도르 재해 다발 지역의 빈민 가정들은 긴급 구호 및 복구 비용을 대는 것을 포함하여, 연소득의 평균 9.2%를 위험 관리에 소비한다(Wamsler, 2007). 특히 중요한 비공식적 위험-분담 메커니즘은 송금, 즉 외국인 노동자들이 그들의 모국으로 보내는 돈이다(7.1.1절에서 더 상세히 논의). 가구의 저축은 은행에서 가입할 수 있지만, 식품, 곡물, 종자 및 대체가능 자산의 비축물의 형태로 존재할 수도 있다. 소규모 저축 기관은 재해의 영향을 직접 받을 수 있으며, 그 결과 1998년 방글라데시에서 홍수 동안 발생했던 것과 같이, 유동성이 계좌를 유지하기에 불충분하게 될 수 있다. 충분한 저축을 하지 못한 많은 재해 희생자들은 재해 후 비용을 대기 위해 대출을 받는다. 공식적인 소액 대출에 부과되는 이자율(18-60%)은, 비교적 높은 편이긴 해도, 일반적으로 지역 대부업자에 의해 부과되는 이자율(120-300%)보다는 훨씬 낮다(Linnerooth-Bayer and Mechler, 2009).

소액 보험을 포함한 보험이 지역수준에서 가장 일반적이고 공식적인 위험 이전 메커니즘이다. 보험 계약은 확률적 손실을 지리적 및 시간적으로 분산시키며 복구 및 재건 과정 동안 시기적절한 유동성을 보장할 수 있다. 따라서, 보험은 효과적인 재해 위험저감 도구이며, 특히 다른 위험 관리 대책과 결합될 때 더욱 그렇다. 예를 들어, 대부분의 산업화 국가들에서는, 보험이 조기 경보 시스템, 위험 정보, 재해 대비 및 재해 완화와 결합되어 활용된다. 보험이 충분한 위험저감 없이 적용될 때에는, 개인들이 위험을 관리하기 위하여 보험에 의존하고 영향에 과하게 노출된 채 있을 수도 있기 때문에, 보험으로 인해 적응하려는 의욕이 꺾일 수 있다. 더욱이, 보험은 생산적이지만 위험한 투자에 필요한 재정 보증을 제공할 수 있다. 예로는 농부들이 생산성을 향상

시키는 농업 투입재에 접근할 수 있도록 하는 대출과 소액 보험이 함께 제공되는 말라위에서의 파일럿 프로젝트(Hess and Syroka, 2005)와 가축 손실을 저감시키기 위한 극한 겨울 기상으로부터 유목민의 가축을 보호하는 몽골에서의 프로젝트(Skees등, 2008)가 있다.

소액 보험은 정기 보험료 납부에 대한 대가로 특정 위험으로부터 저소득층을 보호하는 금융 협약이다(Churchill, 2006, 2007). 몇몇 파일럿 프로젝트는 긍정적인 성과를 만들어냈지만, 소액 보험 계획이 지역사회에서 궁극적으로 성공할 수 있을지를 판단하기에는 경험이 너무 짧다. 많은 진행중인 소액 보험 계획들이 지수형이다 – 이것은 손실 그 자체에 대한 것이 아니라 식물 성장의 중요 단계 동안 불충분한 강우와 같은, 손실을 야기한 현상에 대하여 보험을 계약하는 비교적 새로운 접근방법이다(Turvey, 2001). 날씨지수보험은 대부분 준비 단계에 있으며, 몽골, 케냐, 말라위, 르완다, 탄자니아를 비롯한 지구 곳곳에서 몇 개 프로젝트가 운영 중이다(Hellmuth 등, 2009). 인도에서는 농업에 대한 지수형 보험이 더 많이 개발되어 있는데, 인도 농업 보험 공사(Agricultural Insurance Company of India)는 부적절한 강수에 대한 보상 범위를 농부 700,000명으로 확대한 바 있다(Hellmuth 등, 2009). 전통적인 작물 보험에 대한 대안으로서의 지수형 계약은 (보험금 청구 처리의 감소로 인해) 거래 비용을 크게 줄이고 긴급 대응을 개선하는 장점을 가지고 있다(Chantarat 등, 5.6.4. 2007). 단점은 수익과 배당의 부조화 가능성이다. 이것은 취약한 지역에서 현재 부족한 기상 관측소 밀도를 고려할 때 매우 중요한 쟁점이다 – 도전적인 원격 탐사가 이 쟁점을 다루는 데 도움이 될 수도 있다(Skees and Barnett, 2006). 보험이 어떻게 작용하는가에 대한 참여자의 이해는 관련 제품 및 이해관계자에 대한 참여자의 신뢰와 더불어 지수형 보험 파일럿을 업-스케일링 함에 있어 문제가 될 수도 있다. 하지만, 모의 게임과 기타 혁신적인 커뮤니케이션 접근방법이 긍정적 결과를 산출하고 있다(Patt 등, 2009). 보험료 부담능력 역시 문제가 될 수 있다. 재해는 지역사회 또는 지방 전체에 영향을 미칠 수 있으며(공변량 위험), 이러한 이유로 보험회사들은 보험료를 예상되는 고객 손실보다 훨씬 높게 책정함으로써 필요한 예비 자본 비용 또는 예산 비용을 확보함으로써 동시다발적인 대규모 보험청구에 대비해야만 한다. 빈곤 및 개발에 대한 장기적 영향을 줄이는데 중요하긴 하지만, 보험 매체는, 특히 전적으로 시장에 남겨질 때, 모든 상황에 적절하지만은 않을 것이다(Linnerooth-Bayer 등, 2010).

보험 산업 자체는 기후변화에 취약하다. 미국(Lecomte and Gahagan, 1998), 영국 (Priest 등, 2005), 독일(Thieken 등, 2006; Botzen and van den Bergh, 2008)에서는 대재해로 인한 지역 손실이 증가함에 따라 일부 시장 영역에서 민영 보험사가 지속적으로 퇴장하고 있으며, 그로 인해 준국가 규모에서의 재해 관리 옵션들이 줄어들고 있다. 기후변화는 지역 규모(Vellinga 등, 2001)에서 특히 이 부문에 대하여 일어날 수 있는 최대 손실과 변화하는 가격 및 보상범위에 대응하는 규제 기관으로부터의 압력 등의 문제를 야기할 수 있다(Kunreuther 등, 2009).

위험의 수준 및 변동성 증가에 대한 하나의 대응으로 지수-연계 증권(대재해 채권 및 날씨 파생 상품)과 같은 새로운 대안적 위험 이전 제도를 통하여 보험 및 재보험을 증가시켜 왔다(Vellinga 등, 2001). 이러한 도구들은 대재해 위험이 증가한 새 시대에 그 역할이 더욱 중요해질 수 있다. 또 다른 접근방법은 사회적 적응(Herweijer 등, 2009)과 위험 커뮤니케이션 및 보험회사로부터의 재정 혜택(Ward 등, 2008)을 통해 위험을 저감시키는 방법이다. 예를 들어, Lloyds of London (2008)은 노출된 연안 지역들에서는 2030년 해수면 상승으로 인한 연평균 손실 및 극한 손실 증가를 재산 수준에 따라 홍수에 대한 복원력에 투자하거나 방조제에 투자함으로써 상쇄할 수 있음을 입증했다. 이와 유사하게, RMS (2009)도 플로리다의 바람 관련 손실을 건물을 보강함으로써 상당히 줄일 수 있음을 보여준다. 위험 이전은 경제적 부담을 한쪽에서 다른 쪽으로 옮기는 것보다 더 광범위하다. 여기에는 한 세대에서 다음 세대로의 위험 이전(세대간 형평성)이 또한 수반된다. 위험 이전은 위험 부담을 한 장소에서 다른 장소로 옮김에 있어 하나의 공간적 요소도 가지고 있다. 이러한 보다 큰 이전 메커니즘들은 모두 지역수준의 재해 위험 관리 및 기후변화 적응에 중요하지만, 국지적 효과를 평가하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다. 공간 및 세대간 형평성은 8장에서 고찰된다.

5.6.4 관리 전략을 위한 변환적 체계

관리 전략에는 적응을 특정 현상이나 시간에 대한 대책 및 행동보다는 하나의 과정으로 간주하는 것이 필요하다. 기후변화에 대한 적응 및 재해 대응의 계획 및 이행 경험은 밀접하게 관련되어 있는 일련의 요소들을 종합함에 있어 사회-제도적 과정이 중요함을 보여준다(Tschakert and Dietrich, 2010; 8장 참고). O'Brien 등 (2011)은 사회 변환 및 복원력 증가를 가능하게 하는 협력관계를 향해 나가는 것을 목표로 하는 하나의 적응 연속체를 제시한다(그림 5-2 참고).

재해 위험 관리 및 적응 과정의 핵심 구성요소는 학습 능력이다(Pahl-Wostl 등, 2007; Armitage 등, 2008; Lonsdale 등, 2008). 학습에 대한 이러한 주목은 사회-생태학적 복원력 및 지속가능한 과학 분야들로부터 나온 것이다(Berkes, 2009; Kristjanson 등, 2009). 시나리오들은 기후, 인구학적, 생물물리학적 및 경제적 변화의 정량적 지표들과 사회-문화적 변화의 정성적 스토리라인들을 지역수준에서 결합하기 때문에, 극한 기후의 가치 및 이해를 만들어내기 위해서는 지역 이해관계자들의 참여가 필수적이다.

적응은 종점이 아닌 하나의 과정이며, 이 과정을 가능하게 하거나 저해하는 제도 및 정책과 흔히 경쟁하는 이해관계자의 목표들이 존재함을 인정하는데 주안점을 두어야 한다(Ziervogel and Ericksen, 2010). 재해 및 기후 위험에 대한 더 우수한 적응 능력을 기르는 것이 미래 적응을 촉진하는 데 도움이 될 것이다(Inderberg and Eikeland, 2009; Moser, 2009; Patt, 2009). 하지만, 주체 간의 조정의 부족, 정책 분야의 복잡성(Mukheibir and Ziervogel, 2007; Winsvold 등, 2009), 그리고 정책을 이행하는 인간 능력의 한계를 비롯한 장애들이 존재한다(Ziervogel 등, 2010). 마지막으로, 위험 및 적응 능력에 대한 개인, 부문 및 기관의 인식이 적응 대응이 개시되는지 여부를 결정할 수 있다(Grothmann and Patt, 2005).

5.7. 지역수준의 정보, 자료 및 연구 부족

재해가 시간에 따라, 그리고 공간에 걸쳐 체계적 효과를 생성하게 되는 인과관계 과정은 상당히 잘 알려져 있다(Kreps, 1985; Cutter, 1996; Lindell and Prater, 2003; NRC, 2006). 그렇지만, 지역 긴급 관리 지역사회들은 대체로 기후변화와 자연 재해 사이의 관계에 거의 주목하지 않고 있다(Bullock 등, 2009). 그 결과, 주 및 지역 재해 완화 계획들은, 심지어 법률로 요구되는 때에도, 기후변화, 해수면 상승 또는 극한 기후 현상을 위험 평가에 포함



그림 5-2 | 학습과 전환 적응 과정 전반에 걸쳐, 패러다임 전환 가능성을 유도하는 제도 변화에 따라 학습이 증가할 것으로 예상되며 – 지역사회는 영향-중심 관점에서 벗어나 위험이 예상되고 우수한 거버넌스 및 핵심 협력관계가 일반적인 복원력-중심 관점으로 이동하고 있다. 출처: O'Brien 등, 2011로부터 수정 차용

시키거나 전적으로 확정적인 방법들에 포함시키는 데 보통 실패한다. 기후변화 상황에서 개발, 위험 완화 및 긴급 대응에 관한 의사결정은 사회적 및 경제적 적응과 특히 지역수준에서 그것을 뒷받침하는 정보 및 자료에 관한 매우 중요한 질문들을 야기한다(Mileti, 1999; Cutter, 2001; Mileti and Peek, 2002). 예를 들어: 지역에 대한 시간에 따른 소규모 현상들의 누적 영향을 단일 고-영향 현상과 어떻게 비교하는가? 위험 완화 및 재해 대응의 수준 증가가 개인 및 사회 체계의 지역 위험-부담을 증가시키는가? 단기 조정능력 또는 대응 전략이 어떻게 지역의 장기 취약성을 가능하게 하거나 제약하는가? 특히 지역 상황 내에서, 의사결정의 수용성과 의사결정의 질 간의 트레이드오프는 무엇인가 (Comfort 등, 1999; Travis, 2010)?

이 질문들 중 많은 질문에 대하여, 특히 준국가 규모에서, 충분한 경험적 정보가 결여되어 있다. 미국을 대상으로 한 모든-위험에 관한 2건의 최신 연구에서는 1970년부터 2004년까지 기후에 민감한 위험이 자연적 위험으로 인한 사망자수의 대부분을 차지했다는 것이 밝혀졌다(Borden and Cutter, 2008; Thacker 등, 2008). 아직은 이 연구들이 지역수준에서 자연적 위험으로 인한 사망률 감시에 대한 유일한 데이터베이스인데, 일관성 및 완전성의 결여로 인한 어려움이 있다.

허리케인 복구 과정에는 정상 상태로 복귀하기 위한 활동이 동시에 자연자원을 고갈시키고 위험을 증가시킨다는 증거가 다수 포함된다. (일시적일 지라도) 이주할 권리, 조직할 권리 및 정보에 접근할 권리에 관한 의사결정이 어떻게 내려지는가는, 결과적으로, 홍수, 가뭄, 폭풍에 성공적으로 적응하는 여러 집단들의 능력에 중대한 영향을 미친다. 장소 기반 복구, 대응 및 회복력을 적응과 연결시키는 아이디어는 선험적으로 매력이 있다. 하지만 개선된 재해 위험 관리를 지원하는 지지층은 너무 작기 때문에 연구자들, 특히 취약성을 저감시키기 위하여 사회 기구를 강화하는 데 특히 중점을 둔 연구자들이 권장하는 많은 변화를 야기하지 못하는 것이 역사적으로 입증된 바 있다. 위험의 명료성에 관한 특수한 질문들 이면에 공적 영역에 관한 보다 광범위한 질문이 존재하는가? 어떤 공공재가 모든 차원에서 정부에 의해 제공될 것이고 (그 자금은 어떻게 충당될 것이며), 어떤 공공재가 시민사회의 개인 또는 조직에 의해 제공될 것이며, 무엇이 시장 행위자에 의해 제공될 것인가? 그리고 무엇이 제공되지 않을 것인가? 이러한 것들이 지역-규모 재해 위험 관리에, 특히 기후에 민감한 위험요소들의 관리에 어떤 영향을 미칠 것인가 (Mitchell, 1988, 1999; Thomalla 등, 2006; van Aalst 등, 2008)?

지식이 생성되는 과정에 점점 더 많이 초점이 맞춰지고 있지만, 다른 사람들에 의해 만들어진 지식에 대한 주장들을 그들의 신뢰성 및 지역사회와의 관련성에 대하여 비평적으로 평가하는 지역사회의 능력을 조사하는 데 소요되는 시간은 더 적다(Fischhoff, 2007; Pulwarty, 2007). 물리적 및 사회적 영향의 통합을 넘어서 관행 및 평가에 초점을 맞출 필요가 있다. 정보 흐름에 대한 장애물은 어떻게 생성되는가? 정보교환에 대한 주목이 효과적 대응을 보장하기에 충분한가? 예를 들어 경제 계층, 인종 또는 성에 따른 다

양한 취약 집단들 사이에서 이들 교점이 어떻게 정의되는가? 하지만, 지방 정부가 정책 옵션들을 채택하는 정도와 그 옵션들이 집행되는 방식에 관한 연구는 거의 없다. 연구들의 대부분은 현재까지 채택되었지만 반드시 성공적으로 집행되지 않은 정책을 야기한 요인들을 다루어왔다.

성공적인 적응 전략은, 기반시설 및 개량에 대한 관심사를 넘어, 도시 계획, 물 관리, 조기 경보 시스템 및 대응을 통합한다. 널리 인정되고 있는 한 가지 목표는 연구 집단이 불확실한 환경 위험요소들의 물리적 및 사회적 차원에 대하여 알고 있는 것과 사회가 그 지식과 관련이 있는 것으로 선택한 것 간의 불충분한 적합성의 문제를 직접적으로 다루는 것이다. 훨씬 더 큰 어려움은 우리가 추구하고자 하는 다양한 목표를 추구함에 있어 물리적 환경에 관한 여러 지식 체계들과 경쟁적인 행동 체계들을 어떻게 함께 묶을 수 있는지 고찰하는 것이다. 몇몇 문헌(Comfort 등, 1999; Bullock 등, 2009; McKinsey Group, 2009)에는 이들 문제를 다루기 위한 주요 연구 및 자료 요건이 식별되어 있다.

1) 다방적 정보 교환 체계 – 효과적인 적응은 항상 지역 차원에서 주도될 것이다. 지역사회들은 신뢰할 수 있는 측정방법과 평가 도구, 그 도구로 알아 낼 위험에 관한 통합 정보, 그리고 그러한 위험을 최소화하는 최선의 접근법을 필요로 한다. 목표는 취약 지역들에 대한 지리적 위치 기반 접근법에서 위험의 평가 및 명료성을 개선하는 데 있다. 경제적 손실, 재해 및 적응 비용, 인명 손실(사망자)에 관한 지역 기반 자료의 수집과 품질 관리를 개선하는 것이 경험에 기반한 기저상태 평가의 개선을 보장할 것이다.
2) 재해 완화, 대비, 대응 및 복구에 대한 의사결정 과정을 보여주는 지도와 그러한 의사결정을 뒷받침하는 도구를 이용하는 방법에 대한 지침이 필요하다. 연구자들과 재해를 당한 지역사회들 간의 협력을 통해 작성된 위험 지도는 가장 단순하면서도 흔히 가장 강력한 형태의 위험 정보이다. 그 지도는 위험의 가능성과 영향을 정확히 담고 있으며 재해 위험저감, 자원의 위험 기반 통합 및 위험 이전을 비롯한 재해 위험 관리의 많은 측면들을 알리는 데 있어 중요하다. 그러한 도구들은 불균형적인 재해 영향을 받을 수 있는 위기에 처한 사회체계의 일부; 각 관할권 수준에서 매우 중요한 행위자들; 그들의 위험 가정들; 그들의 다양한 유형의 정보 수요; 중대한 입구점들에서 의사결정을 뒷받침할 정보 하부구조의 설계를 식별할 것이다(Comfort, 1993).
3) 위험에 직면한 이들은 흔히 그들의 환경을 장기간에 걸쳐 관리하기 위하여 지원을 필요로 하고, 취약한 지역들에서 회복력을 개선시키기 위하여 체계적인 조치를 개발한다. 지방 정부 및 기관들이 어떻게 능력 및 행동 증가를 위한 성공적인 접근방법들을 뒷받침하고, 동기를 부여하며, 합법화하는지에 관한 연구가 필요하다.
4) 지역수준에서 취약성을 저감하고 지역사회 능력을 강화하는 과정의 방법론, 지표 및 측정법에 대한 연구가 현재 진행 중이다. 지역에 기초한 위험 관리, 비용효과 방법론 및 분석, 지역~국가 차원에서의 재해 현상의 사회적 충격의 정량화, 위험 관리 및 완화 프로그램의 이행 및 평가에 관한 연구가 필요하다. 이와 유사하게, 특히 지역수준에서 조치 및 개입으로 인해 의도하지 않은 결과가 야기되는 것을 방지하는 데 도움이 되는 다수의 기관 및 다수의 부문의 노력을 평가하고 조정하는 것이 매우 필요하다.
5) 소외된 이들은 보험과 같은 금융 위험 이전 메커니즘을 통해 위험을 공유하는 데에서 비롯되는 사회 및 경제 보장에 접근할 필요가 있다. 대안적 위험저감의 효능, 위험 기반 자원 공동관리 및 이전 방법, 다양한 이해관계자 집단에 대한 편익 비용 분석, 완화 및 보험의 보완적 역할 분석, 보험 산업 지불불능에 대비한 안전보장조치 분석을 평가하기 위한 지역수준에서의 연구들은 부족한 실정이다.

이러한 연구 수요의 우선 순위를 정하여 다루기 위해서는 부문간 협력이 확실히 필요하다. 위험요소, 재해 위험 및 기후변화 적응에 대한 과학적 이해를 다양한 형태의 지식에 대한 보다 광범위한 토론 내에서 다루는 것은 과학적 지식에 더 많이 근거를 두고 지역 상황에 맞게 만들어진 대중 행동의 가능성을 증가시킬 것이다.

5.8. 요약

본 장은 극한 기후가 지역사회에 미치는 영향; 긴급 지원 및 재해 구호와 같이 지역사회가 오늘날 재해에 대응하는 방법; 지역사회가 개선된 정보교환, 댐 및 둑과 같은 구조물, 토지 이용 계획 및 생태계 보호, 자원 저장을 이용하여 미래 재해 위험을 예측하고 대책을 세우는 방법에 관한 증거를 보여준다. 규모와 상황은 지역수준에서 적응 능력을 구축함에 있어 변동성을 형성하는 역할을 한다. 대응 및 위험 관리의 차이 역시 규모 의존적이고 상황 특이적이며 지역수준에서 극한 기후에 대한 적응에 영향을 미치거나 적응을 제한할 수 있다. 마지막으로, 극한 기후는 지역수준에서 인간 안보를 위협한다. 다양한 규모에서 사회적, 경제적, 환경 및 기후변화 동인들에 기인한 국지적 취약성은 지역 사회에 대한 극한 기후의 영향을 고조시킨다. 어떤 지역사회는 재해에 대한 상당한 경험을 가지고 있고 극한 기후에 대응할 어떤 고유한 능력을 가지고 있는 반면, 다른 지역사회는 그렇지 않다. 대응 및 관리에서의 이러한 차이는 재해 위험 관리 및 기후변화 적응에 대한 다양한 접근법을 필요로 하며, 따라서, 사회 복지, 삶의 질 및 지속가능한 생계에 관련된 광범위한 국가적 및 국제적 상황들에 주목할 필요가 있다.

참고문헌

본장에인용된, 일반인이쉽게열람하기어려운비-저널문헌의디지털라이브러리는 IPCC 검토및초고과정의일부로서취합되었고, IPCC 사무국또는 IPCC 실무그룹 II 웹사이트를통해접근할수있다.

Aall, c., K. Groven, and G. Lindseth, 2007: The scope of action for local climate policy: The case of Norway. Global Environmental Politics, 7(2), 83-101.

ActionAid, 2005: People-Centered Governance: Reducing Disaster for Poor and Excluded People. ActionAid International, Johannesburg, South Africa.

Adeola, F.O., 2009: Katrina cataclysm: Does duration of residency and prior experience affect impacts, evacuation, and adaptation behavior among survivors? Environment and Behavior, 41 (4),459-489.

Adger, W.N., 2000: Social and ecological resilience: Are they related? Progress in Human Geography, 24(3), 347-364.

Adger, W.N., 2003: Social capital, collective action, and adaptation to climate change. Economic Geography, 79(4), 387-404.

Adger, W.N. and K. Brown, 2009: Adaptation, vulnerability and resilience: Ecological and social perspectives. In: Companion to Environmental Geography [Castree, N., D. Demeritt, D. Liverman, and B. Rhoads (eds.)]. Wiley-Blackwell, Chichester, UK, pp. 109-122.

Adger, W.N. and P.M. Kelly, 1999: Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 4(3-4), 253-266.

Adger, W.N., P.M. Kelly,A Winkels, L.Q. Huy, and C. Locke, 2002: Migration, remittances, livelihood trajectories, and social resilience. Ambio, 31(4), 358-366.

Adger, W.N., K. Brown, J. Fairbrass,A Jordan, J. Paavola, S. Rosendo, and G. Seyfang, 2003: Governance for sustainability: Towards a 'thick' analysis of environmental decision-making. Environment and Planning A, 35, 1095-1110.

Adger, W.N., N.W. Arnell, and E.L. Tompkins, 2005: Successful adaptation to climate change across scales. Global Environmental Change, 15(1), 77-86.

Adger, W.N., J. Paavola, S. Huq, and M.J. Mace (eds.), 2006: Fairness in Adaptation to Climate Change. MIT Press, Cambridge, MA

Adger, W.N., S. Agrawala, M.M.Q. Mirza, C. Conde, K. O'Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit, and K. Takahashi, 2007: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 717-743.

Adger, W.N., S. Dessai, M. Goulden, M. Hulme, I. Lorenzoni, D.R. Nelson, L.O. Naess, J. Wolf, and A. Wreford, 2010: Are there social limits to adaptation to climate change? Climatic Change, 93(3-4), 335-354.

Aerts, J., D. Major, M. Bowman, and P. Dircke, 2009: Connecting Delta Cities. Coastal Cities, Flood Risk Management and Adaptation to Climate. VU University Press, Amsterdam, The Netherlands, 90 pp.

Agrawal, A, 2010: Local institutions and adaptation to climate change. In: Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World [Mearns, R. and A Norton (eds.)]. World Bank, Washington, DC, pp. 173-198.

Agrawal, A, C. McSweeney, and N. Perrin, 2008: Social Development Notes. Local Institutions and Climate Change Adaptation - the Social Dimensions of Climate Change. World Bank, Washington, DC.

Alcamo, J., L. Acosta-Michlik, A Carius, F. Eierdanz, R. Klein, D. Kriimker, and D. Tanzler, 2008: A new approach to quantifying and comparing vulnerability to drought. Regional Environmental Change, 8(4), 137-149.

Alexander, D., 2002: Principles of Emergency Planning and Management. Oxford University Press, Oxford, UK.

Allen, K., 2006: Community-based disaster preparedness and climate adaptation: Local capacity-building in the Philippines. Disasters, 30(1), 81-101.

Amin, S., AS. Rai, and G. Topa, 2001: Does Microcredit Reach and Poor and Vulnerable? Evidence from Northern Bangladesh. Center for International Development, Harvard University, Cambridge, MA

Anderson, S., J. Morton, and C. Toulmin, 201 0: Climate change for agrarian societies in drylands: Implications and future pathways. In: Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World [Mearns, R. and A Norton (eds.)]. World Bank, Washington, DC, pp. 199-230.

Anning, D. and D. Dominey-Howes, 2009: Valuing climate change impacts on Sydney beaches to inform coastal management decisions: A research outline. Management of Environmental Quality, 20(4),408-421.

ANTHC, 2011: Climate Change & Health Impact Assessment Reports. Alaska Native Tribal Health Consortium, www.anthctoday.org/communitylreports.html.

Aragon-Durand, F., 2007: Urbanization and flood vulnerability in the peri-urban interface of Mexico City. Disasters, 31(4), 477-494.

Ariyabandu, M.M., 2006: Gender issues in recovery from the December 2004 Indian ocean tsunami: The case of Sri Lanka. Earthquake Spectra, 22(3), 759-775.

Armitage, D., M. Marschke, and R. Plummer, 2008: Adaptive co-management and the paradox of learning. Global Environmental Change, 18, 86-98.

Ascher, w., 1978: Forecasting: An appraisal for policy-makers and planners. Johns Hopkins Press, Baltimore, MD, 256 pp.

Asian Disaster Preparedness Centre, 2005: A Primer. Integrated Flood Risk Management in South EastAsia. Asian Disaster Preparedness Centre, Bangkok, Thailand.

Babugura, AA, 2008: Vulnerability of children and youth in drought disasters: A case study of Botswana. Children, Youth and Environments, 18(1), 126-157.

Balaban, V., 2006: Psychological assessment of children in disasters and emergencies. Disasters, 30, 178-198.

Bamdad, N., 2005: The Role of Community Knowledge in Disaster Management: The Bam Earthquake Lesson in Iran. Institute of Management and Planning Studies, Tehran, Iran.

Bankoff, B., 2007: Living with risk: Coping with disasters. Education about Asia, 12(2),26-29.

Bankoff, G., G. Frerks, and D. Hilhorst (eds.), 2004: Mapping vulnerability: Disasters, Development & People. Earthscan, London, UK.

Barbier, E.B., E.W. Koch, B.R. Silliman, S.D. Hacker, E. Wolanski, J. Primavera, E.F. Granek, S. Polasky, S. Aswani, LA Cramer, D.M. Stoms, c.J. Kennedy, D. Bael, C.V. Kappel, G.M.E. Perillo, and D.J. Reed, 2008: Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. Science, 319, 321-323.

Bari, F., 1998: Gender, disaster and empowerment: A case study from Pakistan. In: The Gendered Terrain of Disaster: Through Women's Eyes [Enarson, E.P. and B.H. Morrow (eds.)]. Praeger, Westport, CT, pp. 125-132.

Barnett, J., 2003: Security and climate change. Global Environmental Change, 13(1), 7-17.

Barnett, J. and W.N. Adger, 2007: Climate change, human security and violent conflict. Political Geography, 26, 639-655.

Barnett, J. and M. Webber, 2009: Accommodating Migration to Promote Adaptation to Climate Change. Commission on Climate Change and Development, Stockholm, Sweden.

Baro, M. and T. Deubel, 2006: Persistent hunger: Perspectives on vulnerability, famine, and food security in sub-Saharan Africa. Annual Review of Anthropology, 35, 521-538.

Barrett, C.B., 2002: Food security and food assistance programs. In: Handbook of Agricultural Economics [Gardner, B. and G. Rausser (eds.)]. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.

Barrett, E.J., M. Martinez-Cosio, and C.Y.B. Ausbrooks, 2008: The school as a source of support for Katrina-evacuated youth. Children, Youth and Environments, 18(1),202-236.

Bartlett, S., 2008: The implications of climate change for children in lower-income countries. Children, Youth and Environments, 18(1), 71-98.

Bateman, J.M. and B. Edwards, 2002: Gender and evacuation: A closer look at why women are more likely to evacuate for hurricanes. Natural Hazards Review, 3(3), 107-117.

Battista, F. and S. Baas, 2004: Consolidated Report on Case Studies and Workshop Findings. The Role of Local Institutions in Reducing Vulnerability to Recurrent Natural Disasters and in Sustainable Livelihoods Development. Rural Institutions and Participation Service, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

Baumhardt, F., R. Lasage, P. Suarez, and C. Chadza, 2009: Farmers become filmmakers: Climate change adaptation in Malawi. Participatory Learning and Action, 60, 129-138.

Beamon, B.M. and B. Balcik, 2008: Performance measurement in humanitarian supply chains. International Journal of Public Sector Management, 21(1), 4-25.

Berke, P.R. and 1 Beatley, 1992: A national assessment of earthquake mitigation: Implications for land use planning and public policy. Earthquake Spectra, 8, 1-17.

Berkes, F., 2008: Sacred Ecology. 2nd ed. Routledge, New York, NY.

Berkes, F., 2009: Evolution of co-management: Role of knowledge generation, bridging organizations and social learning. Journal of Environmental Management, 90(5), 1692-1702.

Berkes, F. and D. Jolly, 2001 :Adapting to climate change: Social-ecological resilience in a Canadian western Arctic community. Ecology and Society, 5(2), 18.

Berkhout, F., 2002: Technological regimes, path dependency and the environment. Global Environmental Change, PartA: Human and Policy Dimensions, 12(1), 1-4.

Berkhout, F., J. Hertin, and D. Gann, 2006: Learning to adapt: Organisational adaptation to climate change impacts. Climatic Change, 78(1), 135-156.

Bermejo, P.M., 2006: Preparation and response in case of natural disasters: Cuban programs and experience. Journal of Public Health Policy, 27(1), 13-21.

Bernard, S.M., J.M. Sarnet.A, Grambsch, K.L. Ebi, and I. Romieu, 2001: The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States. Environmental Health Perspectives, 109, 199-209.

Berube, A and B. Katz, 2005: Katrina's Window: Confronting Concentrated Poverty Across America. The Brookings Institution Metropolitan Policy Program, Washington, DC.

Birkland, lA, 1997: After disaster: Agenda Setting, Public Policy, and Focusing Events. Georgetown University Press, Washington, DC.

Birkmann, J., 2006: Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies. United Nations Publications, New York, NY.

Birkmann, J., MA Garschagen, F. Krass, and N. Quang, 2010: Adaptive urban governance-new challenges for the second generation of urban adaptation strategies to climate change. Sustainability Science, 5(2), 185-206.

Bizikova, L., 1 Neale, and I. Burton, 2008: Canadian Communities' Guidebook for Adaptation to Climate Change. Including an Approach to Generate Mitigation Co-Benefits in the Context of Sustainable Development. 1 st ed. Environment Canada and University of British Columbia, Vancouver, Canada, 100 pp.

Bohle, H.-G., 2001: Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography. Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, 2/2001.

Bohle, H., 1 Downing, and M. Watts, 1994: Climate change and social vulnerability: Toward a sociology and geography of food insecurity. Global Environmental Change, 4(1), 371-396.

Borden, KA and S.L. Cutter, 2008: Spatial patterns of natural hazards mortality in the United States. International Journal of Health Geographics, 7(64).

Boruff, B.J. and S.L. Cutter, 2007: The environmental vulnerability of Caribbean island nations. Geographical Review, 97(1), 24-45.

Botzen, WJ.W and J.c.J.M. van den Bergh, 2008: The insurance against climate change and flooding in The Netherlands: Present, future, and comparison with other countries. Risk Analysis, 28(2),413-426.

Botzen, W, J. Aerts, and J. van den Bergh, 2009: Willingness of homeowners to mitigate climate risk through insurance. Ecological Economics, 68, 2265-2277.

Bourque, L., J. Siegel, M. Kano, and M. Wood, 2006: Weathering the storm: The impact of hurricanes on physical and mental health. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604, 129-151.

Bowden, M., R.W Kates, PA Kay, WE. Riebsame, RA Warrick, D.L. Johnson, HA Gould, and D. Weiner, 1981: The effect of climatic fluctuations on human populations: Two hypotheses. In: Climate and History: Studies in Past Climates and their Impact on Man [Wigley, IM., M.J. Ingrams, and G. Farmer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 479-513.

Boyd, R. and M.E. Ibarraran, 2009: Extreme climate events and adaptation: An exploratory analysis of drought in Mexico. Environment and Development Economics, 14(3),371-396.

Brauer, M., 1999: Health impacts of biomass air pollution. In: Health Guidelines for Vegetation Fire Events [Goh, K.-l, D.H. Schwela, J.G. Goldammer, and O. Simpson (eds.)]. World Health Organization, Singapore.

Brenkert,AL. and E.L. Malone, 2005: Modeling vulnerability and resilience to climate change: A case study of India and Indian states. Climatic Change, 72(1-2), 57-102.

Brondizio, E., E. Ostrom, and O. Young, 2009: Connectivity and the governance of multilevel social-ecological systems: The role of social capital. Annual Review of Environment and Resources, 34, 253-278.

Brooks, N., 2003: Vulnerability, Risk andAdaptation:A Conceptual Framework. Tyndall Centre for Climate Change Research, University of EastAnglia, Norwich, UK.

Brown, D.L., 1999: Disparate effects of the 1989 Loma Prieta and 1994 Northridge earthquakes on hospital admissions for acute myocardial infarction: Importance of superimposition of triggers. American Heart Journal, 7(5), 830-836.

Brown, 0., 2008: Migration and Climate Change. International Organization for Migration, Geneva, Switzerland.

Brulle, R., 2010: From environmental campaigns to advancing the public dialogues: Environmenta l communication for civic engagement. Environmental Communication, 4(1), 82-98.

Buckland, J. and M. Rahman, 1999: Community-based disaster management during the 1997 Red River flood in Canada. Disasters, 23(3), 174-191.

Buhaug, H., 2010: Climate not to blame for African civil wars. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(38),16477-16482.

Bulkeley, H., 2006: A changing climate for spatial planning? Planning Theory and Practice, 7(2), 203-214.

Bull-Kamanga, L., K. Diagne, A Lavell, E. Leon, F. Lerise, H. MacGregor, A Maskrey, M. Meshack, M. Pelling, H. Reid, D. Satterthwaite, J. Songsore, K. Westgate, and A Yitambe, 2003: From everyday hazards to disasters: The accumulation of risk in urban areas. Environment and Urbanization, 15(1), 193-203.

Bullock, J., G. Haddow, and K. Haddow, 2009: Global Warming, Natural Hazards, and Emergency Management. CRC Press, Boca Raton, FL, 282 pp.

Burby, R.J. (ed.), 1998: Cooperating with Nature: Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities. Joseph Henry PresslNational Academy of Sciences, Washington, DC, 356 pp.

Burby, R.J., 2000: Creating hazard resilient communities through land-use planning. Natural Hazards Review, 1 (2), 99-106.

Burby, R.J., 2006: Hurricane Katrina and the paradoxes of government disaster policy: Bringing about wise government decisions for hazardous areas. Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604(1), 171-191.

Burby, R.J., May, P.J. with Berke, P. R., L.C. Dalton, S.P. French, and E.J. Kaiser, 1997: Making Government Plan: State Experiments in Managing Land Use. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.

Burch, S. and J. Robinson, 2007: A framework for explaining the links between capacity and action in response to global climate change. Climate Policy, 7(4), 304-316.

Burke, M.B., E. Miguel, S. Satyanath, JA Dykema, and D.B. Lobell, 2009: Warming increases the risk of civil war in Africa. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(49),20670-20674.

Burton, C. and S.L. Cutter, 2008: Levee failures and social vulnerability in the Sacramento-San Joaquin delta area, California. Natural Hazards Review, 9(3), 136-149.

Burton, I., R.W Kates, and G.F. White, 1993: The Environment as Hazard. 2nd ed. Guilford Press, New York, NY.

Burton, I., J. Soussan, and A Hammill, 2003: Livelihoods and Climate Change, Combining Disaster Risk Reduction, Natural Resource Management and Climate Change Adaptation in a New Approach to the Reduction of Vulnerability and Poverty. A Conceptual Framework Paper Prepared by the Task Force on Climate Change, Vulnerable Communities and Adaptation, International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Canada.

Burton, I., L. Bizikova, 1 Dickinson, and Y. Howard, 2007: Integrating adaptation into policy: Upscaling evidence from local to global. Climate Policy, 7(4),371-376.

Buvinic, M., G. Vega, M. Bertrand, A Urban, R. Grynspan, and G. Truitt, 1999: Hurricane Mitch: Women's Needs and Contributions. Sustainable Development Department Technical Papers Series, Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Byg, A. and J. Salick, 2009: Local perspectives on a global phenomenon - climate change in eastern Tibetian villages. Global Environmental Change, 19, 156-166.

Bynander, F., L. Newlove, and B. Ramberg, 2005: Sida and the Tsunami of 2004-A Study of Organizational Crisis Response. Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, Sweden.

Cabrera, V.E., N.E. Breuer, and P.E. Hildebrand, 2008: Participatory modeling in dairy farm systems: A method for building consensual environmental sustainability using seasonal climate forecasts. Climatic Change, 89, 395-409.

Cahill, K., 2007: The Pulse of Humanitarian Assistance. Fordham University Press, New York, NY.

Campbell, J.R., 1990: Disasters and development in historical context: Tropical cyclone response in the Banks Islands of northern Vanuatu. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 8(3), 401-424.

Campbell, J.R., 2006: Traditional Disaster Reduction in Pacific Island Communities. Institute of Geological and Nuclear Sciences Ltd., Avalon, New Zealand.

Campbell, J.R., 2010a: An overview of natural hazard planning in the Pacific island region. The Australasian Journal of Disaster and Trauma Studies, 2010(1).

Campbell, J.R., 2010b: Climate-induced community relocation in the Pacific: The meaning and importance of land. In: Climate Change and Displacement: Multidisciplinary Perspectives [McAdam, J. (ed.)]. Hart Publishing, Oxford, UK, pp. 57-79.

Campbell-Lendrum, D.,A Pruss-Ustun, and C. Corvalan, 2003: How much disease could climate change cause? In: Climate Change and Health: Risks and Responses [Campbell-Lendrum, D., C. Corvalan, K. Ebi, A Githeko, and J. Scheraga (eds.)]. World Health Organization, Geneva, Switzerland, pp. 133-158.

Cardona, O.D., 2007: Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean: Summary Report. Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Carney, E. (ed.), 1998: Sustainable Rural Livelihoods: What Contributions Can We Make? Department for International Development, London, UK.

Carraro, L., S. Khan, S. Hunt, G. Rawle, M. Robinson, M. Antoninis, and L. Street, 2003: Monitoring the Millennium Development Goals: Current Weaknesses and Possible Improvements. Oxford Policy Management, Department for International Development, Glasgow, Scotland.

Carter, M.R., P.D. Little, 1 Mogues, and W. Negatu, 2007: Poverty traps and natural disasters in Ethiopia and Honduras. World Development, 35(5), 835-856.

Cash, D.w. and S.c. Moser, 2000: Linking global and local scales: Designing dynamic assessment and management processes. Global Environmental Change, 10(2), 109-120.

Chambers, R. and G. Conway, 1992: Sustainable Rural Livelihoods: Practical Concepts for the 21st Century. Institute of Development Studies, Brighton, UK.

Chantarat, S., C.B. Barrett, AG. Mude, and c.G. Turvey, 2007: Using weather index insurance to improve drought response for famine prevention. American Journal of Agricultural Economics, 89(5), 1262-1268.

Cheong, S., 201 0: Initial responses to the MT Hebei-Spirit oil spill. Marine Technology Society Journal, 44(1), 69-74.

Cheong, S., 2011 a: Guest editorial: Coastal adaptation. Climatic Change, 106(1), 1-4.

Cheong, S., 2011 b: Policy solutions in the U.S. Climatic Change, 106(1), 57-70. Cherry, K.E. (ed.), 2009: Lifespan Perspectives on Natural Disasters: Coping with Katrina, Rita, and Other Storms. Springer, New York, NY.

Christoplos, I., 2006: The Elusive "Window of Opportunity" For Risk Reduction in Post-Disaster Recovery. In: ProVention Consortium Forum 2006, Bangkok, Thailand, 2-3 Feb 2006.

Churchill, C. (ed.), 2006: Protecting the Poor: A Microinsurance Compendium. International Labor Organization, Geneva, Switzerland.

Churchill, c., 2007: Insuring the low-income market: Challenges and solutions for commercial insurers. Geneva Papers on Risk and Insurance-Issues and Practice, 32(3),401-412.

Clark, G., S. Moser, S. Ratick, K. Dow, W. Meyer, S. Emani, W. Jin, J. Kasperson, R. Kasperson, and H. Schwartz, 1998: Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: The case of Revere, MA, USA Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 3(1), 59-82.

Clifton, D. and F. Gell, 2001: Saving and protecting lives by empowering women. Gender and Development, 9(1), 8-18.

Clot, N. and J. Carter, 2009: Disaster Risk Reduction:A Gender and Livelihood Perspective. Swiss Agency for Cooperation and Development, Berne, Switzerland, 13 pp.

Comfort, L.K., 1993: Integrating information technology into international crisis management and policy. Journal of Contingencies and Crisis Management, 1, 15-26.

Comfort, L., B. Wisner, S. Cutter, R. Pulwarty, K. Hewitt, A Oliver-Smith, J. Wiener, M. Fordham, W. Peacock, and F. Krimgold, 1999: Reframing disaster policy: The global evolution of vulnerable communities. Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, 1, 39-44.

Cooper, JAG. and J. McKenna, 2008: Social justice in coastal erosion management: The temporal and spatial dimensions. Geoforum, 39, 294-306.

Corbett, J., 1988: Famine and household coping strategies. World Development, 16(9),1099-1112.

Cova,JJ., F.A Drews, L.K. Siebeneck, and A Musters, 2009: Protective actions in wildfires: Evacuate or shelter in place? Natural Hazards Review, 10(4), 151-162.

Cox, J.R., C. Rosenzweig, W.D. Solecki, R. Goldberg, and P.L. Kinney, 2007: Social Vulnerability to Climate Change: A Neighborhood Analysis of the Northeast U.S. Megaregion. Union of Concerned Scientists, Cambridge, MA

Crabbe, P. and M. Robin, 2006: Institutional adaptation of water resource infrastructures to climate change in eastern Ontario. Climatic Change, 78(1), 103-133.

Cuny, F., 1983: Disasters and Development. Oxford University Press, New York, NY. Cupples, J., 2007: Gender and hurricane Mitch: Reconstructing subjectivities after disaster. Disasters, 21 (2), 155-175.

Curtis, A, J.w. Mills, and M. Leitner, 2007: Katrina and vulnerability: The geography of stress. Journal of Health Care for the Poor and Underserved, 18(2), 315-330.

Curtis,A,A Duval-Diop, and J. Novak, 201 0: Identifying spatial patterns of recovery and abandonment in the post-Katrina holy cross neighborhood of New Orleans. Cartography and Geographic Information Science, 37(1), 45-56.

Cutter, S.L., 1996: Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, 20, 529-539.

Cutter, S.L. (ed.), 2001: American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters. Joseph Henry PresslNational Academies of Science, Washington, DC.

Cutter, S.L. and M.M. Smith, 2009: Fleeing from the hurricane's wrath: Evacuation and the two Americas. Environment, 51(2),26-36.

Cutter, S.L., J.T. Mitchell, and M.S. Scott, 2000: Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina. Annals of the Association of American Geographers, 90(4), 713-737.

Cutter, S.L., B.J. Boruff, and W.L. Shirley, 2003: Social vulnerability to environmental hazards. Social Science Quarterly, 84(1), 242-261.

Dale, A and L. Newman, 2010: Social capital: A necessary and sufficient condition for sustainable community development? Community Development Journal, 45(1),5-21.

Darcy, J. and C. Hofmann, 2003: Humanitarian Needs Assessment and Decision-Making. HPG Report, Overseas Development Institute (ODI), London, UK, 1-74 pp.

Das, S. and J. Vincent, 2009: Mangroves protected villages and reduced death toll during Indian super cyclone. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(18),7357-7360.

Dash, N. and H. Gladwin, 2007: Evacuation decision making and behavioral responses: Individual and household. Natural Hazards Review, 8(3),69-77.

Davidson, C.H., C. Johnson, L. Gonzalo, N. Dikmen, and A Sliwinski, 2007:Truths and

myths about community participation in post-disaster housing projects. Habitat International, 31(1), 100-115.

Davies, M., 2009: DFID Social Transfers Evaluation Summary Report. Department for International Development, London, UK.

Davies, M. and J. Leavy, 2007: Connecting social protection and climate change adaptation. IDS in Focus, 2.

De Sherbinin,A,A. Schiller, and A Pulsipher, 2007:The vulnerability of global cities to climate hazards. Environment and Urbanization, 19(1), 39-64.

De Ville de Groyet, c., 2000: Stop propagating disaster myths. Lancet, 356(9231), 762-764.

Dekens, J., 2007: Local Knowledge for Disaster Preparedness: A Literature Review. Hillside Press, Kathmandu, Nepal, 85 pp.

DeLucena, A.F.P., A.S. Szklo, R. Schaeffer, R.R. de Souza, B. S. M. C. Borba, I. V. L. da Costa,A.O.P. Junior, and S. H. F. da Cunha, 2009: The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. Energy Policy, 37(3), 879-888.

Depradine, C.A and E.H. Lovell, 2004: Climatological variables and the incidence of dengue fever in Barbados. International Journal of Dengue Fever in Barbados, 14,429-441.

Dershem, L. and D. Gzirishvili, 1999: Informal social support networks and household vulnerability: Empirical findings from Georgia. World Development, 26(10), 1827-1838.

DeSalvo, K., D. Hyre, D. Om pad, A Menke, L. Tynes, and P. Muntner, 2007: Symptoms of posttraumatic stress disorder in a New Orleans workforce following Hurricane Katrina. Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine, 84(2), 142-152.

Development Initiatives, 2009: Global Humanitarian Assistance. Development Initiatives, Wells, Somerset, UK.

Devereux, S. and S. Coil-Black, 2007: DFID Social Transfers Evaluation. Review of Evidence and Evidence Gaps on the Effectiveness and Impacts of DFID¬Supported Pilot Social Transfer Schemes. Institute of Development Studies, Brighton, UK.

Devereux, S. and R. Sabates-Wheeler, 2004: Transformative Social Protection. Institute of Development Studies, Brighton, UK.

DFID, 2006: Eliminating World Poverty: Making Governance Work for the Poor: A White Paper on International Development. Department for International Development, London, UK.

Diaz, J., C. L6pez, J.C.Alberdi,A Jordan, R. Garcia, E. Hernandez, andA. Otero, 2002: Heat waves in Madrid 1986-1997: Effects on the health of the elderly. International Archives of Occupational & Environmental Health, 75(163-170). diFalco, S. and E. Bulte, 2009: Social Capital and Weather Shocks in Ethiopia: Climate Change and Culturally-Induced Poverty Traps. London School of Economics, London, UK.

Dixit, A, A Pokhrel, and M. Moench, 2008: From Risk to Resilience: Costs and Benefits of Flood Mitigation in the Lower Bagmati Basin: Case of Nepal Terai and North Bihar. ISET-Nepal and ProVention, Kathmandu, Nepal.

Dolan,AH. and I.J. Walker, 2004: Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks. In: Proceedings ofthe 8th International Coastal Symposium, Itajai, Brazil, 2004. Journal of Coastal Research, S39.

Dorosh, P., S. Malik, and M. Krausova, 2010: Rehabilitating Agriculture and Promoting Food Security Following the 2010 Pakistan Floods Insights from South Asian Experience. IFPRI Discussion Paper, World BankllInternational Food Policy Research Institute, Washington, DC. 26 pp.

Douglas, I., K. Alam, M. Maghenda, Y. Mcdonnell, L. Mclean, and J. Campbell, 2009: Unjust waters: Climate change, flooding and the urban poor in Africa. In: Adapting Cities to Climate Change [Bicknell, J., D. Dodman, and D. Satterthwaite (eds.)]. Earthscan, London, UK, pp. 201-224.

Dow, K. and S.L. Cutter, 1998: Crying wolf: Repeat responses to hurricane evacuation orders. Coastal Management, 26(4),237-252.

Dow, K. and S.L. Cutter, 2000: Public orders and personal opinions: Household strategies for hurricane risk assessment. Environmental Hazards, 2(4), 143-155.

Dow, K. and S.L. Cutter, 2002: Emerging hurricane evacuation issues: Hurricane Floyd and South Carolina. Natural Hazards Review, 3(1),12-18.

Downton, M.W and RA Pielke Jr., 2005: How accurate are disaster loss data? The case of U.S. flood damage. Natural Hazards, 35, 211-228.

Doyle, M.W, E.H. Stanley, D.G. Havlick, M.J. Kaiser, G. Steinbach, WL. Graf, G.E. Galloway, and JA Riggsbee, 2008: Aging infrastructure and ecosystem restoration. Science, 319(5861), 286-287.

Drabek, IE., 1986: Human System Responses to Disaster: An Inventory of Sociological Findings. Springer Verlag, New York, NY.

Drabek, IE., 1999: Understanding disaster warning responses. Social Science Journal, 36(3), 515-523.

Dube, O.P. and S. Sekhwela, 2008: Indigenous knowledge, institutions and practices for coping with variable climate in the Limpopo Basin of Botswana. In: Climate change and adaptation [Leary, N., J. Adejuwon, and V. Barros (eds.)]. Earthscan, Sterling, UK, pp. 71-89.

Dulal, H., G. Brodnig, G. Onoriose, and H. Thakur, 2010: Capitalising on Assets: Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Nepal. World Bank, Washington, DC.

Dynes, R., 2006: Social capital: Dealing with community emergencies. Homeland Security Affairs, 2(2), 1-26.

Eakin, H. and LA Bojorquez-Tapia, 2008: Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. Global Environmental Change, 18(1),112-127.

Ebi, K.L., 2008: Community-based adaptation to the health impacts of climate change. American Journal of Preventive Medicine, 35(5), 501-507.

Edmonds, A and S.L. Cutter, 2008: Planning for pet evacuations during disasters. Journal of Homeland Security and Emergency Management, 5(1), 33.

Eisenman, D.P., K.M. Cordasco, S.Asch, J.F. Golden, and D. Glik, 2007: Disaster planning and risk communication with vulnerable communities: Lessons from hurricane Katrina. American Journal of Public Health, 97(S1), S1 09-S115.

Eisensee, T. and D. Stromberg, 2007: News droughts, news floods, and U.S. disaster relief. The Quarterly Journal of Economics, 122(2), 693-728.

Elliott, J.R. and J. Pais, 2006: Race, class, and Hurricane Katrina: Social differences in human responses to disaster. Social Science Research, 35, 295-321.

Ellis, F., 2000: The determinants of rural livelihood diversification in developing countries. Journal of Agricultural Economics, 51(2),289-302.

Ellis, F. and E. Allison, 2004: Livelihood Diversification and Natural Resource Access. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

Enarson, E., 2000: We will make meaning out this: Women's cultural responses to the Red River valley flood. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 18(1), 39-64.

Enarson, E., 2009: Gender Mainstreaming in Emergency Management. Prairie Women's Health Centre of Excellence, Toronto, Canada.

Enarson, E., 2010: Gender. In: Social Vulnerability to Disasters [Phillips, B.D., D.S.K. Thomas, A Fothergill, and L. Blinn-Pike (eds.)]. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 123-154.

Enarson, E. and B.H. Morrow, 1997: A gendered perspective: The voices of women. In: Hurricane Andrew: Ethnology, Gender, and the Sociology of Disasters [Peacock, WG., B.H. Morrow, and H. Gladwin (eds.)]. Routledge, London, UK, pp. 116-140.

Enarson, E. and B.H. Morrow (eds.), 1998: The Gendered Terrain of Disaster: Through Women's Eyes. Praeger, Westport, CT.

Ensor, J. and R. Berger, 2009: Understanding Climate Change Adaptation: Lesson from Community-Based Approaches. Practical Action Publishing, Bourton-on¬Dunsmore, UK.

Ensor, M.O., 2008: Displaced once again: Honduran migrant children in the path of Katrina. Children, Youth and Environments, 18(1), 280-302.

Ericksen, N.J., 1986: Creating Flood Disasters? New lealand's Need for a New Approach to Urban Flood Hazard. Ministry of Works and Development, Wellingon, NZ.

Ericksen, N.J., J. Dixon, and P. Berke, 2000: Managing natural hazards under the resource management act. In: Environmental Planning and Management in New lealand [Memon, A and Perkins, H. (ed.)]. Dunmore Press, Palmerston North, UK, pp. 123-132.

Ericksen, N.J., K. O'Brien, and L. Rosentrater, 2008: Climate Change in Eastern and Southern Africa: Impacts, Vulnerability and Adaptation. GECHS Report. University of Oslo, Oslo, Norway.

Farrington, J. and R. Slater, 2009: ODI Social Protection Cash Transfers Series. Lump Sum Cash Transfers in Developmental and Post-Emergency Contexts: How Well have they Performed? Overseas Development Institute, London, UK, 1-26 pp.

Fearnside, P., 1995: Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of "greenhouse" gases. Environmental Conservation, 22, 7-19.

Fekete, A, 2009: Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. Natural Hazards and Earth Systems Science, 9, 393403.

FEMA, 1997: Multi Hazard Identification and Risk Assessment. Government Printing Office, Washington, DC.

Few, R. and F. Matthies, 2006: Flood hazards and health. Earthscan, London, UK. Finan, IJ. and D.R. Nelson, 2001: Making rain, making roads, making do: Public and private responses to drought in Ceara, Brazil. Climate Research, 19, 97-108.

Finch, e., e.1 Emrich, and S.L. Cutter, 2010: Disaster disparities and differential recovery in New Orleans. Population and Environment, 31,179-202.

Fischer, G., H. van Velthuizen, M. Shah, and F.O. Nachtergaele, 2002: Global Agro¬Ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg,Austria.

Fischhoff, B., 1992: What forecasts (seem to) mean. International Journal of Forecasting, 10,387-403.

Fischhoff, B., 2007: Nonpersuasive communication about matters of greatest urgency: Climate change. Environmental Science and Technology, 41(21), 7204-7208.

Ford, J., B. Srnit, and J. Wandel, 2006: Vulnerability to climate change in the Arctic: A case study from Arctic Bay, Canada. Global Environmental Change, 16(2), 145-160.

Forsyth, I and A Walker, 2008: Forest Guardians, Forest Destroyers: The Politics of Environmental Knowledge in Northern Thailand. University of Washington Press, Seattle, WA, pp. 302.

Fothergill, A, 1996: Gender, risk, and disaster. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 14(1), 33-56.

Fothergill, A, 1999: Women's role in disaster. American Behavioral Science Review, 7(2), 125-143.

Fothergill, A, 2004: Heads above Water: Gender, Class and Family in the Grand Forks Flood. SU NY Press, Albany, NY.

Fritze, J., G. Blashki, S. Burke, and J. Wieseman, 2008: Hope, despair and transformation: Climate change and the promotion of mental health and well-being. International Journal of Mental Health Systems, 2, 1-12.

Froukh, M.L., 2001: Decision-support system for domestic water demand forecasting and management. Water Resources Management, 15(6), 363-382.

Frumkin, H. and AJ. McMichael, 2008: Climate change and public health: Thinking, communicating, acting. American Journal of Preventive Medicine, 35(5), 403-410.

Fuchs, R., 2009: Cities at Risk: Developing Adaptive Capacity for Climate Change in Asia's Coastal Megacities. International START Secretariat and the East West Center, Washington, DC and Honolulu, HI.

Fulu, E., 2007: Gender, vulnerability, and the experts: Responding to the Maldives tsunami. Development and Change, 38(5), 843-864.

Gaillard, J.e. and M.L.c.J.D. Pangilinan, 2010: Participatory mapping for raising disaster risk awareness among the youth. Journal of Contingencies and Crisis Management, 18(3), 175-179.

Gall, M., KA Borden, and S.L. Cutter, 2009: When do losses count? Six fallacies of natural hazards loss data. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(6), 799-809.

Galloway, G.E.J., 2007: New directions in floodplain management. Journal of the American Water Resources Association, 31(3), 351-357.

Galloway, G.E.J., 2009: Corps of Engineers responses to the changing national approach to the floodplain management since the 1993 Midwest flood. Journal of Contemporary Water Research & Education, 130(1), 5-12.

Galloway, G.E., D.F. Boesch, and R.R. Twilley, 2009: Restoring and protecting coastal Louisiana. Issues in Science and Technology, 25(2).

Gedan, K.B., M.L. Kirwan, E. Wolanski, E.B. Barbier, and B.R. Silliman, 2011: The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: Answering recent challenges to the paradigm. Climatic Change, 106(1), 7-29.

Geiser, U. and S. Rist, 2009: Decentralization meets local complexity: Conceptual entry points, field-level findings, and insights gained. In: Decentralization Meets Local Complexity: Local Struggles, State Decentralization and Access to Natural Resources In South Asia And Latin America [Geiser, U. and S. Rist (eds.)]. Geographica BernesialSwiss National Centre of Competence in Research (NCCR) North-South, Berne, Switzerland, pp. 15-55.

Gething, P.w., D.L. Smith, AP. Patil, AJ. Tatem, R.w. Snow, and S.I. Hay, 2010: Climate change and the global malaria recession. Nature, 465, 342-345.

Godschalk, D.R., R. Norton, e. Richardson, and D. Salvesen, 2000: Avoiding coastal hazard areas: Best state mitigation practices. Environmental Geosciences, 7(1), 13-22.

Gornitz, V.N., R.e. Daniels, IW. White, and K.R. Birdwell, 1994: The development of a coastal assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast. Journal of Coastal Research, 12,327-338.

Greater London Authority, 2010: The Draft Climate Change Adaptation Strategy for London: Public Consultation Draft. Greater London Authority, London, UK.

Greene, S., n.d.: Community Owned Vulnerability and Capacity Assessment. World Vision, Nairobi, Kenya, .

Grothmann, I and A Patt, 2005: Adaptive capacity and human cognition: The process of individual adaptation to climate change. Global Environmental Change, PartA: Human and Policy Dimensions, 15(3), 199-213.

Guha-Sapir, D. and R. Below, 2002: The Quality and Accuracy of Disaster Data: A Comparative Analysis of Three Global Data Sets, ProVention Consortium, Geneva, Switzerland.

Haimes, Y., B. Horowitz, J. Lambert, J. Santos, e. Lian, and K. Crowther, 2005: Inoperability input-output model for interdependent infrastructure sectors. I: Theory and methodology. Journal of Infrastructure Systems, 11,67-79.

Hallegatte, S., 2008:An adaptive regional input-output model and its application to the assessment of the economic cost of Katrina. RiskAnalysis, 28(3), 779-799.

Hallegatte, S. and P. Dumas, 2009: Can natural disasters have positive consequences? Investigating the role of embodied technical change. Ecological Economics, 68(3),777-786.

Hallegatte, S., F. Henriet, and J. Corfee-Morlot, 2008a: The Economics of Climate Change Impacts and Policy Benefits at City Scale: A Conceptual Framework. OECD, Paris, France.

Hallegatte, S., N. Patmore, O. Mestre, P. Dumas, J. Corfee-Morlot, e. Herweijer, and R.M. Wood, 2008b: Assessing Climate Change Impacts, Sea Level Rise and Storm Surge Risk in Port Cities: A Case Study on Copenhagen. OECD, Paris, France.

Hallegatte, S., N. Ranger, O. Mestre, P. Dumas, J. Corfee-Morlot, e. Herweijer, and R. Muir Wood, 2011: Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: A case study on Copenhagen. Climatic Change, 104(1), 113-137.

Hamilton, J.P. and S.J. Halvorson, 2007: The 2005 Kashmir earthquake. Mountain Research and Development, 27(4),296-301.

Hammar-Klose, E. and R. Thieler, 2001: Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: A Preliminary Database for the US Atlantic, Pacific and Gulf Of Mexico Coasts. USGS, Woods Hole, MA

Handmer, J.w., 1987: Guidelines for floodplain acquisition. Applied Geography, 7(3),203-221.

Hartman, e. and G.D. Squires (eds.), 2006: There is no such thing as a natural disaster: Race, class, and Hurricane Katrina. Routledge, New York, NY.

Hasan, A, 2007: The urban resource center, Karachi. Environment and Urbanization, 19(1),275-292.

Heal, G., 1997: Discounting and climate change; an editorial comment. Climatic Change, 37(2), 335-343.

Heinrichs, D., R. Aggarwal, J. Barton, E. Bharucha, e. Butsch, M. Fragkias, P. Johnston, F. Kraas, K. Krellenberg, A Lampis, and O.G. Ling, 2009: Adapting Cities to Climate Change: Opportunities and Constraints (Findings from Eight Cities). Paper presented at Fifth Urban Research Symposium, Marseilles, France, 28-30 June 2009. World Bank, Washington De.

Heinz Center, 1999: The Hidden Costs of Coastal Hazards: Implications for Risk Assessment and Mitigation. Island Press, Washington, De.

Heinz Center, 2002: Human Links to Coastal Disasters. The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, Washington, De.

Hellmuth, M.E., D.E. Osgood, U. Hess, A. Moorhead, and H. Bhojwani (eds.), 2009: Index Insurance And Climate Risk: Prospects for Development and Disaster Management. Climate and Society No.2, International Research Institute for Climate and Society (IRI), Columbia University, New York, NY.

Helms, B., 2006: Access For All: Building Inclusive Financial Systems. World Bank, Washington, De.

Herweijer, e., N. Ranger, and R.E.I Ward, 2009: Adaptation to climate change: Threats and opportunities for the insurance industry. The Geneva Papers, 34(3), 360-380.

Hess, U. and J. Syroka, 2005: Weather-Based Insurance in Southern Africa: The Case of Malawi. World Bank, Washington, De.

Hewings, G.J.D. and R. Mahidhara, 1996: Economic impacts: Lost income, ripple effects, and recovery. In: The Great Flood of 1993: Causes, Impacts, Responses [Changnon, SA (ed.)]. Westview, Boulder, CO, pp. 205-217.

Hewitt, K., 1997: Regions of risk: A geographical introduction to disasters. Longman, Harlow, UK, 389 pp.

Hillhorst, D., 2002: Being good or doing good? Quality and accountability of humanitarian NGOs. Disasters, 26(3), 193-212.

Hoppe, P. and E. Gurenko, 2006: Scientific and economic rationales for innovative climate insurance solutions. Climate Policy, 6(6), 607-620.

Hordijk, M. and I. Baud, 2011: Inclusive adaptation: Linking participatory learning and knowledge management to urban resilience. Local Sustainability, 1(3), 111-121.

Horne, e., 2001: Sociological perspectives on the emergence of norms. In: Social Norms [Hechter, M. and K.-. Opp (eds.)]. Russell Sage Foundation, New York, NY, pp.3-34.

Hudson, P.F., H. Middelkoop, and E. Stouthamer, 2008: Flood management along the lower Mississippi and Rhine rivers (the Netherlands) and the continuum of geomorphic adjustment. Geomorphology, 101(2), 209-236.

Hughes, D.M., 2001: Cadastral politics: The making of community-based resource management in Zimbabwe and Mozambique. Development and Change, 32(4), 741-768.

Hugo, G., 1996: Environmental concerns and international migration. The International Migration Review, 30(1),105-131.

Hugo, G., 201 0: Climate change-induced mobility and the existing migration regime in Asia and the Pacific. In: Climate Change and Displacement. Multidisciplinary Perspectives [McAdam, J. (ed.)]. Hart, Oxford, UK, pp. 9-35.

Humanitarian Accountability Partnership International, 2011: 2010 Humanitarian Accountability Report. Humanitarian Accountability Partnership International, Geneva, Switzerland, 1 pp.

Hunter, L.M., 2005: Migration and environmental hazards. Population and Environment, 26(4),273-302.

Huq, S., S. Kovats, H. Reid, and D. Satterthwaite, 2007: Reducing risks to cities from disasters and climate change. Environment and Urbanization, 19(1),39-64.

Hwang, S., J. Xi, Y. Cao, X. Feng, and X. Qia, 2007: Anticipation of migration and psychological stress and the Three Gorges dam project, China. Social Science and Medicine, 65(5), 1012-1024.

Hwang, S., Y. Cao, and J. Xi, 201 0: Project-induced migration and depression: A panel analysis. Social Science and Medicine, 70(11), 1765-1772.

Hyder, A.A., S. Maman, H. Nyoni, SA Khasiani, N. Teoh, Z. Premji, and S. Sohani, 2005: The pervasive triad of food security, gender inequity and women's health: Exploratory research from Sub-Saharan Africa. African Health Sciences, 5(4), 328-334.

IeIMOD, 2009: Biodiversity and Climate Change. International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu, Nepal.

lORe, 2002: Population and Health in Developing Countries-Volume 1: Population, Health and Survival at INDEPTH Sites. International Development Research Centre, Ottawa, Canada.

IFRe, 1991: Working with Women in Emergency Relief and Rehabilitation Programmes. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland.

Inderberg, T.H. and P.O. Eikeland, 2009: Limits to adaptation: Analysing institutional constraints. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values and Governance [Adger, WN., I. Lorenzoni, and K. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 433-447.

Ingram, J., G. Franco, e.R. Rio, and B. Khazai, 2006: Post-disaster recovery dilemmas: Challenges in balancing short-term and long-term needs for vulnerability reduction. Environmental Science and Policy, 9(7-8), 607-613.

Intercooperation, 2008: Mali: Highlighting local coping strategies for drought. In: Gender Perspectives: Integrating Disaster Risk Reduction into Climate Change Adaptation Good Practices and Lessons Learned. United Nations Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, pp. 57-61.

IPee, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Iserson, K.V. and J.e. Moskop, 2007: Triage in medicine, part I: Concept, history, and types. Annals of Emergency Medicine, 49(3), 275-281.

Jacobs, L., F. Cook, and M. Carpini, 2009: Talking Together: Public Deliberation and Political Participation in America. University of Chicago Press, Chicago, IL.

Jha, A.K., J.D. Barenstein, P.M. Phelps, D. Pittet, and S. Sena, 2010: Safer Homes, Stronger Communities: A Handbook for Reconstructing After Natural Disasters. World Bank, Washington, DC. 370 pp.

Jones, L., S. Jaspars, S. Pavanello, E. Ludi, R. Slater, A. Arnall, N. Grist, and S. Mtisi, 2010: Responding to a Changing Climate: Exploring how Disaster Risk Reduction, Social Protection and Livelihoods Approaches Promote Features of Adaptive Capacity. ODI, London, UK.

Kabat, P., R.E. Schulze, M.E. Hellmuth, and JA Veraart (eds.), 2002: Coping with Impacts of Climate Variability and Climate Change in Water Management: A Scoping Paper. DWC-Report no. DWCSSO-01 (2002), International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate, Wageningen, The Netherlands, 114 pp.

Kallis, G., 2008: Droughts. Annual Review of Environment and Resources, 33, 85-118. Kang, S.J., S.J. Lee, and K.H. Lee, 2009: A study on the implementation of non¬structural measures to reduce urban flood damage. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 8(2), 385-392.

Kasperson, R.E. and J.X. Kasperson, 2001: Climate Change, Vulnerability, and Social Justice. Stockholm Environment Institute, Stockholm, Sweden.

Kasperson, R.E., O. Renn, P. Siovic, H.S. Brown, J. Emel, R. Goble, J.x. Kasperson, and S. Ratick, 1988: The social amplification of risk: A conceptual framework. Risk Analysis, 2, 177-187.

Kates, R.W, 2000: Cautionary tales: Adaptation and the global poor. Climatic Change, 45, 5-17.

Kates, R.W, e.E. Colten, S. Laska, and S.P. Leatherman, 2006: Reconstruction of New Orleans after Hurricane Katrina: A research perspective. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103, 14653-14660.

Kawachi, I. and L. Berkman, 2000: Social cohesion, social capital, and health. In: Social Epidemiology [Kawachi, I. and L. Berkman (eds.)]. Oxford University Press, New York, NY, pp. 174-190.

Kazama, S., A. Sato, and S. Kawagoe, 2009: Evaluating the cost of flood damage based on changes in extreme rainfall in Japan. Sustainability Science, 4(1), 61-69.

Keraminiyage, K., S. Jayasena, R. Haigh, and D. Amaratunga (eds.), 2008: Post Disaster Recovery Challenges in Sri Lanka. School of the Built Environment, University of Salford, UK.

Kingsford, R.T., 2000: Ecological impacts of dams, water diversions and river management on floodplain wetlands in Australia. Austral Ecology, 25(2), 109-127.

Koelle, K., M. Pascual, and M.D. Yunus, 2004: Pathogen adaptation to seasonal forcing and climate change. Proceedings of the Royal Society, 272(1566), 971-977.

Kovac, G. and K.M. Spens, 2007: Humanitarian logistics in disaster relief operations. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 37(2), 99-114.

Kraas, F., S. Aggarwal, M. Coy, G. Heiken, E. de Mulder, B. Marker, K. Nenonen, and W Yu, 2005: Megacities-our Global Urban Future. Earth Sciences for Society Foundation, International Year for Planet Earth, Leiden, The Netherlands.

Kreps, GA, 1985: Disaster and the social order. Sociological Theory, 3, 49-64. Kristjanson, P., R. Reid, N. Dickson, W Clark, D. Romney, R. Puskur, S. MacMillan, and D. Grace, 2009: Linking international agricultural research knowledge with action for sustainable development. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(13), 5047-5052.

Kryspin-Watson, J., J. Arkedis, and W Zakout, 2006: Mainstreaming Hazard Risk Management into Rural Projects. Disaster Risk Management. World Bank, Washington, De.

Kull, D., 2006: Financial services for disaster risk management for the poor. In: Micro-Finance and Disaster Risk Reduction [Bhatt, M. and P.G.D. Chakrabarti (eds.)]. Knowledge World, Delhi, India, pp. 39-64.

Kunreuther, H.e., E.O Michel-Kerjan, with NA Doherty, M.F. Grace, R.W. Klein, and M.V. Pauly, 2009: At War With the Weather: Managing Large-Scale Risks in a New Era of Catastrophes. MIT Press, Cambridge, MA

Laczko, F. and e. Aghazarm (eds.), 2009: Migration, Environment and Climate Change: Assessing the Evidence. International Organization for Migration, Geneva, Switzerland.

Lafferty, K.D., 2009: The ecology of climate change and infectious diseases. Ecology, 90, 888-900.

Lambin, E.F., B.L. Turner, H.J. Geist, S.B. Agbola, A Angelsen, J.w. Bruce, O.I Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, e. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. u E.F. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, H. Richards, H. Skanes, w. Steffen, G.D. Stone, U.S. Svedin, IA Veldkamp, e. Vogel, and J. Xu, 2001: The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. Global Environmental Change, 11(4), 261-269.

Lambrew, J.M. and D.E. Shalala, 2006: Federal health policy response to Hurricane Katrina: What it was and what it should have been. Journal of the American Medical Association, 296, 1394-1397.

Langsdale, S.M., A Beall, J. Carmichael, S.J. Cohen, e.B. Forster, and I Neale, 2009: Exploring the implications of climate change on water resources through participatory modeling: Case study of the Okanagan Basin, British Columbia. Journal of Water Resources Planning and Management, 135(5), 373-382.

Lauten, AW. and K. Lietz, 2008: A look at standards gap: Comparing child protection responses in the aftermath of Hurricane Katrina and the Indian Ocean tsunami. Children, Youth and Environments, 18(1), 158-201.

Leach, M., R. Mearns, and I. Scoones, 1999: Environmental entitlements: Dynamics and institutions in community-based natural resource management. World Development, 27(2), 225-247.

Lecomte, E. and K. Gahagan, 1998: Hurricane insurance protection in Florida. In: Paying the Price: The Status and Role of Insurance Against Natural Disasters in the United Sates [Kunreuther, H. and R. Roth Sr. (eds.)]. Joseph Henry Press, Washington, DC. pp. 97-124.

Leiserowitz, A, 2007: Communicating the risks of global warming: American risk perceptions, affective images and interpretive communities. In: Creating a Climate for Change [Moser, S. and L. Dilling, L. (eds.)]. Cambridge University Press, New York, NY, pp. 44-63.

Lichterman, J.D., 2000: A "community as resource" strategy for disaster response. Public Health Reports, 115(2-3),262-265.

Lin, N., 2001: Building a network theory of social capital. In: Social capital: Theory and research [Lin, N., K.S. Cook, and R.S. Burt (eds.)]. Transaction Press, New Brunswick, NJ, pp. 3-30.

Lindell, M.K. and R.W. Perry, 1992: Behavioral Foundations of Community Emergency Management. Hemisphere Publishing Corp., Washington, De.

Lindell, M.K. and R.W. Perry, 1996: Identifying and managing conjoint threats. Journal of Hazardous Materials, 50,31-46.

Lindell, M.K. and R.w. Perry, 2004: Communicating Environmental Risk in Multiethnic Communities. Sage Publications, Thousand Oaks, CA

Lindell, M.K. and e.s. Prater, 2003:Assessing community impacts of natural disasters. Natural Hazards Review, 4, 176-185.

Lindell, M.K. and D.J. Whitney, 2000: Correlates of household seismic hazard adjustment adoption. Risk Analysis, 20, 13-25.

Lindell, M.K., J. Lu, and e.s. Prater, 2005: Household decision making and evacuation in response to Hurricane Lili. Natural Hazards Review, 6(4), 171-179.

Linnerooth-Bayer, J. and R. Mechler, 2009: Insurance Against Losses from Natural Disasters in Developing Countries. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York, NY and Geneva, Switzerland.

Linnerooth-Bayer, J., e. Bals, and R. Mechler, 2010: Insurance as part of a climate adaptation strategy. In: Making Climate Change Work for Us [Hulme, M. and H. Neufeldt (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 340-366.

Lloyds of London, 2008: Coastal Communities and Climate Change: Maintaining Future Insurability. 360 Degree Risk Project Report, Lloyd's of London, London, UK.

Lonsdale, K.G., I Downing, R. Nicholls, D. Parker, M.e. Uyarra, R. Dawson, and J. Hall, 2008: Plausible responses to the threat of rapid sea-level rise for the Thames estuary. Climatic Change, 91(1-2), 145-169. 332

Luna, E., 2001: Disaster mitigation and preparedness: The case of NGOs in the Philippines. Disasters, 25(3),216-226.

Lunch, N. and e. Lunch, 2006: Insights into Participatory Video: A Handbook for The Field. Insight, Oxford, UK.

Lund, J.R. and R.U. Reed, 1995: Drought water rationing and transferable rations. Journal of Water Resources Planning and Management, 121(6), 429-437.

Lundqvist, L.J. and e.v. Borgstede, 2008: Whose responsibility? Swedish local decision makers and the scale of climate change abatement. Urban Affairs Review, 43(3), 299-324.

Macchi, M., G. Oveido, S. Gotheil, K. Cross, A Boedhihartono, e. Wolfangel, and M. Howell, 2008: Indigenous and Traditional Peoples and Climate Change. IUCN Issues Paper, IUCN, Gland, Switzerland.

Maibach, E., e. Roser-Renouf, and A Leiserowitz, 2008: Communication and marketing as climate change - intervention assets: A public health perspective. American Journal of Preventive Medicine, 35(5), 488-500.

Manyena, S.B., M. Fordham, and A Collins, 2008: Disaster resilience and children: Managing food security in Zimbabwe's Binga District. Children, Youth and Environments, 18(1), 303-331.

Marx, S., E. Wever, B. Orlove,A Leiserowitz, D. Krantz, e. Roncoli, and J. Phillips, 2007: Communication and mental processes: Experiential and analytic processing of uncertain climate information. Global Environmental Change, 17, 47-58.

Masozera, M., M. Bailey, and e. Kerchner, 2007: Distribution of impacts of natural disasters across income groups: A case study of New Orleans. Ecological Economics, 63(2-3), 299-306.

May, P. and R. Burby, 1998: Making sense out of regulatory reform. Law and Policy, 20(2), 158-182.

McAdoo, B., A Moore, and J. Baumwoll, 2009: Indigenous knowledge and the near field population. Natural Hazards, 48, 73-82.

McCall, M., 2008: Participatory Mapping and Participatory GIS (PGIS) for CRA, Community DRR and Hazard Assessment. ProVention Consortium, CRA Toolkit, Participation Resources, Geneva, Switzerland.

McCall, M.K., 2010: Local participation in mapping, measuring and monitoring for community carbon forestry. In: Community Forest monitoring for the Carbon Market: Opportunities Under REDD [Skutch, M. (ed.)]. Routledge, London, UK, pp. 31-44.

McCormick, S., 2009: From "politico-scientists" to democratizing science movements: The changing climate of citizens and science. Organization and Environment, 22(1),34-51.

McCormick, S., 2010: Hot or not? Obstacles to the emergence of climate-induced illness movements. In: Social Movements and Health Care in the United States [Zald, J.B.-.a.S.L.M. (ed.)]. Oxford University Press, Oxford, UK.

McCormick, S., 2011: Damming the Amazon: Local movements and transnational struggles over water. Society & Natural Resources, 24(1), 34-48.

McGee, IK. and S. Russell, 2003: "It's just a natural way of life ... n an investigation of wildfire preparedness in rural Australia. Environmental Hazards, 5(1-2), 1-12.

McGregor, D., D. Simon, and D. Thompson (eds.), 2006: The Peri-Urban Interface: Ap-

proaches to Sustainable Natural and Human Resource Use. Earthscan, London, UK.

McGuire, L., E. Ford, and e. Okoro, 2007: Natural disasters and older US adults with disabilities: implications for evacuation. Disasters, 31(1), 49-56.

McKinsey Group, 2009: Shaping Climate Resilient Development: A Framework for Decision Making. Climate Works Foundation, Global Environment Facility, European Commission, McKinsey & Company, Rockefeller Foundation, and Swiss Re, 164 pp.

McLeman, R. and B. Srnit, 2006: Migration as an adaptation to climate change. Climatic Change, 76,31-53.

McMichael, AJ., R.E. Woodruff, and S. Hales, 2006: Climate change and human health: Present and future risks. Lancet, 367, 859-869.

McMichael, AJ., S. Friel, A. Nyong, and e. Corvalan, 2008: Global environmental change and health: Impacts, inequalities, and the health sector. British Medical Journal, 336, 191-194.

McTaggart-Cowan, R., L.F. Brosart, e.A. Davis, E.H. Atallah, J.R. Gyakum, and KA Emanuel, 2006: Analysis of Hurricane Catarina (2004). Monthly Weather Review, 134(11), 3029-3053.

Meehl, GA, T.F. Stocker, WD. Collins, P. Friedlingstein, Al Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson,A.J. Weaver, and Z-. Zhao, 2007: Global climate projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon,S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, pp. 747-845.

Meheux, K., D. Dominey-Howes, and K. Lloyd, 2010: Operational challenges to community participation in post-disaster damage assessments: Observations from Fiji. Disasters, 34(4), 1102-1122.

Mercer, J., I. Kelman, K. Lloyd, and S. Suchet-Pearson, 2008: Reflections on use of participatory research for disaster risk reduction. Area, 40(2), 172-183.

Middlekoop, K., L. Meyer, J. Srnit, R. Wood, and L. Bekker, 2006: Design and evaluation of a drama-based intervention to promote voluntary counseling and H IV testing in a South African community. Sexually Transmitted Diseases, 33(8), 524-526.

Milbert, E., 2006: Slums, slum dwellers and multilevel governance. European Journal of Development Research, 18(2),299-318.

Mileti, D.S., 1999: Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards In the United States. Joseph Henry Press, Washington, DC.

Mileti, D.S. and C. Fitzpatrick, 1993: The Great Earthquake Experiment: Risk Communication and Public Action. Westview Press, Boulder, CO.

Mileti, D.S. and P.W O'Brien, 1992: Warnings during disaster: Normalizing communicated risk. Social Problems, 39, 40-57.

Mileti, D.S. and LA Peek, 2002: Understanding individual and social characteristics in the promotion of household disaster preparedness. In: New Tools for Environmental Protection: Education, Information, and Voluntary Measures [Dietz, I and P.c. Stern (eds.)]. The National Academies Press, Washington, DC. pp. 125-140.

Mileti, D.S. and J.H. Sorensen, 1990: Communication of Emergency Public Warnings: A Social Science Perspective and State-Of-The-Art Assessment. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.

Mills, MA, D. Edmonson, and C.L. Park, 2007: Trauma and stress response among Hurricane Katrina evacuees. American Journal of Public Health, 97(S1), 5116-5123.

Mirza, M.M.Q., 2003: Climate change and extreme weather events: Can developing countries adapt? Climate Policy, 3, 233-248.

Mitchell, J.K., 1988: Confronting natural disasters: An international decade for natural hazard reduction. Environment, 30(2), 25-29.

Mitchell, J.K. (ed.), 1999: Crucibles of Hazard: Mega-cities and Disasters in Transition. United Nations University Press, Tokyo, Japan.

Mitchell, J.K., 2003: European river floods in a change world. Risk Analysis, 23, 567-574.

Mitchell, I and M. van Aalst, 2008: Convergence of Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation. UK Department for International Development, London, UK.

Mitchell, I, K. Haynes, W Choong, N. Hall, and K. Oven, 2008: The role of children and youth in communicating disaster risk. Children, Youth and Environments, 18(1),254-279.

Moench, M. and A Dixit (eds.), 2004: Adaptive Capacity and Livelihood Resilience: Adaptive Strategies for Responding To Floods and Droughts in South Asia. Institute for Social and Environmental Transition, Kathmandu, Nepal.

Moench, M. and Risk to Resilience Study Team, 2008: From Risk to Resilience: Understanding the Costs and Benefits of Disaster Risk Reduction Under Changing Climatic Conditions. Working Paper 9, ProVention and ISET, Geneva, Switzerland.

Montz, B.E. and G.A. Tobin, 2008: Living large with levees: Lessons learned and lost. Natural Hazards Review, 9(3), 150-157.

Morgan, J., 1994: Sudanese refugees in Koboko. Gender and Development, 2(1), 41-44.

Morrow, B.H. and E. Enarson, 1996: HurricaneAndrew through women's eyes: Issues and recommendations. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 14(1), 5-22.

Moser, S.c., 2009: Whether our are levers are long enough and the fulcrum strong? Exploring the soft underbelly of adaptation decisions and actions. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, WN., I. Lorenzoni, and K. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 313-334.

Moser, s. and L. Dilling, 2007: Creating a Climate for Change: Communicating Climate Change and Facilitating Social Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Moser, s.c. and J.A. Ekstrom, 2010: A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(51), 22026-22031.

Moynihan, D.P., 2009: The network governance of crisis response: Case studies of incident command systems. Public Administration Review, 19(4), 895-915.

Mukheibir, P. and G. Ziervogel, 2007: Developing a municipal adaptation plan (MAP) for climate change: The city of Cape Town. Environment and Urbanization, 19(1),143-158.

Munich Re Group, 2004: Megacities-Megarisks: Trends and Challenges for Insurance and Risk Management. Munich Re Group, Munich, Germany.

Mustafa, D., 1998: Structural causes of vulnerability to flood hazard in Pakistan. Economic Geography, 74(3),289-305.

Mutton, D. and C.E. Haque, 2004: Human vulnerability, dislocation and resettlement: Adaptation processes of river-bank erosion-induced displacees in Bangladesh. Disasters, 28(1),41-62.

Myers, C.A, I Slack, and J. Singlemann, 2008: Social vulnerability and migration in the wake of disaster: The case of Hurricanes Katrina and Rita. Population and Environment, 29, 271-291.

Nakagawa, Y. and R. Shaw, 2004: Social capital: A missing link to disaster recovery. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 22(1), 5-34.

Nelson, E., G. Mendoza, J. Regetz, S. Polasky, H. Tallis, D.R. Cameron, K.MA Chan, G.c. Daily, J. Goldstein, P.M. Kareiva, E. Lonsdorf, R. Naidoo, IH. Ricketts, and M.R. Shaw, 2009: Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. Frontiers in Ecology and Environment, 7(1), 4-11.

Neria, Y., S. Galea, and F.H. Norris (eds.), 2009: Mental Health and Disasters. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Neumayer, E. and I Plumper, 2007: The gendered nature of natural disasters: The impact of catastrophic events on the gender gap in life expectancy, 1981-2002. Annals of the Association of American Geographers, 97(3), 551-566.

Ngo, E.B., 2001: When disasters and age collide: Reviewing vulnerability of the elderly. Natural Hazards Review, 2(2), 80-89.

Nicholls, R., R.S.J. Tol, and A Vafeidis, 2008: Global estimates of the impact of a collapse of the west Antarctic ice sheet: An application of FUND. Climatic Change, 91(1-2), 171-190.

Nicholson-Cole,S., 2004: Representing climate change futures: A critique on the use of images for visual communication. Computers, Environment and Urban Systems, 29,255-273.

Niepold, F., D. McConville, and D. and Herring, 2008: The role of narrative and geospatial visualization in fostering climate literate citizens. Physical Geography, 29, 255-273.

NOAA, 2007: Construction Setbacks. National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Ocean and Coastal Resource Management, Washington, DC.

Nordas, R. and N.P. Gleditsch, 2007: Climate change and conflict. Political Geography, 26, 627-638.

Nordhaus, WD., 2007: Review: A review of the "Stern review on the economics of climate change." Journal of Economic Literature, 45(3), 686-702.

Nordstrom, K.F., 2000: Beaches and Dunes of Developed Coasts. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Nordstrom, K.F., 2008: Beach and Dune Restoration. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Norgaard, K., 2009: Cognitive and Behavioral Challenges in Responding to Climate Change. The World Bank, Washington, DC.

North, D.C., 1990: Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Noy, I. and T. Vu, 2010: The economics of natural disasters in a developing country: The case of Vietnam. Journal of Asian Economics, 21, 345-354.

NRC, 1989: Improving Risk Communication. National Research Council, National Academies Press, Washington, De.

NRC, 2006: Facing Hazards and Disasters: Understanding Human Dimensions. National Research Council, National Academy Press, Washington, De.

NRC, 2007: Tools and Methods for Estimating Populations at Risk from Natural Disasters and Complex Humanitarian Crises. National Research Council, National Academies Press, Washington, De.

Oba, G., 2001: The importance of pastoralists' indigenous coping strategies for planning drought management in the arid zone of Kenya. Nomadic Peoples, 5(1),89-119.

Obasi, G.O.P., 2005: The impacts of ENSO in Africa. In: Climate Change and Africa [Low, P.S. (ed.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 218- 230.

O'Brien, G., T. Devisscher, and P. O'Keefe, 2011: The Adaptation Continuum: Groundwork for the Future. Lambert Academic Publishing, Germany.

O'Brien, K., R. Leichenko, U. Kelkar, H. Venema, G. Aandahl, H. Tompkins, A Javed, S. Bhadwal, S. Barg, L. Nygaard, and J. West, 2004: Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India. Global Environmental Change, 14(4), 303-313.

O'Brien, P. and D.S. Mileti, 1992: Citizen participation in emergency response following the Loma Prieta earthquake. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 10(1), 71-89.

Oettle, N.,A Arendse, B. Koelle, and A Van Der Poll, 2004: Community exchange and training in the Suid Bokkeveld: A UNCCD pilot project to enhance livelihoods and natural resource management. Environmental Monitoring and Assessment, 99(1-3), 115-125.

O'Keefe, P., K. Westgate, and B. Wisner, 1976: Taking the naturalness out of natural disasters. Nature, 260(5552), 566-567.

Okuyama, Y., 2004: Modeling spatial economic impacts of an earthquake: Input-output approaches. Disaster Prevention and Management, 13,297-306.

Oloruntoba, R., 2005: A wave of destruction and the waves of relief: Issues, challenges and strategies. Disaster Prevention and Management, 14(4), 506-521.

Olsen, G.R., N. Carstensen, and K. Heyen, 2003: Humanitarian crises:What determines the level of emergency assistance? Media coverage, donor interests and the aid business. Disasters, 27(2), 109-126.

Olshansky, R.B. and J.D. Kartez, 1998: Managing land use to build resilience. In: Cooperating with Nature: Confronting Natural Hazards with Land Use Planning for Sustainable Communities [Burby, R. (ed.)]. Joseph Henry Press, Washington, DC, pp. 167-201.

Olson, R., 2000: Towards a politics of disaster: Losses, values, agendas and blame. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 18, 265-287.

O'Neill, M.S. and K.L. Ebi, 2009: Temperature extremes and health: Impacts of climate variability and change in the United States. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 51(1), 13-25.

Opperman, J.J., G.E. Galloway, J. Fargione, H. Mount, B.D. Richter, and S. Secchi, 2009: Sustainable floodplains through large-scale reconnection to rivers. Science, 326, 1487-1488.

Osman-Elasha, B., 2006a: Project AF14,-Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change. Environmental Strategies to Increase Human Resilience to Climate Change: Lessons for Eastern and Northern Africa, Final Report. International START Secretariat, Washington, De.

Osman-Elasha, B., 2006b: Human Resilience to Climate Change: Lessons for Eastern and Northern Africa. International START Secretariat, Washington, De.

Osman-Elasha, B. and lE. Downing, 2007: Lessons Learned in Preparing National Adaptation Programmes of Action in Eastern and Southern Africa. SEI Oxford Working Paper, Stockholm Environment Institute, Oxford, UK.

Osman-Elasha, B. and A EI Sanjak, 2009: Global climate changes: Impacts on water resources and human security in africa. In: Environment and Conflict in Africa: Reflections on Darfur [Leroy, M. (ed.)]. University for PeacelAfrica Programme, Addis Ababa, Ethiopia, pp. 406-427.

Osman-Elasha, B., N. Goutbi, E. Spanger-Siegfried, W Dougherty, A Hanafi, S. Zakieldeen,A Sanjak, HAAtti, and H.M. Elhassan, 2006: Adaptation Strategies to Increase Human Resilience Against Climate Variability and Change: Lessons from the Arid Regions of Sudan. AIACC, International START Secretariat, Washington, De.

Oxfam, 2009: Exposed: Social Vulnerability and Climate Change in the US Southeast.

Oxfam America, Boston, MA Pahl-Wostl, e., J. Sendzimir, P. Jeffrey, J. Aerts, G. Berkamp, and K. Cross, 2007: Managing change toward adaptive water management through social learning. Ecology and Society, 12(2), 23/06/2010-30.

Palen, L., S. Vieweg, J. Sutton, S.B. Liu, and A Hughes, 2007: Crisis informatics: Studying crises in a networked world. In: Third International Conference on e-Social Science, Ann Arbor, MI, 7-9 October 2007.

Parati, G., R. Antonicelli, F. Guazzarotti, E. Paciaroni, and G. Mancia, 2001: Cardiovascular effects of an earthquake: Direct evidence by ambulatory blood pressure monitoring. Hypertension, 38(5), 1093-1095.

Parkinson, AJ. and J.e. Butler, 2005: Potential impacts of climate change on infectious diseases in the Arctic. International Journal of Circumpolar Health, 64,478-486.

Patino, L. and D. Gauthier, 2009: Integrating local perspectives into climate change decision making in rural areas of the Canadian prairies. International Journal of Climate Change Strategies and Management, 1 (2), 179-196.

Patt, AG., 2009: Learning to crawl: How to use seasonal climate forecasts to build adaptive capacity. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, WN., I. Lorenzoni, and K. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Patt, AG. and e. Gwata, 2002: Effective seasonal forecast applications: Examining constraints for subsistence farming in Zimbabwe. Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions, 12, 185-195.

Patt, A and D. Schriiter, 2008: Perceptions of climate risk in Mozambique: Implications for the success of adaptation and coping strategies. Global Environmental Change, 18, 458-467.

Patt, A.G., N. Peterson, M. Carter, M. Velez, U. Hess, and P. Suarez, 2009: Making index insurance attractive to farmers. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 14, 737-757.

Patz, JA, D. Campbell-Lendrum, T. Holloway, and JA Foley, 2005: Impact of regional climate change on human health. Nature, 438, 310-317.

Paul, B.K. and S. Dutt, 2010: Hazard warnings and responses to evacuation orders: The case of Bangladesh's Cyclone Sidr. Geographical Review, 100(3), 336-355.

Paul, B.K., H. Rashid, M.S. Islam, and L.M. Hunt, 2010: Cyclone evacuation in Bangladesh: Tropical Cyclones Gorky (1991) vs. Sidr (2007). Environmental Hazards, 9(1),89-101.

Paulson, D.D., 1993: Hurricane hazard in western Samoa. Geographical Review, 83(1),43-53.

Peacock, W, B.H. Morrow, and H. Gladwin (eds.), 1997: Hurricane Andrew: Ethnicity, Gender, and the Sociology of Disasters. Routledge, London, UK.

Pearce, D. and D. Moran, 1994: The economic value of biodiversity. Earthscan Publications Ltd., London, UK, 172 pp.

Pelling, M., 2003: The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience. Earthscan, London, UK.

Pelling, M., 2007: Learning from others: The scope and challenges for participatory disaster risk assessment. Disasters, 31(4), 373-385.

Pelling, M. and K. Dill, 2010: Disaster politics: Tipping points for change in the adaptation of sociopolitical regimes. Progress in Human Geography, 34(1), 21-37.

Pelling, M. and e. High, 2005: Understanding adaptation:What can social capital offer assessments of adaptive capacity? Global Environmental Change, 15, 308-319.

Pelling, M., e. High, J. Dearing, and D. Smith, 2008: Shadow spaces for social learning: A relational understanding of adaptive capacity to climate change within organisations. Environment and Planning A, 40(4), 867-884.

Penning-Rowsell, E.e., e. Johnson, and S.M. Tunstall, 2006: Signals from pre-crisis discourse: Lessons from UK flooding for global environmental policy change? Global Environmental Change, 16,323-339.

Perch-Nielson, S.L., M.B. Battig, and D. Imboden, 2008: Exploring the link between climate change and migration. Climatic Change, 91(3-4), 375-393.

Perry, R.w. and M.K. Lindell, 1991: The effects of ethnicity on evacuation decision making. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 9(1), 47-68.

Perry, R.w. and M.K. Lindell, 1997: Principles for managing community relocation as a hazard mitigation measure. Journal of Contingencies and Crisis Management, 5(1),49-59.

Petal, M., R. Green, I. Kelman, R. Shaw, and A Dixit, 2008: Community-based construction for disaster risk reduction. In: Hazards and the Built Environment: Attaining Built-In Resilience [Bosher, L. (ed.)]. Routledge, London, UK, pp. 191-217.

Pettenger, M.E., 2007: The Social Construction of Climate Change: Power, Knowledge, Norms, Discourses. Ashgate Publishers, Hampshire, UK.

Pfefferbaum, B., J.B. Houston, K.F. Wyche, R.L. Van Horn, G. Reyes, H. Jeon¬Slaughter, and e.s. North, 2008: Children displaced by Hurricane Katrina: A focus group study. Journal of Loss & Trauma, 13(4), 303-318.

Pielke Jr., RA, J. Gratz, e.w. Landsea, D. Collins, MA Saunders, and R. Musulin, 2008: Normalized hurricane damage in the United States: 1900-2005. Natural Hazards Review, 9, 29-42.

Plush, 1,2009: Amplifying children's voices on climate change: The role of participatory video. Participatory Learning and Action, 60, 119-128.

Podesta, G., D. Letson, e. Messina, F. Royce, R.A. Ferreyra, J. Jones, J. Hansen, I. Llovet, M. Grondona, and J.J. O'Brien, 2002: Use of ENSO-related climate information in agricultural decision making in Argentina: A pilot experience. Agricultural Systems, 74, 371-392.

Polack, E., 2008: A right to adaptation: Securing the participation of marginalized groups. IDS Bulletin, 39(4), 16-23.

Pomeroy, R.S., B.D. Ratner, S.J. Hall, J. Pimoljind, and V. Vivekanandan, 2006: Coping with disaster: Rehabilitating coastal livelihoods and communities. Marine Policy, 30(6), 786-793.

Portes, A and P. Landolt, 1996: The downside of social capital. The American Prospect, 26, 18-21.

Postel, S.L., G.e. Daily, and P.R. Ehrlich, 1996: Human appropriation of renewable fresh water. Science, 271(5250), 785-788.

Prabhakar, S.V.R.K., A Srinivasan, and R. Shaw, 2009: Climate change and local level disaster reduction planning: Need, opportunities and challenges. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 14, 7-33.

Prasad, N., F. Ranghieri, F. Shah, Z. Trohanis, E. Kessler, and R. Sinha, 2009: Climate Resilient Cities:A Primer On Reducing Vulnerabilities. World Bank, Washington, De.

Priest, S.J., M.J. Clark, and E.J. Treby, 2005: Flood insurance: The challenge of the uninsured. Area, 37(3), 295-302.

Pulwarty, R.S., 2003: Climate and water in the west: Science, information and decision making. Water Resources, 124,4-12.

Pulwarty, R.S., 2007: Communicating Agroclimatological Information, Including Forecasts for Agricultural Decision. Guide to Agrometeorological Practices. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Pulwarty, R.S. and 1 Melis, 2001: Climate extremes and adaptive management on the Colorado River. Journal of Environmental Management, 63, 307-324.

Pulwarty, R., 1 Broad, and 1 Finan, 2004: ENSO forecasts and decision making in Peru and Brazil. In: Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People [Bankoff, G., G. Frerkes, and 1 Hilhorst (eds.)]. Earthscan, London, UK, pp. 83-98.

Quarantelli, E.L. (ed.), 1998: What is a Disaster? A Dozen Perspectives on the Question. Routledge, London, UK.

Ramachandran, N., 2006: Women and Food Security in South Asia. Current Issues and Emerging Concerns. WIDER Research Paper, UN University, World Institute for Development Economic Research, Helsinki, Finland, 19 pp.

Ranger, N., S. Hallegatte, S. Bhattacharya, M. Bachu, S. Priya, K. Dhore, F. Rafique, P. Mathur, N. Naville, F. Henriet, e. Herweijer, S. Pohit, and J. Corfee-Morlot, 2011: An assessment of the potential impact of climate change on flood risk in Mumbai. Climatic Change, 104(1),139-167.

Rao, K. and U. Hess, 2009: Scaling up with India: The public sector. In: Index Insurance and Climate Risk: Prospects for Development and Disaster Management [Hellmuth, M.E., D.E. Osgood, U. Hess, A Moorhead, and H. Bhojwani (eds.)]. International Research Institute for Climate and Society (IRI), New York, NY, pp. 87-89.

Raschky, P.A., 2008: Institutions and the losses from natural disasters. Natural Hazards Earth Systems Science, 8, 627-634.

Rayner, S., H. Ingram, and D. Lach, 2005: Weather forecasts are for wimps: Why water resource managers do not use climate forecasts. Climatic Change, 69, 197-227.

Reid, H., M. Alam, R. Berger, 1 Cannon, S. Huq, and A Milligan, 2009: Community¬based adaptation to climate change: An overview. Participatory Learning and Action, 60, 11-38.

Ribot, J.e., 2003: Democratic decentralization of natural resources: Institutional choice and discretionary power transfers in sub-Saharan Africa. Public Administration and Development, 23(1), 53-65.

Ribot, J.e., A Agrawal, and AM. Larson, 2006: Recentralizing while decentralizing: How national governments reappropriate forest resources. World Development, 34(11),1864-1886.

Rist, S., 2000: Linking ethics and market - Campesino economic strategies in the Bolivian Andes. Mountain Research and Development, 20(4), 310-315.

Rist, S., F. Delgado, and U. Wiesmann, 2003: The role of social learning processes in the emergence and development of Aymara land use systems. Mountain Research and Development, 23(3),263-270.

Ritchie, L. and D. Gill, 2007: Social capital theory as an integrating theoretical framework in technological disaster research. Sociological Spectrum, 27(1), 103-129.

RMS, 2009: Analyzing the Effects of the 'my Safe Florida Home' Program on Florida Insurance Risk. RMS Special Report, Summary of Analysis Prepared for the Florida Department of Financial Services, Risk Management Solutions, Newark, CA

Roberts, S., 2008: Effects of climate change on the built environment. Energy Policy, 36(12),4552-4557.

Robledo, e., N. Clot, A Hammill, and B. Riche, 2011: The role of forest ecosystems in community-based coping strategies to climate hazards: Three examples from rural areas in Africa. Forest Policy and Economics, doi:1 0.1 016/j.forpol. 2011.04.006.

Rodriguez-Oreggia, E., Ad.1. Fuente, R.d.1. Torre, H. Moreno, and e. Rodriguez, 2010: The Impact of Natural Disasters on Human Development and Poverty at the Municipal Level in Mexico. CID Working paper 43, Center for International Development, Harvard University, Cambridge, MA

Rofi, A, S. Doocy, and e. Robinson, 2006: Tsunami mortality and displacement in Aceh Province, Indonesia. Disasters, 30(3), 340-350.

Rojas Blanco, AV., 2006: Local initiatives and adaptation to climate change. Disasters, 30(1),140-147.

Ronan, K.R., K. Crellin, D.M. Johnston, J. Becker, K. Finnis, and D. Paton, 2008: Promoting child and family resilience to disasters: Effects, interventions and prevention effectiveness. Children, Youth and Environments, 18(1),332- 353.

Roncoli, e., K. Ingram, and P. Kirshen, 2001: The costs and risks of coping with drought: Livelihood impacts and farmers' responses in Burkina Faso. Climate Research, 19, 119-132.

Rose, A, 2004: Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation. In: Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters [Okuyama, Y. and S. Chang (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 14-36.

Rose, A and S. Liao, 2005: Modeling regional economic resilience to disasters: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions. Journal of Regional Science, 45, 75-112.

Rose, A, J. Benavides, S. Chang, P. Szczesnjak, and D. Lim, 1997: The regional economic impact of an earthquake: Direct and indirect effects of electricity lifeline disruptions. Journal of Regional Science, 37, 437-458.

Rose, A, G. Oladosu, and S. Liao, 2007: Business interruption impacts of a terrorist attack on the electric power system of Los Angeles: Customer resilience to a total blackout. RiskAnalysis, 27(3), 513-531.

Rosenzweig, e., D.e. Major, K. Demong, e. Stanton, R. Horton, and e. Stults, 2007: Managing climate change risks in New York City's water system: Assessment and adaptation planning. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(8), 1391-1409.

Rosenzweig, e., WD. Solecki, R. Blake, M. Bowman, e. Faris, V. Gornitz, R. Horton, K. Jacob, A. LeBlanc, R. Leichenko, M. Linkin, D. Major, M. O'Grady, L. Patrick, E. Sussman, G. Yohe, and R. Zimmerman, 2011: Developing coastal adaptation to climate change in New York City infrastructure-shed: Process, approach, tools, and strategies. Climatic Change, 106(1),93-127.

Ruppert, 1K., 2008: Eroding long-term prospects for Florida's beaches: Florida's coastal construction control line program. Sea Grant Law and Policy Journal, 1 (1), 65-98.

Sagala, S., N. Okada, and D. Paton, 2009: Predictors of intention to prepare for volcanic risks in Mt. Merapi, Indonesia. Journal of Pacific Rim Psychology, 3(2), 47-54.

Sahlins, M.D., 1962: Moala: Culture and Nature on a Fijian Island. University of Michigan Press,Ann Arbor, MI.

Salick, J. and A Byg (eds.), 2007: Indigenous Peoples and Climate Change. Tyndall Centre for Climate Change Research, Oxford, UK.

Salick, J. and N. Ross, 2009: Traditional peoples and climate change. Global Environmental Change, 19, 137-139.

Satterthwaite, D., S. Huq, M. Pel ling, H. Reid, and P. Lankao, 2007: Adapting to Climate Change in Urban Areas: The Possibilities and Constraints in Low-and Middle-Income Nations. International Institute for Environment and Development, London, UK.

Schneider, S., 2008: Who's to blame? (rnisjperceptions of the intergovernmental response to disasters. Disasters, 38(4), 715-738.

Schroeder, RA, 1987: Gender Vulnerability to Drought: A Case Study of the Hausa Social Environment. Natural Hazards Research, University of Colorado, Boulder, CO.

Scoones, I., 1998: Sustainable Rural Livelihoods: A Framework for Analysis. IDS, University of Sussex, Brighton, UK.

Scott, J.e., 1976: The Moral Economy of the Peasant Rebellion and Subsistence in Southeast Asia. Yale University Press, New Haven, CT.

Seck, P., 2007: Links between Natural Disasters, Humanitarian Assistance and Disaster Risk Reduction: A Critical Perspective. United Nations Development Programme, New York, NY.

Semenza, J.e., 2005: Building healthy cities: A focus on interventions. In: Handbook of Urban Health [Galea, S. and D. Vlahov (eds.)], Spring Science and Business Media, New York, NY, pp. 459-502.

Sen, A, 1981: Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation. Clarendon, Oxford, UK.

Shaw, A, S. Sheppard, S. Burch, D. Flanders, A Wiek, J. Carmichael, J. Robinson, and S. Cohen, 2009: Making local futures tangible-Synthesizing, downscaling, and visualizing climate change scenarios for participatory capacity building. Global Environmental Change, 19, 447-463.

Shaw, R., 2006: Community-based climate change adaptation in Vietnam: Inter¬linkages of environment, disaster, and human security. In: Multiple Dimensions of Global Environmental Changes [Sonack, S. (ed.l], TERI Publication, Energy and Resources Institute, New Delhi, India, pp. 521-547.

Shaw, R., A Sharma, and Y. Takeuchi, 2009: Indigenous Knowledge and Disaster Risk Reduction: From Practice to Policy. Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, pp. 409.

Shoaf, K. and S. Rottmann, 2000: The public health impact of disasters. Australian Journal of Emergency Management, 15(3), 58-63.

Silk, J., 2000: Caring at a distance: (irmpartiality, moral motivation, and the ethics of representation - introduction. Ethics, Place & Environment, 3(3), 303-309.

Sims, H. and K. Vogelmann, 2002: Popular mobilization and disaster management in Cuba. Public Administration and Development, 22, 389-400.

Skees, J.R. and B.J. Barnett, 2006: Enhancing microfinance using index-based risk¬transfer products. Agricultural Finance Review, 66(2), 235-250.

Skees, J.R., B.J. Barnett, and AG. Murphy, 2008: Creating insurance markets for natural disaster risk in lower income countries: The potential role for securitization. Agricultural Finance Review, 68, 151-157.

Smith, S.K. and e. McCarty, 2006: Florida's 2004 hurricane season: Demographic response and recovery. In: Proceedings of Southern demographic association meeting, Durham, NC, 2-4 Nov 2006.

Someshwar, S., 2008: Adaptation as 'Climate-smart' development. Development, 51,366-374.

SOPAC and UNEP, 2005: Building Resilience in SIDS: The Environmental Vulnerability Index. South Pacific Applied Geoscience Commission, Suva, Fiji.

Sorensen, J.H., 2000: Hazard warning systems: Review of 20 years of progress. Natural Hazards Review, 1(2), 119-125.

Sorensen, J.H. and B.V. Sorensen, 2007: Community processes: Warning and evacuation. In: Handbook of Disaster Research [Rodriquez, H., E.L. Quarantelli, and R.R. Dynes (eds.j], Springer, New York, NY, pp. 183-199.

Sorensen, J.H., B.L. Shumpert, and B.M. Vogt, 2004: Planning for protective action decision making: Evacuate or shelter-in-place. Journal of Hazardous Materials, 109(1-3), 1-11.

Spanger-Siegfried, E., W Dougherty, and B. Osman-Elasha, 2005: Methodological Framework an Internal Scoping Report of the Project Strategies for Increasing Human Resilience in Sudan: Lessons for Climate Change Adaptation in North and East Africa. AIACC Working Paper No. 18, Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change, Washington, De.

Spence, R., 2004: Risk and regulation: Can improved government action reduce the impacts of natural disasters? Building Research & Information, 32(5), 391- 405.

Sperling, F. and F. Szekely, 2005: Disaster Risk Management in a Changing Climate. Vulnerability and Adaptation Resource Group, Washington, De.

Stern, N., 2007: The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Stern, P. and W Easterling (eds.), 1999: Making Climate Forecasts Matter. National Academies Press, Washington DC. 175 pp.

Stevenson, J.R., e.1 Emrich, J.T. Mitchtell, and S.L. Cutter, 2010: Using building permits to monitor disaster recovery: A spatio-temporal case study of coastal Mississippi following Hurricane Katrina. Cartography and Geographic Information Science, 37(1), 57-68.

Strobl, E., 2008: The Economic Growth Impact of Hurricanes: Evidence from US Coastal Counties. IZA Discussion Papers Series, Institute for the Study of Labor, Bonn, Germany.

Suarez, P., F. Ching, G. Ziervogel, I. Lemaire, D. Iurnquest, J.M. de Suarez, and B. Wisner, 2008: Video-Mediated Approaches for Community-Level Climate Adaptation. Institute of Development Studies, University of Sussex, Brighton, UK.

Sudmeier-Rieux, K., H. Masundire, A Rizvi, and S. Rietbergen, 2006: Ecosystems, Livelihoods And Disasters: An Integrated Approach to Disaster Risk Management. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Switzerland, 56 pp.

Sundar, N. and R. Jeffery, 1999: A New Moral Economy for Indian Forests? Discourses of Community and Participation. Sage, New Delhi, India, 304 pp.

Susman, P., P. O'Keefe, and B. Wisner, 1983: Global disasters, a radical reinterpretation. In: Interpretations of Calamity from the Viewpoint of Human Ecology

[Hewitt, K. (ed.l], Allen and Unwin, Boston, MA, pp. 263-283.

Tacoli, e., 2009: Crisis or adaptation? Migration and climate change in a context of high mobility. Environment and Urbanization, 21 (2), 513-525.

Tanner, 1M. and 1 Mitchell, 2008: Poverty in a changing climate. IDS Bulletin, 39(4), 1-5.

Tanner, 1, 1 Mitchell, E. Polack, and B. Guenther, 2009: Urban Governance for Adaptation: Assessing Climate Change for Resilience in Ten Asian Cities. Institute of Development Studies, Brighton, UK.

Tanser, F.e., B. Sharp, and D. le Sueur, 2003: Potential effect of climate change on malaria transmission in Africa. The Lancet, 362(9398), 1792-1798.

Tearfund, 2006: Adapting to Climate Change: Challenges and Opportunities for the Development Community. Institute of Development Studies, Brighton, UK.

Thacker, M.T.F., R. Lee, R.I. Sabogal, and A Henderson, 2008: Overview of deaths associated with natural events, United States, 1979-2004. Disasters, 32(2), 303-315.

Thieken, AH., 1 Petrow, and H. Kreibich, and B. Merz, 2006: Insurability and mitigation of flood losses in private households in Germany. Risk Analysis, 26(2),383-395.

Thomalla, F., 1 Downing, E. Spanger-Siegfried, G. Han, and J. Rockstriim, 2006: Reducing hazard vulnerability: Towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. Disasters, 30(1), 39-48.

Thomas, D.S.G. and C. Twyman, 2005: Equity and justice in climate change adaptation among natural-resource-dependent societies. Global Environmental Change, 15, 115-124.

Thomson, R., 2007: Cultural models and shoreline social conflict. Coastal Management, 35, 211-237.

Tierney, K., 2006: Social inequality, hazards, and disasters. In: On Risk and Disaster: Lessons from Hurricane Katrina [Daniels, R.J., D.F. Ketti, and H. Kunreuther (eds.)]. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, PA, pp. 109-128.

Tierney, K.J., M.K. Lindell, and R.W Perry, 2001: Facing the Unexpected: Disaster Preparedness and Response in the United States. National Academies Press, Washington, DC.

Tierney, K., C. Bevc, and E. Kuligowski, 2006: Metaphors matter: Disaster myths, media frames, and their consequences in hurricane Katrina. Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604(1), 57-81.

Titus, J.G., 2011: Rolling Easements. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 166 pp.

Titus, J., D. Hudgens, D. Trescott, M. Craghan, W Nuckols, C. Hershner, J. Kassakian, C. Linn, P. Merritt, J. McCue, J. O'Connell, J. Tanski, and J. Wang, 2009: State and local governments' plan for development of most land vulnerable to rising sea level along the US Atlantic coast. Environmental Research Letters, 4(4), 044008.

Tobin, G.A., 1995: The levee love affair: A stormy relationship. Water Resources Bulletin, 31, 359-367.

Tol, R.S.J., 2003: Is the uncertainty about climate change too large for expected cost¬benefit analysis? Climatic Change, 56(3), 265-289.

Tompkins, E.L., 2005: Planning for climate change in small islands: Insights from national hurricane preparedness in the Cayman Islands. Global Environmental Change A, 15(2), 139-149.

Torresan, S., A. Critto, M.D. Valle, N. Harvey, and A. Marcomini, 2008: Assessing coastal vulnerability to climate change: Comparing segmentation at global and regional scales. Sustainability Science, 3(1), 45-65.

Travis, W, 2010: Going to extremes: Propositions on the social response to severe climate change. Climatic Change, 98, 1-19.

Trawick, P., 2001: The moral economy of water: Equity and antiquity in the Andean commons. American Anthropologist, 103(2),361-379.

Tschakert, P. and K. Dietrich, 2010: Anticipatory learning for climate change adaptation and resilience. Ecology and Society, 15(2), 11.

Tsuchiya, S., H. Tatano, and N. Okada, 2007: Economic loss assessment due to railroad and highway disruptions. Economic Systems Research, 19(2), 147-162.

Turner, N.J. and H. Clifton, 2009: "It's so different today": Climate change and indigenous lifeways in British Columbia, Canada. Global Environmental Change, 19(2), 180-190.

Turvey, c., 2001: Weather insurance and specific event risks in agriculture. Review of Agricultural Economics, 23(2),333-351.

Twigg, J., 2001: Sustainable Livelihoods and Vulnerability to Disasters. Benfield Greig Hazard Research Centre, Disaster Management Working Paper 2/2001, University College London, London, UK.

Twigg, J., 2007: Characteristics of a Disaster-Resilient Community: A Guidance Note. DFID Disaster Risk Reduction Interagency Coordination Group, Benfield, UK.

U.S. Bureau of Labor Statistics, 2006: The labor market impact of Hurricane Katrina: An overview. Monthly Labor Review, August 2006,3.

UNDP, 2004: Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. United Nations Development Programme, New York, NY.

UNDP, 2007: Human Development Report 200712008: Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World. United Nations Development Programme, Palgrave Macmillan, Hampshire, UK.

UNFPA, 2009: Facing a Changing World: Women, Population and Climate. United Nations Population Fund, New York, NY.

UN-HABITAT, 2007: Global Report on Human Settlements, 2007: Enhancing Urban Safety and Security. Earthscan, London, UK.

UNIFEM, 2011: Pakistan Floods 2010: Rapid Gender Needs Assessment of Flood Affected Communities. UN Development Fund for Women, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2004: Living With Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR., 2006: Global Survey of Early Warning Systems: An Assessment of Capacities, Gaps and Opportunities Toward Building a Comprehensive Global Early Warning System for all Natural Hazards. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 56 pp.

UNISDR, 2009: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and Poverty in a Changing Climate. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR and UNOeHA, 2008: Disaster Preparedness for Effective Response, Guidance and Indicator Package for Implementing Priority Five of the Hyogo Framework. United Nations Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) and the United Nations Office for Coordination of Humanitarian Affairs (UNOCHA), Geneva, Switzerland, 51 pp.

UNoeHA and IDMe, 2009: Monitoring Disaster Displacement in the Context of Climate Change. Findings of a Study by the United Nations Office for the Coordination of HumanitarianAffairs and the Internal Displacement Monitoring Centre, Norwegian Refugee Council, Internal Displacement Monitoring Centre, Geneva, Switzerland, 32 pp.

Valdes, H.M., 1997: Community-operated early warning system for floods. In: UN¬IDNDR & QUIPUNET Internet conference on Floods, Drought: Issues for the 21st Century. 22 September - 24 October 1997.

Valente,lW and R.L. Davis, 1999: Accelerating the diffusion of innovations using opinion leaders. Annals of the American Academy of Political and Social Science, 566, 55-67.

Valente, 1W, B.R. Hoffman, A. Ritt-Olson, K. Lichtman, and C.A. Johnson, 2003: Effects of a social-network method for group assignment strategies on peer-led tobacco prevention programs in schools. American Journal of Public Health, 93, 1837-1843.

van Aalst, M.K., 2006: The impacts of climate change on the risk of natural disasters. Disasters, 30(1), 5-18.

van Aalst, M., K. Maarten, 1 Cannon, and I. Burton, 2008: Community level adaptation to climate change: The potential role of participatory community risk assessment. Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions, 18(1), 165-179.

Van Willigen, M., 1 Edwards, B. Edwards, and S. Hessee, 2002: Riding out the storm: Experiences of the physically disabled during Hurricanes Bonnie, Dennis, and Floyd. Natural Hazards Review, 3(3), 98-106.

Vellinga, P., E. Mills, G. Berz, L. Bouwer, S. Huq, L.A. Kozak, J. Palutikof, B. Schanzenbacher, and G. Soler, 2001: Insurance and other financial services. In: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, and K.S. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 417-450.

Venton, c.c. and P. Venton, 2004: Disaster Preparedness Programmes in India: A Cost Benefit Analysis. H PN Network Paper No. 49, Overseas Development Institute, London, UK.

Vescovi, L.,A. Bourque, G. Simonet, and A. Musy, 2009: Transfer of climate knowledge via a regional climate-change management body to support vulnerability, impact assessments and adaptation measures. Climate Research, 40(2-3), 163- 173.

Viiriismarty, c., G. Green, J. Salisbury, and R. Lammers, 2000: Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. Science, 289(5477),284-289.

Wachtendorf, 1, J.M. Kendra, H. Rodriquez, and J. Trainor, 2006: The social impacts and consequences of the December 2004 Indian ocean tsunami: Observations from India and Sri Lanka. Earthquake Spectra, 22(3), 693-714.

Waddell, E., 1989: Observations on the 1972 frosts and subsequent relief pro¬gramme among the Enga of the western highlands. Mountain Research and Development, 9(3), 21 0-223.

Walker, I.J. and R. Sydneysmith, 2008: British Columbia. In: From Impacts to Adaptation: Canada in a Changing Climate 2007 [Lemmen, D.S., F.J. Warren, J. Lacroix, and E. Bush (eds.)]. Government of Canada, Ottawa, Canada, pp. 358-362.

Walker, P., 1989: Famine Early Warning Systems: Victims and Destitution. Earthscan Publications, London, UK.

Wamsler, e., 2007: Bridging the gaps: Stakeholder-based strategies for risk reduction and financing for the urban poor. Environment and Urbanization, 19(1), 115-142.

Ward, P.J., W Beets, L.M. Bouwer, J.U.H. Aerts, and H. Renssen, 2010: Sensitivity of river discharge to ENSO. Geophysical Research Letters, 37(L 12402), doi:1 0.1 029/2010GL043215.

Ward, R.E.T., e. Herweijer, N. Patmore, and R. Muir-Wood, 2008: The role of insurers in promoting adaptation to the impacts of climate change. The Geneva Papers, 33, 133-139.

Warner, K., M. Hamza, A. Oliver-Smith, F. Renaud, and A. Julca, 2010: Climate change, environmental degradation and migration. Natural Hazards, 55(3), 689-715.

Watts, M., 1983: Hazards and crises: A political economy of drought and famine in northern Nigeria. Antipode, 15(1),24-34.

Waugh, WL.J. and G. Streib, 2006: Collaboration and leadership for effective emergency management. Public Administration Review, 66, 131-140.

Weems, e.F. and S. Overstreet, 2008: Child and adolescent mental health research in the context of Hurricane Katrina: A ecological needs-based perspective and introduction to the special section. Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology, 37(3), 487-494.

Weibel, WW, 1988: Combining ethnographic and epidemiologic methods in targeted AIDS interventions: The Chicago model. In: Needle Sharing among Intravenous Drug Abusers: National and International Perspectives [Battjes, R.J. and R.W Pickens (eds.)]. NIDA Research Monograph 80, National Institute on Drug Abuse, Rockville, MD, pp. 137-150.

Weichselgartner, J. and R.E. Kasperson, 201 0: Barriers in the science-policy-practice interface: Toward a knowledge-action-system in global environmental change research. Global Environmental Change, 20, 266-277.

Weisler, R.H., J.G. Barbee IV, and M.H. Townsend, 2006: Mental health and recovery in the Gulf Coast after Hurricanes Katrina and Rita. Journal of the American Medical Association, 296, 585-588.

Weiss becker, I., S.E. Sephton, M.B. Martin, and D.M. Simpson, 2008: Psychological and physiological correlates of stress in children exposed to disaster: Current research and recommendations for intervention. Children, Youth and Environments, 18(1), 30-70.

Weitzman, M.L., 2007: A review of the Stern Review on the economics of climate change. Journal of Economic Literature, 45,703-724.

Wellman, B. and S.D. Berkowitz, 1988: Social Structures: A Network Approach. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Wenzel, F., F. Bendimerad, and R. Sinha, 2007: Megacities-megarisks. Natural Hazards, 42(3), 481-491.

West, e.T. and D.G. Lenze, 1994: Modeling the regional impact of natural disasters and recovery: A general framework and an application to Hurricane Andrew. International Regional Science Review, 17, 121-150.

White, G.F., R.w. Kates, and I. Burton, 2001: Knowing better and losing even more: The use of knowledge in hazards management. Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, 3, 81-92.

Whitehead, J.e., B. Edwards, M. Van Willigen, J.R. Maiolo, K. Wilson, and K.T. Smith, 2000: Heading for higher ground: Factors affecting real and hypothetical hurricane evacuation behavior. Environmental Hazards, 2(4), 133-142.

Wiest, R.E., J.S.P. Mocellin, and D.T. Motsisi, 1994: The Needs of Women in Disasters and Emergencies. Prepared for the Disaster Management Training Programme of the United Nations Development Programme and the Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, Disaster Research Unit, University of Manitoba, Winnipeg, Canada.

Wilby, R.L., J. Troni, Y. Biot, L. Tedd, B.e. Hewitson, D.e. Smith, and R.T. Sutton, 2009: A review of climate risk information for adaptation and development planning. International Journal of Climatology, 29(9), 1193-1215.

Wilhelmi, O.V. and DA Wiilhite, 2002: Assessing vulnerability to agricultural drought: A Nebraska case study. Natural Hazards, 25(1),37-58.

Williams, R., DA Alexander, D. Bolsover, and F.K. Bakke, 2008: Children, resilience and disasters: Recent evidence that should influence a model of psychosocial care. Current Opinion in Psychiatry, 21(4),338-344.

Winsvold, M., K.B. Stokke, H. Klausen, and I. Saglie, 2009: Organizational learning and governance in adaptation in urban development. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values and Governance [Adger, WN., I. Lorenzoni, and K. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 476-490.

Wisner, B., 2002: Disability and disaster: Victimhood and agency in earthquake risk reduction. In: Earthquakes .. [Rodrigue, e. and E. Rovai (eds.)]. Routledge, London, UK.

Wisner, B., 2003: Disaster risk reduction in megacities: Making the most of human and social capital. In: Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk [Kreimer, A., M. Arnold, and A. Carlin (eds.)]. World Bank Books, Washington, DC. pp. 181-196.

Wisner, B. and J. Uitto, 2009: Life on the edge: Urban social vulnerability and decentralized, citizen-based disaster risk reduction in four large cities of the Pacific Rim. Facing Global Environmental Change: Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, 4(11), 215-231.

Wisner, B., P. Blaike, T. Cannon, and I. Davis, 2004: At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. Routledge, London, UK.

WMO, 2003: Integrated Flood Plain Management Case Study: Bangladesh Flood Management. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

World Bank, 201 0: Natural Hazards, Unnatural Disasters, the Economics of Effective Prevention. World Bank, Washington, De.

Wu, S., B. Yarnal, andA. Fisher, 2002:Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: A case study of Cape May county, New Jersey, USA. Climate Research, 22, 255-270.

Yang, S.L., J.D. Milliman, P. Li, and K. Xu, 2011: 50,000 dams later: Erosion of the Yangtze River and its delta. Global and Planetary Change, 75(1), 14-20.

Yohe, G., J. Neumann, and H.Ameden, 1995:Assessing the economic cost of greenhouse induced sea level rise: Methods and applications in support of a national survey. Journal of Environmental Economics and Management, 29, 78-97.

Zahran, S., S.D. Brody, WG. Peacock, A. Vedlitz, and H. Gover, 2008: Social vulnerability and the natural and built environment: A model of flood casualties in Texas. Disasters, 32(4), 537-560.

Ziervogel, G., 2004: Targeting seasonal climate forecasts for integration into house-

hold level decisions: The case of smallholder farmers in Lesotho. The GeographicalJournal, 170, 6-21.

Ziervogel, G. and P. Ericksen, 2010: Adapting to climate change to sustain food security. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1 (4), doi:1 0.1 002/wcc.56.

Ziervogel, G. and F. Zermoglio, 2009: Climate-change scenarios and the development of adaptation strategies in Africa: Challenges and opportunities. Climate Research, 40(2-3), 133-146.

Ziervogel, G., A.O. Nyong, B. Osman-Elasha, e. Conde, S. Cortes, and T. Downing, 2006: Climate Variability and Change: Implications for Household Food Security. AIACC Working Paper No. 20,Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change, Washington, De.

Ziervogel, G., M. Shale, and M. Du, 201 0: Climate change adaptation in a developing country context: The case of urban water supply in Cape Town. Climate and Development, 2, 94-110.

Zimmermann, M. and F. Stossel, 2011: Disaster Risk Reduction in International Cooperation: Switzerland's Contribution to the Protection of Lives and Livelihoods. Swiss Agency for Development and Cooperation, Berne, Switzerland, 23 pp.

6

국가적 극한기후 및 재해 위험 관리시스템

총괄 대표저자
Padma Narsey Lal (호주), Tom Mitchell (영국)

대표저자:
Paulina Aldunce (칠레), Heather Auld (캐나다), Reinhard Mechler (독일), Alimullah Miyan (방글라데시), Luis Ernesto Romano (엘살바도르), Salmah Zakaria (말레이시아)

감수 편집자:
Andrew Dlugolecki (영국), Takuo Masumoto (일본)

기여저자:
Neville Ash (스위스), Stefan Hochrainer (오스트리아), Robert Hodgson (영국), Tarik ullslam (캐나다), Sabrina McCormick (미국), Carolina Neri (멕시코), Roger Pulwarty (미국), Ataur Rahman (방글라데시), Ben Ramalingam (영국), Karen Sudmeier-Reiux (프랑스), Emma Tompkins (영국), John Twigg (영국), Robert Wilby (영국)

본 장을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

Lal, P.N., T. Mitchell, P. Aldunce, H. Auld, R. Mechler, A. Miyan, L.E. Romano, and S. Zakaria, 2012: National systems for managing the risks from climate extremes and disasters. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 339–392.

목 차

본문 요약 321

6.1. 서론 324

6.2. 극한기후 및 재해로 인한 위험을 관리하는 국가시스템 및 행동주체 325
6.2.1. 중앙 정부와 준국가 정부 325
6.2.2. 민간 부문 조직 326
6.2.3. 시민사회 조직과 커뮤니티 조직 327
6.2.4. 양자 기관과 다자 기관(Bilateral and Multilateral Agencies) 327
6.2.5. 연구와 소통 328

6.3. 통합 위험관리, 적응 및 개발 접근법을 위한 계획과 정책 328
6.3.1. 국가 계획 및 정책 과정의 개발과 지원 328
6.3.2. 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 부문과 조직으로의 편입 334
6.3.3. 부문별 위험관리와 적응 335

6.4. 법률, 제도 및 재정을 비롯한 전략 336
6.4.1. 입법 및 준수 메커니즘 336
6.4.2. 메커니즘 조율과 범위 간 연결 337
6.4.3. 재정 및 예산 할당 339

6.5. 방법 및 도구를 비롯한 실무 340
6.5.1. 안전문화 구축 341
6.5.1.1. 위험 평가와 정보시스템 유지관리 341
6.5.1.2. 대비: 위험인식, 교육, 조기경보시스템 342
6.5.2. 기후 관련 재해 위험 저감 343
6.5.2.1. 기술적 접근법과 기반시설에 기반한 접근법 적용 344
6.5.2.2. 인간발전과 취약성 저감 345
6.5.2.3. 자연자본과 생태계에 기반한 적응에의 투자 347
6.5.3. '잔류'위험의 이전과 공유 348
6.5.4. 영향 관리 349

6.6. 기후변화 문제에 부합하는 국가 재해 위험 관리시스템 351
6.6.1. 기후변화 속에서 재해 위험 관리의 효과 평가 352
6.6.2. 국가 시스템의 불확실성 및 적응적 관리 354
6.6.3. 취약성의 근본 동인 차단하기 355
6.6.4. 재해 위험, 적응 및 발전에 대한 전체론적 접근 355

참고문헌 356

본문 요약

본 장에서는 기상 및 기후 극한 현상의 관측치와 전망치[표 3-2, 3-3]; 취약성과 노출[4.3] 및 영향 [4.4]에 따라 위험이 어떻게 변하고 있는지에 대한 정보를 감안하여 국가들이 현재 및 예상되는 재해 위험을 어떻게 관리하고 있는지를 평가한다. 5장과 7장에서 설명하듯이 위험을 관리하는 보완조치들은 지역 및 국제 수준에서도 취해진다는 점을 인정하여, 이 장은 그러한 위험을 관리할 국가시스템의 설계, 그 시스템에 관여하는 행동주체들의 역할, 그들이 수행하는 기능에 초점을 맞춘다.

국가 시스템은 노출, 취약성 및 극한기상 및 극한기후 현상에서 관측되고 전망된 추세의 문제들을 해결하기 위한 국가의 능력의 핵심이다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 효과적인 국가시스템은 국가 및 준국가 정부, 민간 센터, 연구단체, 및 시민사회(커뮤니티 조직 포함)의 여러 행동주체들로 구성되며, 이들은 각자 허용된 기능과 능력에 따라 위험을 관리하는 차등적이면서 보완적인 역할을 수행한다. 이러한 행동주체들은 관련 과학 및 전통 지식으로 뒷받침 되는 여러 시간, 공간, 행정, 사회적 범위에서 협력관계를 이루어 일한다. 국가시스템의 특징은 사회문화적, 정치적, 행정적 환경과 발전상태에 따라 국가들 사이에 그리고 범위들 사이에서도 차이가 있다. [6.2]

국가정부는 위험관리 관련 공공재를 제공하는 중추이기 때문에 국가 수준은 재해 위험 통치 및 관리에서 핵심 역할을 한다. 국가 정부는 흔히 그러한 공공재의 계획과 실행에서 재정적 조직적 권한을 갖는다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 중앙 정부는 최빈곤층과 최취약층을 포함해 국민들의 경제적 사회적 안녕, 안전, 및 재해안보를 보장하는 등 공공재의 제공을 담당한다. 또한 예산할당을 통제할 뿐 아니라 다른 행동주체의 이행을 안내할 법률적 기틀도 만든다. 종종 중앙 정부는 '마지막 보증 수단' (insurer of last resort)으로 간주된다. 공공재의 제공과 함께, 국가 정부와 공공 당국은 현재 및 미래 재해 위험의 상당 부분을 '소유(own)' 한다(공공 기반시설, 공공 자산, 구호물자 경비). 위험 관리 측면에서, 국가 정부는 위험을 종합하며, 위험 풀(pool)을 만들어 공공책임에 대한 상당한 포트폴리오를 보유한다. 이것은 정부에게 이 포트폴리오에 관련된 위험을 정확히 정량하고 관리할 책임을 제공한다. 즉, 기후변화의 영향 전망과 취약성 및 노출의 추세를 감안해 더 중요해질 것으로 예상되는 기능을 제공한다. [6.2.1]

그러한 공공재를 제공할 때, 정부는 위험을 완전히 제거할 수는 없다는 것을 인정하여 국가시스템을 이용해 이해관계자들이 가능한 한 위험을 저감하고, 타당한 경우에는 위험을 전이하며, 잔류위험을 관리하도록 안내 및 지원함으로써 재해 위험을 관리하는 쪽을 선택한다 (높은 동의수준, 강한 증거수준). 위험저감과 기타 재해 위험 관리전략 간의 균형은 이해관계자들의 재정적, 기술적 능력, 위험평가 정보의 강건성, 위험내성을 수반하는 문화 요소 등 다양한 요인들에 좌우된다. [6.2.1, 6.2-6.5]

재해 위험 관리책임을 이행할 정부의 능력은 국가의 능력 및 자원제약에 따라 국가마다 큰 차이가 있다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 소규모의 또는 경제적 다양성이 부족한 국가들은 재해 위험 관리에 관련된 공공재를 제공하거나, 극한기후 및 재해로 인한 손실을 흡수하고, 구제 및 재건에 대한 지원을 제공할 때 각각의 문제에 직면한다. [6.4.3] 그러나 국가의 거버넌스 시스템의 유형(예: 중앙집권과 지방분권; 단일 거버넌스와 연방 거버넌스)과 재해 위험 관리노력의 효과 사이에 상관관계가 있다고 주장하기에는 증거 수준이 제한적이다. 정부정책을 지원하며 커뮤니티 내에서 발제되고 커뮤니티에 의해 관리되는 조치들은 그 환경에 특징적이며 그 특성에 맞게 시행되므로 일반적으로 가장 효과적이라는 주장은 증거수준이 강하고 동의수준이 높다. [6.4.2]

대부분의 국가에서 국가시스템은 효고 행동 계획(Hyogo Framework for Action)의 원칙들을 적용해 위험 고려사항을 사회 및 부문들에 편입시킴으로써 강화되어 왔지만, 위험의 근본 동인들을 다루고 재해 위험 저감에 투자할 정치적 의향을 일으키기 위해서는 더 큰 노력이 필요하다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 효고 행동 계획으로 국가들은 체계적인 재해 위험관리 접근법을 개발 및 이행하려 노력하게 되었고, 일부 경우에는 재해 위험 관리에서 전략적 전환을 하기도 하였으며, 정부와 기타 행동주체들은 사후대응식 대책에 비해 재해 위험 저감에 더 주목하게 되었다. 이를테면 행동주체들 사이의 조율 향상, 조기 경보 및 대비의 강화, 더 엄격한 위험평가, 인식강화 등이 이루어졌다. 그러나 효고 행동 계획, UN 기후변화 협약(United Nations Framework Convention on Climate Change), 및 더 폭넓은 발전 및 환경 정책을 이행하려는 노력 사이의 통합이 향상되었다고 보기에는 증거수준이 제한적이고 동의수준은 낮다. [6.4.2]

현재의 재해 위험을 보다 성공적, 체계적으로 관리하기 위해 노력하는 요인들이 규명될 수 있다(모두 높은 동의수준, 강한 증거수준) 현재의 재해 위험을 관리하는 시스템은 다음 경우에 보다 성공적이다:

- 위험이 동적인 것으로 인정되고 개발 정책, 전략, 조치, 환경관리에 편입 및 통합되는 경우. [6.3.1]

- 여러 범위에서 효과적으로 시행되고 위험 고려사항을 명확히 통합한 다른 부문의 발전 및 관리 법률에 의해 보완되는, 명확한 법률로 재해 위험 관리 법률이 지원되는 경우. [6.4.1]
- 재해 위험 관리 기능이 여러 부문 및 범위에서 조율되고 정치적으로 최고 수준의 조직에 의해 주도되는 경우. [6.4.2]
- 국가 발전 및 부문 계획에 재해 위험의 고려사항들이 포함되고, 기후변화 적응전략 채택 시 그러한 계획 및 전략들이 취약 지역 및 집단을 대상으로 하는 조치로 승화되는 경우. [6.5.2]
- 위험을 정량하여 국가 예산 수립과정에서 고려하고, 구호 비용, 준비자금, 기타 재해재원을 위한 예산수립을 비롯해 다양한 대책이 고려되거나 이행되는 경우. [6.4.3]
- 손쉽게 구할 수 있는 도구와 지침을 사용해서 기상, 기후, 취약성 및 노출에서 관측된 변화와 전체론적 재해손실에 대한 포괄적 정보에 입각하여 의사결정 하는 경우. [6.5.1]
- 조기경보시스템이 적시에 정확한 위험 전망을 제공하고, 대중과 협력하여 발전 및 운영되고, 효과적인 대응조치를 개시하는 경우. [6.5.1]
- 전략이 위험 기반시설에 기반한 옵션 대응책과 소프트(soft) 해법들, 즉 개인적, 제도적 능력강화와 산림, 강 집수지, 해안 습지, 생물다양성 등과 관련된 보존대책을 포함한 생태계 기반 대응책과 같은 해법들의 조합을 포함하는 경우. [6.5.2]

현재의 재해 위험을 저지하려는 노력에 관한 증거수준이 강하고 동의수준이 높기는 하지만, 평가에서 노출, 취약성 및 극한기후의 변화 전망에 대한 지식과 불확실성을 명백하게 통합하는 국가 재해 위험 관리시스템 및 관련 위험관리 대책들에 대한 증거수준은 한정적이었다. 국가수준에서 예상되는 재해 위험을 관리하려는 노력의 효과는 현재의 위험을 관리하는 시스템의 효과, 그 시스템이 새로운 지식에 융통적으로 반응할 능력, 적절한 자료의 가용성, 장기적인 위험저감 및 적응 대책에 투자하는 데 이용 가능한 자원 등 다양한 요인들에 달렸다. 선진국들은 노출, 취약성 및 극한기후의 예상 변화에 효과적으로 반응하고 적응할 수 있는 명확한 대책들을 채택할 재정적 제도적 준비가 개발도상국들보다 잘 되어 있다. 그럼에도 불구하고 모든 국가는 그러한 예상된 변화를 평가, 이해, 대응하는 데 있어서 문제에 직면한다. [6.3.2, 6.6]

현재의 기후와 일련의 미래 기후변화 시나리오 아래서 이익을 제공하는 대책, 소위 저후회(low-regret) 대책은 노출, 취약성 및 극한기후의 예상 추세를 다루기 위한 시작점이다. 그것들은 현재 이익을 제공하고 예상 변화를 다루는 데 토대를 제공할 잠재력이 있다(높은 동의수준, 보통 증거수준). 이 평가는 여러 핵심 부문들에서 그러한 '저'후회 옵션들을 고려하였고, 가장 많이 언급된 대책은 조기경보시스템, 보건 감시, 물 공급, 위생 및 배수 시스템; 중요 기반시설의 기후친화적 보강(climate proofing)과 건축규정 시행; 교육 및 인식 강화; 퇴화된 생태계의 복구와 자연보존 등이다. 이러한 저후회 전략들 중 상당수는 공동이익을 제공하고; 생계와 인간 복지, 생물다양성 보존 등의 향상 같은 다른 발전 목표들을 다루는 데 도움이 되며; 부적응에 대한 범위를 최소화 하는 데 도움이 된다. [6.3.1, 표 6-1]

변화하는 기후위험의 상황에서 생태계에 기반한 해법은 비용 효율이 높은 위험저감을 제공할 수 있고, 생물다양성 보존을 지원할 수 있다. 특히 빈곤하고 취약한 계층의 경제적 생계와 복지를 개선할 수 있기 때문에 '3중 이익' (triple-win)의 해법을 제공할 수 있다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 평가에 의하면, 맹그로브 보존과 복원, 통합적인 집수지 관리, 지속가능한 산림 및 어업 관리 등을 포함한 생태계 기반 적응전략은 선진국과 개발도상국에서 부적응에 대한 범위도 최소화한다. 생태계 기반 적응옵션 중에서 선택할 때, 정책결정자는 특정 기후위험 저감전략과 다른 중요한 생태계서비스를 절충해야 할 수도 있다. [6.5.2]

보험 관련 도구들은 가구, 기업 및 정부가 재해로 인한 손실의 보상에 도움이 되는 핵심 메커니즘이다. 하지만 보상은 지역과 유해에 따라 불균등하게 분포하며, 종종 공공-민간 파트너십이 필요하기도 하다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 재해보험과 기타 위험전이 수단은 1980~2003년에 보고된 기상 관련 손실의 약 20%를 차지하였다. 그래도 그 분포는 불균일하여 고소득 국가에서는 보험이 손실의 약 40%인 것에 비해 저소득 국가에서는 4%에 불과하다. 기존 국가적 보험시스템은 정책이 강제적인가 자발적인가에 따라, 그리고 시스템이 재해 위험의 책무와 책임을 사회 전체에 할당하는가에 따라서도 큰 차이가 있다. 기상 및 극한 현상, 취약성 및 노출이 변함에 따라, 위험을 더 정확히 추정하고 더 정확히 대가를 책정하기 위해서뿐 아니라 개발도상국에서 발전 파트너 기금으로 지원될 수 있는 튼튼한 보험 상품을 개발하기 위해서도 폭넓고 혁신적인 민간-공공 부문 파트너십이 필요하다. [6.5.3]

국가 정부들이 서로 협력하여 만드는 위험 풀은 재해의 재정적 사회경제적 영향을 줄이는 데 기여할 수 있다 (보통 동의수준, 보통 증거수준). 국가 정부는 공공 책임에 대한 상당한 포트폴리오를 갖기 때문에 (기반시설, 공공자산, 재해구호금 제공), 기후변화의 영향 전망과 취약성 및 노출의 추세를 생각하면 위험의 취합 및 풀링은 더 중요해질 것으로 예상된다. 또한, 규모가 작은 저소득 고노출 국가들의 경우, 공공부문 자산의 위험전이와 구제 비용이 최근에 재해 위험 저감의 초석이 되었다. 최근에 시행된 혁신적이고 유망한 핵심적인 응용 대책으로는 허리케인 위험에 대한 국가 보험(sovereign insurance), 가뭄 후 인도주의적 지원을 위한 보험, 정부간 위험 풀링으로 이루어져 있다. [6.4.3, 6.5.3]

정적이고 융통성 없는 국가 시스템보다는 유연하고 적응적인 국가적 시스템이 노출, 취약성, 극한기후, 기상의 예상 추세와 관련 불확실성을 관리하는 데 더 적합하다 (높은 동의수준, 증거수준 낮음). 적응적 관리는 '행동에 의한 학습'을 통해 과학적, 사회적, 경제적 정보, 경험 및 전통적인 지식을 망라해서 의사결정을 하게 한다. 다중기준 분석, 시나리오 계획, 유연한 결정의 경로는 큰 불확실성이나 불완전 정보에 처한 상황에서 조치를 취하기 위한 옵션을 제공한다. 재해 위험을 관리하는 국가시스템은 (1) 역동적 위험에 대한 지식을 자주 평가하고 편입; (2) '저후회' 전략을 채택; (3) 모든 범위에서 재해, 기후, 및 발전 조직들의 학습과 되먹임을 개선; (4) 빈곤과 취약성의 근본적인 원인 해결; (5) 부적응에 대한 범위를 최소화하기 위해 기후변화 관련 영향 및 위험에 대한 투자를 선별; (6) 시간이 지나면서 기후조건이 변함에 따라 비상대응을 위한 상시 능력을 강화함으로써, 기후변화와 노출 및 취약성 변화에 적응할 수 있다. [6.6.1, 6.6.2, 6.6.4]

6.1. 서론

재해현상의 사회경제적 영향은 어느 국가에서든 클 수 있지만, 저소득 및 중소득 국가들이 특히 재해에 취약하며, 비슷한 규모의 위험에 노출되어도 더 높은 사망률을 경험한다(O'Brien 등, 2006; Thomalla 등, 2006; Ibarraran 등, 2009; IFRC, 2010). 지난 수 십년 간 저기압에 노출된 인구의 비율은 고소득 국가일수록 높았지만 저기압 당 사망자 수는 저소득 국가들에서 가장 높았다. 위험에 노출된 인구의 11%는 인간개발지수가 낮은 국가(low human development countries)의 거주민들이었으며 재해로 인한 공식 총 사망자의 53% 이상을 차지한다(UNDP, 2004a). 절대적 의미에서 재해의 직접적 경제적 손실은 고소득 국가들에서 훨씬 크지만 연간 국내총생산(gross domestic product) 대비 피해 측면에서 비용부담은 중저소득 국가들에서 가장 크다(GDP: UNDP, 2004a; DFID, 2005; O'Brien 등, 2006; Kellenberg 등, 2008; Pelham 등, 2011). 이 부담은 중소득 국가들에서 증가 중이다. 이 국가들의 자산 기반은 급격히 팽창 중이며 2001~2006년의 손실은 GDP의 약 1%에 달했다. 저소득 국가들의 손실은 평균적으로 GDP의 0.3%에 달했고, 고소득 국가들의 손실은 GDP의 0.1% 미만이었다(Cummins and Mahul, 2009). 군소도서 개발도상국들을 포함해 특히 노출된 국가들에서는, GDP 대비 백분율로서 이러한 재산손실이 상당히 더 높을 수 있고, 재해가 발생한 해들의 평균 비용과 재해가 없는 해들의 평균 비용의 비는 10%에 가깝다(예: Grenada and st. Lucia(World Bank and UN, 2010). 극단적인 경우, 개별 현상의 비용은 2004년에 열대저기압 헤타 (Heta)가 발생한 후 폴리네시아 도서국 니우에(Niue)의 사례나 2004년에 허리케인 아이반(Ivan)이 강타한 그라나다(Grenada)의 사례처럼 무려 연간 GDP의 200%에 달할 수도 있다(McKenzie 등, 2005).

재해 위험에 대한 높은 노출이 거시경제 및 발전 상에 영향을 미치는 측면에서, 개발도상국들이 상당한 악영향을 받음을 보여주는 문헌들이 늘어나고 있다(Otero and Marti, 1995; Charveriat, 2000; Crowards, 2000; Murlidharan and Shah, 2001; ECLAC, 2002, 2003; Mechler, 2004; Hochrainer, 2006; Noy, 2009). 이를테면 국가의 신용등급에 부정적 영향을 끼치고 외부차관의 이자율을 상승시켜 직접세 및 간접세 수입 감소, 투자 위축, 장기 경제성장 감소가 일어난다. 개인, 커뮤니티 및 정부의 대응능력이 한정되는 이유 중에는 과세기반 감소와 높은 부채수준, 한정된 가구 소득 및 저축, 재해 위험 이전 수단 및 기타 자금지원 수단의 부재, 자본자산 부족, 한정된 사회보험 등이 있다.

이러한 증거들을 통해 재해가 발전의 퇴보를 야기하고 최근의 발전 이익마저 중단기적으로 역행시킬 수 있다는 것을 알 수 있으며, 재해 위험 관리가 인도주의 문제만큼이나 민감한 발전 관련 사안이라는 점을 강조한다. 커뮤니티 및 국가의 발전상태가 낮을 수록 그들의 재해 위험에 대한 취약성은 증가한다. 재해영향으로 가구들은 기본 욕구에 대한 빈곤선(basic needs poverty line) 아래로 떨어질 수 있고, 다른 충격에 대한 취약성이 더욱 증가할 수 있다(Owens 등, 2003; Lal, 2010). 결과적으로 재해는 발전을 저해하며 빈곤과 발전을 겨냥한 사전 재해 위험 저감정책을 요한다(del Ninno 등, 2003; Owens 등, 2003; Skoufias, 2003; Benson and Clay, 2004; Hallegatte 등, 2007; Raddatz, 2007; Cardona 등, 2010; IFRC, 2010). 그러나 일부 문헌에 의하면 재해가 경제 성장과 발전에 항상 부정적인 영향을 끼치는 것은 아닐 수도 있고, 일부 국가에게는 재해가 발전을 위한 문제가 아닌 발전의 문제로 간주될 수도 있다(Albala-Bertrand, 1993; Skidmore and Toya, 2002; Caselli and Malthotra, 2004; Hallegatte and Ghil, 2007). 또한 재해는 국가의 재건능력과 국제지원의 유입에 따라 단기적으로 경제성장을 증가시킬 뿐 아니라 장기적으로 긍정적 경제성장과 기술적 갱신에 박차를 가하는 것으로 간주되어 왔다. 이러한 관측은 부분적으로는 국가의 회계방식, 즉 재건노력은 긍정적으로 기록하고 일부 경우에 자산과 재산의 즉각적 파괴는 포함시키지 않는 회계방식 때문일 수 있다(Skidmore and Toya, 2002).

생계, 환경 및 경제에 대한 재해의 영향에 더 잘 대응하기 위하여 국가 재해 위험 관리시스템은 최근에 진화되어 왔고, 일부 경우에는 국제적 수단, 특히 효고 행동 계획(HFA) 2005-2015으로, 그리고 더 최근에는 UN 기후변화협약의 적응 어젠다의 일부로 이끌어왔다(UNFCCC; 7.3절 참고). 재해 위험을 다루는 지식, 이해 및 경험의 증가는 빈곤 대상, 복지 증진, 환경관리 개선, 기후변화 적응, 재해 대응, 재해 후 재건과 같은, 취약성 및 노출의 근본 동인을 다룸으로써 위험을 저감하는 것의 중요성을 인정하는 전지구적 패러다임 변화에 점진적으로 기여하였다(Yodmani, 2001; IFRC, 2004, 2010; Thomalla 등, 2006; UNISDR, 2008a; Venton and LaTrobe, 2008; Pelham 등, 2011). 정부는 홀로 행동할 수 없지만 대다수의 정부는 재해 위험을 다루기 위해 커뮤니티 및 민간부문을 지원할 준비가 되어 있다. 그러나 최근 보고된 경험들에 의하면, 국가들은 대응의 측면에서 상당한 차이가 있고, 다른 수준의 불충분한 이행을 비롯해 재해 위험 관리를 지속가능한 개발 정책 및 계획에 통합하지 않았다는 우려가 있다(CCCD, 2009; UNFCCC, 2008b).

다른 이해관계자들이 방식은 다를지라도 위험을 저감, 공유, 전이하도록 안내할 적절한 환경을 만들기 위해 중요한 개발 정책 및 입법 기틀을 마련하고 시행하는 것이 국가수준에서 이루어진다(Carter, 1992; Freeman 등, 2003). 선진국들에서 국가 정부는 사실상 '마지막 보증 수단(insurers of last resort)'인 경우가 많고 사회의 가장 효과적인 보험수단으로 간주된다(Priest, 1996). 또한 정부의 능력에 따라 정도는 다를지라도 정부는 기후 변동성 및 기후변화에 관련된 위험을 기존 재해 위험 관리와 부문별 발전, 정책 및 계획에 편입시킬 능력을 갖고 있다. 이에는 위험 및 불확실성을 평가하여 부문들에서 관리하고, 위험을 공유 및 전이하고, 베이스라인 정보와 연구 우선순위를 정하기 위한 인센티브도 포함된다(Freeman 등, 2003; Mechler, 2004; Prabhakar 등, 2009). 이상적으로, 특히 재해가 종종 인간과 기업의 대응능력을 능가한다는 점을 고려하면 국가수준의 기관들이 극한기후의 문제에 가장 잘 대응할 수 있다(OAS, 1991; Otero and Marti, 1995; Benson and Clay, 2002a,b). 또한 중앙 정부는 과세 능력에 기초해 (6.4.3절과 6.5.3절 참고) 주요 불확실성과 위험을 평가하고 전략적 조치를 취할 수 있는 보다 유리한 위치에 있다. 하지만 특히 노출된 개발도상국은 자연재해로 인한 위험과 책임을 감당하기에는 재정적으로 어려울 수 있다(Mechler, 2004; Cummins and Mahul, 2009; UNISDR, 2011 a).

극한기상 및 극한기후의 변화와 관련 영향은 국가 재해 위험 관리시스템에 새로운 문제들을 가하고, 이 시스템들 중 상당수는 기존 기후변동성 및 극한기후가 가하는 위험에 부실하게 적응되어 있다(Lavell, 1998; McGray 등, 2007; Venton and La Trobe, 2008; Mitchell 등, 2010b). 그럼에도 불구하고 기후변화 적응의 발전을 위한 귀중한 교훈을 기존 국가 재해 위험 관리시스템으로부터 도출할 수 있다(McGray 등, 2007; Mitchell 등, 2010b). 그러한 국가적 시스템은 제도 환경, 국제협약 및 이전 재해의 경험에 따라 여러 범위에서 다양한 기능과 역할을 수행하는 행동주체들로 구성된다(Carter, 1992; Freeman 등, 2003). 이러한 시스템들은 능력과 효율면에서 그리고 행동주체들에게 책임을 분배하는 방식 면에서 국가들 간에 상당한 차이가 있다. 또한 국가들은 극한 현상 및 재해에 대비하고 대응하는 것보다는 재해 위험 관리를 발전 프로세스에 통합하고 취약성과 노출을 저감하는 데 차등적인 중점을 둔다(Cardona 등, 2010).

재해 위험 관리에 대한 최근의 지구적 평가들은 비록 법안 통과, 조기경보시스템 수립, 재해 대비 및 대응 강화 면에서 진전이 있기는 하지만 일반적으로 국가들이나 지역들에서 재해 위험 관리가 지속가능한 발전 정책과 계획에 통합되어 있지 않음을 지적한다(Amendola 등, 2008; UNISDR, 2011 b; Wisner, 2011). 현재의 준비상태와 현재의 기후변동성 및 재해 위험을 저지하기 위해 필요한 것 간의 격차를 줄이는 것이 국가 위험관리 시스템의 급선무이고, 예상 기후변화에 대한 국가들의 대응에서도 핵심적인 측면이다. 여러 범위와 정부수준에서 많은 노련한 행동주체들을 통해 극한기후를 관리한 역사와, 지원 법률과 부문간 조율집단들에 관한 광범위한 사례들이 있어(6.4.2절), 국가 재해 위험 관리시스템은 기후변화 적응을 지원하고 예상 기후재해 위험을 저감하는 데 유망한 방도를 제공한다.

따라서, 본 장에서는 극한기후 및 변동성에 대한 향상된 적응을 위해 정부와 거버넌스의 중요성에 중점을 두고, 재해 위험 및 극한기후를 관리하는 국가시스템, 특히 그러한 시스템의 기능, 행동주체 및 역할 설계를 평가한다. 개발도상국 문제들에 초점을 맞추어, 이 평가는 기존 지식, 정책 및 실무의 적절성을 전지구적 관점에서 고찰하고, 재해 위험에 대한 기후변화의 불확실성과 관련 영향을 다루기 위해 현재의 재해 위험 관리시스템이 어느 정도로 발전할 필요가 있는가를 고찰한다. 6.2절은 그러한 시스템을 만드는 것을 돕는 행동주체들 – 중앙 정부 및 준중앙 정부 기관들, 양자조직 및 다자조직, 민간부문, 연구기관, 시민사회, 커뮤니티 조직들에 초점을 맞춤으로써 기존 극한기후 및 재해의 위험을 관리하는 국가시스템을 특성화 한다. 선진국과 개발도상국의 다양한 예들을 이용해 6.3~6.5절은 현재 및 미래의 위험 관리상태에 대하여 알려진 것들, 기후변화 적응을 위한 효과적인 국가시스템에서 바람직한 것들, 지식들 사이에 어떤 격차가 있는지 등을 설명한다. 이 장의 후반부는 6.2절에서 논의된 행동주체들의 기능별로 구성되어 있다. 그 기능들은 크게 세 범주로 나뉜다 – 기획 및 정책 관련 기능 (6.3절); 전략 기능 (6.4절); 방법과 도구를 비롯한 기후위험 저감 실무 (6.5절). 6.6절은 극한기후 및 재해 위험을 관리하는 국가시스템이 기후변화 및 발전에 의해 부여된 문제들, 특히 불확실성 관련 문제, 위험과 노출의 변화 패턴, 기후변화가 취약성과 빈곤에 미치는 영향 등과 어떻게 보다 밀접하게 조절될 수 있는가를 고찰한다. 6.6절에 제시된 관점들은 8장에서 더욱 면밀히 고찰한다.

6.2 극한기후 및 재해로 인한 위험을 관리하는 국가시스템 및 행동주체

기후 관련 재해 위험을 관리하는 일은 궁극적으로 개인, 가구, 커뮤니티 및 사회를 도와 그들의 위험을 저감하기 위해 국제적, 국가적, 준국가적, 커뮤니티적 범위에 걸쳐 일하거나 종종 협력관계를 맺어 일하는 여러 행동주체들의 관심사이다(Twigg, 2004; Schipper, 2009; Wisner, 2011). 국가 및 준국가 정부, 민간 부문, 연구단체, 시민사회, 커뮤니티 조직들로 구성된 효과적인 국가시스템의 각 행동주체는 저마다 인정된 기능과 능력에 따라 임무를 수행할 것이다. 각 행동주체는 다양한 시공간 범위에서 차등적이면서 보완적인 역할들을 수행할 것이고(UNISDR, 2008a; Schipper, 2009; Miller 등, 2010), 과학적 지식 및 현지 지식을 활용해 조치를 수립하고 위험의 동적 성격을 파악할 것이다(그림 6-1). 국가시스템은 노출, 취약성 및 극한기상 및 극한기후에서 관측되고 전망된 추세들의 문제를 해결하기 위한 국가의 능력에서 핵심이라는 점을 감안하여, 이 절에서는 그러한 국가시스템 안에서 일하는 각 행동주체들의 역할에 대한 문헌들을 평가한다.

그림 6-1은 과학정보와 전통지식을 이용해 국제수준에서 활동하고 전국적인 조치 지원환경을 만드는 국가 조직 및 기관들을 중심으로, 각 수준의 행동주체, 역할 및 기능들 간의 인터페이스와 상호작용을 보여준다.

6.2.1. 중앙 정부와 준국가 정부

국가수준은 재해 위험 통치 및 관리에서 핵심적인 역할을 하는데, 이는 중앙 정부가 위험관리와 관련한 공공재를 제공하는 주축이라는 점에서 기인한다. 국가 정부는 흔히 그러한 공공재의 계획과 실행에서 재정 및 조직 권한을 갖는다(높은 동의수준, 강한 증거수준). 중앙 정부는 재해로부터 국민의 안전과 안보를 보장함은 물론 경제적 사회적 안녕을 보장할 도덕적, 법적 책임이 있다(UNISDR, 2004). 또한 최빈곤층과 최취약층을 재해로부터 보호하고 모두에게 닿는 재해 위험관리를 시행하는 것도 정부의 책임이다(McBean, 2008; O'Brien 등, 2008; CCCD, 2009). 위험 소유권(risk ownership) 측면에서, 정부와 공공 재해당국은 현재 및 미래 극한 현상 위험의 상당 부분을 '소유'하고, 사회의 다른 부분에 의해 생기는 위험을 통치 및 조절해야 한다(Mechler, 2004). 다양한 기준에 관한 문헌들이 이를 뒷받침 한다. 한 예로, 경제적 복지 이론에 관한 문헌은 국가 정부는 3대 기능으로 인해, 즉 공공재 및 공공서비스의 제공 (예: 교육, 깨끗한 환경, 보안); 소득 재분배; 경제 안정화 (Musgrave, 1959; Twigg, 2004; White 등, 2004; McBean, 2008; Shaw 등, 2009)으로 인해 자연재해 위험과 잠재 손실에 노출된다고 주장한다. 정부가 직면한 위험에는 공공 기반시설, 자산, 및 국가 예비금의 상실도 포함된다. 또한 국가 정부는 소득을 사회 구성원들에게 재분배 하기 때문에, 특히 국민 1인당 소득이 낮거나 빈곤층 비율이 높은 국가에서는 사회구성원들이 어려움에 처할 때 (Linnerooth-Bayer and Amendola, 2000) 혹은 사회구성원들이 빈곤해질 위험이 있을 때 중앙 정부가 나서게 되고, 기초 생활수준을 유지하기 위해 구제비용 지출이 필요해진다(Cummins and Mahul, 2009). 마지막으로, 정부는 경제가 불균형 상태일 때는 공급측의 중재를 통해 경제를 안정화시킬 것으로 예상된다.

국가 정부는 종종 '마지막 보증 수단'으로 불린다. 비록 국가 정부가 그러한 책임을 준수하는 정도와 이행하는 능력은 국가에 따라 큰 차이가 있지만 민간인 가정과 회사들은 도움이 필요할 때 종종 국가 정부에 의지하기 때문이다. 그럼에도 기후변화 정황에서는 정부는 재해 위험 관리에서 현



그림 6-1 | 재해 위험 관리와 기후변화 적응을 위한 국가적 행동주체 및 기능 시스템

재의 격차를 해결하는 것뿐 아니라 극한기후의 빈도, 규모 및 지속기간의 증가로 인한 불확실성과 욕구 변화에 대응하는 데서도 특히 중요한 역할을 한다(Katz and Brown, 1992; Meehl 등, 2000; Christensen 등, 2007; 3장 참고).

각 수준의 정부(중앙 정부, 준국가 정부, 지방정부)뿐 아니라 개별 부문의 기관들은 취약성의 동인을 다루고 극한 현상의 위험을 관리하는 데서 여러 역할을 수행한다. 그러나 그 효율은 국가 내는 물론 국가들 간에도 차이가 있다. 그들은 위험관리를 우선시하는 정책, 규정 및 제도적 기틀을 안내, 구축 및 개발하고(Handmer and Dovers, 2007; UNISDR, 2008b; OECD, 2009); 재해 위험 관리를 다른 부처에 속한 다른 정책 분야 (예: 개발 또는 환경 관리)와 통합하며 (UNISDR 2004, 2009c; White 등, 2004; Tompkins 등, 2008); 취약성의 동인을 다루고 최취약층을 지원할 (McBean, 2008; CCCD, 2009) 유리한 위치에 있다. 여러 부문 및 수준의 정부들도 교육, 훈련, 연구를 통해 취약성의 동인을 다루고 재해 위험관리를 지원하는 공공재와 서비스를 제공할 수 있다(White 등, 2004; Shaw 등, 2009, Twigg, 2004; McBean, 2008; Shaw 등, 2009).

또한 정부는 재해 위험관리를 위한 재정자원과 행정자원을 할당하고 정치적 권한을 제공한다(Spence, 2004; Twigg, 2004; Handmer and Dovers, 2007; CCCD, 2009). 증거에 의하면, 성공적인 재해 위험관리는 부분적으로는 자원이 모든 행정수준에서 제공되는가에 달렸지만 현재까지 많은 국가에서 특히 지방정부 수준에서는 재해 위험관리를 위한 정책과 제도적 약속이 불충분하다(Twigg, 2004; UNISDR, 2009d). 정부는 민간부문, 시민사회 조직 및 기타 발전 파트너들이 재해 위험 관리에서 각자의 차등적 역할을 하도록 이끌고 지원하는 중요한 역할도 한다(O'Brien 등, 2008; Prabhakar 등, 2009).

6.2.2. 민간 부문 조직

민간 부문은 재해 위험 관리 및 적응에서 작지만 중요한 역할을 한다. 재해 위험 관리의 일부 측면은 비정부 이해관계자가 이행하는 것이 적절할 수도 있지만 정부가 만들고 시행하는 기틀 내에서 종종 효과적으로 조율될 것이다. 민간부문이 참여할 세 가지 방법은 (1) 기업의 사회적 책임(corporate social responsibility, CSR); (2) 공공–민간 파트너십(public–private partnerships, PPP); (3) 사업모델 접근법일 수 있다. CSR은 재해 위험 저감에 대한 기업들의 자발적 옹호와 인식 제고뿐 아니라 위험관리 방안을 이행하기 위한 자원봉사자와 전문지식의 기여가 필요하다. PPP는 공공부문과 민간부문의 공동 프로젝트에서 재해 위험 저감을 위한 공공재의 제공을 강화하는 데 초점을 맞춘다. 사업모델 접근법은 재해 위험 저감을 기업의 현업적이고 전략적인 목표와 통합하고 맞추는 것을 추구한다(Warhurst, 2006; Roeth, 2009). CSR과 PPP는 상당한 관심을 받아 왔지만 사업모델 접근법은 꽤 생소한 분야로 남아 있으며, 매우 중요한 예외 하나는 보험산업은 재해 위험 및 손실을 전이하고 공유하기 위한 도구의 공급자라는 점이다.

사업모델 접근법 측면에서 보험은 핵심적인 부문이다. 재해 전 보험료 납입의 대가로, 2010년에 재해보험과 기타 위험전이 수단은 총 재해손실의 약 30%를 충당하였다(Munich Re, 2011). 기상 관련 측면에서, 1980~2003년에 보험은 손실의 약 20%를 충당하였으나 국가 소득군에 따른 분포는 불균등하여 고소득 국가군에서는 손실의 약 40%가 보험으로 충당된 반면에 저소득 국가군에서는 약 4%에 불과하였다(Mills, 2007). 개발도상국들에서는 위험전이에 관한 수요공급의 복잡성과 불확실성에도 불구하고, 위험금융 매커니즘이 재해의 재정 부담을 흡수할 상당한 잠재력을 보여준 것으로 나타났다(Po liner, 2000; Andersen, 2001; Varangis 등, 2002; Auffret, 2003; Dercon, 2005; Hess and Syroka, 2005; Linnerooth-Bayer 등, 2005; Skees 등, 2005; World Bank, 2007; Cummins and Mahul, 2009; Hazell and Hess, 2010). 그래도 민간부문이 불확실성과 불완전한 정보, 소실되거나 잘못 조정된 시장 그리고 제약으로 인한 환경변화 상황에서 이 역할을 어느 정도로 계속 수행할지에 대한 불확실성이 있다(Smit 등, 2001; Aakre 등, 2010). 민간 보험사는 위험 및 불명확한 위험의 변화에 대하여, 즉 잠재적으로 수정된 극한 현상 강도 및 빈도 측면에서 기후변화로 인한 변화의 불확실성에 대하여 우려한다. 따라서 기후변화와 취약성 및 노출의 변화(1, 2, 3장 참고) 같은 다른 동인들이 기상 위험 및 극한 현상의 빈도와 강도를 변화시킬 것으로 전망됨에 따라, 보험사들은 극한 현상에 대한 위험 보험금을 지급할 준비가 덜 될 수도 있다. 따라서 위험을 더 잘 추정하여 가격을 책정하고 좋은 보험 상품을 개발하기 위해서는 혁신적인 민간–공공부문 파트너십이 필요할 수 있으며 그러한 상품은 개발도상국에서는 발전 파트너 기금에 의해서도 지원될 수 있다(6.5.3절과 사례 연구 9.2.13 참고).

전문가 협회 (건설사 협회, 건축가 협회)와 동업조합도 재해 위험을 저감하기 위한 표준과 실무를 개발 및 이행하는 데 핵심 역할을 한다. 지방정부, 주정부, 중앙 정부의 규정에서 채택되는 국가 및 국제 표준과 모델 건축규정도 그러한 실무일 수 있다. 건설공사, 정보통신기술, 미디어 및 통신, 공공시설 및 교통 같은 부문의 재해 위험 저감에서 민간부문의 잠재력은 커 보이지만 많은 이유로 인해 민간부문 활동의 성공 증거는 제한적이다(Roeth, 2009). 재해 위험 저감에서 민간부문 참여를 위한 사업사례는 여전히 불분명하여 민간부문 참여를 방해한다. 회사들은 사업에 핵심적인 활동을 보고하기 꺼릴 수 있고, 커뮤니티 중심의 프로젝트에서는 종종 지방 비정부조직과 함께 일하는데 그러한 노력들을 보고하지 않는 경우가 종종 있다. 사업모델 내에서 기후변동성과 변화를 고려하면, 특히 기후 관련 재해로 대규모 교란이 발생할 때 전지구적 가치 사슬(value chain)을 보장한다는 측면에서 회사는 회사재해 위험 저감을 위한 중요한 시작점일 수 있다. 예를 들어, 중국의 해안지대(Chinese coastal zone) – 중국의 경제 중심부이자 세계 소비재의 상당량을 생산하는 많은 다국적 회사들의 근거지–의 경제적 생존력(viability)은 태풍 위험에 고도로 노출되어 있으며, 잘 실행되는 재해 위험 저감 메커니즘에 점점 더 의존할 것이다(Roeth, 2009).

6.2.3. 시민사회 조직과 커뮤니티 조직

국가수준에서 시민사회 조직(CSO)과 커뮤니티 기반의 조직(CBO)는 재해에 대응하고 재해 위험을 저감하고 기후 위험에 적응하기 위한 이니셔티브를 개발하는 데 중요한 역할을 한다('지방(local)'과 '커뮤니티(community)'에 대한 고찰은 5.1절 참고. 지방 CBO의 역할에 관해서는 5.4.1절 참고). 여기서 CSO와 CBO는 사회가 자발적으로 구성하는 다양한 협회(association)를 말하며, CBO는 주로 지방의 이해관계 및 유대관계에 관련된 협회를 말한다. 재해 위험 관리 분야에서 CSO 및 CBO 이니셔티브는 대개 인도주의적 관심으로서 시작할 수 있으며, 교육과 옹호; 환경 관리; 지속가능한 농업; 기반시설 건설; 생계 다각화를 목표로 하는 특정 활동을 비롯해, 커뮤니티 중심의 위험 평가 후에 재해 위험 저감의 더 폭넓은 문제를 아우르도록 진화하기도 한다 (McGray 등, 2007; CARE International, 2008; Oxfam America, 2008; Practical Action Bangladesh, 2008; SEEDS India, 2008; Tearfund, 2008; World Vision, 2008).

최근에 일부 고위험 지역들에서는 재해 위험 저감에 관련된 정책과 실무의 변환을 추진하기 위하여 협력해온 CSO와 CBO의 국가적 플랫폼이 급격히 발전하였다. 특히 중미에서 그러하였는데 중미에서는 120개 이상의 CSO와 CBO가 관련된 적어도 4개의 플랫폼이 4개 국가에서 작동 중이다(CRGR, 2007a). 이 플랫폼들의 노력은 재해 위험 저감에 있어서 옹호, 훈련, 연구, 능력구축을 목표로 해왔다. 중미에서, 기후정책 구축에 관한 옹호는 2007년부터 그러한 플랫폼의 새로운 특징이 되었다(CRGR, 2009). 본 장의 범위 밖 내용이긴 하지만, 모든 상황을 감안했을때 CSO와 CBO의 대부분은 지역 수준의 노력에 초점을 맞추고, 재해 위험 관리를 물, 위생, 교육, 보건에 관련된 지역 발전 목표와 연관시키려 노력한다(GNDR 2009; Lavell, 2009). 종교단체들도 재해 위험 관리에서 지방의 커뮤니티를 지원하는 데 영향력을 발휘하여, 재해 발생 시 목회 활동을 제공할 뿐 아니라 인식 제고와 훈련에서도 중요한 역할을 하며, 많은 국제 개발 파트너들은 커뮤니티 복원력을 구축하기 위해 종종 지방 교회단체들과 협력한다(ADPC 2007; Gero 등, 2011; Tearfund, 2011).

라틴 아메리카의 몇몇 국가에서 CSO와 CBO는 법적으로 시민 보호를 위한 국가적 시스템의 일부로 간주된다(Lavell and Franco, 1996; CRGR, 2007b). 하지만 적십자(National Red Cross)/적신월사(Red Crescent Societies)를 제외하면 참여는 미미한 상태이다(UNISDR, 2008c). 정부가 훈련, 식량안보 지원, 충분한 주택 제공, 대비 같은 재해 위험 관리 기능을 수행할 수 없거나 수행할 의향이 없는 일부 국가들에서는 CSO와 CBO가 나서왔다((Benson 등, 2001). CSO는 성공적인 이니셔티브를 되풀이할 자원을 확보하고 지리적으로 점차 규모를 확대(CARE International, 2008; Oxfam America, 2008; Practical Action Bangladesh, 2008; SEEDS India, 2008; Tearfund, 2008; World Vision, 2008); 지방 정부 및 이해관계자들과의 장기간 협력 약속을 지속시키고 지방 당국과 파트너십을 유지(Oxfam America, 2008); 특정 프로젝트 이행 시 지방 수준의 노력을 준국가 정부의 이니셔티브 및 국가 계획과 조율하고 연계(SEEDS India, 2008) 하는 데서 종종 문제에 직면하지만, CSO는 현재 그러한 전문기술을 결합할 몇 안되는 조직 중 하나라는 점을 감안하면, 특히 재해 위험 저감과 기후변화 적응을 연계시킬 유리한 위치에 있다(Mitchell 등, 2010b).

6.2.4. 양자 기관과 다자 기관 (Bilateral and Multilateral Agencies)

개발도상국, 특히 정부의 힘이 약하고 자원이 한정된 개발도상국에서는, 양

자(bilateral) 및 다자(multilateral) 기관들이 국가 발전 목표의 상황에서 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 다각적 문제를 처리하기 위해 정부기관과 준정부기관에게 재정적, 기술적, 전략적 지원을 제공하는 데 중요한 역할을 한다(예: AusAid, 2009; DFID, 2011). 여기서 다자 기관이란 발전에 초점을 맞추고 수혜국을 지원하는 정부 회원들을 가진 국제 기관을 말한다. 그러한 기관에는 UN 기관, 지역적 단체 (예: 일부 EU 기관), 다자 개발 은행(multilateral development banks) (예: 세계은행(World Bank), 아시아 개발 은행(Asian Development Bank)) 등이 포함될 수 있다. 양자 기관 (예: 영국 국제개발부(United Kingdom Department for International Development)은 한 정부와 다른 정부 간의 관계에 초점을 맞춘 국가 기관을 말한다. 개발권에서 이것은 부유국이 빈곤국에게 지원을 제공하는 상황 안에 있다. 양자 및 다자 기관을 포함해 국제기관의 역할은 7.3절에서 고찰한다.

양자 기관과 다자 기관은 재해 위험 저감과 기후변화 적응을 개발계획에 더욱 편입시키는 데 핵심 역할을 해왔다(Eriksen and Neess, 2003; Klein 등, 2007; 6.3절 참고). 이것은 주로 개발투자는 기후 및 재해 관련 위험에 점점 더 노출되고 기후변화는 안보 문제를 가한다는 우려 때문이었다(Harris, 2009; Persson and Klein, 2009). 결과적으로 그러한 기관들은 국가수준에서 발전 정책 및 이행에 영향을 주고 있다. 그러한 기관들은 프로젝트 승인 과정의 여러 시점에서 그리고 프로젝트가 이미 진행 중인 경우에는 소급적으로 재해 및 기후 위험평가와 환경적인 심사를 요구하기 때문이다(Klein 등, 2007; OECD, 2009; Hammill and Tanner, 2010). 그러한 과정을 지원하기 위해 많은 도구와 방법들이 양자 및 다자 기관들에 의해 개발되었다 (Klein 등, 2007; Hammill and Tanner, 2010).

위험 평가 및 심사를 위한 도구와 방법을 개발하는데 상당한 진전이 이루어졌지만, 다수의 양자 및 다자 기관들은 재해 위험 관리와 기후변화 적응을 별개로 다루고 있으며, 개별 지역 및 국가 기관들과 연계하고 있다(Mitchell and Van Aalst, 2008; Mitchell 등, 2010b; Gero 등, 2011). 그러나 최근 평가들에 의하면 이 상황은 부분적으로는 이 특별보고서의 승인 과정 덕분이고 발리 행동 계획(Bali Action Plan, 2007)과 칸쿤 협정(Cancun Agreement, 2010)의 본문에서 위험관리에 초점을 두고 있기 때문에 개선되고 있다(Mitchell 등, 2010b; 보다 자세한 내용은 7.3.2.2절 참고).

국가적 상황이 다양하기 때문에 양자 및 다자 기관들은 여러 방식으로 기술적, 재정적, 전략적 지원의 효과를 최대화할 필요가 있다. 예를 들어, 태평양과 카리브해의 지역 단체들 (예: 카리브해 재해 비상 관리청, Caribbean Disaster Emergency Management Agency)은 흔히 중재자로서 운영되면서, 국제기관이 영구적 적응 또는 위험관리 기관을 수립하는 것이 비효율적인 도서국가들에게 자원을 연결해준다(Hay, 2009; Gero 등, 2011). 국가기관이 약한 국가들에서 양자 및 다자 기관들은 최빈곤층과 최취약층에게 자원이 닿게 할 의도로 보통은 시민사회 조직을 통해 자원을 연결해주는 쪽을 택한다(Wickham 등, 2009). 그러한 상황에서 기관들 간의 조율은 어려울 수 있고 어떤 상황에서는 정부조직의 위험관리 능력을 더욱 감소시킬 수 있다(Wickham 등, 2009). 그러나 위험관리 및 적응 과정을 개선하도록 그리고 이에 관하여 국가 정부가 국가시스템을 지원하도록 추구함으로써 중앙정부 지원을 최대화 하는 추세이다(GFDRR, 2010; DFID, 2011).

6.2.5. 연구와 소통

국가시스템의 극한기후 및 재해 위험 관리 효율은 커뮤니티에 기반한 의사결정과, 재해 위험 및 기후변화 적응에 대한 국가적 접근법을 관리하는 정책결정자들 뿐 아니라 그러한 의사결정을 지원할 분석정보를 제공하는 연구자들에게도 정보를 제공할 강건하고 시기 적절한 과학적 자료 및 정보 (Sperling and Szekely, 2005; Thomalla 등, 2006; CACCA, 2010) 그리고 전통적인 지식 (Mercer 등, 2007; Kelman 등, 2011; Box 5-7 참고)의 가용성 및 소통에 크게 의존한다.

과학연구 조직들은 특별 연구센터와 대학교부터 지역 조직, 국립 연구기관, 다자 기관, 차등적 역할을 하는 CSO까지 다양하지만 일반적으로 재해 위험 관리 커뮤니티와 기후변화 적응 커뮤니티로 나뉜다. 과학적 연구단체들은 극한기후 및 재해 위험을 관리하는 데 다음과 같이 중요한 역할을 한다. 이는 (a) 저기압, 가뭄, 모래폭풍, 홍수 같은 과거 위험현상의 진화와 결과를 연구하는 주제 프로그램을 지원; (b) 기상 관련 위험의 패턴에서 시공간 의존성을 분석; (c) 조기경보 시스템, 모델링, 장기 예측을 위한 협력 네트워크를 구축; (d) 기술능력 구축 및 훈련에 적극 참여; (e) 과학적 증거를 적응 실무로 변환; (f) 전통적 지식과 학습된 교훈을 더 널리 보급하기 위해 취합; (g) 과학적 정보를 커뮤니티가 사용하기에 편리한 사용자 친화적 형태로 변환(Sperling and Szekely, 2005; Thomalla 등, 2006; Aldunce and Gonzalez, 2009) 등이다.

재해 실무자들은 대개 단기 기상예측의 이용과 위험정보 및 대응의 효과적인 보급과 소통에 초점을 맞춘다(Thomalla 등, 2006). 그러한 기후변화 전문지식은 대체로 기상기관, 환경/에너지 부서 및 학술기관에서 찾을 수 있고 (Sperling and Szekely, 2005), 반면에 재해 위험 평가는 다자 조직, 시민사회 조직 및 국가 재해관리 당국의 중심에 있다(Sperling and Szekely, 2005; Thomalla 등, 2006). 과학정보의 소통과 가용성이 개선되긴 했지만 지역별 재해 위험 관리를 뒷받침 할 위험 및 위험 평가에 관한 지역/준국가 자료는 여전히 불충분하다(Chung, 2009; UNISDR, 2009c).

6.3. 통합 위험관리, 적응 및 개발 접근법을 위한 계획과 정책

차이가 있기는 하지만 학습은 실행에서 나온다는 것을 고려하면, 국가들이 자국의 기후 및 재해 위험의 우선순위 결정; 기후변화 적응과 재해 위험 관리를 발전 계획, 정책 및 프로세스에 편입; 증가하는 수요를 충족시킬 재정 및 인적 자원 확보하는 것에 대해 국가들 서로 간에 배울 수 있는 길은 많다(UNDP, 2002; Thomalla 등, 2006; Schipper, 2009). 이 소절은 국가 재해 위험 관리 및 기후변화 적응 계획과 정책의 기틀(6.3.1절)과 국가 시스템이 이용할 수 있는 부문별 재해 위험관리 및 기후변화적응 옵션을 위한 기틀(6.3.3절)을 다룬다. 이 과정들에 종사하는 행동주체들은 6.2절에서 설명하였다.

6.3.1. 국가 계획 및 정책 과정의 개발과 지원

국가 및 준국가 정부와 법정 기관은 부처, 공공서비스 기관, 민간부문 및 개인들이 활동을 할 수 있는 환경을 만들 다양한 계획 및 정책 옵션을 보유하고 있다(UNDP, 2002; Heltberg 등, 2009; OECD, 2009; ONERC, 2009; Hammill and Tanner, 2010). 재해 위험 관리 및 기후변화 적응 조치를 고려할 때 그 조치들의 우선순위와 채택에서 종종 중요한 역할을 하는 것은 잠재적 기후 및 재해 위험과 영향의 범위; 정부나 기관의 행동 능력; 미래 변화에 대한 확실성의 수준; 미래 영향 및 재해가 발생할 기간; 그리고 비용과 결정의 결과이다(Heltberg 등, 2008; World Bank, 2008; Wilby and Dessai, 2010).

기후변화 적응의 복잡성과 다양성은 적응 옵션을 평가하고 계획하고 이행하는 데 있어서 권장되는 유일한 방법이 있을 수는 없다는 의미를 함축한다(Fussel, 2007; Hammill and Tanner, 2010; Lu, 2011). 계획대상 기간(planning horizon)이 짧고 적응 의사결정이 향후 10~20년에만 영향을 주는 경우, 최근 기후 변동성과 관측된 추세에 대한 적응이면 충분할 수 있다(Hallegatte, 2009; Wilby and Dessai, 2010; Lu, 2011). 장기적인 위험 및 결정에서는 적응 옵션의 시행 시기와 순서 그리고 기후변화 시나리오의 결합이 점점 중요해진다(Hallegatte, 2009; OECD, 2009; Wilby and Dessai, 2010). 연구들에 의하면, 가장 실용적인 적응 및 재해 위험 관리 옵션은 기간(timeframe), 국가 또는 부문 기관의 적응 능력, 그리고 기후변화 및 그것의 불확실성에 관한 정보를 효과적으로 통합할 국가 또는 부문 기관의 능력에 달렸다(McGray 등, 2007; Biesbroek 등, 2010; Krysanova 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010; Juhola and Westerhoff, 2011). 의사결정 범위의 다양한 불확실성을 고려한 연구들은 관측된 기후 및 추세의 정보에 기초한 적응조치는 일부 경우에는 바람직할 수도 있지만, 장기적 비가역적 의사결정을 동반한 다른 경우에서는 기후변화 시나리오에 따른 적응조치가 필요할 것이라고 주장한다(Auld, 2008b; Hallegatte, 2009; OECD, 2009; Krysanova 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010). 기후변화 시나리오는 기후변화 영향의 방향을 아는 경우에 그리고 의사결정이 장기적 건축 기반시설, 발전 계획, 더 강력한 극한 현상으로 인한 파국적 영향을 피할 조치와 관련 있는 경우에 적응조치 가이드라인을 제공한다(Haasnoot 등, 2009; Hallegatte, 2009; Wilby and Dessai, 2010).

기후변화 및 재해 위험 불확실성을 다룰 때 많은 국가적 연구들은 적응과 재해 위험관리를 위한 계획 및 정책 옵션의 단계(gradation) 또는 범주를 확인한다(Dessai and Hulme, 2007; Auld, 2008b; Hallegatte, 2009; Kwadijk 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010). 옵션에서 이 단계들은 때때로 '상향식'이라고 기술되는 기후 취약성 또는 복원력 접근법; 때때로 '하향식'이라고 기술되는 취약성, 극적 전환(tipping point), 기준값, 또는 기후 모델링에 대한 정책우선 접근법, 영향 기반의 접근법; 모델 또는 영향 우선적; 과학 우선적; 또는 고전적 접근법까지 다양하다(그림 6-2, 표 6-1의 부문별 옵션 제목, 및 6.3.3절 참고). 상향식과 하향식이라는 용어는 때때로 범위나 주제, 정책을 가리키곤 하지만 (예: 자연시스템 대 지역적, 물리적, 사회경제적 시스템), 여기서는 국가수준에서 적응 및 재해 위험관리 계획과 정책을 개발하는 데 필요한 순서 또는 단계를 말한다. 장기적 미래 기후변화 위험을 다룰 때, 시나리오-영향 우선적(scenarios-impacts-first) 접근법과 취약성-기준값 우선적(vulnerability-thresholds-first) 접근법의 주요 차이는 그림 6-2와 같이 분석 단계들의 시기 또는 순서에 있다(Kwadijk 등, 2010; Ranger 등, 2010). 이 차이는 미묘해 보이긴 해도 불확실성 관리, 적응옵

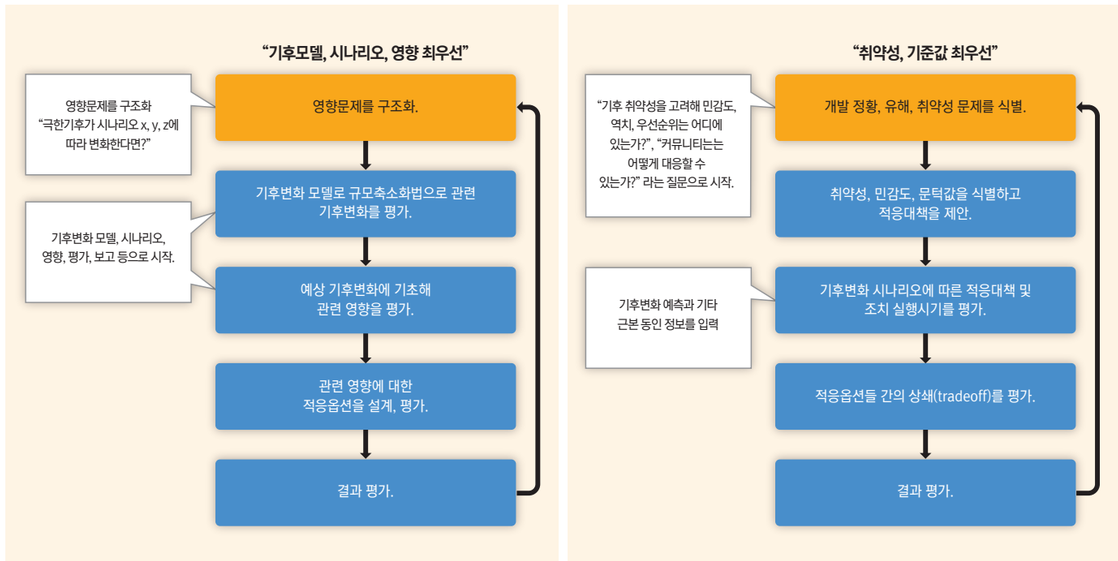


그림 6-2 | 하향식 시나리오, 영향우선 접근법 (왼쪽)과 상향식 취약성, 기준값우선 접근법 (오른쪽) – 기후변화 조건 아래서 적응옵션 확인 및 평가에 관련된 단계들의 비교. 출처: Kwadijk 등 (2010)과 Ranger 등 (2010). (2010).

션의 타이밍, 정책입안의 효율과 상당한 관련이 있다(Dessai and Hulme, 2007; Auld, 2008b; Kwadijk 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010; Lu, 2011). 예를 들어, 결정이나 정책, 대책의 수명이 몇 십년 간 영향을 줄 때 또는 결정이 비가역적이거나 기후에 민감할 때는 일련의 기후변화 시나리오들에서 적응 및 위험저감 옵션의 성능이 중요해진다(Auld, 2008b; Kwadijk 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010).

취약성 기준값에 기반한 접근법은 정책결정자 수준에서 출발하고, 바람직한 시스템 목적과 제약을 확인하고, 시스템 또는 부문이 기후변화에 얼마나 복원력이 있는가 또는 강건한가를 고려하고, 적응능력과 중요한 '극적 전환' 또는 기준값을 평가한 다음에, 미래 기후 시나리오 아래서 복원력과 강건성을 향상시키는 데 필요할 타당한 적응전략을 식별한다(Auld, 2008b; Urwin and Jordan, 2008; Hallegatte, 2009; Kwadijk 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010). 취약성 기준값 접근법은 특정 미래 기후 조건과 무관할 수 있다.

'후회 없는' 옵션과 '후회가 적은' 옵션은 어떤 범위의 기후변화 시나리오 아래서도 이익을 제공하지만, 모든 미래 시나리오에 최적은 아닐 수도 있으며, 미래의 기후변화 방향 및 영향에 대한 불확실성이 높은 경우에 권장된다(Dessai and Hulme, 2007; Auld, 2008b; Hallegatte, 2009; Kwadijk 등, 2010). 대체로 이 '후회를 최소화하는' 적응옵션들은 예보 및 경보 시스템 개선; 가뭄다발 지역에서 기후정보를 이용해 농업관리 개선; 농가주택 홍수방지; 또는 토목공사에 최신 기후 설계 정보를 보장할 중재책 등과 같은 대응전략 개선 또는 위협에 대한 노출 저감을 포함한다(Auld, 2008b; Kwadijk 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010). 취약성-기준값-우선 접근법은 현재의 기후 관련 위험이 충분히 통제되지 않는 경우 또는 기후 스트레스 요인이 비기후 요인과 밀접하게 얽혀 있거나, 계획대상기간이 짧거나, 자원 (즉, 전문지식, 자료, 자금)이 극히 제한되어 있거나, 미래 기후영향에 대한 불확실성이 매우 큰 경우에 당장 조치를 취할 우선지역을 식별하는 데 특히 유용하다(Agrawala and van Aalst, 2008; Hallegatte, 2009; Prabhakar 등, 2009; Wilby and Dessai, 2010).

취약성-기준값-우선 접근법은 취약성 평가를 완료하는 데 걸리는 시간; 전문가 의존성; 대체로 정성적인 결과; 그리고 지역간 비교가 제한적이라는 점 때문에 때때로 비평을 받아왔다(Patt 등, 2005; Kwadijk 등, 2010). 취약성 기준값 접근법은 대응 기준값이 변하는 경우나 최근 경험의 범위에서 벗어난 기후변화 위험이 등장하는 경우에는 적응 결정을 안내하기에 덜 적합할 수도 있다(예: 수 개월 지속되는 가뭄은 시골 빈곤층의 부채를 점진적으로 증가시켜 대응 기준값을 감소시킬 수 있다) (McGray 등, 2007; Agrawala and van Aalst, 2008; Auld, 2008b; Hallegatte, 2009; Prabhakar 등, 2009; Wilby and Dessai, 2010).

시나리오-영향 우선 접근법은 전형적으로 몇몇 기후변화 모델링 시나리오와 사회경제적 시나리오로 출발하고, 기후변화의 예상 영향을 평가하여, 예상위험을 줄일 적응 및 위험저감 옵션을 규명한다(Kwadijk 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010). 시나리오-영향 우선적 접근법은 현재의 기후 및 재해 위험이 효과적으로 통제될 수 있는 경우, 적응에 관련된 공간 분해능에서 최신 기후 시나리오를 생산할 충분한 자료와 자원이 이용 가능한 경우, 그리고 미래 기후영향을 신뢰성 있게 전망할 수 있는 경우에 가능한 적응전략을 탐구하고 연구의 우선순위를 결정하며 문제의식을 높이는 데 가장 유용하다(Kwadijk 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010). 시나리오-영향 접근법은 선택된 기후변화 시나리오와 규모축소화 기법, 그리고 과학적 사회경제적 불확실성에 대한 가정에 의존한다(OECD, 2009; Kwadijk 등, 2010). 순수 시나리오-영향 접근법은 정책결정자와 관련한 공간 규모에서는 사용하지 못할 수도 있고, 정책결정자가 이용할 목적으로 적용하지 못할 수도 있으며, 대개는 자연적 기후변동성에서 오는 현재의 위험과, 강건한 적응정책과의 관련성에 따른 핵심 불확실성을 덜 고려한다(Fussel, 2007; Wilby and Dessai, 2010). 실제로 시나리오-영향 접근법에만 기초해서 실제 적응정책을 개발하고 계획된 적응 결정사항을 이행하는 예는 극히 드물다(Fussel, 2007; Biesbroek 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010).

연구들은 시나리오-영향 접근법과 취약성-기준값 접근법이 서로 보완적이고 통합될 필요가 있으며 둘 다 이해관계자 및 과학적 입력 자료를 추가해 기후변화 취약성의 기준값을 결정하는 것이 이익일 수 있다는 것을 점차 인정하는 추세이다(Auld, 2008b; Haasnoot 등, 2009; Kwadijk 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010). 기준값 (또는 적응의 극적 전환)은 의사결정-그리고 정책결정자-의 기본 적응 질문, 즉 기후변화 아래서 재해 위험이 증가함에 따라 다룰 필요가 있는 최우선 문제는 무엇이고, 이 기준값들에 언제 도달할 것인가에 답하는 데 도움이 된다(Auld, 2008b; Haasnoot 등, 2009; Kwadijk 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010). 시나리오-영향 접근법과 취약성-기준값 접근법의 통합은 서로 다른 기후변화 시나리오 아래서 부문의 민감성과 옵션의 내구성에 대한 안내를 제공한다(Haasnoot 등, 2009; Kwadijk 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010). 기후변수들의 변화를 결정과 정책에 연결하고 정책이나 계획이 효과적일 수 있는 기간 측면의 불확실성 (즉, 대략 언제 기준값에 도달할 것인가)를 표현하는 통합 접근법은 계획과 정책 및 그것들의 이행에 중요한 정보도 제공한다(Haasnoot 등, 2009; Kwadijk 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010).

사용된 접근법에 상관없이, 미래 기후변화 위험에 대한 불확실성은 미래 기후변화 위험저감 조치에 장벽이 되지 않아야 한다는 것이 중요하다(Auld, 2008b; Hallegatte, 2009; Krysanova 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010). 기후변화 불확실성이 높게 유지되는 경우, 국가들은 모호한 영향연구를 사용하거나 아무런 조치를 취하지 않음으로 인한 위험 부적응보다는, 불확실성 대응능력을 키우거나 강화하는 쪽을 택할 수 있다(McGray 등, 2007; Hallegatte, 2009;Wilby and Dessai, 2010). 미래 부적응 위험을 줄이기 위해서 일부 연구들은 기후변화 불확실성에 대처할 적응 지향적(pro-adaptation)인 강건한 옵션을 사용하기를 권장한다(Auld, 2008b; Hallegatte, 2009; Wilby and Dessai, 2010).

표 6-1 | 국가적 정책, 계획 및 프로그램: 부문별 재해 위험 저감 및 기후변화 적응 옵션

부문/대응	현재 및 미래 위험에 대한 '후회 없는' 조치와 '후회 적은' 조치	('후회 없는/적은' 조치 외에도) 불확실성을 줄여 기후변화 위험에 대비 (능력 강화)	(기후변화 위험 대비 외에도) 미래 기후변화의 위험 저감	위험 이전	증가된 피할 수 없는 (잔류) 위험을 인정하고 대처	온실가스 저감, 적응, 위험 저감 및 발전 이익을 위한 윈윈 시너지
자연 생태계와 산림	● 생태계에 기반한 적응(Ecosystem-based Adaptation, EbA) 또는 '연성공법(soft engineering)'의 사용; 재해 위험 저감과 기후를 통합 해안지대 및 수자원 관리, 산림관리, 및 토지사용 관리에 통합; 생태계 복원력의 보전과 강화; 보호 생태계 시스템을 복구[1] ● 적응적 산림관리; 산불 관리, 연소 통제; 혼농임업(agroforestry); 생물다양성[2] ● 산림 악화와 지속 불가능한 수확을 줄이고, 대체 생계와 생태계 관광에 인센티브 제공[6]	● UNFCCC와 리오협약 간 시너지; 다른 UN 협약의 목표를 방해하는 조치는 지양[3] ● 기후변화-생태계-산림의 연관성, 기후 및 생태계 예측 시스템, 기후변화 전망을 연구; 생태계와 기후추세를 모니터링[3] ● 생태계 관리를 국가적 적응조치 프로그램(National Adaptation Programmes of Action)과 재해 위험 저감계획에 결합[3]	● 생태계 복원력을 유지하기 위한 기후변화 적응 중재; 통로, 이주 지원; 기후변화 EbA 계획[4] ● 종자, 유전자 은행; 신 유전학; 미래에 생태계서비스를 유지하기 위해 수종 개량; 적응적 혼농임업[4] ● 변화된 목재수확 관리, 기후변화 적응을 위한 신기술, 산림생태계서비스를 보전하기 위한 새로운 사용[4]	● 생계손실을 보상할 미소금융과 보험[5] ● 보호생태계 상실로 인한 증가된 위험에 대비하는 추가적 보험, 정부 준비금에 투자[5]	● 추가적 경성공법(hard engineering), 보건대책을 통해 생태계서비스 손실을 대체[6] ● 피해 입은 생태계의 손실을 복구[6]	● 지속가능한 조림 (강건한 산림을 위해), 재조림, 산림과 습지, 이탄지, 지속가능하고 증가된 바이오매스의 보존; 토지사용, 토지사용 변화, 산림벌채로부터 방출 저감[7] ● 지속가능한 탄소 제거를 위한 인센티브; 지속가능한 바이오에너지; 에너지 지급[7]
농업 및 식량 안보	● 지속가능한 토지 및 물 관리와 훈련을 통한 식량안보; 효율적인 물 사용, 저장; 혼농임업; 방호시설(protective shelter), 작물 및 가축 다각화; 기후 스트레스에 강한 종자의 공급 개량; 통합 해충, 질병 관리[8] ● 기후 모니터링; 기상예측 개량; 재해관리, 작물 수확량 및 분포 모델과 예측	● 농업-기후 연구개발 증대[10] ● 내후성 작물, 가축을 연구; 유전자학을 위한 농생물다양성(agrobiodiversity)[10] ● 기후변화 시나리오를 국가적 농경법 평가(agronomic assessments)[11]로 통합 ● 민감한 농업을 위한 농촌경제의 다각화[10]	● 새로운 기후, 극한 현상에 대비한 적응적 농업 및 혼농임업[12] ● 새롭고 강화된 농업 기상, 기후 예측 서비스[11] ● 식량 비상 계획; 분배 및 기반시설 네트워크[12] ● 농촌경제 다각화[12]	● 작물, 가축에 대한 접근성 개선, 소득손실 보험 (예: 날씨 파생보험)[13] ● 미소금융과 소액보험[13] ● 보조금, 세금공제[13]	● 기후에 민감한 관행이 있는 지역에서 생계 변화와 재배치[12] ● 비상용 재고를 확보하고 비상사태를 위해 식량과 물의 분배를 개선[12]	● 에너지 효율이 높고 지속가능한 탄소제거 기법; 훈련; 화학비료 사용 저감[14] ● 농업 폐기물과 동물 배설물로 만든 바이오가스의 사용[14] ● 혼농임업[14]
해안지대와 어업	● EbA: 통합 해안지대 관리(integrated coastal zone management, ICZM); 염분 제거; 대체 음용수의 가용성; 연성 및 경성공법[15] ● 제도, 규제 및 법적 수단을 강화; 지연, 관광발전 계획[16] ● 해상보호 지역, 어류 자원 모니터링, 집수량 변경, 노력, 타이밍; 염분에 강한 어종[17] ● 기후위험 저감 계획; 위험 묘사; 기상예보, 경보, 환경 예측을 개선[16]	● 해안관리 계획을 위한 기후변화 전망; 해안지대-기후 연관성의 모델링 능력을 개발; 기후 관련 생태학적 전망과 자원 전망; 해안관리를 위해 모니터링과 지리 및 기타 데이터베이스를 개선[18] ● 어업 모니터링; 수경재배, 어류 유전자 조성(fish genetic stock)을 위한 선택적 양식; 염분에 강한 변종작물 연구[19]	● 기후변화 적응, 해수면 상승을 ICZM, 해안 방어에 통합[18] ● 기후변화 적응을 위한 경성 및 연성공법; 지속가능한 관광 개발 계획; 복원력 있는 선박 및 해안시설[16] ● 점증적 어업변화 관리[20] ● 내륙 호수: 수송 및 산업기반 변경, 연성 및 경성공법[20]	● 해안 지역 및 자원을 위한 보험 강화; 어업 보험[21] ● 정부 준비금[21]	● 극한 현상의 빈도 및 강도 증가와 대피 증가에 대비한 비상 대비 대책 강화[16] ● 커뮤니티, 기반시설의 재배치[16] ● 어업 종결; 대체 생계 제공[19]	● 지속가능한 재생에너지의 사용; 보존, 에너지 지급 (특히 섬과 해안 지역)[22] ● 대체 소득과 수경재배 서식지를 위한 연안에서 생산한 재생에너지[22]

다음 페이지에 계속 →

표 6-1 | (계속)

부문/ 대응	현재 및 미래 위험에 대한 '후회 없는' 조치와 '후회 적은' 조치	('후회 없는/적은' 조치 외에도) 불확실성을 줄여 기후변화 위험에 대비 (능력 강화)	(기후변화 위험 대비 외에도) 미래 기후변화의 위험 저감	위험 이전	증가된 피할 수 없는 (잔류) 위험을 인정하고 대처	온실가스 저감, 적응, 위험 저감 및 발전 이익을 위한 윈윈 시너지
수자원	● 통합 수자원 관리(Integrated Water Resource Management, IWRM)의 시행, 국가적 물 효율, 저장 계획[20] ● 효과적인 감시, 예측, 경보 및 비상대응 시스템: 질병 및 매개체 통제, 검출 및 예측 시스템의 개선: 위생 개선: 공중보건 인식 및 훈련[24] ● 적절한 펀딩, 복원력 있는 급수 기반시설 및 수자원 관리 능력: 제도 개선, 물 할당 협상, 강유역 공동관리[23]	● 홍수와 갈수기에 대한 예측, 기후 전망 및 조기경보시스템 개발: 하천 유역 연구 및 규모축소화[24] ● 다중부문 물 계획: 수자원 관리의 선택적 분권화 (예: 집수지, 하천 유역): 하천 유역 공동관리 (예: 양국 간에)[23]	● 기후변화 적응을 위한 국가적 물 정책 기틀, 통합 적응적 수자원 관리[25] ● 기후변화를 고려한 경성 및 연성공법에 투자: 강 복원[25] ●새로운 상태에 대비해 기상, 기후, 수리-수문, 수질 예보를 개선[24]	● 공공-민간 파트너십: 기초 필요 이상의 물 할당을 위한 경제학[26] ● 재정자원과, 기술 및 EbA 능력을 동원 ● 기반시설을 위한 보험[26]	● 더 큰 위험에 대비해 국가적 대비 및 대피 계획을 강화[24] ● 더 많은 실패에 대비해 보건 기반시설을 강화[24] ● 교통, 엔지니어링 변경: 음용수 제품 허가 증대[24] ● 비상사태를 위한 식량, 물 분배 강화, 대체 생계를 위한 계획[24]	● 기후변화 적응을 위한 통합되고 지속가능한 물 효율과 재생 수력에너지[23]
기반시설, 주택, 도시, 교통, 에너지	● 건축규정, 최신 기후값을 가진 표준: 기후에 강한 기반시설 (및 에너지) 설계: 훈련, 능력, 검사, 시행: 우선순위 개조의 모니터링 (예: 영구동토층): 유지관리 ● 임시 거주지에 대한 법적 대안, 위생[27] ● 조기경보시스템, 위험 의식을 강화 기상경보시스템 개선: 고위험 지역에서 재해에 강한 건물 요소 (방): 관광발전 계획: 더위-건강 대응[28] ● 도시계획, 엔지니어링, 유지관리를 통합[27] ● 에너지 시스템 다각화: 유지관리: 자급, 국가 에너지 계획을 위한 청정에너지 기술, 국제협정 목표 (바이오가스, 태양열 조리기구): 외지고 취약한 지역에서 재생에너지 사용: 전국적으로 혼합에너지 사용[29] ● 에너지 안보: 발전과 배전의 분배[29]	● 기후변화 정보의 규모축소화 개선: 기후자료 네트워크의 유지관리, 기후설계정보 갱신: 규격과 표준에서 안전성/불확실성 요소를 증대: 기후변화 적응도구 개발[28] ● 융통성 있는 설계, 중복을 포함해 기후, 에너지, 해안, 및 건축환경 인터페이스에 관한 연구: 실패에 대한 포렌식(forensic) 연구 (적응 학습): 유지관리 개선[27] ● 지속가능한 에너지 개발을 위한 투자: 월경성(trans-boundary) 에너지 공급을 위해 협력 (예: 풍속이 최대일 때의 풍력)[29]	● 변화된 극한 현상에 대한 규격, 표준[30] ● 기후변화 적응을 포함시키기 위해 정부가 지원하는 기반시설, 해안 개발 및 재해 후 재건[30] ● 신소재, 엔지니어링 접근법: 융통성 있는 설계 및 사용 구조: 기후변화 적응을 위한 자산 관리[30] ● 위험 매핑: 지역제(zoning)와 방지(avoidance): 우선순위에 따라 개조, 가장 취약한 것의 폐기: 연성공법 서비스[30] ● 적응을 위한 발전 배전 설계: 덜 위험한 에너지 시스템으로 전환, 혼용: 재해 위험 저감 및 기후변화 적응 계획에 지속가능한 에너지 결합[29]	● 기반시설 보험과 재무위험 관리[29] ● 에너지 시설을 위한 보험, 중단[29] ● 혁신적인 위험공유 수단[29] ● 정부 준비금[29]	● 재배치 증가[28] ● 극한 현상 증가를 대비해 대피, 수송 및 에너지 비상계획을 강화[28] ● 기후에 강한 대피소 건설 증대[28]	● 에너지 효율적이고 물 효율적인 온실가스 저감, 재해 위험 저감 및 기후변화 적응 시너지를 이행[29] ● 지속가능한 재생에너지 생산을 위한 규모의 증대, 시장 침투: 수력 잠재력 증대: 지속가능한 바이오매스: 친환경적 커뮤니티 배전시스템[29]

다음 페이지에 계속 →

표 6-1 | (계속)

부문/ 대응	현재 및 미래 위험에 대한 '후회 없는' 조치와 '후회 적은' 조치	('후회 없는/적은' 조치 외에도) 불확실성을 줄여 기후변화 위험에 대비 (능력 강화)	(기후변화 위험 대비 외에도) 미래 기후변화의 위험 저감	위험 이전	증가된 피할 수 없는 (잔류) 위험을 인정하고 대처	온실가스 저감, 적응, 위험 저감 및 발전 이익을 위한 윈윈 시너지
기반시설, 주택, 도시, 교통, 에너지	● 커뮤니티/도시 및 해안지대 계획, 건물 표준 및 가이드라인: 냉방 시설: 안전한 보건시설: 취약한 구조물의 개장: 최신 기후정보를 이용해 설계된 보건시설[31] ● 감시, 보건 대비를 강화: 조기경보 기상-기후-보건 시스템, 폭염 경보 및 대응: 조기경보 대응능력: 재해 위험 우선순위 결정: 재해 예방 및 대비: 공공교육 캠페인: 식량안보[31] ● 질병 감시 및 통제를 강화: 보건서비스, 개인보건 개선: 물 처리/위생 개선: 수질 규제: 예방접종, 약, 퇴치제: 신속진단 시험의 개발[31] ● 공기질, 수질 모니터링: 규제: 도시계획[31] ● 보건위험을 저감하기 위해 토지사용과 물사용 관리를 개선[31]	● 기후-건강 관계 및 기후변화 적응 옵션에 대한 연구: 새로운 위험에 대비해 새로운 건강예측 시스템을 개발: 풍경 변화, 신종 질병 및 기후에 관한 연구: 도시 기상-보건 모델링[31] ● 교육, 재해예방 및 대비[31]	● 새로운 식량 및 물 안보, 분배 시스템: 공기질 규제: 대체 연료[32] ● 새로운 경보 및 대응 시스템: 풍경변화로 인한 건강위험을 예측하고 관리: 서비스의 대상을 가장 위험도가 높은 인구에 맞춤[32] ● 기후친화적 보장(climate proofing), 국가 보건 시설 및 서비스를 개조/유지관리[32] ● 추가적 보건 시설 및 서비스의 필요를 해결[32]	● 신종 및 변화된 기상 및 기후 위험을 포함하도록 건강보험 적용범위를 확대[33] ● 정부 준비금[33]	● 비상 수준의 폭염과 극한 현상에 대한 국가계획[32] ● 신종 질병 검출 및 관리 시스템[32] ● 새로운 위험에 대한 예측 및 경보 시스템 강화[32]	● 청정하고 지속가능한 재생에너지 및 수자원의 사용: 에너지 효율 증대: 공기질 규제: 위험한 대기 방출물을 저감할 청정 에너지 기술 (예: 조리용 난로)[34] ● 기후변화와 보건을 위한 지속가능한 기반시설을 설계[30]

참고문헌 | 1. Adger 등, 2005; Barbier, 2009; Colls 등, 2009; FAO, 2008a; MEA, 2005; SCBD, 2009; Shepherd, 2004, 2008; UNEP, 2009; UNISDR, 2009d; World Bank, 2010. 2. FAO, 2007; Neufeldt 등, 2009; Shugart 등, 2003; Spittlehouse and Stewart, 2003, Weih, 2004. 3. Colls 등, 2009; FAO, 2008a; OECD, 2009; Rahel and Olden, 2008; Robledo 등, 2005; SCBD, 2009; UNEP, 2009; UNFCCC, 2006a. 4. Berry, 2007; FAO, 2007, 2008a,b; Leslie and McLeod, 2007; OECD, 2009; SCBD, 2009. 5 CCCD, 2009; Colls 등, 2009; FAO, 2008b; ProAct Network, 2008; UNFCCC, 2006a. 6. Chhatre and Agrawal, 2009; FAO, 2008b; Mansourian 등, 2009; Reid and Huq, 2005; SCBD, 2009. 7 FAO, 2008a; Reid and Huq, 2005; SCBD, 2009; UNEP, 2006; Venter 등, 2009. 8 Arnell, 2004; Branco 등, 2005; Campbell 등, 2008; Easterling 등, 2007; FAO, 2008a, 2009; Howden 등, 2007; McGray 등, 2007; Neufeldt 등, 2009; SCBD, 2009; UNISDR, 2009d; World Bank, 2009. 9 Easterling 등, 2007; FAO, 2007, 2010; Hammer 등, 2003; McCarl, 2007; UNFCCC, 2006a; World Bank, 2009. 10 Campbell 등, 2008; CCCD, 2009; Easterling 등, 2007; FAO, 2007, 2010; World Bank, 2009. 11 Easterling 등, 2007; FAO, 2007, 2010; World Bank, 2009. 12 Butler and Oluoch-Kosura, 2006; Butt 등, 2005; CCCD, 2009; Davis, 2004; FAO, 2006, 2008a; Howden 등, 2007; McCarl, 2007; World Bank, 2009. 13 CCCD, 2009; FAO, 2007; UNISDR, 2009d; World Bank, 2009. 14 FAO, 2007, 2008a; Rosenzweig and Tubiello, 2007. 15 Adger 등, 2005; FAO, 2008c; Kay and Adler, 2005; Kesavan and Swaminathan, 2006. 16 Adger 등, 2005; FAO, 2008c; Kesavan and Swaminathan, 2006; Klein 등, 2001; Nicholls, 2007; Nicholls 등, 2008; Romieu 등, 2010; UNFCCC, 2006a. 17. FAO, 2007, 2008c; Rahel and Olden, 2008; UNFCCC, 2006a. 18. Adger 등, 2005; Dolan and Walker, 2006; FAO, 2008b; Nicholls, 2007; Thorne 등, 2006; UNFCCC, 2006b; World Bank, 2010. 19 FAO, 2008c; Kesavan and Swaminathan, 2006; Rahel and Olden, 2008. 20 FAO, 2007, 2008c; IIED, 2009; Romieu 등, 2010. 21 FAO, 2007, 2008c; Nicholls, 2007. 22 FAO, 2008c; UNFCCC, 2006a. 23. Branco 등, 2005; CCCD, 2009; Hedger and Cacouris, 2008; ICHARM, 2009; Klijn 등, 2004; Krysanova 등, 2010; Mills, 2007; Olsen, 2006; Rahaman and Varis, 2005; World Bank, 2009; WSSD, 2002; WWAP, 2009. 24 Arnell and Delaney, 2006; Auld 등, 2004; CCCD, 2009; DaSilva 등, 2004; Hedger and Cacouris, 2008; Krysanova 등, 2010; Mills, 2007; Muller, 2007; Thomalla 등, 2006; UNFCCC, 2006b, 2009a; WHO, 2003; WWAP, 2009; WWC, 2009. 25 CCCD, 2009; Crabbé and Robin, 2006; Hedger and Cacourns, 2008; Krysanova 등, 2010; Rahaman and Varis, 2005; WWAP, 2009. 26 Few 등, 2006; Kirshen, 2007; Mills, 2007; Rahaman and Varis, 2005; Warner 등, 2009; WWAP, 2009. 27 Auld, 2008b; Haasnoot 등, 2009; Hodgson and Carter, 1999; Lowe, 2003; Mills, 2007; Nicholls 등, 2008; NRTEE, 2009; ProVention, 2009; Rossetto, 2007; Wamsler, 2004; Wilby and Dessai, 2010; World Bank, 2000, 2008; WWC, 2009. 28 Auld, 2008a,b; Haasnoot 등, 2009; Hallegatte, 2009; Lewis and Chisholm, 1996; Mills, 2007; Neumann, 2009; Nicholls 등, 2008; ProVention, 2009; Rosetto, 2007; UNFCCC, 2006a. 29. Auld, 2008b; Islam and Ferdousi, 2007; Kagiannas 등, 2003; Maréchal, 2007; Mills, 2007; Neumann, 2009; Robledo 등, 2005; Van Buskirk, 2006; Warner 등, 2009; Younger 등, 2008. 30 Auld, 2008b; Freeman and Warner, 2001; Mills, 2007; Neumann, 2009; NRTEE, 2009; ProVention, 2009; Stevens, 2008; Younger 등, 2008. 31. Auld 등, 2004; Auld, 2008a; CCCD, 2009; Curriero 등, 2001; DaSilva 등, 2004; Ebi 등, 2006; Haines 등, 2006; Patz 등, 2000, 2005; UNFCCC, 2006a; WHO, 2003, 2005; World Bank, 2003. 32 CCCD, 2009; Ebi 등, 2006; Ebi, 2008; Haines 등, 2006; Patz 등, 2005; UNFCCC, 2006a; WHO, 2003, 2005; Younger 등, 2008. 33 Mills, 2005, 2006. 34 Haines 등, 2006; Younger 등, 2008

이 강건한 옵션들은 가역적이고 융통성 있고 미래 기후변화에 덜 민감하며(즉, 후회가 없는 조치와 후회를 최소화하는 조치), 안전 여유(safety margin)를 결합할 수 있고 (예: 기반시설 투자), '소프트' 해법을 쓸 수 있고 (예: 생태계서비스), 다른 행동주체가 다른 부문에서 온실가스 저감 또는 기후변화 적응을 위해 취하는 조치를 염두에 두는 조치를 포함한다(Hallegatte, 2009; Wilby and Dessai, 2010). 융통적인 옵션은 다양한 기후조건 아래서 이익을 제공하는 옵션 또는 피해 시스템의 융통성을 높이기 위해 그 시스템의 스트레스를 저감하는 조치이다(예: 오염이나 자원수요를 줄이는) (Auld, 2008b; Hallegatte, 2009; Wilby and Dessai, 2010).

기반시설이 점진적으로 변할 것을 감안하거나 미래 변화를 결합할 수 있는 옵션은 보다 융통적인 시스템을 지원한다(Auld, 2008b; Hallegatte, 2009; OECD, 2009). 저비용 또는 때때로 무비용으로 취약성을 줄이고 복원력을 증대하기 위해 '안전 여유' 또는 과잉설계(over-design) 전략을 통해 미래위험에 대한 불확실성도 감안할 수 있다(Auld, 2008b; Hallegatte, 2009). 이러한 안전여유 전략은 해수면 상승과 해안 방어, 배수 관리, 및 기타 기반시설 투자의 미래 위험을 관리하는 데 사용되어 왔다(Hallegatte, 2009). 불확실성을 감안해 국가 정책은 특히 국가 계획과 정책이 제한된 범위의 조건 안에서 확실성에 기초해 운영되는 경우 보다 적응적이고 융통적일 필요가 있다(McGray 등, 2007; Wilby and Dessai, 2010). 융통성 없는 엄격한 국가 정책은 진화하는 기후변화로부터 단절될 수 있고 의도치 않은 결과 혹은 부적응을 가져올 수 있다(Sperling and Szekely, 2005; Hallegatte, 2009). 비가역적이며 실현되지 않는 특정 기후 시나리오에 기초한 엄격한 계획과 정책은 미래 부적응을 초래할 수 있고 불필요하게 투자를 낭비하거나 사람과 생태계에 피해를 끼칠 수 있다.

일부 연구에 의하면 기후변화 적응과 재해 위험 관리를 위한 국가 계획 및 정책들은 현재 혹은 단기 기후위험을 다루는 옵션들과, 온실가스 저감, 재해위험 관리, 기후변화 적응, 및 개발 문제에 다중적 시너지를 충족시키는 윈윈 옵션을 선호하는 경향이 있다(World Bank, 2008; Heltberg 등, 2009; Ribeiro 등, 2009; Fankhauser, 2010; Mitchell and Maxwell, 2010). 이러한 윈윈 옵션들로는 생태계에 기반한 적응 옵션, 지속가능한 토지사용 및 물 사용 계획, 탄소 제거, 에너지 효율, 에너지 및 식량 자급 등이 있다. 예를 들어,, 조림, 재조림 및 산림보존을 통한 생태계 관리는 홍수, 산사태, 눈사태, 해안폭풍 및 가뭄으로부터 재해 위험을 저감하는 공동이익을 제공하는 한편으로 미래 기후에 적응, 경제적 기회, 바이오매스와 탄소제거의 증대, 에너지 효율, 에너지 절약, 에너지 및 식량 자급에도 기여한다(Thompson 등, 2009).

재해 위험 이전 옵션들은 현재 및 미래 기후위험에 대한 실행 가능한 적응대응을 제공하며, 보험, 소액보험, 미소금융; 정부 재해준비금; 위험공유를 포함하는 정부-민간 파트너십; 새롭고 혁신적인 보험 메커니즘 등이 있다 (Linnerooth-Bayer and Mechler, 2006; E(, 2009; World Bank, 2010). 위험이전 옵션은 재해 발생 후에 매우 필요한 즉각적 유동성을 제공할 수 있고, 보다 효과적인 정부 대응을 가능케 하고, 재해영향으로 인해 정부에 부과된 국가재정 부담을 약간 해소해줄 수 있고, 사전대비식(proactive) 위험관리 전략 및 대응을 촉진하는 데 중요한 단계를 구성할 수 있다(Arnold, 2008). 사례 연구 9.2.13과 6.5.3절은 위험이전 옵션에 대한 보다 자세한 내용을 담고 있다.

위험이전 수단과 기후변화 적응 옵션이 준비되어 있더라도 일반적으로 예상되는 수준 이상의 극한 현상이 큰 영향을 주는 경우에는 잔류손실이 발생할 수 있다. 이러한 증거에도 불구하고, 특히 미래 기후변화 영향의 방향에 대한 불확실성이 큰 경우, 능력이 처음에 매우 제한되어 있고 적응옵션이 이용 가능하지 않은 경우, 또는 미래 영향의 위험이 매우 낮다고 생각되는 경우에는 증가하는 미래 위험과 현재의 위험조차도 무시하는 결정이 내려진다(Linnerooth-Bayer and Mechler, 2006; Heltberg 등, 2009; World Bank, 2010). 적응 조치와 재해 위험 저감 조치의 지연으로 인한 손실은 모든 행동주체에게서 발생한다.

표 6-1은 문헌에 기술된 국가적으로 이용 가능한 부문별 기후변화 적응 및 재해 위험 관리 정책 및 계획 옵션들을 보여준다. 이 옵션들 중 상당수는 서로를 보완하고 강화하는 점증적 조치에 속한다. 그 조치들은 이 절에 기술된 계획 및 정책 옵션들의 등급을 사용해 정리되어 있다.

6.3.2. 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 부문과 조직으로의 편입

기후변화에 대한 국가적 적응대책은 독립형(stand-alone) 적응 정책 및 계획뿐 아니라 적응대책을 기존활동에 통합 또는 편입하는 것을 포함할 것이다(OECD, 2009). 적응 및 재해 위험관리 조치를 편입한다는 것은 국가, 준국가 및 지역 당국들이 정상적 계획, 정책, 전략, 프로그램, 부문 및 조직에서 재해 및 기후 위험을 요인으로 포함하는 대책들을 채택, 확장, 강화한다는 것을 암시한다(Few 등, 2006; UNISDR, 2008a; OECD, 2009; Biesbroek 등, 2010; CACCA, 2010).

현실적으로 주류편입이 국가 및 준국가수준에서 어떻게 작동되며 지원되고 강화될 수 있는가는 고사하고 주류편입이 무엇인가 조차도 명확히 설명하기는 어려울 수 있다(Olhoff and Schaer, 2010). 일부 연구에 의하면 적응을 주류에 편입하는 것의 현실적인 문제는 계획이 아니라 이행이다(Biesbroek 등, 2010; Krysanova 등, 2010; Tompkins 등, 2010). 그러한 이행 장벽은 자금지원 부재, 한정된 예산 융통성, 관련 정보 또는 전문지식의 부재, 정치적 의지 또는 지원의 부재, 및 제도적 사일로(silo) 등이 있다(Krysanova 등, 2010; Preston 등, 2011).

연구들에 의하면 기후변화 적응 및 재해 위험 관리를 위한 계획, 정책 및 프로그램은 잠재 옵션을 규명하는 것을 넘어서 위험 관리를 위한 기존 자산 및 책임과 적응장벽을 극복하기 위한 특정 조치들의 더 나은 인벤토리를 포함할 필요가 있다(Haasnoot 등, 2009; Preston 등, 2011).

예를 들어,, 오스트레일리아, 미국, 유럽국가들, 아프리카와 아시아의 주요 강유역들에 대한 기존 적응 계획 및 정책의 성공을 조사한 최근 연구들에 의하면, 적응을 기존 국가 정책 및 계획에 편입시킬 필요가 있고, 다른 국가적 목표와의 시너지를 이용하는 옵션이나 윈윈 옵션을 이용하는 데 우선수위를 둘 필요가 있다고 지적한다(Biesbroek 등, 2010; Tompkins 등, 2010; Preston 등, 2011). 많은 전략과 제도들은 이행하기에는 더 비용이 많이 들고 어려운 특정한 적응 및 재해 위험 관리 조치를 추진하고 위험에 처한 공

공재를 관리하는 것보다는 주로 과학과 지원 활동 (지식획득)을 다루는 저위험 조치들과 능력 구축에 주력했음을 발견하였다(Tompkins 등, 2010; Preston 등, 2011).

Preston 등 (2011)이 오스트레일리아, 미국, 영국에 대하여 연구한 바에 의하면, 대부분의 국가적 적응 전략은 시나리오의 일관된 혹은 체계적인 사용보다는 방대한 국제 및 국가 기후변화 지침에 입각한 취약성 평가에 기초하며, 부문들과 여러 정부 범위들을 조율하는 데 상향식 접근법을 선호한다. Biesbroek 등 (2010)도 유럽 9개 국가에 대하여 이와 비슷한 결과를 보고하였다. Tompkins 등 (2010)과 Krysanova 등 (2010)에 의하면, 영국에서 적응 이행 수준이 가장 높은 부문은 현재의 기상 변동성과 극한 현상에 가장 많이 영향 받는 경향이 있고 특정한 정부 이니셔티브가 적응과 재해 위험 저감을 성공적으로 격려해온 부문들이다(예: 홍수다발 지역을 위한 의무적 계획, ISO 14001). Tompkins 등 (2010)도 성공적인 이행은 여러 계기가 어우러져 달성되고, 적응조치들 중에 기후변화에 대응하여 단독 개시되는 것은 거의 없으며, 기상이 핵심 사업 및 조직 문화에 미치는 상대적 영향은 기후변화 정보에 사전대응식으로 조처할 능력과 의지를 독려한다고 밝혔다.

기후변화 적응과 재해 위험 관리는 대부분의 국가들이 자원제약 때문에 단기간에 합리적으로 이행할 수 있는 것보다는 많은 적응옵션을 찾을 필요가 있으며 조치들의 우선순위를 정해야 한다(OECD, 2009; Krysanova 등, 2010). 처음에는, 현재의 기후변동성으로 인한 재해 위험 관리의 기존 장벽을 제거하는 조치들은 미래 기후위험의 관리에 방해되는 더 큰 장벽을 제거하는 데 도움이 될 수 있다(UNDP, 2002, 2004a; CCCD, 2009; Prabhakar 등, 2009; Tompkins 등, 2010). 따라서 핵심 문제와, 적응과 재해 위험 관리를 주류에 편입시킬 기회는 기존 기후취약성에 대한 현재의 재해 위험관리 조치와 미래 취약성에 필요한 추가적 수정된 노력들을 연계하는 데 있다(Few 등, 2006; Krysanova 등, 2010; Olhoff and Schaer, 2010; Wilby and Dessai, 2010).

기후변화 적응과 재해 위험 관리에 관한 정보에 입각한 의사결정의 중요한 전제조건 하나는 그 결정들이 이용 가능한 최고의 정보에 기초해야 한다는 것이다(OECD, 2009; Biesbroek 등, 2010; Lu, 2011). Preston 등 (2011)은 오스트레일리아, 미국, 영국의 적응계획 중 상당수는 적응조치를 제공하기 전에 또는 제공과 더불어 기후 및 기후변화 과학정보의 수집과 공유를 개선시킬 필요성을 보여주고 있어 아마도 다른 적응조치들에 대한 더 큰 확신이나 보다 우수한 정보가 알려질 때까지는 적응조치를 지연시키는 쪽을 선호하는 것을 방증하는 것이라고 보고하였다. 3장에서 밝혔듯이 (3.2.3절과 Box 3-2), 다수의 극한 현상은 규모를 축소하고도 기후변화 모델이 시뮬레이션을 할 수 없는 그러한 작은 시간 및 공간 범위에서 발생한다. 많은 연구들이 주장하듯이, 기후변화 시나리오 및 전망과 잠재 영향에 대하여 더 많은 더 우수한 정보가 제공되더라도 그 정보가 정책결정자의 필요에 직접적으로 닿지 않는 한 현실적인 결정, 정책 및 계획을 편입시키고 변경하는 데 거의 기여하지 못할 것이다(Stainforth 등, 2007; Auld, 2008b; Haasnoot 등, 2009; Krysanova 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010). 사용자들은 접근 가능하고, 이해 가능한 언어로 설명될 수 있고, 불확실성의 명확한 추정치를 제공하고, 관리 기능에 관련 있거나 알맞은 그러한 기후위험 정보가 필요하다(Stainforth 등, 2007; Mastrandrea 등, 2010; Lu, 2011). 이것은 보통 수년 간의 교류와 신뢰구축을 통해 유지되는 과학자들과 이해관계자 및 정책결정자들 사이의 지속적인 상호작용을 통해 가장 잘 이루어진다는 것을 보여주는 연구가 점점 더 늘고 있다(Mastrandrea 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010; Lu, 2011).

일반적으로 연구들에 의하면, 적응과 재해 위험관리를 효과적으로 주류에 편입시키기 위한 가장 근본적인 수단에는 다양한 이해관계자들의 개입을 포함해 여러 수준과 거버넌스 부문에서 '정부'의 조율이 필요하다(Few 등, 2006; Thomalla 등, 2006; OECD, 2009; 6.4.2절). 강한 의존성에도 불구하고 정부들은 이러한 문제들을 그들의 '사일로(silo)' 안에서 관리하는 경향을 보여왔다. 즉, 대체로 기후변화 적응은 환경 혹은 에너지 당국과 과학기관들이 담당하고 반면에 재해 위험 관리는 다양한 중앙 정부 부처와 국가 재해관리청에서 관할하는 경향이 있다(Sperling and Szekely, 2005; Thomalla 등, 2006; Prabhakar 등, 2009). 정부기관들 내에서 적응을 계획하고 전략을 개발 및 이행하는 데 있어서의 진전은 대개 정치권의 약속, 제도적 능력, 그리고 일부 경우, 법률적 재정적 지원에 좌우된다(Few 등, 2006; OECD, 2009; Krysanova 등, 2010; 6.4절 참고). 국가적으로는 재해 및 기후위험 저감 노력의 단서(lead)가 예산 및 기획 과정에 영향을 주는 경우에는 그 단서를 명확히 규명하는 것이 중요할 수 있다(Few 등, 2006; OECD, 2009). 일부 경우에, 국가와 지역은 책임 있는 제도를 개발하고 강화하기 위해 재해 위험에 대한 인식과 관심의 단계적 강화를 이용할 수도 있다 (Few 등, 2006; Krysanova 등, 2010).

적응과 재해 위험 저감을 국가 계획 및 정책에 편입하는 문제에 있어 선진국의 경우 재정적으로 잘 준비되어 있을 수 있지만, 개발도상국들의 경우는 다르다(Krysanova 등, 2010). 그럼에도 불구하고 기후변화 적응과 재해 위험 관리의 주류편입 문제가 수년 간 우선시 되어왔고 주류편입이 상당히 진전된 개발도상국들의 사례가 존재한다(예: 카리브해 지역 기후변화 적응 주류편입 프로젝트(Caribbean Mainstreaming Adaptation to Climate Change project)는 2004~2007년에 수행됨; 사례 연구 9.2.9와 9.2.12). 그 외에도, 비록 필요한 자금이 이용 가능한 자금보다 크긴 하지만, 최빈개발도상국 기금(Least Developed Countries (LDC) Fund), 기후변화 특별기금(Special Climate Change Fund), 기후변화에 관한 다자 공여 신탁기금(Multi-donor Trust Fund on Climate Change), 기후 투자 기금 산하 기후복원력 파일럿 프로그램(Pilot Programme for Climate Resilience under the Climate Investment Fund) 같은 국제 펀딩 메커니즘들이 기후변화 위험 및 복원력에 대한 파일럿 사업을 실시하고 핵심 개발에 편입시키기 위해 조치의 규모 확대 및 변환 가능한 변화를 위한 인센티브로서 자금과 자원을 제공하고 있다(O'Brien 등, 2008; Krysanova 등, 2010; 추가적 고찰을 보려면 7.4.3.3절과 7.4.2절 참고).

6.3.3. 부문별 위험관리와 적응

오늘날 국가들은 단기적인 기후변동성을 관리하는 동시에, 변화하는 극한현상 및 위험에 여러 부문과 시스템들을 장기적으로 복원, 적응 가능하도록 할 것을 요구받고 있다(Fussel, 2007;Wilby and Dessai, 2010). 여기서 요건은, 취약성의 근본 원인을 해결하고, 변화하는 기후 위험의 성격을 이해하는 데 필요한 장단기적 조치 간의 균형을 맞추는 것이다(UNFCCC, 2008a;

OECD, 2009). 적응 및 재해 위험관리의 목표를 달성하는 한편으로 인간개발 목표를 달성하기 위해서는 서로 연관된 여러 부문의 개발 프로세스뿐 아니라 부문 내 효과적인 전략과 부문간 조율도 필요하다(Fussel, 2007;Wilby and Dessai, 2010). 기후변화는 중앙 정부의 부처 하나가 단독으로 맡기에는 상당히 큰 문제이다(CCCD, 2009; Biesbroek 등, 2010).

부문에 기반한 조직과 부처는 국가적 의사결정에서 중심 역할을 하며 적응조치의 논리적 초점이다(McGray 등, 2007; Biesbroek 등, 2010). 부문 간의 관련성은 수직 및 수평적으로 작용하기 때문에 한 부문(예: 관광) 내에서 기후위험 변화의 영향은 다른 부문과 범위에 크게 영향을 줄 수 있다. 부문 계획, 정책 및 프로그램은 동일 부문 내 국가 및 지방 수준과 수직으로 연관 있을 뿐 아니라 동일 수준의 다른 부문들과 수평으로도 연관 있다(Urwin and Jordan, 2008; UNFCCC, 2008b; CCCD, 2009; Biesbroek 등, 2010). 부문 및 수준 내에서 통합할 경우와 필요성은 명확할 수 있지만, 여러 부문과 수준에서 어떻게 통합, 또는 편입시킬 것인가의 문제는 여전히 까다로우며, 정부 및 부문 조직을 아우를 수 있는 거버넌스 메커니즘과 조율을 요한다(UNISDR, 2005; UNFCCC, 2008b; CCCD, 2009; ONERC, 2009; Biesbroek 등, 2010). 전형적으로, 다중부문 통합은 국가적으로 더 넓은 범위(예: 경제 혹은 시스템 전체)를 다루는 경향이 있고, 영향 받는 부문, 지역 및 문제를 가급적 포괄적으로 다루려 한다(UNFCCC, 2008b). 조직과 학계의 연구들에 의하면, 모든 부문들 사이의 효과적인 적응 및 위험저감 조율은 정부의 모든 분야가 정치적으로나 조직적으로 최고 수준에서 조율되는 경우에만 실현될 수 있다(Schipper and Pelling, 2006; UNFCCC, 2008b; CCCD, 2009; Prabhakar, 2009). 최고 수준의 '정치적 승자'가 부문과 부처들에서 주류편입을 독려하는 경우에도 그와 경쟁하는 국가적 우선사항들이 여전히 진전에 지장을 줄 것이다.

표 6-1(6.3.1절)에는 엄선된 일부 부문의 기후변화 적응 및 재해 위험 관리 옵션을 제시한다. 이 표에서 보듯이, 많은 개발 부문의 적응 및 재해 위험관리 접근법은 생태계에 기반한 접근법과 토지, 물 및 해안지대 통합관리 조치에서 공동으로 이익을 본다. 예를 들어,, 생태계, 산림, 토지사용 및 생물다양성의 보존과 지속가능한 관리는 농업, 기반시설, 도시, 수자원 관리, 식량안보에 윈윈 재해 위험보호 서비스를 창출할 잠재력이 있다. 이는 또한 기후변화 적응 및 저감 대책들 사이에 시너지를 일으킬 수 있고 (SCBD, 2009; CCCD, 2009), 특히 빈곤층과 취약층의 생계 및 복지의 개선과 생물다양성 보존 등 기타 개발 목표들을 다루는 많은 공동이익도 생산한다. 이 기타 목표들은 6.5.2.3절과 사례 연구 9.2.3, 9.2.4, 9.2.5, 9.2.7, 9.2.8, 및 9.2.9에서 자세히 다룬다. 마찬가지로, 수자원, 토지 및 해안지대 관리 옵션도 많은 부문과 이슈를 다루고, 재해 위험관리 및 적응 해법을 공동 제공한다(사례 연구 9.2.6과 9.2.8 참고) (WHO, 2003; Urwin and Jordan, 2008; UNFCCC, 2008b; CCCD, 2009; WWAP, 2009). 보건은 표 6-1에서 암시되고 사례 연구 9.2.2와 9.2.7에서 설명하듯이 많은 부문에서 취하는 조치에 영향을 받는 공통의 문제이다.

6.4. 법률, 제도 및 재정을 비롯한 전략

극한 현상과 재해의 위험을 관리하는 국가시스템은 법률, 준수 메커니즘, 교차 이해관계자 단체(cross-stakeholder bodies)의 성격, 그리고 서로 다른 범위에서 일하는 행동주체에게 자원을 할당하는 재무 및 예산 프로세스에 의해 형성된다. 이 요소들은 국가 시스템의 기술적 구조를 만들고 종종 중앙 정부 기관에서 관리된다. 그러나 우수한 거버넌스의 비기술적 차원들, 이를테면 권력과 자원의 분배와 탈중앙화, 의사결정 프로세스, 투명성, 책임성이 기술적 구조와 얽혀 있으며, 위험관리 시스템 및 조치의 효과를 결정하는 데 중요한 요소로 작용한다(UNDP, 2004b, 2009). 국가마다 거버넌스의 능력이 다르므로 위험 거버넌스의 이러한 기술 측면과 비기술 측면들은 국가 간에 차이가 있다(6.3절에서 설명하듯이, 특정 적응 및 재해 위험관리 옵션에 대한 투자를 형성하는 데 중요하다).

따라서 위험은 어느 국가에서나 공식 및 비공식 거버넌스 방식과 제도를 통해 다루어질 수 있으나(Jaspars and Maxwell, 2009), 특정 위험 거버넌스 모델과 특정 정치적-행정적 상황 사이의 분명한 상관관계는 규명하기 쉽지 않다(UNISDR, 2011a). 공식 또는 비공식, 또는 기술적 및 비기술적 위험 거버넌스 전략들 간 균형은 개별 국가의 경제, 정치 및 환경 정황 또는 국가 내 범위에 좌우되고 위험관리 문화에 좌우된다(Menkhaus, 2007; Kelman, 2008).

6.4.1. 입법 및 준수 메커니즘

재해 위험관리 법률은 공통적으로 조직과 그 조직들의 의무사항을 정하고, 예산을 정하고, 장려책(및 저지책)을 제공하고, 준수 및 책임 메커니즘을 개발한다(UNDP, 2004b; Llosa and Zodrow, 2011). 재해 위험저감 법률을 만들고 개선하는 것이 HFA(효고 행동 계획)에서 우선순위 분야로 포함되었고 (UNISDR, 2005), 현재 대다수 국가 (80% 이상)에 재해 위험관리 법률이 있다(UNISDR, 2005; Bhavnani 등, 2008). 법률은 서로 다른 범위의 사람들이 행동할 수 있는 법적 환경을 만들어주고 재해방지, 지원, 보상에 대한 사람들의 권리를 정의하기 때문에(Pelling and Holloway, 2006) 효과적인 국가 재해 위험 관리시스템의 중요한 구성요소로서 간주된다(UNDP, 2004b; UNISDR, 2011a). 재해 위험관리조치를 조율하고 HFA를 이행하기 위한 다중이해관계자(multi-stakeholder), 교차부문(cross-sector) 단체들, 일명 국가 플랫폼(National Platforms)은 법규 제정 및 개선을 위한 핵심 옹호 경로(advocacy routes)로 간주된다(UNISDR, 2005, 2007b). 문헌에 의하면, 국가 플랫폼이 덜 일반화된 혹은 덜 조직된 곳에서는 지역적 재해관리 단체들이 법률 발전을 담당하는 것으로 보인다(Pelling and Holloway, 2006; UNISDR, 2007b). 기후변화의 영향에 대한 새로운 정보와 함께, 재해 위험관리 법률은 변화하는 권리와 책임을 반영하고 적응옵션 흡수를 지원하기 위해 수정 및 강화될 필요가 있다(UNDP, 2009; Llosa and Zodrow, 2011; 법률에 관한 사례 연구 9.2.12 참고).

서로 다른 국가들의 법률이 재해대응보다 불확실성 관리와 재해 위험저감을 지향하는 정도를 평가하는 상세한 교차비교 연구는 거의 수행된 바 없다 (Llosa and Zodrow, 2011). 한정된 증거에 의하면, 일부 국가 (예: 영국, 미국, 인도네시아)의 법률은 상이한 범위에서 재해에 대한 복원력 생성을 도울 제도적 능력의 구축에 초점을 두어왔지만 그러한 국가들조차도 시스템을 전체적으로 관찰하는 경우에는 매우 사후반응적인 문화를 유지한다(O'Brien and Read, 2005, O'Brien, 2006, 2008; UNDp, 2009; O'Brien and O'Keefe, 2010). 이것은 재해 위험 저감에 대한 정치적 의지의 결여와 재정 및 인적 자원의 불충분 때문이었다(O'Brien 2006, 2008). 또한, 재해 위험

Box 6-1 | 인도네시아의 재해 위험관리 법률

인도네시아: 재해관리법(Disaster Management Law) (24/2007)

인도네시아에서 입법개혁 프로세스는 2007년 재해관리법 (2007 Disaster Management Law) (24/2007)의 통과를 가져왔고 재해험관리 프로세스와 개발계획 프로세스의 보다 굳건한 연합을 확립했다. 이 프로세스는 다음 요인들로 인해 성공적인 것으로 간주될 수 있었다.

- 강건하고 가시적인 전문가 네트워크 – 과거 재해들로부터 출범한 전문가 네트워크는 법률개혁 프로세스를 조율하고 대들보 역할을 하겠다는 높은 수준의 신뢰와 의지를 의미하였다. 이러한 네트워크들의 정치적 지적 자본은 MPBI (인도네시아 재해관리 학회)의 리더십과 더불어, 입법자들에게 재해관리 개혁의 중요성을 납득시키는 데 중요하였다.
- 옹호를 주도하는 시민사회 – 시민사회가 개혁 옹호를 주도한 결과로 CSO는 인도네시아에서 재해 위험관리를 이행하는 데 핵심적인 행동주체로서 법적 인정을 받았다.
- 지지적인 정치환경을 만들어낸 2004년 남아시아 쓰나미의 영향 – 재해관리의 주요 미흡한 점을 부각시킨 쓰나미의 여파 속에서 개혁 프로세스가 시작되었다. 그러나 효고 행동 계획을 통해 국제사회가 재해 위험 저감에 초점을 맞추고 있어 개혁의 방향(비상관리에서 재해 위험 저감쪽으로)에 영향이 있었다.
- 포괄적 기안 프로세스 – 새로운 재해관리법에 대한 협의는 실무자들과 시민사회를 포함하였으나 개혁 일정에 대한 초점을 지연시키거나 상실할 정도로 다각적이지 않았다.
- 공감대: 불완전한 법일지라도 법이 없는 것보다 낫다 – 불완전한 법은 관심과 초점을 유지해주는 추가 법률을 통해 보완할 수 있다.

출처: UNDP (2004b, 2009); Pelling and Holloway (2006).

관리 법률에 기후변화가 재해 위험에 미치는 영향에 대한 조항이 포함되어 있는지 여부, 또는 비록 이 측면들에 대한 규범연구 건수가 매우 적긴 하지만 재해 위험관리 측면이 법률의 다른 보완적 수단들에 포함되어 있는지 여부를 평가한 연구도 거의 없다(사례 연구 9.2.12; Llosa and Zodrow, 2011; Llosa and Zodrow, 2011). 그러나 재해관리 법률의 개정이 있었던 경우, 그것들은 (a) 비상 대응에서 재해 위험관리라는 더 폭넓은 처리로의 전이를 보이고; (b) 국민을 재해로부터 보호하는 것은 부분적으로 정부의 책임임을 인정하고; (c) 재해 위험 저감은 모두의 책임이라는 견해를 고취하는 경향이 있었다(Case Study 9.2.12; UNDP, 2004b; Llosa and Zodrow, 2011).

베트남은 토지사용법(Land Use Law)과 산림보호법(Law on Forest Protection)을 포함해 주요 개발 부문의 법률에 재해 위험관리를 통합하는 조치를 취하였다. 베트남의 빈곤 저감 전략 보고서(Poverty Reduction Strategy Paper)는 재해와 기타 위험의 결과로 다시 빈곤에 빠지는 인구를 50% 줄인다는 약속을 담고 있다(Pelling and Holloway, 2006). 필리핀과 남아프리카에서 법률 개발 과정을 조사한 사례 연구 9.1.12는 효과적인 재해 위험관리 법률의 구성요소들을 강조한다. 법은 (a) 포괄적이고 모든 것을 망라; (b) 관리 구조를 확립하고 상이한 범위의 개발 프로세스와의 관계를 확립; (c) 정보 제공과 효과적인 대중 의식 및 교육에 기초하는 참여 및 책임 메커니즘을 확립할 필요가 있다. Box 6-1은 인도네시아에서 재해 위험관리 법률이 탄생하게 된 과정들로 이 사례들을 부연설명 한다.

위험관리 차원이 국가 법률의 한 특징인 경우, 긍정적 변화가 언제나 보장되는 것은 아니다(UNDP, 2004b). 재정적, 인적 또는 기술적 자원의 부재와 능력 제약들은 완전한 이행에 상당히 지장을 준다. 특히 경험에 의하면, 법률은 국가수준부터 지방 수준까지 연속적으로 이행되어야 하고 강력한 모니터링 및 시행 기틀과 모든 범위에서 책임과 인적 및 재정적 자원의 충분한 분권화가 전제되어야 한다(UNDP, 2004b; Pelling and Holloway, 2006). 일부 국가에서 예를 들어, 건축규정은 관련 공무원들의 기술 능력과 정치적 의지의 결여 때문에 종종 적절히 이행되지 않는다(UNDP, 2004b). 법규시행이 타당하지 않은 경우에는 재해 위험관리 조치에 대한 책임이 극히 까다롭고, 그래서 입법을 토론하고 기안하기 위한 포괄적인 협의 과정이 필요하다 (UNDP, 2004b; UNISDR, 2007b). 효과적인 입법은 조치 벤치마킹, 조치 평가 절차, 책임 지역 또는 부문들에 따라 조율을 지원하는 통합 기획, 그리고 위험저감 활동과 결과를 모니터하는 되먹임 시스템을 포함한다(UNISDR, 2005; Pelling and Holloway, 2006).

6.4.2. 메커니즘 조율과 범위 간 연결

변화하는 기후조건, 극한기후 및 재해의 위험을 관리하는 업무는 대부분의 부문과 관련 있고 다양한 행동주체를 포함하기 때문에 다중이해관계자 및 교차정부 메커니즘은 흔히 국가수준의 재해 위험관리 시스템을 '구성'할 뿐 아니라 (UNISDR, 2005, 2007b; 6.3.3절 참고) 기후변화 적응에 관련된 문제를 해결하기 위한 우선적 방법으로 인용된다(ONERC, 2009). 효고 행동 계획은 이 "국가 플랫폼"이라는 용어를 "성격상 다중부문과 다중분야에 걸치고 국가 내 모든 관련 조직이 관련된 공공, 민간 및 시민사회가 참여하는 재해 위험 저감에 대한 조율과 정책지침을 위한 국가적 메커니즘에 대한 일반 용어"라고 정의한다(UNISDR, 2005). 일부 국가에서는 그러한 조율 메커니즘을 다른 용어로 칭하기도 하지만 (Hay, 2009; Gero 등, 2011) 본질적으

Box 6-1 | 인도네시아의 재해 위험관리 법률

인도네시아: 재해관리법(Disaster Management Law) (24/2007)

인도네시아에서 입법개혁 프로세스는 2007년 재해관리법 (2007 Disaster Management Law) (24/2007)의 통과를 가져왔고 재해험관리 프로세스와 개발계획 프로세스의 보다 굳건한 연합을 확립했다. 이 프로세스는 다음 요인들로 인해 성공적인 것으로 간주될 수 있었다.

- 강건하고 가시적인 전문가 네트워크 – 과거 재해들로부터 출범한 전문가 네트워크는 법률개혁 프로세스를 조율하고 대들보 역할을 하겠다는 높은 수준의 신뢰와 의지를 의미하였다. 이러한 네트워크들의 정치적 지적 자본은 MPBI (인도네시아 재해관리 학회)의 리더십과 더불어, 입법자들에게 재해관리 개혁의 중요성을 납득시키는 데 중요하였다.
- 옹호를 주도하는 시민사회 – 시민사회가 개혁 옹호를 주도한 결과로 CSO는 인도네시아에서 재해 위험관리를 이행하는 데 핵심적인 행동주체로서 법적 인정을 받았다.
- 지지적인 정치환경을 만들어낸 2004년 남아시아 쓰나미의 영향 – 재해관리의 주요 미흡한 점을 부각시킨 쓰나미의 여파 속에서 개혁 프로세스가 시작되었다. 그러나 효고 행동 계획을 통해 국제사회가 재해 위험 저감에 초점을 맞추고 있어 개혁의 방향(비상관리에서 재해 위험 저감쪽으로)에 영향이 있었다.
- 포괄적 기안 프로세스 – 새로운 재해관리법에 대한 협의는 실무자들과 시민사회를 포함하였으나 개혁 일정에 대한 초점을 지연시키거나 상실할 정도로 다각적이지 않았다.
- 공감대: 불완전한 법일지라도 법이 없는 것보다 낫다 – 불완전한 법은 관심과 초점을 유지해주는 추가 법률을 통해 보완할 수 있다.

출처: UNDP (2004b, 2009); Pelling and Holloway (2006).

로 같은 기능을 수행한다. 국가적 플랫폼의 수립 가이드라인에 의하면, 국가적 플랫폼은 기존 관련 시스템에 기반을 둘 필요가 있으며, 서로 다른 수준의 정부, 핵심라인 부처, 재해관리 당국, 과학 학계, 시민사회, 적십자/적신월사, 민간 부문, 여론 형성자(opinion shaper), 그리고 재해 위험관리에 관련된 기타 부문의 참여를 포함해야 한다(UNISDR, 2007b). 효고 행동 계획과 보다 폭넓게 재해 위험관리에 대한 결과 제공에 있어서 국가적 플랫폼의 효과에 대한 평가와 고찰들은 매우 다양한 결과를 암시한다(GTZ/DKKV, 2007; UNISDR, 2007c, 2008c; UNISDR/DKKV/Council of Europe, 2008; Sharma, 2009). 아시아에 대한 평가에서, 국가적 플랫폼들은 이해관계자들, 특히 NGO들을 완전히 참여시키기 위한 법적 권한을 확보하려 애쓰고 있고, 지속가능한 재원을 확보하는 데 어려움이 있으며, 취지를 이행으로 승화시키는 데 문제가 있는 것으로 나타났다(Sharma, 20090. 반면에, 국가적 플랫폼은 성공적으로 재해 위험 저감에 대한 고위 정치권의 약속을 이끌어냈고, 재해 위험 저감을 국가적 정책 및 발전 계획에 통합하는 것을 강화시켰고, 학계, 여론매체 및 민간부문이 참여하는 재해 위험 관리 제도 및 프로그램을 수립하였다는 증거가 존재한다(UNISDR, 2008b; Sharma, 2009). 이 평가는 국가 플랫폼의 효과에 대한 순수하게 독립적인 연구는 매우 극소수이며 증거 수준이 아프리카와 그 외 지역에서 특히 약하다고 밝혔다.

그러한 증거에 의하면 국가들 간 유의한 차이는 있지만 모든 정황을 감안했을 때 기후변화 적응과 재해 위험관리에 대한 국가적 조율 메커니즘은 여전히 단절되어 있다(National Platform for Kenya, 2009; Mitchell 등, 2010b; 1장). 기후변화 적응 및 재해 위험 관리 단체들과 개발 및 재해 관리 기관들 사이의 조율이 향상될 때 생기는 이익으로는 (1) 인간개발 문제 다루기와 재해 민감도 저감하기 대 재해후 취약성 다루기를 포함해, 현재 조치와 미래 조치들 간의 공통 절충점(common tradeoff)을 탐구; (2) 가용 자금을 장단기 기후위험 적응에 최대한 활용할 뿐 아니라 추가적 자금원을 활용하기 위한 시너지를 식별; (3) 인적 자원, 정보, 기술 및 실무 자원을 공유; (4) 새로운 위험을 다루는 데 과거 및 현재의 경험을 최대한 활용; (5) 프로젝트 활동의 중복을 예방; (6) 보고 요건에 관하여 협력할 수 있다는 점이다(Mitchell and Van Aalst, 2008). 재해 위험관리와 적응 조율 메커니즘을 통합하는 데 방해가 되는 장벽은 재해 위험관리의 '예방적' 성격의 저개발, 재해 위험관리 정황에서 기후변화를 통합하는 프로젝트의 부족, 상이한 수준의 정부들 간의 단절, 그리고 국가적 계획 및 예산편성에서 재해 위험관리와 기후변화 적응의 약점 등이다(Few 등, 2006; Mitchell and Van Aalst 2008; Mitchell 등, 2010b) (Box 6-2 참고).

국가수준의 조율이 중요하고 재해와 극한 현상에 관련된 위험의 대부분이 중앙 정부에게 소유되고 중앙에서 관리되지만(6.2.1절 참고), 자료에 의하면 분권화는 특히 커뮤니티기반 재해 위험관리 프로세스를 지원하는 효과적인 위험관리 전략일 수 있다(Mitchell and Van Aalst, 2008; GNDR, 2009; Scott and Tarazona, 2011). 그러나 재해 위험관리의 분권화의 효과를 자세하게 비평적으로 조사한 연구는 적다(Twigg, 2004; Tompkins 등, 2008; Scott and Tarazona, 2011). 4개국(콜롬비아, 모잠비크, 인도네시아, 남아프리카공화국)에 대한 관련 연구에 의하면, 재해 위험 관리의 효과적인 분권화는 (a) 지역수준의 낮은 능력; (b) 재해 위험 저감 전용자금을 다른 분야에 투입; (c) 분권화가 자동으로 보다 포괄적인 의사결정 프로세스로 이어지지는 않는다는 사실; (d) 분권화된 시스템은 상당한 소통 문제에 처한다는 인식; (e) 효과적인 재해 위험 관리에는 책임과 투명성을 보장할 강력한 대책이 필수이지만 누락되는 경우가 많다는 사실에 의해 제약될 수 있다(Scott and Tarazona, 2011). 특정 범위에서 관리에 대한 동기부여는 재해와 기후변화의 영향이 얼마나 잘 관리되는지에 영향을 주어 재해 결과에 영향을 주기로 약속하는 것으로 보인다(Tsing 등, 1999). 한 범위에서 내려진 의사결정은 다른 범위에게 의도치 않은 결과를 줄 수 있다(Brooks and Adger, 2005). 즉, 거버넌스의 결정은 범위와 상황에 따라 파문을 일으킬 것이다. 어떤 경우에나 재해 및 기후변화 관련 위험의 거버넌스 기틀의 선택은 이슈 혹은 상황에 따라 다르다(Sabatier, 1986).

책임	직접적: 모든 현상에서 의무	불확정적(Contingent): 특정 현상이 발생하는 경우의 의무
명시적: 법 또는 계약으로 인정되는 정부책임	해외차관과 국내 대출, 예산법에 의한 경비, 예산 경비	국가는 비국가 차관(non-sovereign borrowing)과 공공 및 민간 부문 기업, 공공 기반시설의 재건을 보증한다.
묵시적: 정부의 '도덕적' 의무	공공 투자 프로젝트의 미래 재발 비용, 연금, 보건비용	공공 또는 민간 조직으로서 준국가 정부의 채무불이행(Default)은 재해구호(disaster relief)를 제공한다.

표 6-2 | 정부 책임과 재해 위험. Polackova Brixi and Mody(2002)에서 수정됨.

6.4.3. 재정 및 예산 할당

과거에 정부들은 의사결정 시 파국적 위험을 무시하며 묵시적으로 혹은 노골적으로 위험중립(risk-neutrality)을 보였다(Mechler, 2004). 이것은 애로우 린드 정리(Arrow Lind theorem) (Arrow and Lind, 1970)와 일치한다. 애로우 린드 정리에 따르면, 정부는 (i) 보유한 수많은 독립적 자산과 기반시설을 바탕으로 종합위험이0이 되도록 효율적으로 위험을 풀링할 채비, 또는 (ii) 위험회피(risk-averse) 가구에게 축적되는 1인당 위험이0에 수렴하도록 위험을 납세 인구에게 분산시킬 채비가 잘 되어 있을 수 있다. 이 정리와 함께, 위험을 분산 및 다양화시킬 능력 덕분에 정부는 때때로 '사회의 가장 효과적인 수단'이라고 불린다(Priest 1996). 따라서 비록 개인이 위험(재해 위험)을 기피해도 정부는 위험중립 접근법을 취할 수 있다고 추론되어 왔다. 그러나 노출 정도가 극심한 국가들의 경험은 이와 다르고 최근의 패러다임 전환으로 이어져 정부들은 위험중립에서 위험회피와 재해 위험 관리로 바뀌고 있다. 심하게 노출된 많은 개발도상국 및 선진국들은(특히 최근 경제위기에 이어) 경제 수단이 매우 한정되어 있고, 작거나 고갈된 과세기반에 의존하며, 부채수준이 매우 높고, 대형 재해 발생 후에 피해자산을 교체, 또는 수리하고 생계를 복구할 충분한 자본을 적시에 동원할 수 없는 상태이다. 이것은 빈곤과 발전에 미치는 재해 충격의 영향을 증가시킬 수 있다(OAS, 1991; Linnerooth-Bayer 등, 2005; Hochrainer, 2006; Mahul and Ghesquiere, 2007; Cummins and Mahul, 2009). 따라서 노출된 국가들은 비록 사후지원이 보통은 부분적 구호와 재건자금을 제공할 뿐이고 게다가 종종 지체되기도 하지만 현상 후에 궁지를 탈출하기 위해 기부자들에게 의존해야 했다(Pollner, 2000; Mechler, 2004).

더욱이 대형 손실을 주는 극한 현상은 경제악화로 이어져 (4.5절 참고) 세입을 감소시키고 손실공유 능력을 저하 시킬 수도 있다. 그 결과, 치명적인 위험을 다루는데 있어(폭넓게 수단- 통계적 예상- 측면에서 위험의 고려가 충분함을 시사하는) 위험중립 태도는 경제의 다각화가 제한적이거나 과세기준이 작은 노출된 개발도상국에게는 적합하지 않을 수도 있다. 따라서 모든 확률 범위에서 위험 평가 및 관리가 힘을 얻고 있다(Cardenas 등, 2007; Cummins and Mahul, 2009). 미주 기구(Organization of American States)가 제안하듯이: "정부결정은 사회에 투자된 프로젝트 투자자원에 대한 기회비용과 경제자산, 기능 및 제품의 손실에 따라 좌우되어야 한다. 부족한 자원의 운영을 위한 공공 부문에 부여된 책임 측면에서, 그리고 재정 부채(fiscal debt), 무역수지, 소득 분포, 기타 다양한 사회적, 경제적, 정치적 우려 같은 문제들을 고려하여, 정부는 위험중립 행동을 해서는 안 된다(OAS, 1991)". 또한 선진국들에서는 기후변동성 관련 현상들로 인한 덜 확연하지만 상당한 영향들이 나타날 수 있다.

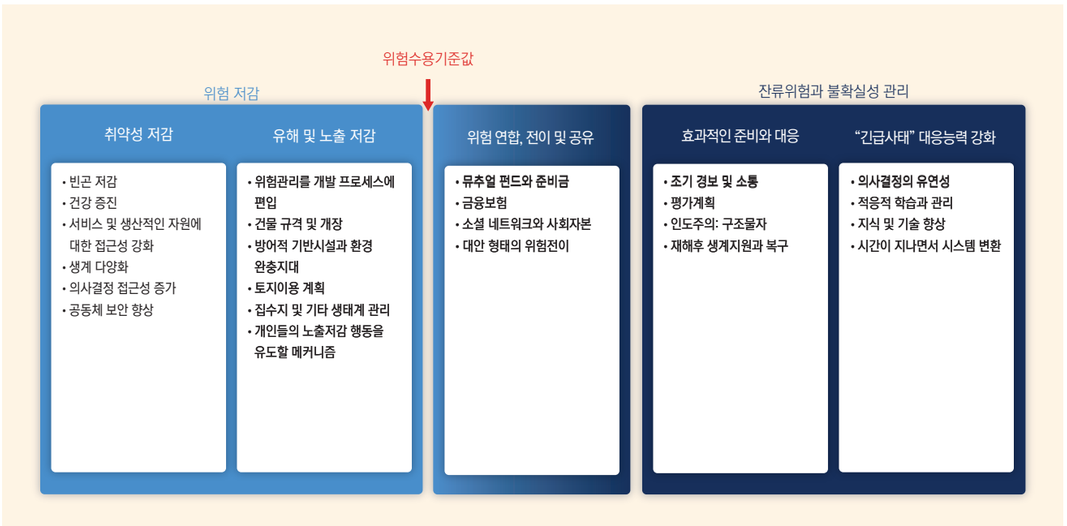


그림 6-3 | 개별 기관과 개인의 정보에 입각한 의사결정 능력으로 뒷받침 되는 관측 및 예상 재해 위험에 대한 상호보완적 대응대책

Box 6-3 | 멕시코의 자연재해기금 (Fund for Natural Disasters, FONDEN)

멕시코는 세계에서 가장 활발한 지진지역 중 하나에 위치하고 카리브해와 대서양, 태평양에서 발생하는 허리케인과 열대폭풍의 경로 안에 있어 자연위험에 노출된다. 이 때문에 역사적으로 무수한 재해를 경험했고, 과거에는 심각한 허리케인 재해(및 지진)으로 막대한 재정채무와 재정수지 불균형이 발생했다(Cardenas 등, 2007). 재해에 대한 재정적 취약성이 높은 것을 인지하여, 1994년에 멕시코 정부는 연방, 주, 지자체 공공자산은 보험에 들어야 한다는 법안을 통과시켰다. 이것은 공공 기반시설의 재건비용을 지불해야 하는 중앙정부의 의무를 완화하기 위한 것이었지만 대규모 재해현상에 대한 충분한 수준의 보험은 여전히 문제로 남아 있다. 그 다음 단계로 1996년에 멕시코 정부는 재해손실에 대한 재정적 대비를 강화하고 재난 지출로 인한 연방정부의 재정 불균형을 방지하기 위하여 재해비용을 위한 자원 할당 시스템(FONDEN)을 수립하였다. FONDEN은 비상대응 및 재해구호 비용 같은 비보험 손실에 자금을 지원할 마지막 자금원 역할을 한다. 이 예산 프로그램 외에도 1999년에는 전년도 FONDEN 예산항목의 잉여금을 누적하는 준비금이 창설되었다(Cardenas 등, 2007).

재해 때문에 생긴 요구에 따라 지출하는 것이 특징이었던 초기 단계가 지난 후에 재해관리 당국은 재해가 없는 해에도 정기적으로 자금수요가 발생하는 문제에 직면했다. 결과적으로 예산의 FONDEN 자원은 감소하는 반면에 FONDEN의 자원에 대한 수요는 더욱 불안정해졌고 지출이 종종 예산의 자금을 초월해 준비금이 감소되었다. 2005년에 대형 허리케인이 메시코 해안을 강타한 후에는 자금이 완전히 고갈되었다. 그래서 어쩔 수 없이 멕시코 정부는 위험에 대한 다른 자금조달 전략들, 예를 들어, 재해충격에 대한 연계매매(hedging); 모든 수준의 정부기관이 FONDEN과 독립적인 보험보호 제공; 그리고 연방, 주, 또는 지자체 정부기관의 금융능력을 초과하는 손실만 FONDEN으로 보상 등등을 검토하였다. 2006년에 멕시코는 공공부문 재난위험 부분을 국제 재보험 및 자본시장에 이전한 최초의 전환국가가 되었고, 2009년에는 계약을 3년 연장하고 허리케인과 지진 위험도 적용하였다(Cardenas 등, 2007).

예를 들어, 2002년에 수십억 유로의 손실을 끼친 대규모 홍수의 여파로 오스트리아는 정치적 재정적 위기를 겪었다(Mechler 등, 2010).

극한 현상에 대한 예산 및 자원 계획은 쉬운 문제가 아니다. 정부는 흔히 직접적 책임, 즉 매년 재현되는 특정 현상들을 통해 드러나는 책임에 대하여 계획과 예산을 수립한다. 그러한 책임들의 성격은 명시적이거나(법이나 계약에 의해 인정됨) 묵시적이다(도덕적 의무) (표 6-2 참고). 그러나 정부는 가능성이 없는 현상은 물론, 가능성이 있는 현상에 대한 비상대비계획을 세우는 것조차 미숙한 실정이다. 명시적이고 불확정한 책임은 현상에 의해 파괴된 기반시설의 재건을 다루는 반면에 묵시적 의무는 흔히 정부의 도덕적 책임으로 간주되는 구호 제공과 관련 있다(Polackova Brixi and Mody, 2002). 많은 국가에서 정부는 불확정 책임(contingent liabilities)을 명시적으로 계획하지 않고, 재해 후에 자원을 재할당하거나 국내 및 국제 기부금으로 자본을 조달해서 기반시설 재건 필요 및 비용을 충당한다.

최근에, 극한 현상의 여파로 재정 격차에 관련된 큰 불확정 책임에 처한 일부 개발도상국과 경제체제 전환국(transition country)들은 불확정한 자연현상(contingent natural event)에 대하여 계획하고 고려하기 시작했다(6.5.3절 참고). 멕시코, 콜롬비아 및 많은 카리브해 국가들은 지금은 불확정 책임을 예산편성에 포함시키고 있으며 궁극적으로는 이러한 위험의 일부를 이전하기조차 한다(Cardenas 등, 2007; Linnerooth-Bayer and Mechler, 2007; Cummins and Mahul, 2009; Box 6-3). 이와 비슷하게, 많은 국가들이 기후변화와 극한 현상에 대한 적응전략으로서 특히 세계은행 같은 국제기관의 도움을 받아 인간개발 조건을 향상시키는 데 초점을 맞추기 시작하였다. 이러한 숙고들은 6.3.1절에서 고찰한 '후회 없는' 전략과 '후회가 적은' 전략들과 일맥상통 한다.

6.5. 방법 및 도구를 비롯한 실무

성공적인 수행과 제약을 동시에 경험하면서, 오늘날 국가들은 안전하고 보안이 튼튼한 사회를 건설하기 위해 재해 위험 관리와 기후변화 적응을 위한 다양한 접근법과 방법, 도구를 채택하는 추세이다. 재해 위험을 완전히 0으로 제거하기는 불가능하므로 이 절에서는 위험 평가 및 소통 방법을 비롯한 안전문화 구축 (6.5.1절); 기후 관련 재해 위험 저감 (6.5.2절); 잔류위험 이전 및 공유 (6.5.3절); 전체론적 재해영향 관리 (6.5.4절)를 위한 노력들을 고찰한다. 따라서 여기서 고찰하는 접근법과 방법, 도구들은 상호보완적이고 종종 중복되며 동시에 추진할 수 있다는 것을 인정하는 것이 중요하다. 정책결정자를 위한 요약보고서(Summary for Policymakers)는 그러한 접근법들의 범위를 시각적으로 표현하였지만(그림 SPM-2), 앞 페이지의 그림 6-3은 국가수준의 점증적 조치들에 맞춰져 있다.

그림 6-3은 재해 위험 관리를 위한 국가 시스템에 관여하는 이해관계자들이 이용할 수 있는 다양한 위험관리 및 적응 옵션들을 보여주고 있다. 그러한 옵션들은 조치의 연속적인 수행과 공존하고, 옵션 중에서의 선택은 정보의 품질 및 소통방식, 위험평가 결과, 위험관리/위험수용성 문화, 능력 및 자원에 좌우된다. 실제로, 서로 다른 옵션들이 동시에 추진될 공산이 있고 높은 상호의존도를 가질 것이다.

6.5.1. 안전문화 구축

안전문화 구축은 위험요인 평가와, 중요한 의사결정에 관련 정보를 제공하는 정보시스템의 개발로 시작하는 전략 및 활동이 필요하다. 또한 매우 다양한 신념 및 핵심가치 시스템도 이해해야 한다. 이것은 상이한 행동주체와 이해관계자들이 결정을 내리는 데 도움이 되는데, 여기에 핵심 요소는 충분한 공공 교육 및 인식제고이다. 조기경보시스템은 노출된 커뮤니티에게 적시에 경고할 수 있어 신속 대응을 위해 즉시 조치를 취하게 할 수 있으므로 잔류위험 관리에서 중요한 역할을 한다. 조기경보에 기여하는 자료를 포함해 위험평가에 필요한 시계열 자료도 예를 들면, 기후위험 저감을 위한 토지사용 계획에 대한 정보를 생성하는 데 관련 있기 때문에 장기계획에 매우 중요하다. 같은 의미로, 기후에 적응된 기반시설에 대하여 분석된 정보, 인간개발 강화, 생태계 보호, 위험 이전, 기후 관련 재해의 영향의 공유와 관리는 인간의 안전 문화 및 실무를 구축하는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

6.5.1.1. 위험 평가와 정보시스템 유지관리

1장에서 고찰하였듯이 위험관리에서 첫째 핵심단계는 위험 평가 및 특성화이다. 위험요인 측면에서 재해 위험은 3가지 요소, 즉, 위험, 요소의 노출, 그리고 취약성으로 정의된다(Swiss Re, 2000; Kuzak, 2004; Grossi and Kunreuther, 2005; CACCA, 2010). 따라서 위험을 이해하기 위해서는 위험의 관찰과 기록, 위험 분석, 취약성의 노출 및 동인 연구, 취약성 평가가 필요하다. 위험 대응은 위험 정보를 대중의 인식 및 위험관리 수요의 맥락에서 조명하는 방식에 좌우된다.

많은 재해 정보의 '공익성'을 고려했을때(Benson and Clay, 2004), 정부는 재해 위험 관리를 지원하기 위해 사람, 자산, 위험(hazards), 위험(risks), 재해 영향 및 취약성 등의 지리적 분포에 대한 양질의 상황별 정보를 제공하는 데 중요한 역할을 한다(McBean, 2008). 우수한 기초 정보와 탄탄한 시계열 정보는 위험뿐 아니라 취약성과 노출의 점진적 변화를 평가하기 위해서도 장기적 위험 모니터링 및 평가에 있어 매우 중요하다(McEntire and Myers, 2004; Aldunce and Leon, 2007). 위험, 노출 및 취약성에 대한 정보의 정기적 업데이트는 기후변화의 영향으로 인한 재해 위험의 역동적 성격과 이것이 만들어내는 불확실성 때문에도 필요하다(UNISDR, 2004; Prabhakar 등, 2009; CACCA, 2010).

위험평가의 핵심은 위험에 노출된 요소들을 결정하는 일이다. 이것은 재해 발생 시 영향 받을 수 있는 해로운 방식으로 사람, 건물, 기반시설(예: 오폐수 시설, 도로, 다리), 농업 자산, 생계, 생태계, 자연적 기반시설, 및 생태계 서비스와 관련될 수 있다. 국가수준의 평가에서는 종합값이 중요하다. 이상적으로 이것은 국가자산 인벤토리, 국가 인구조사, 기타 국가정보에 기초할 것이다. 실제로 자산 및 그 가치에 대한 인벤토리의 수집은 검사된 요소들의 이질성과 방대한 개수로 인해 매우 어렵고 비용이 많이 드는 경우가 많다(Cummins and Mahul, 2009). 게다가 위험관리 프로세스는 취약성에 기여하는 사회적 프로세스의 요소들 (예: 조직적이고 경제적 능력, 위험에 처한 커뮤니티의 인간개발 상태, 재해대응 능력)도 식별해야 하고 (Lavell, 1996; Cardona 등, 2010), 재해에 뒤이은 영향도 평가해야 한다(ECLAC, 2003; Benson and Clay, 2004). 개발도상국을 포함해 일부 국가에서는 그러한 정보의 생성과 사용은 상당히 진전되었다(Benson and Clay, 2004;

표 6-3 | 재해 위험 관리와 기후변화 적응에 필요한 정보. 출처: Wilby (2009).

	부문	방법과 견해
교차(Cross-cutting)	기후변화 모델링	기후변수에 대한 시계열 정보 – 기온, 해수면 온도, 강우량 및 강수량, 바람, 공기순환 패턴, 온실가스 수치.
	위험지대 설정(hazard zoning)과 '다발지역(hot spot)' 매핑	지역, 준국가 및 국가수준에서 산사태, 홍수, 가뭄, 저기압 발생 및 영향의 지리참조 인벤토리(Georeferenced inventories)
	인간개발 지표(Human development indicators)	빈곤, 생계원, 물 접근성 및 위생의 지리공간적 분포
	구호비 지출	자원 접근성, 사회적 안녕 및 소득수준에 대한 가구 조사
	대비계획을 위한 계절적 전망	계절적 기후 예보: 해수면 온도; 적설량/깊이, 토양수분 및 식생성장의 원격감지 및 현장측정; 강우 유출량; 작물생산량; 역학(epidemiology)
	국가의 거시적 및 재정적 건강, 사회적 및 환경적 위험, 인간 취약성 상태, 및 거버넌스 강도를 반영하는 위험지표 시스템 (Cardona 등, 2010)	거시경제지표와 재정지표 (재해적자지수(Disaster Deficit Index)) 사회적 위험과 환경적 위험의 척도 재해다발지역에서 노출로 반영되는 취약성 조건의 척도, 사회경제적 연약함의 척도, 제반 사회적 복원력의 부재의 척도 조직적, 개발 및 제도적 강도의 척도
홍수위험 관리	하천, 빙하 및 조류 위험의 조기경보시스템	실시간 기상 및 수위 원격측정: 강우량, 하천유량 및 폭풍해일; 눈, 얼음 및 호수 면적의 원격 탐사; 강우 유출량 모델과 시계열; 극한풍속 및 폭풍 확률정보
	홍수 다발지역과 구조적 비구조적 홍수통제	강우자료, 강우 유출량, 하천유량, 홍수, 홍수침수 지도 펌프, 하천게이지, 배수 및 수방 공사의 인벤토리; 위험지대설정용 토지사용 맵; 재해후 계획; 기후변화에 대한 구조물의 허용치; 범람원 용기
	주변호소(proglaciallakes)의 인공 배수	호수지역 및 빙하속도의 위성조사; 호수 특성 및 위험 기반시설의 인벤토리; 지역의 수문기상
가뭄 관리	전통적인 강우 및 지하수 수집 및 저장 시스템	조건, 신뢰성 있는 수율, 경제, 소유권을 비롯한 시스템 특성의 인벤토리; 지하수 재충전 강화에 적합한 지역의 토양 및 지질 맵; 심정(deep well) 영향의 증거
	저수지 유입량의 장기 예측	계절적 기후예측 모델; 해수면 온도; 적설량 원격 탐사; 현장 적설깊이; 수십 년 강우유출량 시계열(rainfall-runoff series)
	물수요 관리와 효율 대책	기후와 강유역의 물 통합모니터링; 기존 시스템의 물사용 효율에 대한 자료; 현재 및 미래 수요측량과 수요관리 조사효과에 대한 자료

UNISDR 2009c). 그럼에도 아직은 많은 나라들이 이것을 정기적으로 실행하지 않으며 대형 재해를 겪고 나서야 영향을 문서화하기 시작한다(Prabhakar 등, 2009).

취약성 정기 모니터링도 초기단계에 있다(Dilley, 2006; Cardona 등, 2010). 앞쪽의 표 6-3은 효과적인 재해 위험관리와 기후변화적응 활동에 필요한 정보의 종류를 보여준다.

과거 현상의 관측치에 대한 기초 자료(다양한 종류의 손실 및 기상자료)를 포함해 재해 영향과 손실에 대한 국가별, 정황별 정보는 제한적이며 품질이 일정치 않은 경우가 많다(Embrechts 등, 1997; Carter 등, 2007). 자료 기록의 추적은 고작 몇 십년 전까지 가능하기 때문에 극한 현상에 대하여 100년 빈도 현상 등 오직 한 개의 기준 측정점밖에 기대할 수 없는 실정이다(3.2.1절 참고). 극한 현상 손실에 대한 자료도 여론의 높은 관심으로 인해 체계적으로 편향될 수 있다(Guha-Sapir and Below, 2002). 태평양 군소도서개발도상국의 경우처럼 재해 발생 시 체계적으로 정보를 수집할 능력이 부족하거나 일관성 없는 방법과 사용된 대책의 비용 때문에 손실 자료는 간혹 불완전하기도 하다(Chung, 2009; Lal, 2010).

이용 가능한 국제 재해영향 데이터베이스의 예로는 브뤼셀에 있는 재해역학센터(Centre for the Epidemiology of Disasters (CRED))의 EM-DAT 데이터베이스, 라틴 아메리카에서 재해를 연구하는 과학자 네트워크가 운영하는 Desinventar (Red de Estudios Sociales en Prevencion de Desastres en America Latina – LA RED), 그리고 Munich Re 같은 재보험자 데이터베이스가 있다. 국제 및 국가 재해손실 데이터베이스들의 비교에 의하면 주요 파라미터의 정의와 사용된 추정방법에서 일관성이 없어 문서화된 손실들은 유의한 편차를 보인다. 이것은 파라미터 정의와 추정방법을 표준화할 필요성을 부각시킨다(Guha-Sapir and Below, 2002; ECLA, 2003; Tschoegl 등, 2006). 일부 국가의 경우, 특히 재보험 산업, 컨설팅 회사, 다자 금융기관들이 연구 커뮤니티와 협력해온 경우에는 직접적 영향에 대한 합리적인 품질과 양의 정보가 존재할 수 있다. 그다지 연구되지 않은 재해후 건강영향 발생률과 생태계 영향 같은 사회적으로 관련 있는 재해 영향에 대한 가용 정보는 대체로 부족하다(Benson and Twigg, 2004). 더욱이 사회 또는 경제 시스템에 미치는 간접적 재해영향 (예: 소득을 낳는 부문, 국가적 저축)에 대한 평가는 더 많은 관심이 필요하다(ECLA, 2003; Benson and Clay, 2004). 그러한 정보는 통계적 추정기법 (Embrechts 등, 1997) 또는 재난 모델링 접근법 (Grossi and Kunreuther, 2005)을 사용해서 위험을 평가하는 데 매우 유용할 수 있다.

6.5.1.2. 대비: 위험인식, 교육, 조기경보시스템

중앙 정부는 상이한 집단과 재해대응 채비에 영향을 주는 위험에 대한 여러 가지 정보를 개발 및 보급할 환경과 소통 채널을 만든다. 많은 연구에 의하면 튼튼한 최신 조기경보시스템은 잠재재해의 영향을 줄이고 사람들이 목숨, 재산 및 기반시설을 보호할 수 있도록 하는 데 중요한 역할을 한다(White 등, 2004; Aldunce and Leon, 2007; McBean, 2008; Rogers and Tsirkunov, 2010; 사례 연구 9.2.11 참고). 전통적으로 조기경보시스템은 임박한 위험현상을 감지 및 예보하고 경보를 발령하기 위한 기술적 도구로 좁은 의미에서 해석되어 왔다(Rogers and Tsirkunov, 2010). 그러나 이 해석으로는 경보 정보가 대상 인구에게 수신되는지 혹은 도움이 되는지 또는 실제로 위험 저감에 사용되는지 여부가 명확하지 않다(Basher, 2006; Rogers and Tsirkunov, 2010). 사례 연구 9.2.11에서 밝히듯이, HFA 2005-2015는 정확한 예측 이상의 것이 필요하다고 언급하면서 조기경보시스템은 "사람 중심"이어야 하고 경고는 "위험에 처한 사람에게 이해 가능한 용어로 적시에" 제공되어야 하고 "경고에 따라 어떻게 행동해야 하는지에 대한 지침"을 포함해야 한다고 강조한다(UNISDR, 2005).

또한 정부는 서서히 진행되는(creeping) 기후 및 기상 위험에 대하여 국민과 시스템 자체에 경고할 조기경보시스템도 유지한다. 예를 들어,, 잠재적 빈곤 계절의 '조기 경보'는 보다 긴 기간의 농업계획과 사전대비식 대응을 위한 주요 조치를 알리는 데 성공적이었다(Meinke 등, 2006;Vogel and O'Brien, 2006). 사례 연구 9.2.11은 단기대응 위험을 경고할 뿐 아니라 몇 주에서 몇 계절에 걸친 서서히 진행되는 위험을 경고하는 조기경보시스템의 예를 보여준다. 이 사례 연구는 극한조건의 사전 경고를 제공하기 위해 며칠보다 긴 기간의 날씨 및 기후 예측을 사용할 가능성도 강조한다. 이 기법은 최근에서야 개발되었다. 연구들에 의하면, 성공적인 조기경보시스템은 국가 기상 및 수문 서비스와 시골지역에서 직접적으로 중재하는 예를 들어, 순회교육, 개발 프로젝트 및 시민사회 조직들 같은 기관들 사이의 기관간 긴밀한 협력에 의존한다(Meinke 등, 2006; Vogel and O'Brien, 2006; Rogers and Tsirkunov, 2010).

효과적인 조기경보시스템은 정확한 적시의 유의미한 정보를 제공하며, 시스템의 성공은 그 경보가 효과적인 대응을 촉발하는지 여부에 달렸다(UNISDR, 2005; Basher, 2006; Gwimbi, 2007; Auld, 2008a; van Aalst, 2009; Rogers and Tsirkunov, 2010). 개발도상국뿐 아니라 선진국에서도 경보는 기상 및 기후 예보의 부정확, 취약성의 주요한 조건들에 대한 대중의 무시, 위협을 명확하게 또는 적시에 소통하지 못함, 지역 조직의 부재, 수혜자가 경보를 이해하지 못하거나 믿지 못함, 또는 적절한 조치를 취하지 못함 등의 여러 이유로 실패한다(UNISDR, 2006; Auld, 2008a; Rogers and Tsirkunov, 2010). 효과적이고 완벽하기 위해 조기경보시스템은 대개 네 가지 요소로 구성된다(Basher, 2006; UNISDR, 2006). (1) 모니터링과 예측을 비롯해 위험지식 생성; (2) 감시 및 경고 서비스; (3) 정보 전파와 소통; (4) 대응능력. 경보가 목표청중에게 수신 및 이해되고 가장 유의미한 경우는 그 소통이 예보 발령하는 사람들, 현지 지식, 그리고 통지대상인 정책결정자 사이에 공유되는 의미를 갖는 경우이다(Basher, 2006; UNISDR, 2006; Auld, 2008a; 사례 연구 9.2.2).

비상응답자, 미디어 및 대중은 경보로 예보된 위험의 과학정보를 위험 수준과 대응으로 변환할 수 없는 경우가 종종 있기 때문에 조기경보시스템은 사용자들이 일반적인 경고메시지를 식별하고, 단순하고 유의미한 국지적 영향과 조치로 해석하고(예: 돌발홍수 경고와 위험지역에서 대피할 필요성), 가장 큰 위험의 우선순위를 정하며, 누적된 순차적 현상이 위험에 기여할 가능성을 평가하고, 기반시설, 커뮤니티 및 재해대응의 위험상승 관련 기준값을 식별할 수 있는 경우에 가장 효과적이다(UNISDR, 2006; Auld, 2008a).

상이한 위험과 상이한 부문은 종종 고유의 대비, 경고 및 대응 전략을 요한다(Basher, 2006; UNISDR, 2006). 예를 들어, 필요사항과 대응은 가뭄 경보, 토네이도 경보, 저기압 경보 또는 화재 경보에서 매우 상이하다. 어떤 위험은 단일 극한 현상, 연속적 또는 복합 위험일 수도 있지만 어떤 위험은 '서서히 진행되는' 또는 누적 현상 (또는 비현상(non-events))일 수 있다. 예를 들어, 세계기상기구(WMO), 국가 기상 및 수문 기관, 세계보건기구(WHO), 식량농업기구(FAO) 및 기타 기구들은 기상위험과 기후위험이 복합되면 복잡한 비상대응 상황이 생길 수 있다는 것을 인정하고, 열파와 매개체 질병 같은 복잡한 위험 (UNISDR, 2006; WMO, 2007) 그리고 해충과 식량안전 위협 및 질병 발발의 조기경보 (예: 잠재적 이집트 땅메뚜기 (desert locust) 위기의 예측)을 위한 다중위험 조기경보시스템을 수립하고자 협력하고 있다(WMO, 2004, 2007; FAO, 2010). 서서히 진행되는 위험은 몇 일부터 몇 개월 동안 진화할 수 있다. 누적 또는 순차적 다중위험 현상에서 특히 기존 취약성이 동반되는 경우에 홍수와 가뭄이 발생할 수도 있고, 누적 강수량 같은 기타 위험이 중요한 기반시설 고장을 초래할 수 있다(Basher, 2006; Auld, 2008a; Rogers and Tsirkunov, 2010). 3.1.3절은 복합 위험, 다중 위험, 서서히 진행되는 위험을 보다 자세히 설명한다.

연구들에 의하면, 대중과 커뮤니티 조직의 경우 그들의 위험과 취약성을 이해하는 것이 아주 중요하지만 위험관리에 충분하지 않으며, 조기경보시스템은 대비 프로그램뿐 아니라 교육 및 인식 프로그램으로도 보완될 필요가 있다(Basher, 2006; UNISDR, 2006; Gwimbi, 2007; Rogers and Tsirkunov, 2010). 이를 위해서는 조기경보시스템과 우발계획 프로세스 (contingency planning process) 간의 체계적인 연계와 통합이 필요하다(Pelham 등, 2011). 예를 들어,, 에티오피아는 1990년대 후반과 2000년대 초반에 일련의 가뭄재해 대응에서 얻은 경험으로 2007년에 에티오피아에서 생산 안전망 프로그램(Productive Safety Net Programme, PSNP)이라는 장기적 사회보호 프로그램이 시행되었다(Pierro and Desai, 2008; Conway and Schipper, 2011). PSNP의 목적은 제도적 접근법을 비상대응에서 벗어나 자산보호와 식량안보에 관련된 보다 지속가능한 생계 접근법으로 전환하는 것이었다. 이 프로그램 아래, 에티오피아 농촌의 만성적으로 식량이 부족한 수백 만 명은 특히 환경재건에 초점을 맞춘 노동집약적 공공사업 프로젝트에 참여한 댓가로 현금이체 또는 식량지불을 통해 PSNP로부터 지원을 받았다(Conway and Schipper, 2011). 가뭄 사례 연구 (사례 연구 9.2.3)도 가뭄 대비와 이주라는 형태의 사전대비식 단계의 중요성과 향상된 모니터링 및 조기경보시스템을 강조한다.

일부 연구들에 의하면 재해 예방 및 대비에 대한 대중 인식과 지원은 대형 재해를 겪은 직후에 매우 높으며 그러한 때를 이용해 예를 들어, 조기경보시스템의 지속가능성을 강화하고 확보할 수 있다(Basher, 2006; Rossetto, 2007). 중요한 것은 그러한 기회는 연구와 관리 사이의 협력 기틀을 지원하는 협력을 위한 사회적 기초가 이미 존재할 것을 요한다는 것이다(Rossetto, 2007; Tompkins 등, 2008; Pelham 등, 2011).

예보와 예측을 비롯한 기후 정보의 시기와 형태, 그리고 의사결정 과정에서 해석과 이행을 돕는 신뢰성 있는 지침에 대한 접근은 개별 사용자에게 향상된 신뢰성 및 예보기술보다 더 중요할 수 있다(Pulwarty and Redmond, 1997; Rayner 등, 2005; Gwimbi, 2007; Rogers and Tsirkunov, 2010).

정책결정자들은 대개 위험을 전체론적으로 관리하는 반면에 과학정보는 일반적으로 환원주의적(reductionist) 접근법을 사용해서 도출된다(Meinke 등, 2006). 그 순수 결과는 과학자와 정책결정자 사이에 단절이 생겨 비록 과학적으로는 건전하지만 정책결정자와 관련이 없는 기후 및 수문기상 정보가 개발될 수 있다는 것이다(Cash and Buizer, 2005; Meinke 등, 2006; Vogel and O'Brien, 2006; Averyt, 2010). 무관하다, 일관성이 없다, 혼란스럽다, 혹은 의심스럽다 라는 인식은 조치를 지연시킬 수 있다(NRC, 2009). 일부 연구들(Lowe, 2003; Glantz, 2005; Meinke 등, 2006; Feldman and Ingram, 2009)은 과학적으로 우수하고 사회적으로 유의미한 믿을 만한 지식을 생산하기 위해 과학자와 실무자들이 협력해야 한다고 조언한다. 이것은 화재에 관한 사례 연구 9.2.2에서도 강조된 사항이다. 이 연구들은 결정을 지원하는 활동은 과학적 연구 우선순위가 아니라 사용자 요구에 의해 추진되어야 하고 그러한 사용자 요구는 언제나 미리 알려져 있지는 않지만 지식 생산자와 정책결정자 간 지속적인 쌍방소통 속에서 협력적이며 반복적으로 규명되어야 한다고 주장한다(Cash and Buizer, 2005; NRC, 2009). 이 지속적인 상호작용, 양방향 소통 및 협력은 과학자와 정책결정자로 하여금 서로를 알 수 있게 하고, 정책결정자가 알아야 할 필요가 있는 것과 과학이 제공할 수 있는 것에 대한 이해를 높일 수 있고, 효과적인 결정 지원을 위한 기초로서 신뢰를 구축하고 매우 생산적인 관계를 쌓을 수 있다고 주장되었다(Feldman and Ingram, 2009; NRC, 2009; Averyt, 2010).

조기경보 정보시스템은 여러 관할권에 걸쳐 있고 여러 분야와 관련 있기 때문에 대개는 기술 및 비기술 부문 전반에서 선행 조율(anticipatory coordination)이 필요하다. 중앙 정부는 높은 수준의 정책을 수립하고, 여러 조직이 관련된 기틀을 지원하며, 다중위험과 다중이해관계자 접근법을 채택하고, 커뮤니티의 조기경보시스템을 활성화하는 데 중요한 역할을 할 수 있다(Pulwarty 등, 2004; Basher, 2006, UNISDR, 2010). 또한 조기경보 능력을 강화하고 경보 및 관련 대응이 가장 취약한 인구를 향하도록 보장하기 위해 지역 및 국제 정부와 기관들과 상호작용도 할 수 있다(Basher, 2006; UNISDR, 2010). 동시에 중앙 정부는 조직 및 지역 대응능력을 발전시키는 데 있어서 지역 및 준국가 정부를 지원하는 데서도 중요한 역할을 할 수 있다(Basher, 2006; UNISDR, 2010; 6.5.4절). 예를 들어,, 일본과 메콩강 지역에서 비상유역 관리는 광범위 홍수 모델링에 기초한 조기경보시스템 외에도 논의 홍수 저감 능력에도 의존한다(Masumoto 등, 2006, 2008).

6.5.2. 기후 관련 재해 위험 저감

국가적 기후 관련 재해 위험 저감 활동은 안전한 기반시설과 건축규정부터 자연생태계 강화 및 보호, 인간개발 지원, 이전보다 보다 개선된 재해 후 재건을 목표로 한 것까지 다양한 옵션을 포함한다. 이러한 전략이 별개로 시행되었을 때의 효과는 다소 미약할 수 있지만, 이들을 병행하면 그 효과가 증대될 것이다. 이러한 옵션 및 기타 옵션들, 이들의 한계(예: 정보와 이해의 부족, 인적자원 능력, 과학적 요건, 자금조달), 그리고 위험저감 대책들이 기후변화 적응을 촉진할 우수 기법으로 어떻게 점점 더 간주되고 있는지는 뒷 부분에서 다룬다.

6.5.2.1. 기술적 접근법과 기반시설에 기반한 접근법 적용

기후변화는 기존 기반시설의 안전에 직간접으로 영향을 주어 공사 및 유지관리 실무를 변화시킬 잠재력이 있으므로 건축 규정 및 표준도 변해야 할 것이다(Bourrelier 등, 2000; Fussel, 2007; Wilby, 2007;Auld, 2008b; Stevens, 2008; Hallegatte, 2009). 또한 기후변화는 지역적으로 환경을 더 빠르게 악화 및 풍화시키고, 극한기후 및 재해에 대한 취약성을 악화시키고, 구조물의 예상수명과 유효수명에 부정적 영향을 줄 잠재력이 있다(Auld, 2008b; Larsen 등, 2008; Stewart 등, 2011). 사례 연구 9.2.8에서 언급하듯이, 적응되지 않고 부적당한 기반시설과 주택에 사는 사람들은 기후변화에 더 많이 위험할 것이다.

여러 지역에서 극한 현상의 규모 또는 빈도의 증가 전망과 함께 (3장 참고), 극한기후가 기준값 또는 지역적 기반시설의 '극적 전환'을 조금이라도 상회할 경우 국가적으로 모든 형태의 기존 기반시설에 대한 피해가 크게 증가하고 재해 위험이 증가할 가능성이 있다(Coleman, 2002; Munich Re, 2005; Auld, 2008b; Larsen 등, 2008; Kwadijk 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010). 건물, 급수, 홍수관리, 교통망 같은 기반시설 시스템은 전체로서 작동하거나 아예 작동하지 않거나 하는 경우가 많으므로, 기반시설 설계 또는 극적 전환점을 초과하는 극한 현상은 방대한 고장과 잠재적 재해를 초래할 수 있다(Ruth and Coelho, 2007; Haasnoot 등, 2009). 예를 들어,, 급수 본관(water main), 제방, 교량이 파손되면 다른 시스템과 부문도 영향 받을 수 있고 지역시스템이 필수서비스를 제공 못하게 될 수 있다(Ruth and Coelho, 2007). 이러한 기반시설 기준값 또는 적응의 극적 전환점은 기후변화 민감성과 미래를 위한 적응옵션과 재해 위험 저감 옵션을 고려할 때 중요해진다(기후변화 불확실성의 기준값과 관리에 대한 기타 고찰은 6.6.1절 참고). 여기서 기반시설의 기준값은 수용 가능한 기술적, 경제적, 공간적 또는 사회적 한계가 초과되고 현재 건설된 환경시스템이 더 이상 "미래 이상기후를 방지"하지 못하는 경우(즉, 실패하여 사전대비식 적응조치와 기반시설 규정, 표준 및 관리 프로세스의 변경을 요하는 경우)에 결정적으로 중요한 기후조건을 말한다(Auld, 2008b; Haasnoot 등, 2009; Kwadijk 등, 2010; Mastrandrea 등, 2010).

특히 중저소득 국가들의 구축된 환경 및 도시 지역의 극한기후 및 재해의 위험을 다룰 필요성은 많은 중앙 정부와 개발 및 재해 전문가들에게 언제나 완전히 인식되는 것은 아니다(Rossetto, 2007; Moser and Satterthwaite, 2008). 중저소득 국가는 세계 도시 인구의 약 3/4 정도를 차지하며, 주로 보호 기반시설 및 서비스의 지체와 도시정부의 한계로 인해 극한 현상의 위험이 가장 높고 고소득 국가들보다 능력치가 부족하다(Satterthwaite 등, 2007; Moser and Satterthwaite, 2008). 개발도상국 도시지역의 급속한 성장과 팽창은 기반시설 발전보다 빨라 주택, 하수시스템, 효과적인 수송 및 비상대응의 부재로 이어져 기상 및 기후 극한 현상에 대한 취약성을 증가시킬 수 있다(Satterthwaite 등, 2007; Birkmann 등, 2011). 기후변화로 인한 이러한 영향은 복원력 있는 건물 혹은 기반시설과 서비스 제공에 투자할 인센티브가 거의 없는 불법 점유된 토지에 지어진 부실 주택에 사는 인구에게 특히 심각할 것이다(Freeman and Warner, 2001; Satterthwaite 등, 2007; Birkmann 등, 2011). 사례 연구 9.2.8은 도시와 도시의 구축된 환경에 가장 적합한 적응 및 위험관리 실무에 대한 고찰을 제공한다.

기반시설 피해 증가로 인한 불가피한 결과는 기반시설 복구와 피해 기반시설에 영향 받은 빈곤층 지원에 필요한 국가 자원의 극적인 증가로 이어질 것이다(Freeman and Warner, 2001). 오스트레일리아 과학기술 및 공학 아카데미(Australian Academy of Technological Sciences and Engineering)에서 수행한 연구를 통해 오스트레일리아의 기존 기반시설을 보호하기 위해 국가적 개조대책이 필요할 것이고 신 기반시설 건설을 위해 새로운 적응 접근법과 국가 규정 및 표준이 필요할 것이라는 결론이 도출되었다(Stevens, 2008). 이 연구는 미래 기후 위험의 격차를 좁히기 위한 연구; 기존의 중요한 기후민감 기반시설들의 포괄적 위험평가; 미래 기후변화 현상에 대한 정보 및 지원도구 (예: 비정체성 극한값(non-stationary extreme value) 분석법)의 개발; 연성공법과 경성공법간의 연관성 조사; 소규모 기후현상의 모델링을 개선하기 위한 연구활동 강화가 필요하다고 권고한다(Wilby, 2007; Auld, 2008b; Stevens, 2008).

구축된 환경에 대한 예상되는 영향을 다루는 권장된 국가 적응옵션들은 새 기후변화 정보가 개발될 때까지 조치를 연기하는 것부터 국가 지침에 따른 기반시설 구성요소 변경, 잔류위험 수용, 보험과 기타 위험이전 수단에 의존, 형식을 갖춘 자산 관리 및 유지, 환경평가에 편입, 새로운 구조 재료 및 기법, 비상서비스 개선, 기반시설 요소의 개조와 교체에 이르기까지 다양하다(Bourrelier 등, 2000; Auld, 2008b; Stevens, 2008; Haasnoot 등, 2009; Hallegatte, 2009; Neumann, 2009; Kwadijk 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010).

OECD와 유수 국가환경평가 기관에서 권장하는 전략적 환경평가 접근법들은, 기후변화 적응과 재해 위험 관리는 물론 온실가스 저감이 기반시설 및 시스템에 관한 신규 프로그램의 정책과 계획에 편입되도록 보장하기 위한 효과적인 수단을 제공한다(OECD, 2006; Benson, 2007). 환경영향평가 접근법은 프로젝트에서 환경악화 위험을 줄일 수 있고 현재 및 변화하는 기후조건의 미래 재해 위험을 줄일 수 있다(Benson, 2007). 긴 수명을 가진 기반시설 또는 네트워크의 경우, 기반시설 시스템의 계획 유효수명에 영향을 줄 가능성이 있는 기후변화 영향을 고려할 것이 권장된다(예: 유량, 기온 및 극한기상 발생률의 계절적 변동성) (OECD, 2006; Bosher 등, 2007; Auld, 2008b; Larsen 등, 2008; Neumann, 2009; NRTEE, 2009).

최신의 지역 기후자료 및 분석결과를 결합한 국가 건축규정의 시행은 여러 기상 위험에 대한 기반시설의 복원력을 향상시킬 수 있다(Auld, 2008b; WWc, 2009; Wilby 등, 2009). 대체로 대부분의 국가에서 과거의 기후가 미래를 나타내기 위해 외삽될 수 있다는 가정하에, 기후 재해로부터 새로운 구조물을 방어하기 위해 과거의 기후 분석들을 이용한다. 예를 들어,, 재해에 강한 기반시설과 서비스 기반시설을 비롯해 물 관련 엔지니어링 구조물(예: 급수, 관개와 배수, 하수 및 수송)은 대체로 과거 강우기록의 분석을 사용해서 설계된다(Ruth and Coelho, 2007; Auld, 2008b; Haasnoot 등, 2009; Hallegatte, 2009; Wilby and Dessai, 2010). 기반시설은 오래 버티도록 지어지고 기후 정체성(climate stationarity)에 대한 가정은 미래 기후에는 유효하지 않을 것이므로, 국가 기후변화 지침, 도구 및 꾸준한 적응옵션을 개발할 때는 기후변화가 기반시설 설계에 결합될 수 있도록 보장하는 것이 중요하다(Auld, 2008b; Stevens, 2008; Hallegatte, 2009; Wilby 등, 2009). 건축 규정을 담당하는 정부 부처와 보험산업은 기후변화의 현실을 매우 진지하게 다루고 있지만, 미래 기후전망의 불확실성을 특히 극한바람과 극한강수 그리고 그것들의 다양한 단계 같은 기후요소들(예: 단기 및 장기 강수, 언 비, 적설)에 대하여 엔지니어링 위험 관리와 규정 및 표준에 어떻게 결합할 것인가에 대한 문제가 여전히 남아 있다(Sanders and Phillipson, 2003; Auld, 2008b; Haasnoot 등, 2009; Hallegatte, 2009; Kwadijk 등, 2010; Wilby and Dessai, 2010; Lu, 2011). 기후변화 전망의 불확실성 특성화, 기후 모델 결과의 지역화, 영향 및 적응 옵션을 평가하기 위한 통합적인 하향식, 상향식 접근법의 적용과 편입에 있어서 최근의 발전들(6.3.1절과 6.3.2절)은 기반시설과 기술을 기후변화에 더 잘 적응시키는 데 도움이 될 것이다. 3.2.3절, 3.3절, 3.4절은 기후변화 전망의 구축, 평가 및 소통의 과학적 발전에 대한 세부사항을 제공하고, 기후변화 모델 아웃풋의 불확실성 측정에 사용되는 지역화 또는 규모축소화 기법 및 접근법 개발의 최근 진전에 대해서도 고찰한다.

실제로 성공한 수행 사례들이 등장하고 있다. 일례로, 사례 연구 9.2.10에서 고찰하듯이 캐나다표준협회(CSA)와 캐나다의 영구동토 실무그룹(National Permafrost Working Group)은 영구동토층의 기반시설에 관한 기술 지침서인 CSA Plus 4011-10: A Guideline for Climate Change Adaptation (기후변화 적응 가이드라인)을 발간하였다. 이것은 기후변화 모델 앙상블로 생산된 기온전망을 직접적으로 결합하였다. 이 CSA 지침서는 기온 및 강수 전망을 고려하였고, 구조물의 계획 수명에 따른 건물의 기초에 대하여 영구동토층의 온난화 및 해빙으로 인한 위험을 반영하였다(Hayley and Horne, 2008; NRTEE, 2009; CSA, 2010a; Smith 등, 2010; Grosse 등, 2011). 이 지침서는 가능한 적응옵션을 제안하였고, 다양한 수준의 위험과 건물, 수처리 시설, 타워, 석유 탱크 집합 지역(tank farm), 광미 야적장(tailings pond), 기타 기반시설 등 구조물의 토대의 고장 결과를 고려하여 가능한 적응옵션을 제안하였다(NRTEE, 2009; CSA, 2010a; 사례 연구 9.2.10). 캐나다 기상서비스, 엔지니어링 협회 및 국가 물 이해관계자 협회와 함께 일하면서 CSA는 적응지침을 가지고 물 관리자를 위한 강수강도-지속기간-빈도 가이드라인 (rainfall Intensity-Duration-Frequency Guideline)도 개발하였다(CSA, 2010b).

개발도상국들에서는 구조물들이 재해 위험 저감 또는 적응 관점에서 최선의 기법이 아닐 수도 있는 지배적 지방관행(prevalent local practice)을 기반으로 지어지곤 한다. 이러한 지배적 지방관행은 대개 국가 건축표준을 사용하지 않거나 지방의 기후조건을 충분히 감안하지 않는다(Rossetto, 2007). 일부 개발도상국에서는 국가 건축 규정 및 표준이 너무 비용이 많이 든다는 인식이 있지만 구조물 건축에서 점진적 내위험 대책을 이행하는 것이 일부 국가에서는 상대적으로 비용이 덜 들고 손실 저감에서도 매우 유리한 것으로 드러났다(Rossetto, 2007; ProVention, 2009).. 실제로 규정과 표준에서 가장 비용이 많이 드는 요소는 국가의 검사정책 실시 비용, 거래처에게 지식 이전, 규정 및 표준의 입수와 이행을 위한 국가적 노력들이다(Rossetto, 2007). 예를 들어, 방글라데시는(돌로 짓지 않은) 임시 주택의 열대저기압에 대한 내성을 향상시키기 위한 간단한 개조를 실시하였는데 들어간 비용은 건축비용의 5%에 불과했다(Lewis and Chisholm, 1996; Rossetto, 2007). 방글라데시는 재해 후에 짓는 주택은 '기후친화적 보강' 표준을 충족하고 다음 재해 때 가족들이 피신할 대피소(household shelter) 역할을 하는 작은 공간을 포함해야 한다고 요구하는 국가정책을 개발 중이다. 많은 국가들에서 기후친화적 보강 가이드라인과 표준은 비상 대피소로 사용되는 구조물과, 통신망, 병원, 교통망 같은 경제적 사회적 생명줄을 형성하는 구조물에 적용된다(Rossetto, 2007).

많은 연구들이 기술 및 기반시설 해법은 기후변화 적응의 유일한 방도가 아니며 금융 도구, 토지사용 계획, 생태계 보존 같은 소프트한 해법이나 연성공법도 필요하다고 주장한다(Adger 등, 2007; Auld, 2008b; Nicholls 등, 2008; Hallegatte, 2009; McEvoy 등, 2010). 토지 및 물 사용 계획, 자연적 완충으로 바이오실드(bioshield)의 활용, 소프트 디펜스(soft defense), 친환경 또는 연성공법은 보완적 적응옵션들이다(6.5.2.3절과 사례 연구 9.2.1 및 9.2.8 참고).

6.5.2.2. 인간발전과 취약성 저감

기후위험 취약성 및 이를 저감하기 위한 옵션은 빈곤, 사회적 지위, 지리적 위치, 성별, 나이, 계급, 민족, 생태계 조건, 커뮤니티 구조, 커뮤니티 의사결정 과정, 정치적 문제 같은 요인들로 인해 국가들 간에, 그리고 국가 내에서도 차이를 보인다(Yodmani, 2001; Yamin 등, 2005; Halsnaes and Traerup, 2009). 전반적으로 연구들은 기후변동성 및 기후변화에 취약한 정도는 국가경제와 생계가 기후민감 자연자원에 의존하는 정도 그리고 국가의 사회제도가 기후변화 아래서 자원을 형평성 있게 분배할 복원력 내지 강건성의 정도에 의해 형성된다는 것을 보여준다(Ikeme, 2003; Brooks 등, 2009; Virtanin 등, 2011). 가장 빈곤한 지역은 취약한 주택, 약한 응급 서비스와 기반시설, 그리고 농업과 기타 자연자원에 대한 의존이 특징이다(Ikeme, 2003; Manuel-Navarrete 등, 2007; Reid 등, 2010).

취약한 커뮤니티는 수분 부족, 식량 불안, 질병 위험, 생계 손실로 고통을 이미 겪고 있으며, 이것들은 기후변화 하에서 증가될 가능성이 있다(Manuel-Navarrete 등, 2007; Brooks 등, 2009; Halsnaes and Traerup, 2009; Virtanin 등, 2011). 예를 들어,, 기후변화는 수인성 질병의 위험을 증가시킬 수 있어 특정 대상에게 보건 및 물 위생 지원이 필요해질 수 있다(Curriero 등, 2001; Brooks 등, 2009). 군소도서 국가들과 저지대 국가들은 취약한 집단을 더 안전한 곳이나 다른 나라로 재배치하기 위한 지원이 필요할 수 있다(Manuel-Navarrete 등, 2007; McGranahan 등, 2007). 기타 연구들에 의하면 복원력 있는 주택과 안전한 대피소는 취약인구를 재해와 극한 기후로부터 보호할 핵심 적응조치로 남을 것이며, 신규 혹은 대체 구조물이 미래 변화를 수용하기 위해 융통성 있게 지어지도록 보장하는 국가적 가이드라인을 요한다(Ikeme, 2003; Manuel-Navarrete 등, 2007; Rossetto, 2007; Auld, 2008b). 기후변화 하에서는 취약인구의 식량안보 문제가 기후변동성, 불규칙한 강우량, 극한 현상 빈도 증가에 의해 더 영향 받게 될 것으로 예상된다(Ikeme, 2003; IRI, 2006; Brooks 등, 2009; Halsnaes and Traerup, 2009; and regional studies through global partnerships, such as the Consultative Group on International Agricultural Research). 식량부족에 직면하면 취약 인구는 장기적 재해 위험을 악화시키는 과다방목, 벌채, 지속 불가능한 취수 같은 부적응적 대응전략을 종종 채택한다(Brooks 등, 2009; Bunce 등, 2010).

연구들에 의하면 기후변화로 인한 경작지의 최대 손실은 아프리카, 특히 사

하라 사막 이남 아프리카에서 발생할 가능성이 있다(Ikeme, 2003; FAO, 2010). 이 취약 지역에서 식량안보 문제를 평가하려면 기후를 비롯한 여러 가지 사회경제적 변수와 환경 변수를 고려해야 한다(Verdin 등, 2005; Virtanin 등, 2011). 사하라 사막 이남 아프리카에서는 매우 널리 분산된 많은 사람들이 천수답과 유목에 의존하고 있으며, 식량 안보 분석과 평가를 위한 중요한 입력자료는 기후 모니터링과 예보이다. 이 지역의 기존의 기후 및 수문기상 네트워크는 희박하고 종종 상당히 지연되어 보고되기 때문에 강수 관측, 예보, 자료 관리 및 모델링 적용에 대한 능력을 키울 필요성이 높아지고 있다(Verdin 등, 2005; Heltberg 등, 2009; FAO, 2010). 연구들은 강우 관측망을 확장하고 위성정보를 결합; 자료 관리 시스템을 개량; 정책결정자들에게 맞춤 예보정보를 보급하고 사용; 위험, 식량안보 및 취약성에 대한 입력자료로서 가뭄 전망을 동반한 계절 예보를 결합할 수 있는 더 효과적인 조기경보시스템이 필요함을 보여준다(Verdin 등, 2005; Heltberg 등, 2009; FAO, 2010). 그 밖에 식량안보 위험을 최소화하기 위한 단기적이고 제한적인 전략으로는 위험을 분산시키기 위한 생계의 다각화, 여러 생태계 틈새에서의 경작, 사회적 네트워크 구축, 생산안전망과 사회보호제도, 재정노출을 줄이기 위한 지역 또는 국가수준에서의 위험 풀링 등이 있다(Brooks 등, 2009; Halsnaes and Traerup, 2009; Heltberg 등, 2009; FAO, 2010). 불확실성을 감안해 위험증가를 다루기 위한 장기 전략으로는 토지 갱생, 계단식 산비탈(terracing)과 재조림, 집수 및 관개 기법 강화 대책, 시장접근성 향상을 위해 기반시설 품질 개선, 가뭄에 강한 작물품종 도입 등이 있다(Halsnaes and Traerup, 2009; Heltberg 등, 2009).

보다 장기적으로는 기후변화 아래서 식량안보를 높이려면 농업 생산성을 높이고, 생산 변동성을 줄이고, 불리한 현상에 강한 농업시스템이 필요할 것이다(Cline, 2007; Stern, 2007; Halsnaes and Traerup, 2009; FAO, 2010). 이것은 자연자원 관리의 변환; 새로운 기후-스마트 농업정책; 위험 및 취약성 평가에서 기후과학 정보를 더 현명하게 사용; 식량안보를 위한 자금조달을 함축한다(Brooks 등, 2009; Ericksen 등, 2009; FAa, 2010). 기타 대응전략으로는 비농업 소득, 이주, 정부 지원, 금융 지원, 미소금융, 사회적 보호, 기타 안전망, 다양한 보험상품을 들 수 있다(Barrett 등, 2007; Heltberg 등, 2009; FAa, 2010). 국지적으로 생계에 영향을 주는 변수를 전체론적으로 기술하고 지속가능한 생활, 빈곤저감 및 재해복구에 필요한 능력, 자산(자연 자산과 사회적 자산) 및 정책을 정의하기 위해 지속가능한 생계 접근법 또는 기틀(Sustainable Livelihoods Approach or Framework)이 국제적으로 사용되어 왔다(Brocklesby and Fisher, 2003; Yamin 등, 2005). 2.3, 2.4.3, 2.6.1,5.2.3 및 5.4절과 사례 연구 19.2.1과 19.2.2에서도 기후위험과 기후변화에 대한 적응능력과 복원력을 구축하는 데 고려할 수 있는 지속가능한 생계 접근법을 고찰한다.

위험인구의 조기식별을 통해 시의적절한 조치가 가능해 지고 궁극적으로 영향의 확산을 방지할 수 있다. 현재 및 미래 기후와 그 영향에 대한 신뢰성 있고 상세한 정보는 효과적인 적응전략을 채택할 필요성을 인식하고 성공적으로 발전시키는 데 중요한 역할을 할 수 있다(Ikeme, 2003;Verdin 등, 2005; Heltberg 등, 2009;Wilby 등, 2009; 6.5.1절에서 논의). 일부 연구들은 미래 기후변화 아래서 개발도상국들의 가장 취약한 지역 및 인구 식별의 잠재적 장벽은 전지구 및 지역 기후전망을 국가수준의 계획 및 프로그래밍 과정에 적합한 범위로 규모축소화 할 인적자원 능력이 지역적으로 부족하다는 것이라고 주장한다(Ikeme, 2003; Verdin 등, 2005; CCCD, 2009; Wilby 등, 2009). 개발활동의 상당수는 극한기후의 변화에 특히나 민감하기 때문에 개발에 중요한 모든 기후변수가 확실하게 전망 및 규모축소화가 가능한 것은 아니다(Agrawala and van Aalst, 2008). 규모축소화 결과가 이용 가능할 지라도, 규모축소화된 전망을 어떻게 해석하여 확실하게 취약성을 도출할 수 있는가에 대한 이해와 해석의 부재로 그 사용이 제한될 수 있다(Agrawala and van Aalst, 2008; Heltberg 등, 2009). Agrawala and van Aalst (2008)는 개발 실무자들과 기후 과학자들은 힘을 합해 기후정보를 보다 접근 가능하고 유의미하고 유용하게 만들어야 한다고 주장한다.

기후변화가 가하는 위험은 개발자원 투자와 개발목표 달성의 장기적 효율에 영향을 줄 수 있기 때문에 재해 위험 관리와 기후변화 적응을 다양한 개발활동에 통합 또는 편입하는 것이 여전히 중요하다(Agrawala and van Aalst, 2008; Halsnaes and Traerup, 2009; Heltberg 등, 2009; Mitchell 등, 2010a). 개발 커뮤니티에서는 기후변화의 영향과 이행자원의 한계에 대한 인식 부족이 적응과 재해 위험관리의 편입이 어려운 이유라고 종종 언급된다(Agrawala and van Aalst, 2008; Heltberg 등, 2009; 6.3.2절). 기후변화 적응 및 재해 위험 관리 조치들은 기존 기후변동성에 민감한 인구의 취약성을 줄이는 경우에 성공적으로 편입된 것으로 간주될 수 있고, 향후 변화에 대한 그들의 대비 및 대응 능력을 강화시킬 수 있다 (Yamin 등, 2005; Manuel-Navarrete 등, 2007; Mertz 등, 2009). 연구들은 국가 정책이 이 능력을 증가시킬 수 있음을 보여준다(Ikeme, 2003; Heltberg 등, 2009). LDC 기금, 특별 기후 기금(Special Climate Fund), 적응 기금(Adaptation Fund), 기후변화 다중기부자 신탁 기금(climate change Multi-Donor Trust Fund) 등과 같은 정책 및 대책들은 모두 취약한 국가들의 특별한 적응 및 위험저감 문제들을 다루기 위해 개발되었다(7.4.2절과 7.4.3.3절 참고).

지원 대상을 개발도상국의 가장 취약한 계층에게 맞추라는 권고에도 불구하고, 실제 '현장'에서는 그러한 경우가 드물었다(Yamin 등, 2005; Ayers and Huq, 2009; Heltberg 등, 2009). 그럼에도 일부 개발도상국들은 성공적인 정책과 계획을 실시해왔다. 국가적으로 재해 대비와 조기 경보 및 대응 시스템을 위한 재해저감 능력을 강화하고 많은 개발도상국 지역 및 부문의 근본적인 위험동인을 해결하는 것이 상당히 진전되고 있다(Manuel-Navarrete 등, 2007; UNISDR, 2009c). 예를 들어,, 사회안전망과 특히 빈곤 저감과 새천년 개발목표 달성을 위한 국가적 프로그램들은 최빈곤층이 현재 및 미래 기후위험에 대한 노출을 줄이는 데 도움이 되었다(Yamin 등, 2005; Tanner and Mitchell 2008; Heltberg 등, 2009). 사회안전망의 예로는 가장 취약한 계층을 위한 현금 이체, 날씨연동 작물보험, 고용보증제도, 자산 이전 등이 있다(Yamin 등, 2005; CCCD, 2009; 6.6.3절). 취약층이 자산을 구축하도록 돕는 국가정책은 기후변화 아래서 복원력을 유지하기 위하여 기후에 대한 심사를 결합해야 한다(UNISDR, 2004; Tanner and Mitchell, 2008; Heltberg 등, 2009). 취약자에게 국가에서 현금을 주는 사회연금 같은 기타 대책은 기후위험에 대한 완충을 제공한다(Davies 등, 2008; Heltberg 등, 2009). 그러나 능력과 우수한 거버넌스의 부재는 여전히 가장 취약한 계층에 대한 지원의 효율적이고 효과적인 제공을 가로막는 주요 장벽이다 (Yamin 등, 2005; CCCD, 2009; Heltberg 등, 2009; Warner 등, 2009).

UNFCCC 산하의 국가 적응조치 프로그램(National Adaptation Programme of Actions, NAPA)은 최빈국들이 기후민감 부문을 평가하고 가장 취약한 지역, 커뮤니티 및 인구의 가장 시급한 적응문제를 다루는 프로젝트를 우선 처리하도록 도와왔다. NAPA 프로세스는 최빈국가들에서 기후변화와 그 잠재영향에 대한 인식을 높이는 데 필수적인 것으로 드러났다. NAPA 산하의 적응 프로젝트들은 대개 작은 지역에 적용되고, 시급한 필요를 해결할 목적으로 부문 내 한두 가지 요소를 다룬다. 프로젝트 선택은 조치의 시급성과, 지연으로 인해 나중에 처리 비용이 증가될 경우의 비용 효율에 기초한다. 완료된 NAPA의 평가는 보건, 식량안보, 기반시설, 해안지대와 해양생태계, 보험, 조기 경보 및 재해 관리, 육상생태계, 교육과 능력 강화, 관광, 에너지, 수자원, 교차부문 분야 같은 여러가지 국가적, 지역적 우선순위 부문들을 보여준다. NAPA 프로세스는 중장기 적응 계획 및 정책 개발에 유용한 기초를 이룬다. NAPA 팀들의 능력과 이후에 만들어진 네트워크들은 더 폭넓은 국가 적응계획을 설계하는 데 매우 유용하였다(UNFCCC, 2011 a.b),

6.5.2.3. 자연자본과 생태계에 기반한 적응에의 투자

생물다양성과 생태계서비스를 종합 적응전략에 통합하는 생태계 기반 적응은 극한기상 및 극한기후 현상의 영향에 대응할 비용 효율적인 전략일 수 있다(SCBD, 2009). 지속가능한 생태계와 환경관리에 대한 투자는 생계를 향상시키고 생물다양성 보존을 증가시킬 잠재력이 있다고 일반적으로 인정된다(Bouwer, 2006; UNEP, 2006, 2010; McGray 등, 2007; Colis 등, 2009; SCBD, 2009; Sudmeier-Rieux and Ash, 2009; World Bank, 2009).

건강하며 자연적인 또는 개조된 생태계(6.3.1절과 Box 6-4 참고)는 극한기후와 재해의 위험을 줄이는 데 결정적인 역할을 한다(Sidle 등, 1985; Dorren 등, 2004; Phillips and Marden, 2005; Reid and Huq, 2005; UNISDR, 2005, 2007a,b, 2009a,b; Bebi 등, 2009; Coils 등, 2009; SCBD, 2009; Sudmeier-Rieux and Ash, 2009; UNEP, 2009; Lal, 2010). 비록 기상 및 기후 극한 현상에 대한 자연계의 민감성을 줄이고 재해 취약성을 줄이는 데 있어 생태계서비스의 역할에 관한 과학적 증거기반은 초기 상태지만, 자연 생태계 관리에 대한 투자는 재해 위험을 저감하는 데 오래 동안 사용되어 왔다(Box 6-4). 예를 들어, 산림은 알프스 지역과 기타 지역에서 1900년대부터 눈사태, 낙석, 산사태 등을 막을 효과적인 위험저감 대책으로서 사용되어 왔다(Sidle 등, 1985; Dorren 등, 2004; Phillips and Marden, 2005; Bebi 등, 2009). 산불, 풍화, 가뭄, 사막화로 인한 피해는 산림 관리, 방풍림, 녹지대, 생울타리, 기타 '생물 울타리(living fence)'에 의해 완충되었다고 보고된다(ProAct Network, 2008; Dudley 등, 2010). 맹그로브 재식림은 저기압과 폭풍해일의 완충제로서 사용되어 왔으며, 맹그로브의 건강상태와 범위에 따라 해안지역에서 바람으로 인한 파도의 에너지를 70~90% 감소시키고 (UNEP, 2006) 저기압으로 인한 사망자 수를 감소시킨다고 (Das and Vincent, 2009) 보고되었다. 표 6-1은 부문별 사례에서 재해 위험 저감과 기후변화 적응에서 생태계서비스의 가치에 대한 증거를 제시한다(6.5.2.1절 참고).

생태계가 그러한 이익을 지원하는 정도는 생태계 관련 요인들의 복잡한 동적 상호작용뿐 아니라 위험의 강도와 (UNEP, 2006; Sudmeier-Rieux and Ash, 2009) 제도, 그리고 거버넌스 수단에도 좌우된다(Angelsen 등, 2009

Box 6-4 | 재해 위험 관리에서 생태계서비스의 가치.

- 몰디브에서는 보호 산호초의 퇴화 때문에 1km 당 1,000만 달러의 비용이 드는 인공 방파제 건설이 필요하였다(SCBD, 2009).
- 베트남에서는 적십자가 1994년에 맹그로브 식림을 시작하여 2002년까지 12,000 헥타르의 맹그로브에 11억 달러가 소요되긴 했지만 연간 제방 유지보수 비용이 730만 달러 절약되었고, 육지 지역이 2000년에 큰 태풍에서 보호되었고, 식목과 조개류 수확으로 생계가 복구되었다(Reid and Huq, 2005; SCBD, 2009).
- 미국에서는 습지가 허리케인으로 인한 홍수를 감소시켜 연간 1헥타르 당 8,250 달러가 절약되고 폭풍 방호 서비스가 연간 232억 달러 절약되는 것으로 추정된다(Costanza 등, 2008).
- 인도 오리사(Orissa)에서 1999년 수퍼 저기압이 두 개의 타실(tahsil, 세무관리구)에서 맹그로브가 있는 마을과 없는 마을 409개에 끼친 영향을 비교한 결과, 비록 모든 마을이 조기경보의 덕을 보았고 다른 사회적 경제적 변수들이 작용하긴 했어도 건강한 맹그로브가 있는 마을들은 없는 (또는 제한적으로 있는) 마을들보다 인명손실이 훨씬 적었다(Das and Vincent, 2009).

의 사례 연구 참고). 생태계 구조와 기능 간의 관계와 기상 및 기후 극한 현상의 위험 저감에 대한 과학적 이해는 증가 중이기는 하지만 제한적이다.

자연생태계 투자는 토지사용, 토지사용 변화 및 조림[Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF)] 같은 기법들을 통해 그리고 벌채와 산림악화로 인한 탄소방출 저감 [Reduced Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD) 또는 REDD+]을 통해 온실 가스 저감에도 크게 기여한다. REDD는 산림의 지속가능한 관리로부터 보존의 가치와 산림 탄소 축적량(carbon stock)의 강화도 포함한다(UNEP, 2006; SCBD, 2009). 맹그로브 생태계는 탄소 제거와 저장에 중요하며, 가장 높은 탄소풀 중 하나로서 1,060-2,020 t CO2/ha 또는 연간 탄소제거량 6.32 t CO2/ha (Murray 등, 2010)을 제공할 뿐 아니라 기상 및 기후 극한 현상의 완충효과, 생물다양성 가치, 생계 이익도 제공한다. REDD와 REDD+ 관련 전략을 통한 자연생태계 투자는 지방 커뮤니티에게 다른 소득원을 만들어 줄 수 있고 벌채를 방지할 훨씬 더 중요한 재정적 인센티브를 제공한다 (Reid and Huq, 2005; Angelsen 등, 2009; SCBD, 2009; Sudmeier-Rieux and Ash, 2009; Murray 등, 2010). 또한 산림 생태계 보존과 복구로부터 추가적 생계 이익도 제공하고 산림생태계가 지원하는 서비스도 제공한다(Longley and Maxwell, 2003; MEA, 2005; SEEDS India, 2008; Sudmeier-Rieux and Ash, 2009; Murray 등, 2010).

Box 6-5 | 생태계서비스를 고려한 생태계 기반 적응전략과 재해 위험관리 중재의 예

- 베트남은 토지사용 계획 프로젝트와 Vu Gia- Thu Bon 강 유역의 수력 개발에 기후재해 위험을 포함해 전략적 환경평가를 적용하였다(OECD, 2009; SCBD, 2009).
- 심각한 홍수에 영향 받는 유럽 국가들, 특히 영국, 네덜란드, 독일은 보다 전체론적인 강유역 관리 계획을 적용함으로써 '물이 흐를 공간 확보'로 정책을 전환하였고 해안지대 관리를 결합하였다(DEFRA, 2005; Wood and Van Halsema, 2008; E(, 2009; ONERC 2009).
- 지역 수준에서 카르비 개발 은행(Caribbean Development Bank)은 신규 개발 프로젝트의 환경영향평가에 기상 및 기후 재해 위험을 결합시켰다(CDB and CARICOM, 2004; UNISDR, 2009c).
- 아마존 보호지역 프로그램(Amazon Protected Areas Program) 아래서 브라질은 주, 지방, 민간 및 토착 토지에서 생물다양성이 풍부한 산림 보호구역을 3,000만 헥타르 이상 만들었고, 그 결과 벌채 예방효과를 통해 탄소방출이 18억 톤 감소할 것으로 추정된다(World Bank, 2009).
- 타지키스탄 무미나바드(Muminabad)에서 스위스 개발청(Swiss Development Cooperation)의 4년 프로젝트는 재조림과 통합 유역관리를 통해 위험에 대한 통합 접근법을 채택하였다(SDC, 2008).

일부 국가들은 국가 및 부문 개발 결정의 필수 요소로서 기상 및 기후 극한 현상에 관련된 기후변화 저감 또는 위험 적응에 생태계에 기반한 해법을 명시적으로 고려하기 시작했다(Box 6-5 참고).

종종 '무난한' 옵션의 일부로 간주되는 생태계 기반 적응전략은 지역, 국가 및 국지 수준에서 프로젝트와 프로그램으로 적용할 수 있고 장단기적으로 이익을 실현할 수 있기 때문에 기후변화 적응에 널리 적용할 수 있는 접근법이다. 이는 딱딱한 기반시설 및 엔지니어링 해법보다 훨씬 비용 효과적인 적응전략일 수 있고 (6.5.2.1절 참고), 다양한 이익을 낳을 수 있으며, 시골 빈곤층에게도 상당히 더 접근 가능한 접근법이다(Sudmeier-Rieux and Ash, 2009). 커뮤니티도 위험저감 활동에서 전통적 지역적 지식과 문화적 가치를 통합하고 유지할 수 있다(SCBD, 2009).

생태계 기반의 적응옵션을 선택할 때, 정책결정자는 특정 기후 위험저감 서비스와 역시 인간에게 중요한 기타 생태계서비스 간의 절충에 대하여 판단해야 할 수도 있다. 이러한 결정에는 잠재적 절충을 인정하고 결합하는 위험평가, 시나리오 계획 및 적응적 관리 접근법을 통한 정보가 유용하다. 예를 들어, 야생생물과 레크리에이션을 희생해 실트 축적과 안정화에 역점을 두어야 하는 해안보호에 습지를 사용하기로 결정하는 경우 (SCBD, 2009), 특히 생물다양성 가치의 완전한 보존이 매우 복잡하고 장기간 걸리는 경우 (UNEP, 2006)가 그러한 예일 수 있다.

그러나 만약 국가들이 생태계 기반 해법에 투자를 늘리는 데 성공할 생각이라면 다음과 같은 문제들을 극복해야 한다.

- 극한기후 및 재해 위험의 잠재적 변화는 물론, 현재의 위험상황 아래서 생태계서비스의 경제적 사회적 이익에 대한 인식 부족(Vignola 등, 2009).
- 복잡하고 동적인 시스템에 관련된 정보에 입각해 결정하기 위한 다분야 과학과 이행 능력의 부족(Leslie and McLeod, 2007; OECD, 2009).
- 자연에 의지하는 다양한 생태계서비스의 경제적 가치를 추정할 능력 (TEEB, 2009).
- 지방 수준에서 정보에 입각한 선택을 위해 대체전략의 신중한 비용편익 평가에 착수할 능력의 부족. 그러한 평가는 농업에서 산림지대를 대신 사용하는 것에 비해 재해 관련 생태계서비스의 모든 범위의 종합 경제가치를 제공할 수 있다(Balmford 등, 2002).
- 생태계 상태와 위험에 관한 자료와 모니터링은 종종 다양한 범위에서 다양한 기관에 분산되어 있고, 그래서 토지사용 계획을 결정하는 준국가 또는 지자체 수준에서 언제나 접근 가능한 것은 아니다(UNISDR, 2009a).
- 지리적 범위와 의무사항이 재해저감 행정과 책임 사이에서 일치하지 않음. 그리고 강유역의 경우처럼 생태계 범위와 기능이 일치하지 않음 (Leslie and McLeod, 2007; OECD, 2009).

6.5.3. '잔류'위험의 이전과 공유

모든 위험이 저감 가능하지는 않으며, 그에 따른 잔류위험이 존재하기 마련이다. 가구와 기업에 대한 잔류위험을 공유하고 이전하는 메커니즘은 지역 수준의 영향과 위험의 관리에 대하여 5.5.2.2절에서 설명하였다. 5장도 지역수준의 위험관리와 기후변화 적응을 위해 보험이 제공하는 유인 및 방지 메커니즘을 고찰하였다. 이 절에서는 국가수준의 기관, 특히 정부가 국가적 실무의 실행과 규제에서 하는 역할을 설명한다. 또한 정부측에서 고유 위험을 이전할 필요성도 고찰한다.

시장은 위험공유 및 이전 해법을 제공한다. 가장 대표적인 것은 가구와 기업을 위한 재산 및 자산 보험과 농부를 위한 작물보험이다. 보험시장은 일반적으로 국가에서 분리하고 규제한다. 기존 국가적 보험시스템은 흔히 자연위험으로부터 재산 및 자산 보호를 제공할 때 매우 다양한 선택지를 제공한다. 국가 보험시스템은 폭풍, 우박, 홍수, 지진, 산사태, 또는 보조금 같이 차등적으로 위험을 포함한다. 위험은 개별적으로, 또는 화재 보험증권과 함께 묶여서 보장되거나 '모든 위험' 보험증권 아래 보장될 수 있다. 보험계약은 제공된 보장범위뿐 아니라 보장금 한계도 각기 다르고, 보험증권이 필수인가, 묶음인가, 또는 자발적인가도 다르다. 중요한 것은 보험은 공공당국과 민간보험사의 관여에 관하여 그리고 개별 가구, 기업, 납세자에게 재해손실의 채무와 책임을 할당하는 방식에 있어서 제도적으로 다르다(Schwarze and Wagner, 2004; Aakre 등, 2010).

하지만 보험 보장범위는 제한되어 있으며, 세계적으로 1980~2030년에는 기상 관련 현상으로 인한 손실의 약 20%만이 보험에 가입한 상태였다(6.6.2절 참고). 대다수의 경우, 선진국에서조차도 보험제공자는 홍수나 기타 위험에 대한 지역적 또는 전국적 보험 증권을 제공하기를 꺼렸는데, 그 이유는 그 위험의 전체적인 성격과 도덕적 해이 및 역선택의 문제 때문이었다(Froot, 2001; Aakre 등, 2010). 매우 노출된 국가들, 이를테면 홍수 위험이 높은 네덜란드에서는 아예 보험이 존재하지도 않고 대신에 정부 보조금이 지급된다(Botzen 등, 2009). 많은 개발도상국에서 재해 위험 측면의 보험은 거의 없지만, 새로운 물가연동 방식의 소액보험 솔루션(index-based micro-insurance solutions)이 개발되었고 그 결과를 보이기 시작하고 있다(Hazell and Hess, 2010; 위험 융자에 관하여 5.6.3절과 사례 연구 9.2.13 참고). 시장 메커니즘은 개발도상국에서는 특히 위험평가 정보가 부족하고 위험풀링 범위가 제한적이며 보험수단의 공급이 거의 없기 때문에 잘 작동하지 않을 수 있다. 그러한 상황에서는 정부가 위험 추정을 돕고, 보험직원 훈련프로그램 개발을 돕고, 위험인구의 인식을 촉진시켜 가능한 환경을 창출할 필요가 있다(Linnerooth-Bayer 등, 2005; Hoeppe and Gurenko, 2006; Cummins and Mahul, 2009; Hazell and Hess, 2010).

개발도상국과 선진국에서 자연의 예측 불가능한 변동을 관리할 보험과 기타 위험 파이낸싱 수단을 이용하려면 시장실패, 역선택, 그러한 수단들의 불통을 막기 위해 PPP를 구축해야 한다(Aakre 등, 2010). 그러한 이유 때문에 정부는 민간부문이 개입할 수 있는 환경을 창출하고 그 활동을 규제하는 역할을 한다. 개발 정황에서 Hazell and Hess(2010)는 보호모델과 촉진모델을 구분하면서도 이들의 조합은 그 두 가지 모두의 요소를 포함하는 경우가 많음을 인정한다. 보호는 정부가 사후 재정지원을 제공함으로써 정부, 개인, 기업을 궁핍과 빈곤으로부터 보호하는 것이다. 그러나 이것은 재해 전에 보험이라는 사전수단으로 취해진다. 촉진모델은 공공부문이 기업와 가구들이 미소금융을 포함해 위험 금융에 접근할 수 있게 도움으로써 보다 안정적인 생계와 보다 높은 소득기회를 촉진시키는 것이다.

민간 보험사는 위험을 완전히 보장하기를 종종 꺼리고 그에 따라 일본, 프랑스, 미국, 노르웨이, 뉴질랜드를 비롯한 다수 국가들이 공공-민간 국가 보험시스템을 제도화 하였다. 이 경우, 피보험인의 참여는 의무적이거나 자발적이며, 단일 위험은 보험 처리가 되거나 포괄적 보험으로 보장이 가능하다 (Linnerooth-Bayer and Mechler, 2007). 정규 방도로는 쉽게 보장되지 않는 위험의 시장침투를 늘리기 위한 특정 전략도 이용할 수 있다. 일례로, 인도에서는 친서민(pro-poor) 규정에서 보험이 본직인 보험사는 서민을 위한 일정량의 보험증권을 확보하고 그럼으로써 미숙한 저소득 소액보험들을 교차보조(cross-subsidize)해야한다고 명시한다(Mechler 등, 2006a).

또한 정부는 정부보험(sovereign insurance)을 통해 채무를 보험들 수 있다. 채무는 정부가 재해 위험에 노출된 공공 기반시설 및 기타 자산의 거액 포트폴리오를 소유하기 때문에 생긴다. 더욱이 대부분의 정부는 취약한 피해가구 및 기업에게 재해후 비상구호 및 지원을 제공하는 역할을 받아들인다. 부유한 국가에서는 국가수준의 정부보험이 거의 존재하지 않고, 스웨덴에서는 공공자산 보험이 불법이다(Linnerooth-Bayer and Amendola, 2000). 반면에 미국, 캐나다 및 호주의 정부는 비록 예산적자를 초래하지 않도록 규제되긴 하지만 종종 공공자산에 덮개를 씌운다(Burby, 1991). 앞에서 고찰하였듯이 (6.4.3절 참고), 이것은 Arrow and Lind 정리와 일치한다. 이 정리는 정부는 정부보험에 가입하지 않고도 국민들에게 위험을 효율적으로 분산 및 공유할 수 있다고 주장한다.

하지만 감당 범위를 넘어선 과세기반과 매우 상관적인 기반시설 위험을 가진 소규모 저소득 국가, 또는 매우 노출된 국가들에게 있어서 재해손실 대응을 위한 사후 접근법의 단점을 인지하면서(OAS, 1991; Pollner, 2000; Mechler, 2004; Cardona, 2006; Linnerooth-Bayer and Mechler, 2007; Mahul and Ghesquiere, 2007), 최근 공공부문 자산과 구호비용을 위한 정부보험은 점차 증가하는 재해 영향을 저지할 초석이 되었다(Mahul and Ghesquiere, 2007). 일반적으로 이 전략은 드물게 발생하는 위험 (예: 재현기간이 10년 이상인 현상)부터 150년 재현기간을 가진 위험까지 위험을 이전시킨다. 재현기간이 그 이상인 위험은 보험비용이 너무 클 것이다(Cummins and Mahul, 2009). 핵심 요소 하나는 특정 재현기간을 가진 손실을 감당하지 못할 것을 나타내는 재정 취약성을 정의하는 것이다 (Mechler 등, 2010).

멕시코 정부는 2006년에 정부 비상 구호비를 보험에 들었고, 카리브해 지역에서는 2007년에 카리브해 재난위험 보험기구(Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility)를 보험에 들었다(Ghesquiere, 등, 2006; Cardenas 등, 2007). 중앙 정부처럼, 구호 및 지원 프로그램을 통해 간접적으로 노출되는 기부자 조직도 비슷한 거래를 고려하였다. 2006년에 세계식량프로그램(World Food Programme)은 물가연동방식 재보험을 통해 에디오피아의 가뭄 노출을 '인도주의 보험(humanitarian insurance)'에 가입하였다(9.2.13절 참고). 이 거래들은 고노출 개발도상국 및 경제전환국 정부 포트폴리오를 재해 위험으로부터 보호한다는 측면에서 혁신적이고 유망한 선례를 남긴다.

6.5.4. 영향 관리

앞서 언급한 노력이 모두 준비된 드문 상황에서도, 위험이 0으로 감소되는 것은 불가능하다. 따라서 잠재적 재해영향을 관리할 능력에 투자할 필요성은 여전히 존재한다(Pelling, 2003; Wisner 등, 2004; Coppola, 2007). 재해영향의 범위는 대응의 수준과 범위와 호환되어야 한다. 개별 가구의 재해대응 능력으로는 감당하지 못할 수 있으며 이럴 경우 지역자원이 동원되어야 할 것이다(del Ninno, 2001). 커뮤니티 대응으로 감당되지 않는 경우, 지역 또는 중앙 정부가 호출된다(Coppola, 2007). 일부 현상은 중앙 정부의 능력으로도 감당 못할 수 있고 인도주의 대응자 국제 커뮤니티가 동원되어야 할 수도 있다(Fagen, 2008; Harvey, 2009). 국제 대응은 관련된 행동주체가 다양하고 수립된 자원흐름이 다중적이어서 중앙 정부에게 가장 복잡한 관리문제를 일으킨다(Borton, 1993; Bennett 등, 2006; Ramalingam 등, 2008; ALNAP, 2010a). 그러나 인도주의 원칙이 균형 잡힌 형평성 있는 대응을 요구하지만 실제로는 사람들의 주목을 받아 자원이 과다추입되는 소수의 재해도 있고 그 보다 더 많은 '잊혀지거나 무시된 비상사태'들도 있다(Slim, 2006). 즉각적 대응을 넘어서는 재해라는 국제 또는 국가적 재해의 정의에도 불구하고, 인명구출 활동의 대부분은 가구, 커뮤니티 및 시민사회의 주도로 지역수준에서 이루어진다(5.1절과 5.2절; Smillie, 2001;

Hilhorst, 2003; ALNAP, 2005; Telford and Cosgrave, 2006).

국가적 대응 관리 방법의 측면에서 고려해 볼때, 다양한 모델들이 존재한다(ALNAP, 2010b). 현재 다수의 국가들은 재해관리 상비능력(standing disaster management capacity)을 보유하고 있으며 (Interworks, 1998), 이것은 흔히 '국가 플랫폼'과 관련된, 국가적 재해 위험 관리시스템과 구분해서 생각해야 한다(6.4.2절 참고). 재해관리 상비능력의 예로는 미국의 연방 재난관리국(Federal Emergency Management Agency), 중국의 국가 재해저감 위원회(National Commission for Disaster Reduction), 인도와 인도네시아의 국가 재해관리 당국(National Disaster Management Authorities), 태평양 도서국가들의 국가 재해관리청(National Disaster Management Offices, NDMO), 영국의 비상대책사무처(Civil Contingencies Secretariat)가 있다. 이 조직들의 비교분석을 보면 공통요소가 많다(Interworks, 1998; Coppola, 2007). 공식 재해관리조직이 있는 국가들은 대체로 국가재해위원회(National Disaster Committee)로 구성된 시스템을 운영하는데 이 위원회는 높은 수준의 권한과 장관 조율을 제공하고, 재해 대비 및 대응의 실제 이행은 NDMO가 이끈다(Interworks, 1998). 국가위원회는 일반적으로 여러 부처의 대표자들과 적십자/적신월사(Red Cross/Red Crescent)로 구성된다. 이들은 기부자 단체, NGO, 민간부문도 포함할 수 있다. 이 위원회는 재해관리에 대한 포괄적 접근법을 제공하기 위해 다수 기관의 입력자료를 조율한다. NDMO는 보통 국가위원회의 집행기관의 역할을 한다. 재해관리의 중심은 대개 전문 재해관리자들이다. NDMO는 작전을 수행할 수도 있고, 또는 대부분의 국가에서 이들은 연방 또는 지방 수준의 분산된 작전조직에게 정책 및 전략적 감독을 제공할 수도 있다. 공식 조직이 존재하지 않는 경우, 국가재해 발생 시 장관이 NDMO의 활동을 감독한다.

국가 재해관리 기능의 정부 소유권은 다양할 수 있는데 대통령실 또는 국무총리실 소속; 특정 부서 소속; 여러 부처에 분산 (Interworks, 1998), 총 3가지 모델이 대표적이다. 국제 커뮤니티가 주요 비상사태에 개입하는 방식은 기존 국가능력과 사회계약(social contract)에 따라 다르며 4가지 대응접근법이 있다(Chandran and Jones 2008; ALNAP, 2010b; 표6-4). 이 방대한 범주에 기초한 분석은 국제기관이 재해영향 관리에 동원되는 방식을 알려주는데 그것은 국가 조직 및 능력으로부터 나온다.

재해 발생 시 시민 지원 및 보호에 착수하기로 시민들과의 기존 또는 새로운 사회계약을 맺은 주가 있는가 하면, 지지 또는 모금에 초점을 맞추어 국제기관의 역할이 한정된 주도 있을 수 있다. 그에 비해, 국가 능력, 또는 자원의 격차 해소를 통해 지역의 특정 방식으로 활동을 보완하기 위해 대응하고 국제기관에게 요청하는 능력이 성장하고 있는 주들도 있고, 그 다음으로는 재해 발생 시 시민을 지원하고 보호할 책임을 이행하기에는 능력과 자원이 한정된 주들도 있다. 그들은 재해의 규모에 대응할 국제지원을 요청하여 국제대응을 본격화시킨다. 마지막으로, 재해 발생 시 시민 지원 및 보호를 포함해 복원력 있는 사회계약을 협상할 의지가 없는 주들도 있다.

이는 상당한 도전을 수반하기 때문에 직접적인 연설과 옹호가 필요하다. 대응의 4개 범주 전체에서 자원 가용성, 분배의 균형, 조율, 리더십에 관한 문제가 존재한다(ALNAP, 2010a).

재해 전	재해 직후	복구
• 공공교육 • 인식 제고 • 경보 및 대피 계획 • 자원과 공급품의 사전배치 • 최후의 완화 및 대비 대책	• 수색과 구조 • 비상 응급처치 • 피해 및 필요물 평가 • 서비스 제공 – 물, 식량, 의료, 대피소, 위생, 사회적 서비스, 치안 • 중요 기반시설 재개 • 대응 조율 • 개발 파트너 지원의 조율/관리	• 임시주택 또는 장기간 대피소 형태의 임시 대피소 • 대피해를 입은 구조물의 철거 • 피해가 덜 심각한 구조물의 수리 • 파편 청소, 제거, 처분 • 기반시설 재건 • 신축 • 사회적 재건 • 미래 위험을 줄이기 위해 '더 우수하게 다시 건설' • 고용 제도 • 손실 보상 • 위험 재평가

표 6-4 | 재해영향 관리 활동. 출처: Coppola (2007) and ALNAP (2010a).

Box 6-6은 두 국가의 재해관리 시스템을 자세히 설명하는데, 이 두 국가는 재해관리 발전단계가 양국 간에 뚜렷이 달라서 채택되었다.

대응수준과 관련 행동주체들은 재해들 간에 그리고 국가들 간에 상당히 다를 수 있지만 (ALNAP, 2010a), 재해영향을 관리하기 위해 취해지는 기본 조치는 국가들 간에 거의 비슷하고 재해의 각 단계와 밀접히 대응한다(표 6-4; Coppola, 2007). 일반적으로 재해관리는 즉각적 인도주의 활동, 필요물 평가, 요구를 충족할 물품과 서비스의 전달을 실시한다. 물, 식량, 대피소, 위생, 보건, 보안 및 후일의 교육, 고용, 재건 등에 대한 수요를 가용 자원과 균형을 맞춘다(Wisner and Adams, 2002).

기후변화는 대부분의 재해손실 증가추세의 원인이 아니라는 증거가 존재함에도 불구하고(SPM과 4.5.3.3절 참고), 기후변화 관련 재해는 여전히 특히 인도주의적 커뮤니티에서는 인간에 의한 재해영향의 증가에서 큰 역할을 하는 것으로 간주된다. 재해현상의 다양한 추세는 흔히 기후변화 때문이고 (IASC, 2009a; IFRC, 2009), 그래서 기후변화는 종종 국가 및 국제 재해관리 능력을 강화할 이유로 종종 언급된다(HFP, 2007; Oxfam, 2007; IASC, 2009a,b). 그 결과, 기후변화 관련 고려사항들을 다룬 재해관리 문헌들이 점점 늘고 있다(Barrett 등, 2007; McGray 등, 2007; Mitchell and Van Aalst, 2008; Venton and La Trobe, 2008; IASC, 2009a). 이 보고서에서 밝히듯이, 일부 극한기상 현상에 대해서는 기후변화의 영향의 증거가 존재하지만 다른 현상에 관한 증거는 없다(3장 참고). 이 때문에 어떻게 기후변화 관련 정보가 인도주의 부문에서 의사결정의 직접적 가이드로서 사용될 수 있는가에는 여전히 논란의 여지가 남아 있을 수 있다(IASC, 2009a).

기후변화 문제는 사소하지 않은 재해 관리 쪽으로의 접근법의 변화를 요구한다(Salter, 1998), 그러한 문제로는 보다 적절한 정책과 법률; 능력과 자원의 분권화; 더 많은 예산할당; 지역수준의 능력구축 개선; 재해 위험 저감 활동과 재해관리 관련 인도주의 조치를 연계하려는 정치적 의지 등이 있다 (Sanderson, 2000; UNISDR, 2005). 국제 인도주의 대응의 혁신 필요성에 대한 최근 분석(Ramalingam 등, 2009)은 이 전환을 국제시스템이 추진해야 하는 가장 유의미하고 중요한 개혁 중 하나로 제시한다.

Box 6-6 | 국가적 재해 대비, 예방 및 관리 시스템: 중국과 케냐

중국(China)

국가 통합 재해 저감(National Integrated Disaster Reduction)으로서 개발된 중국정부의 재해관리 프로세스는 수많은 중앙정부 및 지방정부 부문들을 하나로 모으고 재해 대비, 대응 및 복구/재건의 상이한 단계들을 포함하는 포괄적 시스템이다. 중국은 재해관리에 관하여 30가지 이상의 법과 규정을 실시해왔다. 비상대응법(Emergency Response Law)은 중국의 모든 재해 관련 활동을 관장하는 중앙 법으로서 2007년 8월 30일에 채택되었다.

관련 법규 아래서 중국정부는 3단계로 구성된 비상대응시스템을 수립하였다.

- 공공 비상사태에 대응하기 위한 국가 종합계획 (National Master Plan for Responding to Public Emergencies) – 국민의 안전을 보장하고 모든 재해대응 활동을 포함해 공공 비상사태에 대처하기 위해 정부 전체에서 사용되는 기틀
- 주요 재해대응 범주의 상세한 업무분장을 명시한 5가지 주제의 재해대응계획 – 재해구호, 홍수와 가뭄, 지진, 지질학적 재해, 매우 심각한 산불.
- 15개 중앙정부 부서를 위한 비상대응계획과 세부 이행계획 및 운영규칙 (UNESCAP, 2009).

케냐(Kenya)

케냐 정부는 위험저감 조치를 통해 재해를 예방하고 재해로 인한 혼란을 최소화할 의도로 국가 재해관리 정책을 지향한다. 이 정책은 위험현상에 대한 복원력을 구축하고, 제도적 능력을 구축하며, 잘 관리된 재해대응시스템을 개발하고, 취약성을 저감하고, 재해정책이 개발정책 및 빈곤저감과 통합되고 다중부문 다중수준 접근법을 취하도록 보장함으로써 기존 능력을 강화하는 데 도움이 될 것이다. Ministry of State for Special Programme은 재해관리 정책의 조율을 담당할 것이고, 재해관리의 통합과 조율을 촉진시킬 것이고, 체계적 모니터링과 연구촉진을 향상시키기 위해 국립 재해연구소를 설립할 것이다.

2009년에 발표된 정책초안은 향후 계획될 지속가능한 통합 국가 재해관리 전략에서 기후변화의 중심 역할을 강조하였다. 효과적인 재해관리의 원칙과 이해관계자 행동수칙을 명시하고, 합법적으로 인정되어 정부 조직에 포함되는 제도적 기틀의 수립을 규정하고 있다. 자원을 동원해 정책 시행을 가능케 하는것의 중요성을 강조하고, 연간 공공예산의 2%를 국가 재해관리 기금(National Disaster Management Fund)에 투입한다고 명시한다.

이 보고서를 작성할 당시, 본 정책은 의회에서 논의 및 승인되지 않았다(MOSSP, 2010).

6.6. 기후변화 문제에 부합하는 국가 재해 위험 관리시스템

기후변화는 극한기후 위험과 재해 위험을 관리하는 국가 시스템에 있어서 위험, 노출 및 취약성에 대한 위험과 예상 영향을 사회가 관찰하고, 처리하고, 대응하는 방식의 잠재적 변화를 포함해 다차원적인 문제를 제기한다. 기후변화는 극한 현상의 빈도와 규모를 변화시키고(3장) 노출 및 취약성의 추세에 기여하기 때문에(4장), 재해 위험관리 국가시스템의 효율을 검토하고 그 새로운 문제들과 재조정할 필요가 있다(UNISDR, 2009c; Mitchell 등, 2010a; Polack, 2010; FAQ 6.1). 문헌에 의하면, 기후변화 속에서 재해 위험을 관리하는 국가시스템의 효과는 극한기후 및 재해의 평가를 현재의 투자, 전략 및 활동에 통합하고; 모든 행동주체의 적응능력 강화를 추구하고; 기후변화를 취약성과 빈곤의 원인 중 하나로 인정하면서 취약성과 빈곤의 원인을 다루는 경우에 향상될 것이다(Schipper, 2009; UNISDR 2009c; Mitchell 등, 2010a). 실제로 이것은 다음이 필요할 수 있다. (i) 정부와 가급적 여러 국가에서의 새로운 동맹과 연합 조직; (ii) 상이한 행동주체들의 국가시스템 합류; (iii) 새로운 교차부문 관계; (iv) 범위 전반에서의 기능, 책임 및 자원의 재할당; (v) 새로운 관행 (Hedger 등, 2010; Mitchell 등, 2010a; Polack, 2010). 2, 3, 4장에 설명된 기후변화 영향과 재해 위험에 대한 가용 자료, 정보, 지식을 보완하는 차원에서 이 절에서는 기후변화에서 재해 위험관리의 효과 평가 (6.5.1절), 불확실성과 적응적 관리의 관리 (6.6.2절), 빈곤, 취약성 및 그것들의 구조적 원인을 차단 (6.6.3절), 그러한 변화에 대한 전체론적 접근의 실용성에 대한 논의(6.6.4절)에서 국가시스템의 재조정이 발생할 수 있는 주요 분야를 살펴본다.

FAQ 6.1 | 정부는 국민들을 기후 관련 재해 위험에 더 잘 대비시키기 위해 무엇을 할 수 있는가?

대부분의 국가 정부는 여러 범위의 재해 위험 관리에 관련된 모든 기관과 이해관계자의 노력을 가이드하고 지원하기 위해 정책, 규제, 제도적 장치 및 조율 메커니즘의 가능한 환경을 만든다. 그러한 위험은 인구증가, 이주, 기후변화, 기타 요인들 때문에 점점 증가하고 변화하고 있다. 재해위험관리 국가시스템은 장단기적으로 복원력을 강화하기 위해 그러한 변화에 맞춰 행동할 필요가 있다. 따라서 다음 대책들이 고려될 수 있다.

- **재해 위험의 동적인 성격에 대한 정보를 생산하여 보급.** 기후변화 정황에서 재해 위험의 동적 성격과 변동성을 고려했을때, 정보에 따라 행동하는 경우에 위험수준의 변화를 정기적으로 업데이트 하면 그러한 시스템이 강화될 것이다. 변화하는 재해 위험에 대한 정보가 없고 장기적 투자에 대한 의사결정에 정보를 결합하지도 않으면 국민과 자산의 노출과 취약성이 증가하게 될 수 있고 시간이 지나면서 위험이 증가할 수 있다. 가뭄 빈도나 지속시간이 증가할 가능성이 있는 지역에서 가뭄에 강하지 않은 단일재배 농사, 또는 갈수기에 급수능력이 없는 집이나 커뮤니티에 설치된 저수탱크, 또는 미래의 예상 홍수수위보다 충분히 높지 않은 도로 등이 그러한 예일 수 있다. 동적 위험에 대한 지식은 취약성 및 노출의 패턴 분석과 병행된 과학적 관측과 모델에서 그리고 커뮤니티의 경험에서 나올 수 있다(6.5.1절).

- **확실한 정보가 없더라도 생태계에 기반한 적응을 포함해 '후회가 없거나 후회가 적은' 전략을 고려한다.** 국가들은 단기적으로 이익을 줄 뿐 아니라 정보가 없는 경우에도 재해 위험의 예상 변화에 대비할 수 있는 '후회가 없거나 후회가 적은' 전략을 채택하기 시작하였다(6.3.1절). 이러한 ' 후회가 없거나 후회가 적은' 전략 중에는 다양한 기후조건 아래서 위험에 대한 현재의 취약성과 노출을 줄여줄 뿐 아니라 생계 개선, 빈곤 저감 같은 예상 기후변화에 대한 취약성을 저감하는 공동이익을 주는 생태계기반 전략들이 있다. 표 6-1의 상당한 축약버전인 표 5-1은 이 옵션들을 요약해 놓은 것이다. 그러한 ' 후회가 없거나 후회가 적은' 기법들도 재해 위험의 근본 동인을 차단하는 대책들을 포함하는 경향이 있으며, 극한기상 또는 기후의 예상 변화에 상관 없이 효과적이다(6.5.2절 참고). 양질의 정보가 있는 경우에는 장기적으로 재해 위험의 예상변화에 대한 복원력을 구축하는 관행을 형성하기 위해 그러한 정보를 관련 부서와 기타 기관들에 편입할 수 있다. 이것은 표 6-5의 우측 열에 나와 있다.

표 6-5 | ' 후회가 없거나 후회 적은' 대책들과 재해 위험 예상변화를 통합한 대책들의 비교를 보여주는 다양한 관행.

재해영향을 줄이기 위해 재해 위험에서 관측된 추세를 통합한 증거를 보여주는 '후회가 없거나 후회 적은' 관행	재해 위험에서 예상되는 변화에 대한 복원력을 강화하는 관행
• 효과적인 조기경보시스템과 비상대비 (신뢰수준 매우 높음) • 통합 수자원 관리 (신뢰수준 높음) • 악화된 해안 및 육상 생태계의 재건 (신뢰수준 높음) • 현재의 재해 위험에 대한 지식을 반영한 엄격한 건축 규정 및 표준 (신뢰수준 높음) • 생태계 보존 대책을 비롯한 생태계/자연에 기반한 투자 (신뢰수준 높음) • 날씨연동 보험을 비롯한 소액보험 (신뢰수준 보통) • 향상된 사회적 서비스 및 보호, 고용, 부의 창출 등을 통한 취약성 저감 대책. 예) 친서민 경제 및 인간개발 (신뢰수준 매우 높음).	• 강화된 기상기후 예측서비스에 대한 대응을 비롯해 가뭄에 강한 작물과 적응적 농사관행 (신뢰수준 높음) • 해수면 위험 및 기상/기후 극한 현상 전망을 통합한 통합 해안지대 관리 (신뢰수준 보통) • 미래 극한기후와 물수요 전망을 결합한 국가 물정책 기틀과 급수 기반시설 (신뢰수준 보통/높음) • 극한기후변화에 대비해 건축 규정, 표준 강화 (신뢰수준 보통) • 미래의 극한기상 및 극한기후에 대한 노출을 고려해 사회적 보호, 고용 및 부의 창출 대책을 통해 인간개발과 빈곤저감 향상 (신뢰수준 매우 높음)

다음 페이지에 계속 →

6.6.1. 기후변화 속에서 재해 위험 관리의 효과 평가

재해 위험 관리를 기후변화 문제와 조정하기 위해서는 파편적 정보에 불과하더라도 가용한 최적의 정보에 기초해 기후변화 속에서 관리옵션의 효과와 효율을 평가할 필요가 있다. 경제적 평가방식을 채택한 여러 접근법들을 사용해 적응옵션의 효과 또는 효율이 논평되었다. 많은 기후적응 연구들이 비용편익 비교(즉, 적응의 이익 또는 재해영향과 피해비용의 감소를 조사)보다는 국가수준의 적응비용에 초점을 맞추었다(Nordhaus, 2006; EEA, 2007; UNFCCC, 2007a; Agrawala and Fankhauser, 2008; World Bank, 2008; ECA, 2009; Parry 등, 2009). 국가수준의 적응평가는 특히 EU, 영국, 핀란드, 네덜란드, 캐나다, 및 개발도상국들에서 NAPA 접근법을 사용해서 수행되었다(UNDP, 2004c; MMM, 2005; DEFRA, 2006; UNFCCC, 2007b; Lemmen 등, 2008; De Bruin등, 2009a).

다른 접근법으로는 위험평가를 중심으로 관리대응의 경제적 효율에 초점을 맞춘 재해 위험관리 평가가 있다(World Bank, 1996; Benson and Twigg, 2004; Mechler, 2004). 그러한 근거를 사용해, 세계은행은 정부는 많은 경우에 자원을 조기경보 (예: 홍수); 급수라인과 송전라인 같은 중요 기반시설; 특히 주의해서 처리해야 하는 맹그로브, 산림, 습지 같은 환경 완충물 지원에 우선적으로 할당해야 한다고까지 주장하였다(World Bank and UN, 2010). 또 다른 보고서는 적응옵션 선택에 비용곡선 접근법을 사용하였는데(ECA, 2009), 이 접근법은 맹그로브 비용곡선과 비슷하게 비용편익 비율을 중심으로 적응옵션을 분석한다. 흥미롭게도 이 분석에서 효율적이라고 간주된 옵션들의 상당수는 암초 소생시키기, 맹그로브를 장벽으로 이용하기, 해변에 영양 공급 같은 '무난한' 옵션들이다.

- **재정안정(financial security)을 보호하기 위해 위험 공유 및 이전 메커니즘 사용**: 효과적으로 커뮤니티를 지원하고 국가의 재정안정을 보호하기 위하여 정부는 위험공유 메커니즘을 통해 재해손실의 비용을 이전하기 위한 다양한 재정수단을 사용하고 있다. 주요 위험이전 수단으로는 재정보험, 소액보험, 미소금융, 사회자본에 투자, 정부 재해 준비금, 정부간 위험공유 등이 있다. 마지막 두 가지는 개별 국가들이 크기와 다양성 부재 때문에 위험보험제도를 실시할 수 없는 지역에서 재해 후에 절실한 구호와 즉각적 유동성을 제공하는 데 도움이 된다. 그러한 메커니즘은 보다 효과적인 정부 대응을 가능케 하고, 재해영향으로 인해 정부에 부여된 국가재정 부담을 약간 해소해줄 수 있고, 사전대비식(proactive) 위험관리 전략 및 대응을 촉진하는 데 중요한 단계를 구성할 수 있다(6.5.3절 참고).

- **모든 재해 위험을 제거하기는 불가능하기 때문에 잔류위험을 관리할 조치가 필요**: 효과적인 재해 위험저감 정책과 관행이 수립되어 있어도 모든 재해 위험을 0으로 제거하기는 불가능하고 잔류위험이 남기 마련이다. 많은 국가에서 재해 위험이 증가 중이므로 잔류위험을 효과적으로 관리할 정부의 능력을 강화시킬 조치를 취할 수 있을 것이고, 그러면서 '다시 더 잘 건설'하고 복원력을 구축할 대책을 포함하는 빠르고 효과적인 인도주의 대응을 가능케 하기 위해 다른 행동주체 및 이해관계자들과의 파트너십 강화가 필요할 것이다(예: 신속한 기후위험 평가를 사용해 구호 및 재건 과정에서 중요 기반시설이나 구호 캠프를 더 안전한 곳에 위치시킨다). 많은 정부들은 이미 경보의 정확도와 적시성, 공공인식 제고, 메시지의 효과적인 소통과 전달을 보장하기 위해 커뮤니티와 협력, 대비대책 (예: 응급구조 훈련, 수영강습 제공, 가정마다 재해계획 및 응급키트 구비 권장, 대피경로와 대피소 확보 및 표시, 아동보호 구조대원의 기술 강화)에 초점을 맞춰 재해 대비 및 조기경보 시스템을 강화하고 있다(6.5.4절 참고).

- **복원력 구축 노력을 검토**: 우선순위 경쟁사항들과 개발목표를 생각해, 정부는 개발목표들 사이에서 자원할당을 균형 맞출 수밖에 없다. 잔류손실을 떠안는다는 결정은 재정 및 기타 제약으로 인해 언제나 위험관리 옵션이다. 많은 정부들은 확률이 매우 큰 뜻밖의 현상의 모든 위험을 수용하기로 결정하지만 그러한 현상에 미치는 기후변화의 영향에 대한 새로운 정보가 나타나면 그러한 결정은 재고될 수 있다. 위험저감과 위험이전이 타당성 없는 관리옵션인 그러한 경우에도, 취약성 저감, 조기경보 강화, 대비 및 비상대응 상설능력에 대한 투자는 긍정적 결과를 낼 수 있다. 더욱이 재해 관련 불확실성을 생각하면, 유연한 제도, 교차범위 학습, 지식 및 인식 향상, 대응시스템의 중복(시스템의 한 부분이 치명적 영향을 받은 경우에)을 촉진하려는 노력은 확률이 매우 낮은 뜻밖의 현상에 대한 복원력을 촉진시킬 수 있다. 또한 많은 정부들은 재해 시 가족과 친구들이 서로를 지원할 수 있게 하는 보험 형태로서 사회적 응집과 사회적 네트워크의 유지 및 강화를 장려한다(6.6.2절과 6.6.3절 참고).

그러나 경제적 효율, 즉 적응 비용의 순이익을 도출하는 데 사용된 증거기반이 여전히 제한적이고 파편적이기 때문에 변화하는 기후 속에서 재해 위험 관리의 효과를 명확하게 평가하기는 어렵다(Adger 등, 2007; UNFCCC, 2007a; Agrawala and Fankhauser, 2008). 이용 가능한 연구가 다소 한정적이라는 점 외에도, 이 평가에는 다른 한계점이 존재한다. 연구된 위험의 종류와 극한 현상 및 위험의 처리도 결과의 강건성에 영향을 준다. 이 보고서와 관련된 또 다른 핵심 한계는 옵션의 경제적 효율을 평가한 몇 안 되는 국가수준 연구들이 재해 위험에 초점을 맞추었고, 연구된 위험은 대부분 해수면 상승과 같이 점진적이고, 가뭄처럼 영향개시가 느린 것들이라는 점이었다(UNFCCC, 2007a; Agrawala and Fankhauser, 2008). 극한 현상과 재해 위험을 고려한 연구들은 극한 현상의 빈도와 변동성에 관한 재해 위험이 변할 수 있는 경우에는 종종 결정론적 영향 도량형을 채택하였다. 재해 위험을 감안한 경우에도 미래 위험전망의 강건성은 불확실하다(Bouwer, 2010).

더욱이 경제비용 평가의 상당수는 재해의 무형영향의 경제적 가치를 추정하기 어렵고 (예: 인간수명, 고통 및 생태계서비스에 대한 영향), 시간 선호율(rates of time preferences) 또는 미래 할인(discounting the future)이 상이하고, 사회의 부문별로 비용과 편익의 분포를 적절히 고려하기 어려운 것 등 방법상의 문제에 부딪힌다(Parry 등, 2009). 그러한 문제들은 위험을 고려하더라도 비용편익 분석 같은 경제적 효율 평가 도구들의 가치는 수치결과보다는 분석과정의 유용성에 있다는 것을 암시한다.

기후적응에 관한 한 그러한 도구들은 반복적 이해관계자 의사결정 프로세스 정황에서 휴리스틱 도구로서 가장 잘 활용될 수 있다(Moench 등, 2007). 이해관계자에 기반한 적응 의사결정에서 도움이 되도록, 정량적 값에 의존하지 않는 다중기준 분석과 기타 변인 같은 다른 도구를 사용해서 수행된 연구들도 있다(De Bruin 등, 2009a; Debels 등, 2009; Cardona 등, 2010). Debels 등 (2009)은 설계, 이행, 이행후 평가 측면에서 적응관행의 신속평가를 위한 다목적 지수를 개발하여 라틴아메리카 사례에 응용하였다. Mechler 등 (2006b)은 자연위험에 대한 국가재정 취약성을 측정

Box 6-7 | 케이맨 제도(Cayman Islands)에서 재해에 대한 복원력 구축

재해복원력 구축에 관련된 주요 측면은 융통성, 학습, 적응적 거버넌스이다(Adger 등, 2005; Berkes, 2007). 케이맨 제도(Tompkins 등, 2008)는 그러한 요인들이 재해 위험의 성공적 관리에 어떻게 도움이 되는지를 보여준다. 예를 들어, 2004년에 허리케인 이반(2005년에 뉴올리언스를 강타한 허리케인 카트리나와 규모가 비슷하다)이 발생했을 때는 사상자가 두 명에 불과했는데 이는 주로 국가 허리케인 위원회(NHC)의 활동 덕분이었다. 이 위원회는 케이맨 제도에서 허리케인 재해 위험 저감을 관리하고 대비, 대응 및 복구를 담당한다. NHC는 학습에 기반한 조직이다. 이들은 성공사례에서 교훈을 얻지만 더 중요한 것은 실수에서도 교훈을 얻는다는 것이다. 해마다 재해관리자가 전년도 위험관리 성패를 적극적으로 평가한다. 해마다 교훈을 반영하고 우수관행이 제도화되도록 국가 허리케인 계획을 수정한다. 적응적 거버넌스의 증거는 NHC의 구성, 조직, 네트워크, 펀딩 할당 및 책임의 변화에서 찾을 수 있다. 정책결정자들은 신규 이니셔티브를 설계 및 이행하고 조정하고 동기부여된 조치를 취하도록 독려된다. 그러한 이행, 혁신, 학습 및 제도 조정의 여지를 만드는 것은 재해복원력에 아주 중요하다.

하고, 국가가 재난 발생 시 경험할 수 있는 경제적 재정적 손실과 그러한 상황을 해결할 기금의 가용성 간의 관계를 포착하기 위한 도량형을 개발하였다. Cardona 등 (2010)은 이를 기반으로 해서 재해적자지수를 구축하였고, 재해 위험관리에서 정부 의사결정을 지원하기 위해 라틴아메리카 국가들에 적용하였다. De Bruin 등 (2009b)은 네덜란드의 홍수위험 적응옵션의 정성적, 정량적 평가에 기초해 하이브리드 접근법을 설명한다. 정성적 부분에서, 이해관계자들은 그들이 인지한 중요성, 긴급성, 기타 요소 측면에서 옵션을 선택하였다. 정량적 평가에서는 주요 적응옵션의 비용과 이익을 결정한다. 마지막으로, 정성적 정량적 기준의 가중합계에 기초한 우선순위 랭킹을 보면, 네덜란드에서 자연 및 물 관리를 위험에 기반한 정책과 통합한 포트폴리오는 잠재력과 이해관계자 수요도가 특히 높다. 종합적으로, 극한 현상의 위험에 기반한 성격을 고려한 적응평가는 여전히 단편적이고 초보 단계이며, 평가의 결과와 신뢰수준을 높이기 위해서 더 많은 연구가 필요하다.

6.6.2. 국가 시스템의 불확실성 및 적응적 관리

극한 현상 관련 재해는 본질적으로 복잡하고, 사회경제, 환경 및 기상 면에서 불확실성을 내포한다(Hallegatte 등, 2007; 3장). 인구, 사회, 경제 및 환경의 변화는 모두 노출수준과 사람들의 위험 민감도에 영향을 끼쳐 위험을 경험하는 방식에 영향을 준다(Pielke Jr. 등, 2003; Aldunce 등, 2008). 극한 현상의 규모, 빈도 및 민감도에 대한 불확실성은 예측모델과 조기경보시스템의 발전을 통해 어느 정도는 관리 가능하다(3.2.3절과 Box 3-2; 9.2.11절 참고). 조기경보시스템도 모델에 기초하므로 비록 조기경보시스템에 주의를 기울이지 못한 것은 위험 인식, 정보제공 기관에 대한 신뢰, 위험에 대한 과거 경험, 사회적 배제의 정도, 성별 등과 같은 사회적 요인들의 함수이긴 하지만 현상을 정확히 예측하는 데 성공(또는 실패)할 확률은 언제나 존재한다(Drabek, 1986, 1999). 강화된 과학적 모델링과 조기경보시스템의 다분야 접근법은 우수한 베이스라인과 시계열 정보가 제공되면 그러한 불확실성의 일부를 해결할 수 있다(3.2.3절과 Box 3-2 참고). 그러한 정보가 있는 경우에도 위험의 결과에 영향을 주는 다른 미해결 문제들이 여전히 존재한다. 그것들은 완충서비스를 제공할 생태계의 능력과 시스템의 회복능력과 관련 있다. 이 문제를 감안한 관리 접근법은 적응적 관리와 복원력을 포함하지만 그러한 접근법도 문제가 없지는 않다(8.6.3.1절 참고).

8장(8.6.3.1절)에서 정의한 적응적 관리는 "이행된 전략의 결과에서 체계적으로 학습하고 외부요인들의 변화를 전향적으로 고려함으로써 관리 정책 및 관행을 개선하기 위한 구조적 프로세스"이다(Pahl-Wostl 등, 2009; Pahl-Wostl, 2009). 이것은 다분야에 걸친 과학, 경험, 전통지식을 " 개인과 조직들이 '실천을 통한 학습'을 통해 의사결정에 반영하는 것을 의미하기도 한다(Walters, 1997). 적응적 관리에서 정책결정자는 접근법에서 융통성이 있어야 하고, 새로운 정보 또는 새로운 문제가 나타날 때 수용적이어야 하고 대응에 있어 편협하지 않아야 한다. 지지자들은 효과적인 적응적 관리는 정책결정자들 사이에 더 신속한 지식습득과 보다 우수한 정보흐름에 기여하고, 복잡한 문제에 대한 이해를 공유하도록 보장한다고 주장한다(Lee, 1993).

대부분 적응적 관리는 지방 또는 지역 범위에서 이행되었고 국가수준에서 이행된 예는 거의 없다. 적응적 관리의 사례는 생태계 관리(Johnson, 1999; Ladson and Argent, 2000)와 재해 위험 관리 (Thompson and Gaviria, 2004; Tompkins, 2005; Box 6-7)에 풍부하다. 거의 40년에 걸친 연구는 Holling(1973)이 중대한 논문을 발표한 후에 복원력 정책 (주로 적응적 관리)의 측면들이 산림, 산호초, 재해, 기후변화 적응에 미치는 영향의 증거를 생산하였다. 하지만 이것의 대부분은 지방 또는 생태계 규모에서 이루어졌다.

적응적 관리에 있어 미제 중 하나는 적응 및 재해 위험관리 프로세스를 조사하는 과학자와 엔지니어들이 어떻게 하면 서로와 실무자들에게서 배우도록 보장하고 그 학습을 어떻게 정책 및 관리 관행에 반영할 수 있는가이다. 플로리다 Everglades 복구 사례에서, 효과적인 관리의 제한요인은 사회의 일부가 생태계서비스의 장기적 지속가능성을 위해 단기적 손실을 수용하기를 꺼리는 것이었다(Kiker 등, 2001). 허리케인 카트리나가 오기 전에 뉴올리언스의 허리케인 대비에 대한 투자는 과학이 재해 위험 의사결정 및 계획에 포함되지 않은 한 예를 보여준다(Laska, 2004; Congleton, 2006). 반면에 케이맨 제도 허리케인 관리는 융통성 있는 재해관리위원회가 경험으로부터 전략과 대책을 바꿀 준비가 되어 있고 본질적으로 실행을 통해 학습한 성공담을 보여준다(Box 6-7).

제도 내 여유능력은 기습적 혹은 외부적 충격을 다룰 사회생태 시스템의 능력을 증가시키는 것으로 주장되었다(Folke 등, 2005). McDaniels 등 (2008)은 지진영향에 대한 병원 복원력 분석에서, 이러한 발견에 동의하였고 복원력의 주요 특징은 과거 경험으로부터 배울 능력, 위험 발생 시 스테프의 신중한 관리, 나날의 소통, 특정 시스템고장을 해결하려는 담당자의 의지라고 결론지었다. 후자는 서비스/기능 제공을 공유하는 중복 기관을 만들고 그 기관들 내에 중복 능력을 제공하여 위험을 공유할 수 있게 함으로써 달성될 수 있다(Low 등, 2003). 그러한 중복은 사회적 기억이 제도 내에 유지될 가능성을 증가시킨다(Ostrom, 2005). 그러나 신중하게 관리되지 않으면 이 접근법의 비용은 파편적인 정책, 높은 거래비용, 중복, 불일치 및 비효율을 포함할 수 있다(Imperial, 1999).

재해 위험관리에서 '실행을 통한 학습'은 관리기관의 규모가 지역수준에서 필요에 맞게 적당하거나 다차원적이고 효과적인 상호작용이 존재하는 경우에만 효과적으로 할 수 있다(Gunderson and Holling, 2002; Eriksen 등, 2011). 극한기후 관리의 경우, 적당한 규모는 위험의 규모와 생물다양성을 포함해 피영향 지역에 의해 영향 받는다. 연구에 의하면 생태계의 생물다양성이 증가하면 더 넓은 범위의 생태계가 위험에 대응할 수 있어 전체 시스템의 복원력이 증가된다(Elmqvist 등, 2003). 생태계에 대한 비기후 스트레스가 감소하면 기후변화에 대한 생태계의 복원력이 강화될 수 있음을 보여주는 다른 연구도 있다. 산호초(Hughes 등, 2003; Hoegh-Guldberg 등, 2008)와 열대우림(Malhi 등, 2008)이 그러한 경우이다. 적당한 범위의 자원 관리, 예를 들어, 작은 지류나 해안 하위시스템 (예: 맹그로브) 대신에 집수지나 해안지대의 관리가 더 시급해지고 있다(Sorensen, 1997; Parkes and Horwitz, 2009).

그러나 개발 목적으로서 기후 복원력은 특히 복원력이 무엇을 의미하는가가 불확실하기 때문에 이행하기 어렵다(Folke, 2006). 복원력이 명확히 정의되고 폭넓게 이해되지 않는 한, 상이한 지방의 상황에 맞추고 성공을 보여주도록 설계된 측정 가능한 지표가 있어도 이 정책으로 인한 잠재적 손실자는 그러한 손실을 알아채지도 못할 수 있고 정책 이행 및 적법성에 문제를 야기할 수 있다(Eakin 등, 2009). 이 보고서의 복원력 정의를 보려면 용어집을 참고하도록 한다. 기후변화 측면에서 극한 현상에 관한 불확실성과 복원력에 관한 기타 세부사항은 3.2.3절과 Box 3-2, 8.5.1절에 나와 있다.

6.6.3. 취약성의 근본 동인 차단하기

이 평가에서 노출, 취약성 및 극한기후의 미래 추세는 재해 위험과 관련 영향을 더욱 변화시킬 수 있는 것으로 나타났다. 극한기후의 미래 추세는 자연적 기후변동성 외에도 인위적 기후변화에 의해 영향 받을 것이고, 노출과 취약성은 기후 및 비기후 요인들에 영향 받을 것이다(SPM; 2.2절, 2.3절, 2.5절). 따라서 취약성 및 취약성의 근본 동인의 저감은 재해 위험 변화의 관측치와 전망치 모두를 다루는 데 있어 핵심적인 것으로 간주된다(UNISDR 2009c, 2011b; 그림 6-3). 6.5.2.2절은 재해 위험 저감의 목표에서 인간개발과 취약성 저감이 중심이라는 것을 고찰하였다. 국가적 재해 위험관리 시스템을 기후변화와 재해 위험의 기타 동인들이 가하는 문제와 조정시키는 데 초점을 맞춘 문헌들은 가장 효과적인 '후회 없거나 후회 적은' 대책의 하나로 취약성의 근본 동인 해결을 매우 중시한다(FAQ 6.1에서 그림 6-3과 표 6-5; Tanner and Mitchell, 2008; Davies 등, 2008; CCCD, 2009; UNISDR, 2009c; Mitchell 등, 2010a). 취약성의 그러한 근본 동인으로는 불공평한 개발; 빈곤; 생태계 감소; 전기, 기본 서비스 및 토지에 대한 접근성 부족; 부실한 거버넌스가 있다(Wisner 등, 2004; Schipper 2009; UNISDR 2009c, 2011b). 기후변화 상황에서 재해 위험관리 접근법은 재해 위험관리 노력이 사회적으로 보다 정당하고 경제적인 시스템을 촉진하고; 사람들에게 기본 서비스, 생산적 자산 및 공통 재산 자원에 접근할 권리와 자격을 보장하는 파트너십을 구축하고; 커뮤니티와 지방당국에게 중앙 정부, NGO, 국제 및 민간 부문 조직의 결정에 영향을 주고 책임성과 투명성을 촉진시킬 권한을 부여하고; 환경에 민감한 개발을 촉진하는 접근법에 초점을 맞춤으로서 취약성 동인을 차단하기 위해 파트너십을 구축하도록 추구해야 한다고 강조한다(Hedger 등, 2010; Mitchell 등, 2010a; Polack, 2010).

현재까지, 극한 현상과 재해의 위험을 차단하기 위한 전략은 실제로 취약성의 증상을 처리하는 데 초점을 맞추는 경향이 있었고, 부분적으로 재해 위험관리로 인해 근본 원인보다는 위험이 여전히 지속가능한 개발의 핵심 요소이다(Schipper, 2009). 효고 행동 계획의 중간 검토에 의하면 위험 조건을 차단하기 위한 노력은 불충분하였다(UNISDR, 2011 b). 또한 기타 연구에 의하면 빈곤과 취약성의 구조적 원인을 차단하는 재해 위험 관리와 발전 프로세스 사이에, 그리고 모든 범위 내의 지식과 이행 사이에는 여전히 단절이 지속되고 있다(CCCD, 2009; UNISDR, 2009c). 기후변화가 재해 위험에 미치는 영향과 취약성 및 빈곤에 미치는 영향을, 부분적으로는 가용 재정자원이 증가하고 정치적 의지가 새로워진 결과로써, 재해 위험 저감 대책과 빈곤 및 취약성 저감 대책 사이에 보다 강한 연계를 구축할 잠재적 힘으로 보는 시각도 있다(Soussan and Burton, 2002; Schipper, 2009; Mitchell 등, 2010a). 취약성, 빈곤, 재해 위험의 동인들을 동시에 차단할 방도로서 특정 형태의 사회적 보호, 재해 위험 저감 및 기후변화 적응 대책들 간의 연계를 강화할 잠재력에 초점을 맞춘 문헌들이 증가하고 있다(8.3.1절; Davies 등, 2008; Heltberg 등, 2009). 중소득 국가들에서 재해 위험 노출수준이 증가하면서(6.1절; UNISDR, 2009c, 2011a), 그러한 곳에 거주하는 가난한 사람들과 그들 자산의 취약성 저감이 그들 정부와 CSO 및 CBO에게 초점이 되고 있다(Tanner and Mitchell, 2008).

6.6.4. 재해 위험, 적응 및 발전에 대한 전체론적 접근

기후변화는 국가 재해 관리시스템의 행동주체들에게 그리고 더 넓게는 재해관리 정책 및 실무에게 다양하고 복잡한 문제를 제시한다. 이러한 문제에는 일부 지역에서 일부 위험의 규모 및 빈도 변화, 취약성 및 노출에 대한 영향, 새로운 공감대와 자원 흐름, 기후변화가 가치체계와 사람들의 인식을 바꿀 가능성 등이 있다. 표 SPM. 1에서 강조하듯이, 국가 재해 위험 관리시스템과 국가전략이 효과를 유지 및 증진시키기 위해 재조정할 필요가 있을수 있다는 것은 불확실성 외에도 복잡성이 존재한다는 것을 의미한다.

재해 영향 관리에서 기후변화의 영향을 고려하지 않는 일상적 접근법(busi-

ness-as-usual approach)은 점점 더 비효과적일 것이라는 주장은 동의수준이 높고 증거수준은 제한적이다. 6장에서 6.6절과 다른 절들은 그러한 재조정에 관련된 여러 요소들에 대한 증거를 평가하였다. 그 요소들의 선택을 여기에 간략히 요약한다.

6.6.2절에서 고찰하였듯이, 실행을 통한 학습이라는 원칙에 기초한 융통적이고 적응적인 국가 재해 위험 관리시스템은 정적이고 경직된 시스템보다 노출, 취약성 및 극한기상 및 극한기후의 변화로 인한 문제를 관리하기에 더 적합하다는 주장은 동의수준이 높고 증거수준은 제한적이다(8.6절 참고). 이러한 잠재적 융통성은 노출, 취약성 및 극한기상 및 극한기후의 추세 포착에 필요한 동적 위험의 빈번한 평가에서 나오는 새로운 지식에 따라 행동할 시스템의 능력과, 여러 대응대책의 비용과 편익이 결과적으로 어떻게 변하는가에 대한 정보로 검증될 것이다(6.6.1절). 이 평가의 정확도는 가용 자료의 품질에 기초할 것이다(6.5.2.1절). 그러한 평가가 정책결정자에게 불확실성을 주는 경우, 다중기준 분석, 시나리오 계획, 융통적 결정경로 같은 도구들은 정보에 입각한 조치를 지원하는 방식을 제공한다(6.6.1절).

재해 위험관리 프로세스를 개발 계획 및 관행에 편입하면 보다 복원력 있는 개발경로로 이어진다는 주장은 동의수준이 높고 증거수준이 강력하다. 기후변화와 기타 개발 프로세스가 재해 위험에 영향을 끼치고 있으므로, 이러한 변화들을 여러 범위에서 개발 및 경제 계획 결정 요인으로 고려할 필요가 있다. 이것은 극한기후와 재해의 위험을 관리할 이상적인 국가시스템은 전체론적 접근법을 만들기 위해 경제적 사회적 발전, 환경, 빈곤저감, 인도주의적 차원과 완전히 통합되도록 설계될 것임을 암시한다. 8장에서는 사고, 분석, 계획, 접근법, 전략 및 조치에서 변환적 변화의 성격을 주제로 다룬다(특히 8.2.2절). 일부 국가는 기후변화를 재해 위험 평가 및 관리 방식에 이미 요인으로서 포함시키기 시작했다는 주장은 증거수준이 제한적이지만(6.3절과 6.6.1절), 국가 개발계획 프로세스에서 노출, 취약성 및 극한 현상의 변화 전망을 다룰 뿐 아니라 실행을 통한 학습 접근법을 의사결정에 채택함으로써 포괄적 접근법을 채택한 국가는 거의 없는 것으로 보인다. 재해 위험관리 정황에서 기후변화 대응을 국가 개발계획 및 예산편성 프로세스에 편입시키기 위한 적합한 전략을 이행하려는 점진적 노력과, 부문 및 프로젝트 수준에서 기후친화적 보강의 노력은(6.2절과 6.3절) 많은 국가들이 채택할 가능성이 가장 높은 접근법으로 판단된다.

이러한 대책 가운데 어떤 것도 이행하기 수월하지는 않다. 사회의 모든 수준의 행동주체와 이해관계자들은 의사결정의 본질적 일부로서 위험의 동적 개념을 포함시키고, 새로 등장하는 전통적 과학적 지식을 고려해 정책, 결정 및 조치를 지속적으로 학습 및 수정하도록 요구되고 있기 때문이다.

기후변화 관련 재해 위험을 이해하기 위한 지식기반과 국가시스템이 정책변경, 행동주체간 관계의 성격 변경, 새로운 전략과 정책의 채택을 통해 그 이해에 따라 행동하는 방식에 대한 지식기반은 파편적이고 불완전하다. 본 장에서 설명하였듯, 불완전한 정보 및 지식 격차가 조치를 방해할 필요는 없다. FAQ 6.1과 6.3.1에서 강조하듯이, 정부와 기타 행동주체들이 미래 기후 관련 불확실성을 고려할 때 '후회가 없거나 후회가 적은' 옵션으로 간주될 수 있는 기존 기후변동성 및 재해 위험 대응대책에 투자한 경험이 상당하다. 그러나 본 평가를 수행하면서, 약간의 지식격차가 발견되었는데 이러한 격차가 메워질 경우 관측되고 전망된 재해 위험을 차단할 내구적인 국가 재해관리시스템이 창출될 수 있다. 그리고 그 격차는 다음에 관한 연구들의 필요성을 포함한다.

- 서로 다른 범위에서 재해 위험 관리능력을 구축하려는 노력이 사람들과 조직들을 기후변화로 인한 문제에 대비시키는 정도.
- 정보 및 능력 요건의 수준, 변화하는 위험, 기후변화로 인한 관련 불확실성을 감안할 때, 재해 위험관리 기능을 준국가 및 지방 정부와 커뮤니티에게로 분권화하는 현재의 추세가 효과적인지 여부.
- 국가 및 준국가수준에서 기후변화의 영향을 감안하건대, 국가 재해 위험 관리시스템 내 서로 다른 행동주체들의 기능, 역할, 책임이 어떻게 변하고 있는가.
- 서로 다른 거버넌스 상황에서 국가 재해 위험 관리시스템에 관한 융통성, 실행을 통한 학습 및 적응적 관리의 특징.
- 상황에 특정한 정보가 부족한 경우에 서로 다른 범위에서 재해 위험관리 중재에 대한 결정은 어떻게 내려지는가.
- 기후변화의 영향과 위험의 기타 동적 동인들이 요인으로 고려되는 경우에 재해 위험관리 중재의 비용과 편익.
- 재해 위험 관리, 온실가스 저감, 기후변화 적응, 빈곤 저감을 동시에 추구하는 통합 프로그램 및 정책을 만드는 것의 편익과 절충.

참고문헌

본장에인용된, 일반인이쉽게열람하기어려운비-저널문헌의디지털라이브러리는 IPCC 검토및초고과정의일부로서취합되었고, IPCC 사무국또는 IPCC 실무그룹 II 웹사이트를통해접근할수있다.

Aakre, S., I. Banaszak, R. Mechler, D. Rubbelke, A. Wreford, and H. Kalirai, 2010: Financial adaptation to disaster risk in the European Union. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 15(7), 721-736.

ActionAid, 2006: Climate Change, Urban Flooding and the Rights of the Urban Poor in Africa: Key findings from six African cities. ActionAid International, London, UK and Johannesburg, South Africa.

Adger, W.N., T.P. Hughes, C. Folke, S.R. Carpenter, and J. Rockstrom, 2005: Socialecological resilience to coastal disasters. Science, 5737(309), 1036-1039.

Adger, W.N., S. Agrawala, M.M.Q. Mirza, C. Conde, K. O'Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit, and K. Takahashi, 2007: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 717- 743.

ADPC, 2007: Community Self-Resilience and Flood Risk Reduction. ADB TA 4574-CAM Report, Asian Disaster Preparedness Centre, Asian Development Bank, Manila, Philippines.

African Development Bank Group, 2010: Nairobi Rivers Rehabilitation and Restoration Program: Sewerage Improvement Project. Project Appraisal Report, African Development Bank, www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/Kenya%20-%20Nairobi%20rivers%20rehabilitation%20and%20restoration%20program%20-%20sewerage%20improvement%20project.pdf. Last accessed on: 26th Sept 2011.

Agrawala, S. and S. Fankhauser, 2008: Economic Aspects of Adaptation to Climate Change. Costs, benefits and policy instruments. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France.

Agrawala, S. and M. van Aalst, 2008: Adapting development cooperation to adapt to climate change. Climate Policy, 8(3), 183-193.

Albala-Bertrand, J.M., 1993: Political Economy of Large Natural Disasters with Special Reference to Developing Countries. Clarendon Press, Oxford, UK.

Aldunce, P. and M. Gonzalez, 2009: Desastres Asociados al Clima en la Agricultura y Medio Rural de Chile. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Aldunce, P. and A. Leon, 2007: Opportunities for improving disaster management in Chile: A case study. Disaster Prevention and Management, 16(1), 33-41.

Aldunce, P, C. Neri, and C. Szlafsztein (eds.), 2008: Hacia la Evaluacion de Practicas de Adaptacion ante la Variabilidad y el Cambio Climatico. Nucleo de Meio Ambiente/Universidad Federal do Para, Belem, Brazil.

ALNAP, 2005: Capacity Building amid Humanitarian Response. Active Learning Network for Accountability and Performance in Humanitarian Action, London, UK.

ALNAP, 2010a: The State of the Humanitarian System: assessing performance and progress. Active Learning Network for Accountability and Performance in Humanitarian Action, London, UK.

ALNAP, 2010b: The Role of National Governments in International Humanitarian Response to Disasters. Meeting Background Paper, 26th ALNAP Meeting, Active Learning Network for Accountability and Performance in Humanitarian Action, London, UK, www.alnap.org/pool/files/26-meeting-background-paper.pdf.

Amendola, A., J. Linnerooth-Bayer, N. Okada, and P. Shi, 2008: Towards integrated disaster risk management: case studies and trends from Asia. Natural Hazards, 44, 163-168.

Andersen, T.J., 2001: Managing Economic Exposures of Natural Disasters. Exploring Alternative Financial Risk Management Opportunities and Instruments. Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Angelsen, A., M. Brockhaus, M. Kanninen, E. Sills, W.D. Sunderlin, and S. Wertz-Kanounnikoff, 2009: Realising REDD: National strategy and policy options. Center for International Forestry Research, Indonesia.

Arnell, N., 2004: Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environmental Change, 14(1), 31-52.

Arnell, N.W. and E.K. Delaney, 2006: Adapting to climate change: Public water supply in England and Wales. Climatic Change, 78(2-4), 227- 255.

Arnold, M., 2008: The Role of Risk Transfer and Insurance in Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation. Policy brief, Commission on Climate Change and Development, Stockholm, Sweden.

Arrow, K. and R. Lind, 1970: Uncertainty and the evaluation of public investment decisions. The American Economic Review, 60, 364-378.

Auffret, P., 2003: Catastrophe Insurance Market in the Caribbean Region: Market Failures and Recommendations for Public Sector Interventions. World Bank Policy Research Working Paper 2963, World Bank, Washington DC.

Auld, H., 2008a: Disaster risk reduction under current and changing climate conditions. World Meteorological Organization Bulletin, 57(2), 118-125.

Auld, H.E., 2008b: Adaptation by design: The impact of changing climate on infrastructure. Journal of Public Works and Infrastructure, 3, 276-288.

Auld, H., D. MacIver, and J. Klaassen, 2004: Heavy rainfall and waterborne disease outbreaks: The Walkerton example. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 67(20-22), 1879-1887.

AusAid, 2009: Investing in a Safer Future: A Disaster Risk Reduction policy for the Australian aid program. AusAid, Canberra, Australia, www.ausaid.gov.au/publications/pdf/disasterriskreduction.pdf.

Averyt, K., 2010: Are we successfully adapting science to climate change? Bulletin of the American Meteorological Society, 91(6), 723-726.

Ayers, J.M. and S. Huq, 2009: The value of linking mitigation and adaptation: A case study of Bangladesh. Environmental Management, 43(5), 753-764.

Balmford, A., A. Bruner, P. Cooper, R. Costanza, S. Farber, R.E. Green, M. Jenkins, P. Jefferiss, V. Jessamy, and J. Madden, 2002: Economic reasons for conserving wild nature. Science, 297(5583), 950-953.

Barbier, E.B., 2009: Rethinking the Economic Recovery: A Global Green New Deal. Report prepared for the Economics and Trade Branch, Division of Technology, Industry and Economics, United Nations Environment Programme (UNEP), Geneva, Switzerland.

Barrett, E., S. Murfitt, and P. Venton, 2007: Mainstreaming the Environment into Humanitarian Response: An Exploration of Opportunities and Issues. Environmental Resource Management Limited, London, UK.

Basher, R., 2006: Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centered. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 364(1845), 2167-2182.

Bebi, P., D. Kulakowski, and C. Rixen, 2009: Snow avalanche disturbances in forest ecosystems – State of research and implications for management. Forest Ecology and Management, 257(9), 1883-1892.

Bennett, J., W. Bertrand, C. Harkin, S. Samarasinghe, and H. Wickramatillake, 2006: Coordination of International Humanitarian Assistance in Tsunami Affected Countries. Tsunami Evaluation Coalition, London, UK.

Benson, C., 2007: Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction: Environmental Assessments. Guidance Note 7, ProVention Consortium, Geneva, Switzerland.

Benson, C. and E. Clay, 2002a: Understanding the Economic and Financial Impacts of Natural Disasters. World Bank, Washington, DC.

Benson, C. and E. Clay, 2002b: Disasters, vulnerability, and the global economy. In: Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk [Kreimer, A., M. Arnold, and A. Carlin (eds.)]. Disaster Risk Management Series No. 3, World Bank, Washington, DC, pp. 3-32.

Benson, C. and E. Clay, 2004: Understanding the Economic and Financial Impacts of Natural Disasters. Disaster Risk Management Series 4, World Bank, Washington, DC.

Benson, C. and J. Twigg, 2004: Measuring Mitigation: Methodologies for Assessing Natural Hazard Risks and the Net Benefits of Mitigation – A Scoping Study. The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies/The ProVention Consortium, Geneva, Switzerland.

Benson, C., J. Twigg, and M. Myers, 2001: NGO initiatives in risk reduction: An overview. Disasters, 25(3), 199-215.

Berkes, F., 2007: Understanding uncertainty and reducing vulnerability: Lessons from resilience thinking. Natural Hazards, 41(2), 283-295.

Berry, P., 2007: Adaptation Options on Natural Ecosystems. Report to the Financial and Technical Support Division, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

Bhavnani, R., M. Owor, S. Vordzorgbe, and F. Bousquet, 2008: Status of Disaster Risk Reduction in the Sub-Saharan Africa Region. World Bank, Washington, DC.

Biesbroek, G.R., R.J. Swart, T.R. Carter, C. Cowan, T. Henrichs, H. Mela, M.D. Morecroft, and D. Rey, 2010: Europe adapts to climate change: Comparing National Adaptation strategies. Global Environmental Change, 20(3), 440-450.

Birkmann, J., M. Garschagen, F. Kraas, and N. Quang, 2011: Adaptive urban governance: new challenges for the second generation of urban adaptation strategies to climate change. Sustainability Science, 5, 185-206.

Borton, J., 1993: Recent trends in the international relief system. Disasters, 17(3), 187-201.

Bosher, L., P. Carillo, A. Dainty, J. Glass, and A. Price, 2007: Realising a resilient and sustainable built environment: Towards a strategic agenda for the United Kingdom. Disasters, 31, 236-255.

Botzen, W.J.W., J.C.J.H. Aerts, and J.C.J.M. van den Bergh, 2009: Willingness of homeowners to mitigate climate risk through insurance. Ecological Economics, 68(8-9), 2265-2277.

Bourrelier, P.H., B.G. Deneufbourg, and B. de Vanssay, 2000: IDNDR objectives: French technical sociological contributions. Natural Hazards Review, 1(1), 18-26.

Bouwer, L.M., 2006: The benefits of disaster risk reduction and their effects on loss trends. In: Climate Change and Disaster Losses: Understanding and Attributing Trends and Projections [Hoppe, P. and R. Pielke (eds.)]. Centre for Science and Technology Policy Research, Tyndall Centre, Munich Re and National Science Foundation, Hamburg, Germany, pp 26-28.

Bouwer, L.M., 2010: Disasters and Climate Change: Analysis and Methods for Projecting Future Losses from Extreme Weather. PhD thesis, Vrije Universiteit, Am-

sterdam, The Netherlands, 141 pp., dare.ubvu.vu.nl/bitstream/1871/16355/1/dissertation.pdf.

Branco, A., J. Suassuna, and S.A. Vainsencher, 2005: Improving access to water resources through rainwater harvesting as a mitigation measure: The case of the Brazilian semi-arid region. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 10(3), 393-409.

Brocklesby, M. and E. Fisher, 2003: Community development in sustainable livelihoods approaches – an introduction. Community Development Journal, 38, 185-198.

Brooks, N. and W.N. Adger, 2005: Adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures. In: Assessing and Enhancing Adaptive Capacity [Lim, B., E. Spanger-Siegfried, I. Burton, E.L. Malone, and S. Huq (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 165-181.

Brooks, N., N. Grist, and K. Brown, 2009: Development futures in the context of climate change: Challenging the present and learning from the past. Development Policy Review, 27, 741-765.

Bunce, M., K. Brown, and S. Rosendo, 2010: Policy misfits, climate change and crossscale vulnerability in coastal Africa: how development projects undermine resilience. Environmental Science and Policy, 13, 485-497.

Burby, R, 1991. Sharing Environmental Risks: How to Control Governments' Losses in Natural Disasters. Westview Press, Boulder, CO.

Butler, C.D. and W. Oluoch-Kosura, 2006: Linking future ecosystem services and future human well-being. Ecology and Society, 11(1), 30.

Butt, T.A., B.A. Mccarl, J. Angerer, P.T. Dyke, and J.W. Stuth, 2005: The economic and food security implications of climate change in Mali. Climatic Change, 68(3), 355-378.

CACCA, 2010: Approaches to Climate Change Adaptation. Committee on Approaches to Climate Change Adaptation, Global Environment Bureau, Ministry of Environment, Tokyo, Japan, www.env.go.jp/en/earth/cc/adapt_guide.

Campbell, A., V. Kapos, A. Chenery, S.I. Kahn, M. Rashid, J.P.W. Scharlemann, and B. Dickson, 2008: The Linkages between Biodiversity and Climate Change Mitigation. UNEP World Conservation Monitoring Center, Cambridge, UK.

Cardenas, V., S. Hochrainer, R. Mechler, G. Pflug, and J. Linnerooth-Bayer, 2007: Sovereign financial disaster risk management: The case of Mexico. Environmental Hazards, 7(1), 40-53.

Cardona, O., 2006: Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies. In: A system of indicators for disaster risk management in the Americas [Birkmann, J. (ed.)]. United Nations University Press, Tokyo, Japan.

Cardona, O.D., M.G. Ordaz, M.C. Marulanda, M.L. Carreno, and A.H. Barbat, 2010: Disaster risk from a macroeconomics perspective: a metric for fiscal vulnerability evaluation. Disasters, 34(4), 1064-1083.

CARE International, 2008: Community preparedness for emergencies helps poverty. In: Linking Disaster Risk Reduction and Poverty: Good Practices and Lessons Learnt [United Nations International Strategy for Disaster Reduction (ed.)]. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, pp. 6-10.

Carter, T.R., R.N. Jones, X. Lu, S. Bhadwal, C. Conde, L.O. Mearns, B.C. O'Neill, M. Rounsevell, and M.B. Zurek, 2007: New assessment methods and the characterisation of future conditions. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.133-171.

Carter, W.N., 1992: Disaster Management: A Disaster Manager's Handbook. Asian Development Bank, Manila, Philippines.

Caselli, F. and P. Malthotra, 2004: Natural Disasters and Growth: From Thought Experiment to Natural Experiment. International Monetary Fund, Washington, DC.

Cash, D.W. and J. Buizer, 2005: Knowledge-Action Systems for Seasonal to Interannual Climate Forecasting: Summary of a Workshop. Roundtable on Science and Technology for Sustainability Policy and Global Affairs Division, National Research Council of the National Academies, The National Academies Press, Washington DC.

CCCD, 2009: Closing the Gaps: Disaster Risk Reduction and Adaptation to Climate Change in Developing Countries: Final Report. Commission on Climate Change and Development, Ministry for Foreign Affairs, Stockholm, Sweden.

CDB and CARICOM, 2004: Sourcebook on the Integration of Natural Hazards into Environmental Impact Assessment (NHIA-EIA Sourcebook). Caribbean Development Bank, Bridgetown, Barbados.

Chandran, R. and B. Jones, 2008: Concepts and Dilemmas of State Building in Fragile Situations: from fragility to resilience. OECD/DAC Discussion Paper, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, France.

Charveriat, C., 2000: Natural disasters in Latin America and the Caribbean: an overview of risk. Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Chhatre, A. and A. Agrawal, 2009: Trade-offs and synergies between carbon storage and livelihood benefits from forest commons. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(42), 17667-17670.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A Chen, A. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Koli, W.T. Kwon, R. Laprise, V.M. Rueda, L. Mearns, C.G. Menendez, J. Raisanen, A. Rinke, A. Sarr, and P. Whetton, 2007: Regional climate predictions. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, pp. 847-940.

Chung, J., 2009: Situation analysis for strengthening disaster information management systems in Fiji: baseline data preparedness and assessment methodologies. A report prepared for the Fiji Government and Pacific Disaster Risk Management Partnership, United Nations International Strategy for Disaster Reduction and South Pacific Applied Geoscience Commission, Suva, Fiji.

Cline, W.R., 2007: Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country. Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics, Washington, DC.

Coleman, T., 2002: The Impact of Climate Change on Insurance against Catastrophes. Insurance Australia Group, Melbourne, Australia.

Colls, A., N. Ash, and N. Ikkala, 2009: Ecosystem-based Adaptation: A Natural Response to Climate Change. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland.

Congleton, R.D., 2006: The story of Katrina: New Orleans and the political economy of catastrophe. Public Choice, 127(1), 5-30.

Conway, D. and L. Schipper, 2011: Adaptation to climate change in Africa: Challenges and opportunities identified from Ethiopia. Global Environmental Change, 21(1), 227-237.

Coppola, D.P, 2007: Introduction to International Disaster Management. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.

Costanza, R., O. Perez-Maqueo, M.L. Martinez, P. Sutton, S.J. Anderson, and K. Mulder, 2008: The value of coastal wetlands for hurricane protection. Ambio, 37(4), 241-248.

Crabbé**,** P. and M. Robin, 2006: Institutional adaptation of water resource infrastructures to climate change in eastern Ontario. Climatic Change, 78(1), 103 -133.

CRGR, 2007a: Lineamientos generales de organizacion y funcionamiento de la Concertacion Regional de Gestion de Riesgos. Políticas, Prácticas y Gestión del Riesgo, 1(7), 4-7.

CRGR, 2007b: Reforma del Estado y gestion del riesgo de desastres. Políticas, Prácticas y Gestión del Riesgo, 2(8), 3-11.

CRGR, 2009: Centroamerica frente a los retos del cambio climatico. Posicionamiento politico de la sociedad civil y pueblos indigenas organizados. Políticas, Prácticas y Gestión del Riesgo, 3(12), 12-15.

Crowards, T., 2000: Comparative Vulnerability to Natural Disasters in the Caribbean. Caribbean Development Bank, Bridgetown, Barbados.

CSA, 2010a: Infrastructure in Permafrost: A Guideline for Climate Change Adaptation. A Technical Guide. Canadian Standards Association, Mississauga, Canada.

CSA, 2010b: Development, interpretation and use of rainfall intensity-durationfrequency (IDF) information: Guideline for Canadian water resources practitioners. Technical Guide, Canadian Standards Association, Mississauga, Canada.

Cummins, J., and O. Mahul, 2009: Catastrophe Risk Financing In Developing Countries: Principles For Public Intervention. World Bank, Washington, DC.

Curriero, F.C., J.A. Patz, J.B. Rose, and S. Lele, 2001: The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994. American Journal of Public Health, 91(8), 1194-1199.

Das, S. and J.R. Vincent, 2009: Mangroves protected villages and reduced death tolls during Indian super cyclone. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(18), 7357-7360.

DaSilva, J., B. Garanganga, V. Teveredzi, S.M. Marx, S.J. Mason, and S.J. Connor, 2004: Improving epidemic malaria planning, preparedness and response in Southern Africa. Malaria Journal, 3(1), 37.

Davies, M., B. Guenther, J. Leavy, T. Mitchell, and T. Tanner, 2008: Adaptive social protection synergies for poverty reduction. Institute of Development Studies (IDS) Bulletin, 39(4), 105-112.

Davis, K. (ed.), 2004: Technology Dissemination among Small-Scale Farmers in Meru Central District of Kenya: Impact of Group Participation. USA: University of Florida.

De Bruin, K., R. Dellink, and S. Agrawala, 2009a: Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Integrated Assessment Modeling of Adaptation Costs and Benefits. Environment Working Paper No. 6, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, France.

De Bruin, K., R.B. Dellink, A. Ruijs, L. Bolwidt, A. van Buuren, J. Graveland, R.S. de Groot, P.J. Kuikman, S. Reinhard, R.P. Roetter, V.C. Tassone, A. Verhagen, and E.C. van Ierland, 2009b: Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. Climatic Change, 95, 23-45.

Debels, P., C. Szlafsztein, P. Aldunce, C. Neri, Y. Carvajal, M. Quintero-Angel, A. Celis, A. Bezanilla, and D. Martinez, 2009: IUPA: A tool for the evaluation of the general usefulness of practices for adaptation to climate change and variability. Natural Hazards, 50(2), 211-233.

DEFRA, 2005: Making Space for Water. Taking Forward a New Government Strategy for Flood and Coastal Erosion Risk Management in England. Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, UK.

DEFRA, 2006: The UK's Fourth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, UK.

del Ninno, C., 2001: The 1998 Floods in Bangladesh: Disaster Impacts, Household Coping Strategies, and Response. Research Report 122, International Food Policy Research Institute, Washington, DC.

del Ninno, C., P.A. Dorosh, and L.C. Smith, 2003: Public policy, markets and household coping strategies in Bangladesh; Avoiding a food security crisis following the 1998 floods. World Development, 31(7), 1221-1238.

Dercon, S., 2005: Risk, insurance, and poverty: A review. In: Insurance Against Poverty. A study prepared by the World Institute for Development Economics Research of the United Nations University (UNU-WIDER)[Dercon, S. (ed.)]. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 9-37.

Dessai, S., and M. Hulme, 2007: Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: A case study on water resources management in the East of England. Global Environmental Change, 17, 59-72.

DFID, 2005: Natural Disaster and Disaster Risk Reduction Measures: A Desk Review of Costs and Benefits. UK Department for International Development, The Stationery Office, London, IK.

DFID, 2011: Multilateral Aid Review: Ensuring Maximum Value for Money for UK Aid through Multilateral Organisations. UK Department for International Development, London, UK.

Dilley, M., 2006: Risk identification: A critical component of disaster risk management. World Meteorological Organisation Bulletin, 55(1), 13-20.

Dolan, A.H. and I.J. Walker, 2006: Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks. In: Proceedings of the 8th Int'l Coastal Symposium. Itajai, Brazil, 14-18 March 2004. Journal of Coastal Research, SI 39, 1316-1323.

Dorren, L.K.A., F. Berger, A.C. Imeson, B. Maier, and F. Rey, 2004: Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps. Forest Ecology and Management, 195(1-2), 165-176.

Drabek, T.E., 1986: Human System Responses To Disaster: An Inventory Of Sociological Finding. Springer-Verlag New York, NY.

Drabek, T.E., 1999: Understanding disaster warning responses. The Social Science Journal, 36, 515-523.

Dudley, N., S. Stolton, A. Belokurov, L. Krueger, N. Lopoukhine, K. Mackinnon, T. Sandwith, and N. Sekhran, 2010: Natural Solutions: Protected Areas Helping People Cope with Climate Change. IUCN, WCPA, TNC, UNDP, WCS, World Bank and WWF, Gland, Switzerland, Washington, DC and New York, NY.

Eakin, H., E.L. Tompkins, D.R. Nelson, and J.M. Anderies, 2009: Adapting to climate change: Thresholds, values, governance. In: Hidden Costs and Disparate Uncertainties: Trade-Offs Involved in Approaches to Climate Policy [Adger, W.N., I. Lorenzoni, and L.O.B. Karen (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 212-226.

Easterling, W.E., P.K. Aggarwal, P. Batima, K.M. Brander, L. Erda, S.M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber, and F.N. Tubiello, 2007: Food, fibre and forest products. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 273-313.

Ebi, K.L., 2008: Adaptation costs for climate change-related cases of diarrhoeal disease, malnutrition, and malaria in 2030. Globalization and Health, 6, 9, doi:10.1186/1744-8603.

Ebi, K.L., R.S. Kovats, and B. Menne, 2006. An approach for assessing human health vulnerability and public health interventions to adapt to climate change. Environmental Health Perspectives, 114, 12, doi:10.1289/Ehp.8430.

EC, 2009: Technical Report – 2009 – 040, Guidance Document No. 24, River Basin Management. In: A Changing Climate, Common Implementation Strategy for the Water Framework. Directive 2000/60/EC. European Commission, Brussels, Belgium.

ECA, 2009: Shaping Climate-Resilient Development: A Framework For Decision-Making Study. Economics of Climate Adaptation Working Group, World Bank, Washington, DC.

ECLAC, 2002: Handbook for Establishing the Socio-Economic and Environmental Effects of Natural Disasters. United Nations, ECLAC and World Bank, Mexico City, Mexico.

ECLAC, 2003: Handbook for Establishing the Socio-Economic and Environmental Effects of Natural Disasters. United Nations, Economic Commission for Latin America and the Caribbean, and World Bank, Santiago, Chile.

EEA, 2007: Climate change: The Cost of Inaction and the Cost of Adaptation. Technical Report, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

Elmqvist, T., C. Folke, M. Nystrom, G. Peterson, J. Bengtsson, B. Walker, and J. Norberg, 2003: Response diversity, ecosystem change, and resilience. Frontiers in Ecology and the Environment, 1(9), 488-494.

Embrechts, P., C. Kluppelberg, and T. Mikosch, 1997: Modelling Extremal Events for Insurance And Finance. Springer, Berlin, Germany.

Ericksen, P., J. Ingram, and D. Liverman, 2009: Food security and global environmental change: emerging challenges. Environmental Science and Policy, 12, 373-377.

Eriksen, S. and L.O. Næss, 2003: Pro-Poor Climate Adaptation: Norwegian Development Cooperation and Climate Change Adaptation – An Assessment of Issues, Strategies and Potential Entry Points. Report 2003:02. Center for International Climate and Energy Research – Oslo (CICERO), Oslo, Norway, 75pp.

Eriksen, S., P. Aldunce, C. Bahinipati, R. D'Almeida, J. Molefe, C. Nhemachena, K. O'Brien, F. Olorunfemi, J. Park, L. Sygna, and K. Ulsrud, 2011: When not every response to climate change is a good one: Identifying principles for sustainable adaptation. Climate Change and Development, 3(1), 7-20.

Fagen, P., 2008: Natural Disasters in Latin America and the Caribbean: National, Regional and International Interactions. HPG Working Paper, Overseas Development Institute, London, UK.

Fankhauser, S., 2010: The costs of adaptation. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1(1), 23-30.

FAO, 2006: Third session of the sub-committee on aquaculture: Committee on Fisheries (CoFI). India, New Delhi, 4-8 September. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

FAO, 2007: Building Adaptive Capacity to Climate Change: Policies to Sustain Livelihoods and Fisheries. New Directions in Fisheries – A Series of Policy Briefs on Development Issues, 0816. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

FAO, 2008a: Climate change adaptation and mitigation in the food and agriculture sector: In: Technical background document from the expert consultation held on 5 to 7 March 2008 (Paper presented at Climate change, energy and food). Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

FAO, 2008b: Challenges for Sustainable Land Management for Food Security in Africa. 25th Regional Conference for Africa, Nairobi, Kenya. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

FAO, 2008c: Climate Change for Fisheries and Aquaculture. (Technical background document from the expert consultation). Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

FAO, 2009: Seed Security for Food Security in the Light of Climate Change and Soaring Food Prices: Challenges and Opportunities (Report of the twenty first session of the Committee on Agriculture). Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

FAO, 2010: "Climate-Smart" Agriculture: Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

Feldman, D.L. and H.M. Ingram, 2009: Making science useful to decision makers: Climate forecasts, water management, and knowledge networks. Weather, Climate and Society, 1, 9-20.

Few, R., H. Osbahr, L.M. Bouwer, D. Viner, and F. Sperling, 2006: Linking Climate Change Adaptation and Disaster Risk Management for Sustainable Poverty Reduction (Synthesis report). Vulnerability and Adaptation Resource Group, Washington, DC.

Folke, C., 2006: Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. Global Environmental Change, 16(3), 253-267.

Folke, C., T. Hahn, P. Olsson, and J. Norberg, 2005: Adaptive governance of socialecological systems. Annual Review of Environment and Resources, 30, 441-473.

Freeman, P.K. and Warner, K., 2001: Vulnerability of Infrastructure to Climate Variability: How Does this Affect Infrastructure Lending Policies? World Bank and ProVention Consortium, Washington, DC.

Freeman, P.K, L.A. Martin, J. Linnerooth-Bayer, R. Mechler, G. Pflug, and K. Warner, 2003: Disaster Risk Management: National Systems for the Comprehensive Management of Disaster Risk and Financial Strategies for Natural Disaster Reconstruction. Sustainable Development Department, Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Froot, K.A., 2001: The market for catastrophe risk: A clinical examination. Journal of Financial Economics, 60, 529-571.

Füssel, H., 2007: Adaptation planning for climate change: Concepts, assessment approaches, and key lessons. Sustainability Science, 2(2), 265-275.

Gero, A., K. Meheux, and D. Dominey-Howes, 2011: Integrating community based disaster risk reduction and climate change adaptation: examples from the Pacific. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 101-113.

GFDRR, 2010: Partnership Charter. Global Facility for Disaster Risk Reduction, Washington, DC, gfdrr.org/gfdrr/sites/gfdrr.org/files/publication/GFDRR_Partnership_Charter_2010.pdf.

Ghesquiere, F., O. Mahul, M. Forni, and R. Gartley, 2006: Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility: A solution to the short-term liquidity needs of small island states in the aftermath of natural disasters. World Bank, Washington, DC, siteresources.worldbank.org/PROJECTS/Resources/Catastrophicriskinsurance facility.pdf.

Glantz, M.H., 2005: Hurricane Katrina rekindles thoughts about fallacies of a socalled "natural" disaster. Sustainability: Science, Practice and Policy, 1(2), 1-4.

GNDR, 2009: Clouds but Little Rain. Views from the Frontline: A Local Perspective of Progress towards Implementation of the Hyogo Framework for Action. Global Network of Civil Society Organisations for Disaster Reduction, Teddington, UK.

Grosse, G., V. Romanovsky, T. Jorgenson, K.W. Anthony, J. Brown, and P.P. Overduin, 2011: Vulnerability and feedbacks of permafrost to climate change. EOS, Transactions AGU, 92(9), 73-80.

Grossi, P., and H. Kunreuther (eds.), 2005: Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk. Springer, New York, NY.

GTZ/DKKV, 2007: National Platforms for Disaster Reduction: Study on current status of disaster reduction, institutional arrangements and potential for national platforms for disaster reduction 3 South and South East Asian Countries. Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit / German Committee for Disaster Risk Reduction, Bonn, Germany.

Guha-Sapir, D. and R. Below, 2002: Quality and Accuracy of Disaster Data: A Comparative Analysis of Three Global Datasets.Working document prepared for Disaster Management Facility, World Bank, Washington DC.

Gunderson, L. and C.S. Holling, 2002: Panarchy Synopsis: Understanding Transformations in Human and Natural Systems. Island Press, Washington, DC.

Gwimbi, P., 2007: The effectiveness of early warning systems for the reduction of flood disasters: Some experiences from cyclone induced floods in Zimbabwe. Journal of Sustainable Development in Africa, 9(4), 152-169. Haasnoot, M., H. Middelkoop, E. van Beek, and W.P.A. van Deursen, 2009: A method to develop sustainable water management strategies for an uncertain future. Sustainable Development, 19, doi:10.1002/sd.438.

Haines, A., R.S. Kovats, D. Campbell-Lendrum, and C. Corvalan, 2006: Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health. Public Health, 120(7), 585-596.

Hallegatte, S., 2009: Strategies to adapt to an uncertain climate change. Global Environmental Change, 19(2), 240-247.

Hallegatte, S. and M. Ghil, 2007: Endogenous Business Cycles and the Economic Response to Exogenous Shocks. Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italy.

Hallegatte, S., J.-C. Hourcade, and P. Dumas, 2007: Why economic dynamics matter in assessing climate change damages: Illustration on extreme events. Ecological Economics, 62, 330-340.

Halsnaes, K., and S. Traerup, 2009: Development and climate change: A mainstreaming approach for assessing economic, social, and environmental impacts of adaptation measures. Environmental Management, 43, 765-778.

Hammer, K., N. Arrowsmith, and T. Gladis, 2003: Agrobiodiversity with emphasis on plant genetic resources. Naturwissenschaften 2003, 90(6), 241-250.

Hammill, A. and T. Tanner, 2010: Climate risk screening and assessment tools: making sense of a crowded field. In: Meeting of the OECD DAC-EPOC Joint Task Team on Climate Change and Development Co-operation, Amsterdam, The Netherlands, 12-13 October 2010.

Handmer, J. and S. Dovers, 2007: Handbook of Disaster and Emergency Policies and Institutions. Earth Scan, London, UK.

Harris, P. (ed.), 2009: Climate Change and Foreign Policy: Case Studies from East to West. Routledge, London, UK.

Harvey, P., 2009: Towards Good Humanitarian Government: The Role of the Affected State in Disaster Response. Humanitarian Policy Group, Overseas Development Institute, London, UK.

Hay, J., 2009: Institutional and Policy Analysis of Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Pacific Island Countries. A report prepared for the United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) and the United Nations Development Programme (UNDP). UNISDR and UNDP, Suva, Fiji.

Hayley, D.W. and B. Horne, 2008: Rationalizing climate change for design of structures on permafrost: a Canadian perspective. In: Proceedings of Ninth International Conference on Permafrost [Kane, D.L. and K.M. Hinkle (eds.)]. University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK, 1, 681-686.

Hazell, P. and U. Hess, 2010: Drought insurance for agricultural development and food security in dryland areas. Food Security, 2, 395-405.

Hedger, M. and J. Cacouris, 2008: Separate Streams? Adapting Water Resources Management to Climate Change. Tearfund, Teddington, UK.

Hedger, M., A. Singha, and M. Reddy, 2010: Building Climate Resilience at State Level: Disaster Risk Management and Rural Livelihoods in Orissa.Strengthening Climate Resilience Discussion Paper 5, Institute of Development Studies, Brighton, UK.

Heltberg, R., S.L. Jorgensen, and P.B. Siegel, 2008: Climate Change, Human Vulnerability, and Social Risk Management. World Bank, Washington, DC.

Heltberg, R., P.B. Siegel, and S.L. Jorgensen, 2009: Addressing human vulnerability to climate change: toward a 'no-regrets' approach. Global Environmental Change, 19(1), 89-99.

Hess, U. and H. Syroka, 2005: Weather-based Insurance in Southern Africa. The Case of Malawi. World Bank, Washington, DC.

HFP, 2007: Dimensions of Crisis Impacts: Humanitarian Needs by 2015. Working Paper, Humanitarian Futures Programmes, Kings College London, London, UK.

Hilhorst, D., 2003: Unlocking disaster paradigms: An actor-oriented focus on disaster response. Abstract submitted for Session 3 of the Disaster Research and Social Crisis Network Panels of the 6th European Sociological Conference, Murcia, Spain 23-26 September 2003.

Hochrainer, S., 2006: Macroeconomic Risk Management against Natural Disasters. Deutscher Universita Ts-Verlag, Wiesbaden, Germany.

Hodgson, R. and M. Carter, 1999: Some lessons for a national approach to building for safety in Bangladesh. In: Natural Disaster Management [Ingleton, J. (ed.)]. Tudor Rose, Leicester, UK, pp. 160-162.

Hoegh-Guldberg, O., P.J. Mumby, A.J. Hooten, R.S. Steneck, P. Greenfield, E. Gomez, D.R. Harvell, P.F. Sale, A.J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C.M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R.H. Bradbury, H. Dubi, and M.E. Hatziolos, 2008: Coral adaptation in the face of climate change. Science, 320(5874), 315.

Hoeppe, P. and E.N. Gurenko, 2006: Scientific and economic rationales for innovative climate insurance solutions. Climate Policy, 6(6), 607-620.

Holling, C.S., 1973: Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4(1), 1-23.

Howden, S.M., J.F. Soussana, F.N. Tubiello, N. Chhetri, M. Dunlop, and H. Meinke, 2007: Adapting agriculture to climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(50), 19691-19696.

Hughes, T.P., A.H. Baird, D.R. Bellwood, M. Card, S.R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J.B.C. Jackson, and J. Kleypas, 2003: Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. Science, 301(5635), 929.

IASC, 2009a: Addressing the Humanitarian Challenges of Climate Change Regional and National Perspectives. Preliminary Findings from the IASC Regional and National Level Consultations, Inter-Agency Standing Committee, Geneva, Switzerland, www.humanitarianinfo.org/iasc/pageloader.aspx?page=contentnews-newsdetails&newsid=134.

IASC, 2009b: Letter from the IASC Principals to Yvo de Boer, Executive Secretary of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Inter-Agency Standing Committee, Geneva, Switzerland, www.humanitarianinfo.org/iasc/pageloader.aspx?page=content-news-newsdetails&newsid=134.

Ibarraran, M.E., M. Ruth, S. Ahmad, and M. London, 2009: Climate change and natural disasters: Macroeconomic performance and distributional impacts. Environment, Development and Sustainability, 11, 549-569.

ICHARM, 2009: Global Trends in Water-Related Disasters: An Insight for Policymakers. International Centre for Water Hazard and Risk Management, World Water Assessment Programme, UNESCO, Paris, France.

IFRC, 2004: World Disasters Report 2004: Focus on Community Resilience. Int'l Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland.

IFRC, 2009: World Disasters Report: Focus on Early Warning, Early Action. International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland.

IFRC, 2010: World Disasters Report 2010: Focus on Urban Risk. International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland.

IIED, 2009: Climate Change and the Urban Poor: Risk and Resilience in 15 of the World's Most Vulnerable Cities. International Institute for Environment and Development, London, UK.

Ikeme, J., 2003: Climate change adaptational deficiencies in developing countries: The case of sub-Saharan Africa. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 8, 29-52.

Imperial, M.T., 1999: Institutional analysis and ecosystem-based management: The institutional analysis and development framework. Environmental Management, 24(4), 449-465.

Interworks, 1998: Model for a National Disaster Management Structure, Preparedness Plan, and Supporting Legislation, UNOCHA Disaster Management Training Programme. UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, ocha.unog.ch/drptoolkit/PreparednessTools/IL%20Frameworks/Models%20for%20Institutional%20structures%20and%20legislation,%20DMTP,%20InterWorks,1998.pdf.

IRI, 2006: A Gap Analysis for the Implementation of the Global Climatic Observing System Programme in Africa. IRI Technical Report No. IRI-TR/06/01, International Research Institute for Climate and Society, Columbia University, New York, NY.

Islam, T., and S. Ferdousi, 2007: Renewable energy development – challenges for Bangladesh. Energy and Environment, 18, 421-430.

Jaspars, S. and D. Maxwell, 2009: Food Security and Livelihoods Programming in Conflict: A Review. HPN Network Paper 65. Humanitarian Practice Network, Overseas Development Institute, London, UK.

Johnson, B.L., 1999: Introduction to the special feature: Adaptive management – scientifically sound, socially challenged. Conservation Ecology, 3(1), 10.

Juhola, S., and L. Westerhoff, 2011: Challenges of adaptation to climate change across multiple scales: a case study of network governance in two European countries. Environmental Science and Policy, 14, 239-247.

Kagiannas, A., D. Askounis, K. Anagnostopoulos, and J. Psarras, 2003: Energy policy assessment of the Euro-Mediterranean Cooperation. Energy Conversion and Management, 44(16), 2665-2686.

Katz, R. and G.B. Brown, 1992: Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. Climatic Change, 21, 289-302.

Kay, R. and J. Adler, 2005: Coastal planning and management. Third Edition. Routledge, New York, NY.

Kellenberg, D., K. Mobarak, and A. Mushfiq, 2008: Does rising income increase or decrease damage risk from natural disasters? Journal of Urban Economics, 63(3), 788-802.

Kelman, I., 2008: Relocalising disaster risk reduction for urban resilience. Urban Design and Planning, 161(4), 197-204.

Kelman, I., J. Lewis, J.C. Gaillard, and J. Mercer, 2011: Participatory action research for dealing with disasters on islands. Island Studies Journal, 6, 59-86.

Kesavan, P.C. and Swaminathan, M.S., 2006: Managing extreme natural disasters in coastal areas. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 364(1845), 2191-2216.

Kiker, C.F., J.W. Milon, and A.W. Hodges, 2001: Adaptive learning for science-based policy: The everglades restoration. Ecological Economics, 37(3), 403-416.

Kirshen, P., 2007: Adaptation Options and Costs in Water Supply. Report to the UNFCCC Secretariat, Financial and Technical Support Division, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

Klein, R.J.T., R.J. Nicholls, S. Ragoonaden, M. Capobianco, J. Aston, and E.N. Buckley, 2001: Technological options for adaptation to climate change in coastal zones. Journal of Coastal Research, 17(3), 531-543.

Klein, R.J.T., S. Eriksen, L.O. Næss, A. Hammill, C. Robledo, and K. O'Brien, 2007: Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development. Climatic Change, 84, 23-44.

Klijn, F., M. van Buuren, and S.A.M. van Rooij, 2004: Flood-risk management strategies for an uncertain future: living with Rhine river floods in the Netherlands? Ambio, 33, 141-147.

Krysanova, V., C. Dickens, J. Timmerman, C. Varela-Ortega, M. Schluter, K. Roest, P. Huntjens, F. Jaspers, H. Buiteveld, E. Moreno, J. de Pedraza Carrera, R. Slamova, M. Martinkova, I. Blanco, P. Esteve, K. Pringle, C. Pahl-Wostl, and P. Kabat, 2010: Cross-comparison of climate change adaptation strategies across large river basins in Europe, Africa and Asia. Water Resources Management, 24, 4121-4160.

Kuzak, D., 2004: The application of probabilistic earthquake risk models in managing earthquake insurance risks in Turkey. In: Catastrophe Risk and Reinsurance: A Country Risk Management Perspective [Gurenko, E. (ed.)]. Risk Books, London, UK.

Kwadijk, C.J., M. Haaasnoot, J.P.M. Hoogvliet, M.C. Marco, A.B.M. Jeuken, N.G.C. van der Oostrom, H.A. Schelfhout, E.H. van Velzen, H. van Waveren, and M.J.M. de Wit, 2010: Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1, 729-740.

Ladson, A.R. and R.M. Argent, 2000: Adaptive management of environmental flows: Lessons for the Murray-Darling Basin from three large North American rivers.

Australian Journal of Water Resources, 5(51), 89-101.

Lal, P.N., 2010: Vulnerability to natural disasters: an economic analysis of the impact of the 2009 floods on the Fijian sugar belt. Pacific Economic Bulletin, 25(2), 62-77.

Larsen, P.H., S. Goldsmith, O. Smith, M.L. Wilson, K. Strzepek, P. Chinowsky, and B. Saylor, 2008: Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change. Global Environmental Change, 18(3), 442-457.

Laska, S., 2004: What if hurricane Ivan had not missed New Orleans? Natural Hazards Observer, 29(2), 5-6.

Lavell, A., 1996. Environmental degradation, risks and urban disasters. In: Issues and Concepts: Towards the Definition of a Research Agenda. La Red, Lima, Peru, pp. 19-58.

Lavell, A., 1998. Decision making and risk management. In: Furthering Cooperation in Science and Technology for Caribbean Development. Port of Spain, Trinidad, 23-25 September 1998.

Lavell, A., 2009: Unpacking Climate Change Adaptation and Disaster Management: Searching for the Links and Differences: A Conceptual and Epistemological Critique and Proposal. FLACSO, Bogota, Colombia.

Lavell, A. and E. Franco, 1996: Estado, sociedad y gestiãn de loes desastres en america latina: en busqueda del paradigma perdido. La Red, Bogota, Colombia.

Lee, K., 1993: Compass and Gyroscope. Island Press, California.

Lemmen, D., F. Warren, J. Lacroix, and E. Bush, 2008: From Impacts to Adaptation: Canada in a Changing Climate 2007. Natural Resources Canada, Ottawa, Canada.

Leslie, H.M. and K.L. Mcleod, 2007: Confronting the challenges of implementing marine ecosystem-based management. Frontiers in Ecology and the Environment, 5(10), 540-548.

Lewis, J. and M.P. Chisholm, 1996: Cyclone-resistant domestic construction in Bangladesh. In: Implementing Proceedings of Hazard-Resistant Housing: Proceedings of the First International Housing and Hazards Workshop to Explore Practical Building for Safety Solutions [Hodgson, R.L.P., S.M. Seraj, and J.R. Choudhury (eds.)]. Dhaka, Bangladesh, 3-5 December 1996. Linnerooth-Bayer, J. and A. Amendola, 2000: Global change, catastrophic risk and loss spreading. The Geneva Papers on Risk and Insurance, 25(2), 203-219.

Linnerooth-Bayer, J. and R. Mechler, 2006: Insurance for assisting adaptation to climate change in developing countries: A proposed strategy. Climate Policy, 6(6), 621-636.

Linnerooth-Bayer, J. and R. Mechler, 2007: Disaster safety nets for developing countries: Extending public-private partnerships. Environmental Hazards, 7, 54-61.

Linnerooth-Bayer, J., R. Mechler, and G. Pflug, 2005: Refocusing disaster aid. Science, 309(5737), 1044-1046.

Llosa, S. and I. Zodrow, 2011: Disaster Risk Reduction Legislation as a Basis for Effective Adaptation. Background Paper prepared for the 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

Longley, C. and D. Maxwell, 2003: Livelihoods, chronic conflict and humanitarian response: A review of current approaches. Natural Resource Perspectives, 89, 1-6.

Low, B., E. Ostrom, C. Simon, and J. Wilson, 2003: Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change. In: Redundancy and diversity: Do they influence optimal management? [Berkes, F., J. Colding, and C. Folke (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 83-114.

Lowe, R., 2003: Preparing the built environment for climate change. Building Research and Information, 31(3-4), 195-199.

Lu, X., 2011: Provision of climate information for adaptation to climate change. Climate Research, 47, 83-94.

Mahul, O. and F. Ghesquiere, 2007: Sovereign Natural Disaster Insurance for Developing Countries: A Paradigm Shift in Catastrophe Risk Financing. Policy Research Working Paper 4345, World Bank, Washington, DC.

Malhi, Y., J.T. Roberts, R.A. Betts, T.J. Killeen, W. Li, and C.A. Nobre, 2008: Climate change, deforestation and the fate of the Amazon. Science, 319(5860), 169-172.

Mansourian, S., A. Belokurov, and P. Stephenson, 2009: The role of forest protected areas in adaptation to climate change. Unasylva, 60, 63-69.

Manuel-Navarrete, D., J. Gomez, and G. Gallopin, 2007: Syndromes of sustainability of development for assessing the vulnerability of coupled human–environmental systems: The case of hydrometeorological disasters in Central America and the Caribbean. Global Environmental Change, 17, 207-217.

Maréchal, K., 2007: The economics of climate change and the change of climate in economics. Energy Policy, 35(10), 5181- 5194.

Mastrandrea, M.D., N.E. Heller, T.L. Root, and S.H. Schneider, 2010: Bridging the gap: linking climate-impacts research with adaptation planning and management. Climatic Change, 100(1), 87-101.

Masumoto, T., T. Yoshida, and T. Kubota, 2006: An index for evaluating flood-prevention function of paddies. Paddy and Water Environment, 4(4), 205-210.

Masumoto, T., H. Pham Thanh, and K. Shimizu, 2008: Impact of paddy irrigation levels on floods and water use in the Mekong River Basin. Hydrological Processes, 22(9), 1321-1328.

McBean, G.A., 2008: Role of prediction in sustainable development and disaster management. Springer- Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, 3, 929-938.

McCarl, B.A., 2007: Adaptation Options for Agriculture, Forestry and Fisheries. A Report to the UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

McDaniels, T., S. Chang, D. Cole, J. Mikawoz, and H. Longstaff, 2008: Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: characterizing decision contexts for mitigation and adaptation. Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions, 18, 310-318.

McEntire, D.A. and V. Myers, 2004: Preparing communities for disasters: Issues and processes for government readiness. Disaster Prevention and Management, 13(2), 140-152.

McEvoy, D., P. Matczak, I. Banaszak, and A. Chorynski, 2010: Framing adaptation to climate-related extreme events. Mitigation and Adaptation Strategies to Global Change, 15, 779-795.

McGranahan, G., D. Balk, and B. Anderson, 2007: The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. Environment and Urbanization, 19, 17-37.

McGray, H., A. Hammill, R. Bradley, E.L. Schipper, and J.E. Parry, 2007: Weathering the Storm: Options for Framing Adaptation and Development. World Resources Institute, Washington, DC.

McKenzie, E., B. Prasad, and A. Kaloumaira, 2005: Economic Impact of Natural Disasters on Development in the Pacific. Volume I. SOPAC and USP, Suva, Fiji.

MEA, 2005: Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, DC.

Mechler, R., 2004: Natural Disaster Risk Management and Financing Disaster Losses in Developing Countries. Verlag fur Versicherungswirtschaft, Germany.

Mechler, R., J. Linnerooth-Bayer, and D. Peppiatt, 2006a: Microinsurance for Natural Disasters in Developing Countries: Benefits, Limitations and Viability. ProVention Consortium, Geneva, Switzerland.

Mechler, R., J. Linnerooth-Bayer, S. Hochrainer, and G. Pflug, 2006b: Assessing financial vulnerability and coping capacity: The IIASA CATSIM model. In: Measuring Vulnerability and Coping Capacity to Hazards of Natural Origin. Concepts and Methods [Birkmann, J. (ed.)]. United Nations University Press, Tokyo, pp. 380-398.

Mechler, R., S. Hochrainer, A. Aaheim, Z. Kundzewicz, N. Lugeri, M. Moriondo, H. Salen, M. Bindi, I. Banaszak, A. Chorynski, E. Genovese, H. Kalirai, J. Linnerooth-Bayer, C. Lavalle, D. Mcevoy, P. Matczak, M. Radziejewski, D. Rubbelke, M.J. Schelhaas, M. Szwed, and A. Wreford, 2010: Making climate change work for us: European perspectives on adaptation and mitigation strategies. In: A Risk Management Approach for Assessing Adaptation to Changing Flood and Drought Risks in Europe [Hulme, H.N. (ed.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 200-229.

Meehl, G.A., F. Zwiers, J. Evans, T. Knutson, L. Mearns, and P. Whetton, 2000: Trends in extreme weather and climate events: Issues related to modeling extremes in projections of future climate change. Bulletin of the American Meteorological Society, 81(3), 427-436.

Meinke, H., R. Nelson, P. Kokic, R. Stone, R. Selvaraju, and W. Baethgen, 2006: Actionable climate knowledge: From analysis to synthesis. Climate Research, 33(1), 101.

Menkhaus, K., 2007: Governance without government in Somalia: Spoilers, state building and the politics of coping. International Security, 31(3), 74-106.

Mercer, J., D. Dominey-Howes, I. Kelman, and K. Lloyd, 2007: The potential for combining indigenous and western knowledge in reducing vulnerability to environmental hazards in small island developing states. Environmental Hazards, 7, 245-256.

Mertz, O., K. Halsnaes, J. Olesen, and R. Rasmussen, 2009: Adaptation to climate change in developing countries: Special feature. Environmental Management, 43, 743-752.

Miller, F., H. Osbahr, E. Boyd, F. Thomalla, S. Bharwani, G. Ziervogel, B. Walker, J. Birkmann, S. van der Leeuw, J. Rockstrom, J. Hinkel, T. Downing, C. Folke, and D. Nelson, 2010: Resilience and vulnerability: Complementary or conflicting concepts? Ecology and Society, 15(3), 11.

Mills, E., 2005: Insurance in a climate of change. Science, 309(5737), 1040-1044.

Mills, E., 2006: Testimony to the National Association of Insurance Commissioners. The Role of NAIC in responding to climate change. UCLA Journal of Environmental Law and Policy, 26(1), 129-168.

Mills, E., 2007: Synergisms between climate change mitigation and adaptation: An insurance perspective. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(15), 809-842.

Mitchell, T. and S. Maxwell, 2010: Defining Climate Compatible Development. Policy Brief, Climate and Development Knowledge Network, London, UK.

Mitchell, T., M. Ibrahim, K. Harris, M. Hedger, E. Polack, A. Ahmed, N. Hall, K. Hawrylyshyn, K. Nightingale, M. Onyango, M. Adow, and M. Sajjad, 2010a: Climate Smart Disaster Risk Management. Strengthening Climate Resilience. Institute of Development Studies, Brighton, UK.

Mitchell, T., M. van Aalst, and P. Villaneuva, 2010b: Assessing Progress on Integrating Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Development Processes. Strengthening Climate Resilience Programme, Institute of Development Studies, Brighton, UK.

MMM, 2005: Finland's National Strategy for Adaptation to Climate Change. Ministry of Agriculture and Forestry, Helsinki, Finland, www.mmm.fi/en/index/frontpage/ymparisto/ilmastopolitiikka/ilmastomuutos.html.

Moench, M., R. Mechler, and S. Stapleton, 2007: Guidance note on the costs and benefits of disaster risk reduction. In: UNISDR High Level Platform on Disaster Risk Reduction, Geneva , Switzerland, 4-7 June 2007. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), Geneva, Switzerland.

Moser, C. and D. Satterthwaite, 2008: Towards Pro-Poor Adaptation to Climate Change in the Urban Centers of Low- and Middle-Income Countries. International Institute for Environment and Development, London, UK.

MOSSP, 2010: Draft National Policy for Disaster Management in Kenya. Ministry of State of Special Programs, Kenya, www.kecosce.org/downloads/DRAFT_DISASTER_MANAGEMENT_POLICY.pdf.

Muller, M., 2007: Adapting to climate change: Water management for urban resilience. Environment and Urbanization, 19(1), 99-113.

Munich Re, 2005: Short Annual Report 2005: Paving the way for opportunities. Munich Re Group, Munich, Germany.

Munich Re, 2011: Topics Geo Natural Catastrophes 2010: Analyses, Assessments, Positions. Munich Re, Munich, Germany.

Murlidharan, T.L. and H.C. Shah, 2001: Catastrophes and macro-economic risk factors: An empirical study. In: Conference on Integrated Disaster Risk Management: Reducing Socio-Economic Vulnerability. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.

Murray, B.C., W.A. Jenkins, S. Sifleet, L. Pendleton, and A. Baldera, 2010: Payment for Blue Carbon: Potential for Protecting Threatened Coastal Habitats. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University, Durham, NC.

Musgrave, R.A., 1959: The Theory of Public Finance. McGraw Hill, New York, NY.

National Platform for Kenya, 2009: Interim National Progress Report on Hyogo Framework for Action. Prepared for the UN Global Assessment Report 2009, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, preventionweb.net/files/7432_Kenya.pdf.

Neufeldt, H., A. Wilkes, R.J. Zomer, J. Xu, E. Nang'ole, C. Munster, and F. Place, 2009: Trees on Farms: Tackling the Triple Challenges of Mitigation, Adaptation and Food Security. Policy Brief 07, World Agroforestry Centre, Kenya.

Neumann, J., 2009: Adaptation to Climate Change: Revisiting Infrastructure Norms. Resources for the Future, Washington, DC.

Nicholls, R.J., 2007: Adaptation Options for Coastal Areas and Infrastructure: An Analysis for 2030. Report to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), UNFCCC, Bonn, Germany.

Nicholls, R.J., P.P. Wong, V. Burkett, C.D. Woodroffe, and J. Hay, 2008: Climate change and coastal vulnerability assessment: scenarios for integrated assessment. Sustainability Science, 3, 89-102.

Nordhaus, W., 2006: The Economics of Hurricanes in the United States. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.

Noy, I., 2009: The macroeconomic consequences of disasters. Journal of Development Economics, 88(2), 221-231.

NRC (National Research Council), 2009: Informing Decisions in a Changing Climate. Panel on Strategies and Methods for Climate-Related Decision Support, NRC, National Academies Press, Washington, DC.

NRTEE, 2009: True North: Adapting Infrastructure to Climate Change in Northern Canada. National Round Table on Environment and Economy, Ottawa, Canada.

O'Brien, G., 2006: UK emergency preparedness – A step in the right direction? Journal of International Affairs, 59(2), 63-85.

O'Brien, G., 2008: UK emergency preparedness – A holistic local response? Disaster Prevention and Management, 17(2), 232-243.

O'Brien, G. and P. O'Keefe, 2010: Resilient responses to climate change and variability: A challenge for public policy. International Journal of Public Policy, 6(3-4), 369-385.

O'Brien, G. and P. Read, 2005: Future UK emergency management: New wine, old skin? Disaster Prevention and Management, 14(3), 353-361.

O'Brien, G., P. O'Keefe, J. Rose, and B. Wisner, 2006: Climate change and disaster management. Disasters, 30(1), 64-80.

O'Brien, K., L. Sygna,, R. Leichenko, W.N. Adger, J. Barnett, T. Mitchell, L. Schipper, T. Tanner, C. Vogel, and C. Mortreux, 2008: Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation and Human Security. Report prepared for the Royal Norwegian Ministry of Foreign Affairs by the Global Environmental Change and Human Security (GECHS) Project, GECHS Report 2008:3, Oslo, Norway.

OAS, 1991: Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning. Organization of American States, Washington, DC.

OECD, 2006: Applying Strategic Environmental Assessment: Good Practice Guidance For Development Co-Operation. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, France.

OECD, 2009: Policy Guidance on Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, France.

Olhoff, A. and C. Schaer, 2010: Screening Tools and Guidelines to Support the Mainstreaming of Climate Change Adaptation into Development Assistance – A Stocktaking Report. United Nations Development Programme, New York, NY.

Olsen, J.R., 2006: Climate change and floodplain management in the United States. Climatic Change, 76(3-4), 407- 426.

ONERC, 2009: Climate Change Costs of Impacts and Lines of Adaptation. A report to the Prime Minister and Parliament, Observatoire National sur les Effets du Rechauffement Climatique, Paris, France.

Ostrom, E., 2005: Understanding Institutional Diversity. Princeton University Press, Princeton, NJ.

Otero, R.C. and R.Z. Marti, 1995: The impacts of natural disasters on developing economies: Implications for the international development and disaster community. In: Disaster Prevention for Sustainable Development: Economic and Policy Issues [Munasinghe, M. and C. Clarke (eds.)]. World Bank, Washington, DC, pp. 11-40.

Owens, T., T. Hoddinott, and B. Kinsey, 2003: Ex-ante actions and ex-post public responses to drought shocks: Evidence and simulations from Zimbabwe. World Development, 31(7), 1239-1255.

Oxfam, 2007: Climate Alarm: Disasters Increase as Climate Change Bites. Oxfam Briefing Paper 108, Oxfam, Oxford, UK, www.oxfam.org.uk/resources/policy/climate_change/downloads/bp108_weather_alert.pdf.

Oxfam America, 2008: National network for DRR helps curb poverty. In: Linking Disaster Risk Reduction and poverty: Good practices and Lessons Learnt [United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (ed.)]. UNISDR, Geneva, Switzerland, pp. 11-14.

Pahl-Wostl, C., 2009: A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. Global Environmental Change, 19, 354-365.

Pahl-Wostl, C., J. Sendzimer, and P. Jeffrey, 2009: Resources management in transition. Ecology and Society, 14(1), 46, www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art46/.

Parkes, M.W and P. Horwitz, 2009: Water, ecology and health: Ecosystems as settings for promoting health and sustainability. Health Promotion International, 24(1), 94.

Parry, M., N. Arnell, P. Berry, D. Dodman, S. Fankhauser, C. Hope, S. Kovats, R. Nicholas, D. Satterthwaite, R. Tiffin, and R. Wheeler, 2009: Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A review of the UNFCCC and other recent estimates. International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London, UK.

Patt, A., R.J.T. Klein, and A. de la Vega-Leinert, 2005: Taking the uncertainty in climatechange vulnerability assessment seriously. Comptes Rendus Geoscience, 337(4), 411-424.

Patz, J.A., M.A. Mcgeehin, S.M. Bernard, K.L. Ebi, P.R. Epstein, A. Grambsch, D.J. Gubler, P. Reither, I. Romieu, J.B. Rose, J.M. Samet, and J. Trtanj, 2000: The potential health impacts of climate variability and change for the United States: Executive Summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment. Environmental Health Perspectives, 108(4), 367-376.

Patz, J.A., D. Campbell-Lendrum, T. Holloway, and J.A. Foley, 2005: Impact of regional climate change on human health. Nature, 438(7066), 310-317.

Pelham, L., E. Clay, and T. Braunholz, 2011: Natural Disasters: What is the Role for Social Safety Nets? World Bank, Washington, DC.

Pelling, M., 2003: The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience. Earthscan, London, UK.

Pelling, M. and A. Holloway, 2006: Legislation for Mainstreaming Disaster Risk Reduction. Tearfund, Teddington, UK.

Persson, A. and R.J.T. Klein, 2009: Mainstreaming adaptation to climate change into official development assistance: challenges to foreign policy integration. In: Climate Change and Foreign Policy: Case Studies from East to West [P. Harris (ed.)]. Routledge, London, UK, pp. 162-177.

Phillips, C. and M. Marden, 2005: Landslide hazard and risk. In: Reforestation Schemes to Manage Regional Landslide Risk [Glade, T., M. Anderson, and M.J. Crozier (eds.)]. John Wiley and Sons Ltd, Sussex, UK, pp. 517-548.

Pielke, Jr., R.A., J. Rubiera, C. Landsea, M.L. Fernandez, and R. Klein, 2003: Hurricane vulnerability in Latin America and the Caribbean: Normalized damage and loss potentials. Natural Hazards Review, 4, 101-114.

Pierro, R. and B. Desai, 2008: Climate insurance for the poor: Challenges for targeting and participation. Institute of Development Studies Bulletin, 39, 4.

Polack, E., 2010: Integrating Climate Change into Regional Disaster Risk Management at the Mekong River Commission. Strengthening Climate Resilience Discussion Paper 4, Institute of Development Studies, Brighton, UK. Polackova Brixi, H. and A. Mody, 2002: Dealing with government fiscal risk: An overview. In: Government at Risk [Polackova Brixi, H. and A. Schick (eds.)]. World Bank, Washington, DC.

Pollner, J., 2000: Managing Catastrophic Risks Using Alternative Risk Financing and Insurance Pooling Mechanisms. World Bank, Washington, DC.

Prabhakar, S.V.R.K., A. Srinivasan, and R. Shaw, 2009: Climate change and local level disaster risk reduction planning: Need, opportunities and challenges. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 14(1), 7-33.

Practical Action Bangladesh, 2008: Risk reduction boosts livelihood security in disaster-prone District. In: Linking Disaster Risk Reduction and Poverty: Good Practices and Lessons Learnt [United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (ed.)]. UNISDR, Geneva, Switzerland, pp. 1-5.

Preston, B.L., R.M. Westaway, and E. Yuen, 2011: Climate adaptation planning in practice: an evaluation of adaptation plans from three developed nations. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 16(4), 407-438.

Priest, G.L., 1996. The government, the market, and the problem of catastrophic loss. Journal of Risk and Uncertainty, 12(2), 219-237.

ProAct Network, 2008: Environmental Management, Multiple Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation Benefits for Vulnerable Communities. ProAct Network, Switzerland.

ProVention, 2009: Cities and resilience. In: Climate Policy Brief from Cities and Resilience Dialogue. Bangkok, Thailand, 28-29 September 2009.

Pulwarty, R.S., and K. Redmond, 1997: Climate and salmon restoration in the Columbia River basin: The role and usability of seasonal forecasts. Bulletin of the American Meteorological Society,78(3), 381-397.

Pulwarty, R.S., K. Broad, and T. Finan, 2004: El Nino events, forecasts and decision-making. In: Mapping Vulnerability: Disasters, Development, and People [Bankoff, G., G. Frerks, and T. Hilhorst (eds.)]. Earthscan, London, UK, pp. 83-98.

Raddatz, C., 2007: Are external shocks responsible for the instability of output in low-income countries? Journal of Development Economics, 84, 155-187.

Rahaman, M. and O. Varis, 2005: Integrated water resources management: Evolution, prospects and future challenges. Sustainability: Science, Practice and Policy, 1(1), 15-21.

Rahel, F.J. and J.D. Olden, 2008: Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. Conservation Biology, 22(3), 521-533.

Ramalingam, B., H. Jones, T. Reba, and J. Youngs, 2008: Exploring the Science of Complexity: Ideas and Implications for International Development and Humanitarian Efforts. ODI Working Paper 285, Overseas Development Institute, London, UK.

Ramalingam, B., K. Scriven, and C. Foley, 2009: Innovations in International Humanitarian Action. In: ALNAP 8th Review of Humanitarian Action. Active Learning Network for Accountability and Performance in Humanitarian Action (ALNAP), London, UK.

Ranger, N., A. Millner, S. Dietz, S. Fankhauser, A. Lopez, and G. Ruta, 2010: Adaptation in the UK: a Decision Making Process. Policy Brief, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment and Centre for Climate change Economics and Policy, London, UK.

Ranger, N. and S.-L. Garbett-Shiels, 2011: How can Decision-Makers in Developing Countries Incorporate Uncertainty about Future Climate Risks into Existing Planning and Policymaking Processes? Policy Paper, Centre for Climate Change Economics and Policy and Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment in collaboration with the World Resources Report, World Resources Institute, Washington, DC, www.worldresourcesreport.org/files/wrr/papers/wrr_ranger_uncertainty.pdf.

Rayner, S., D. Lach, and H. Ingram, 2005: Weather forecasts are for wimps: why water resource managers do not use climate forecasts. Climatic Change, 69(31), 197-227.

Reid, H. and S. Huq, 2005: Tropical forests and adaptation to climate change: In search of synergies. In: Climate Change – Biodiversity and Livelihood Impacts [Robledo, C., M. Kanninen, and L. Pedroni, (eds.)]. Center for International Forestry Research, Indonesia.

Reid, H., D. Dodman, R. Janssen, and S. Huq, 2010: Building capacity to cope with climate change in the least developed countries. In: Changing Climates, Earth Systems and Society [Dodson, J. (ed.)]. International Year of Planet Earth, Springer, the Netherlands.

Ribeiro, M., C. Losenno, T. Dworak, E. Massey, R. Swart, M. Benzie, and C. Laaser, 2009: Design of Guidelines for the Elaboration of Regional Climate Change Adaptations Strategies. Study for the European Commission, Ecologic Institute, Vienna, Austria.

Robledo, C., M. Kanninen, and L. Pedroni (eds.), 2005: Tropical Forests and Adaptation to Climate Change: In Search of Synergies. Center for International Forestry Research, Indonesia.

Roeth, H., 2009: The Development of a Public Partnership Framework and Action Plan for Disaster Risk Reduction in Asia. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Bangkok, Thailand.

Rogers, D., and V. Tsirkunov, 2010: Costs and Benefits of Early Warning Systems. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction and World Bank, Geneva, Switzerland and Washington, DC.

Romieu, E., T. Welle, S. Schneiderbauer, M. Pelling, and C. Vinchon, 2010: Vulnerability assessment within climate change and natural hazard contexts: revealing gaps and synergies through coastal applications. Sustainability Science, 5, 159-170.

Rosenzweig, C. and F.N. Tubiello, 2007: Adaptation and mitigation strategies in agriculture: An analysis of potential synergies. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(5), 855-873.

Rossetto, T., 2007: Construction Design, Building Standards and Site Selection: Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction. ProVention Consortium, Geneva, Switzerland.

Ruth, M., and D. Coelho, 2007: Understanding and managing the complexity of urban systems under climate change. Climate Policy, 7, 317-336.

Sabatier, P.A., 1986: Top-down and bottom-up approaches to implementation research: A critical analysis and suggested synthesis. Journal of Public Policy, 6(1), 21-48.

Salter, J., 1998. Risk management in the emergency management context. Australian Journal of Emergency Management, 13, 22-28.

Sanders, C.H., and M.C. Phillipson, 2003: UK adaptation strategy and technical measures: The impacts of climate change on buildings. Building Research and Information, 31(3-4), 210-221.

Sanderson, I., 2000: Cities, disasters and livelihoods. Environment and Urbanization, 12(2), 93-102.

Satterthwaite, D., 2007. Adaptation Options for Infrastructure In Developing Countries. A report to the UNFCCC Financial and Technical Support Division. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

Satterthwaite, D., S. Huq, M. Pelling, H. Reid, and P.R. Lankao, 2007: Adapting to Climate Change in Urban Areas. International Institute for Environment and Development, London, UK.

SCBD, 2009: Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation. Report of the second ad hoc technical expert group on biodiversity and climate change, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.

Schipper, L., 2009: Meeting at the crossroads? Exploring the linkages between climate change adaptation and disaster risk reduction. Climate and Development, 1, 16-30.

Schipper, L., and M. Pelling, 2006: Disaster risk, climate change and international development: Scope and challenges for integration. Disasters, 30, 19-38.

Schwarze, R. and G. Wagner, 2004. In the aftermath of Dresden: New directions in German flood insurance. The Geneva Papers on Risk and Insurance, 29(2), 154-168.

Scott, Z. and M. Tarazona, 2011: Decentralization and Disaster Risk Reduction. Study on disaster risk reduction, decentralization and political economy analysis for UNDP contribution to the 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, UNISDR, Geneva, Switzerland.

SDC, 2008: Natural disaster risk management in Muminabad. SDC Project Fact Sheet CARITAS, Swiss Development Cooperation, Switzerland.

SEEDS India, 2008: Reducing risk in poor urban areas to protect shelters, hard-won assets and livelihoods. In: Linking Disaster Risk Reduction and Poverty: Good Practices and Lessons Learnt [United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (ed.)]. UNISDR, Geneva, Switzerland, pp. 20-22.

Sharma, A., 2009: Progress Review of National Platforms for DRR in the Asia and Pacific Region. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Bangkok, Thailand.

Shaw, R., Y. Takeuchi, and B. Rouhban, 2009: Education, capacity building and public awareness for disaster reduction. In: Landslides – Disaster Risk Reduction [Sassa, P. (ed.)]. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 499-515.

Shepherd, G., 2004: The Ecosystem Approach: Five Steps to Implementation. World Conservation Union (IUCN), Gland, Switzerland.

Shepherd, G. (ed.), 2008: The Ecosystem Approach: Learning from Experience. World Conservation Union (IUCN), Gland, Switzerland.

Shugart, H., R. Sedjo, and B. Sohngen, 2003: Forests and Global Climate Change: Potential Impacts on U.S. Forest Resources. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA.

Sidle, R.C., A.J. Pearce, C.L. O'Loughlin, and A.G. Union, 1985: Hillslope Stability and Land Use. American Geophysical Union, Washington, DC.

Skees, J., P. Varangis, D.F. Larson, and P. Siegel, 2005: Can financial markets be tapped to help poor people cope with weather risks? In: Insurance Against Poverty [Dercon, S. (ed.)]. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 422-437.

Skidmore, M. and H. Toya, 2002: Do natural disasters promote long run growth? Economic Inquiry, 40(4), 664-687.

Skoufias, E., 2003: Economic crises and natural disasters: Coping strategies and policy implications. World Development, 13(7), 1087-1102.

Slim, H., 2006: Global welfare: A realistic expectation for the international humanitarian system? In: ALNAP Review of Humanitarian Action: Evaluation Utilisation [Active Learning Network for Accountability and Performance in Humanitarian Action (ed.)]. Overseas Development Institute, London, UK, www.alnap.org/pool/files/ch1-f1.pdf.

Smillie, I., 2001: Patronage or Partnership: Local capacity building in humanitarian crises. Kumarian Press , Bloomfield, CT.

Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R. Klein, and G. Yohe, 2001: Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 879-906.

Smith, S.L., V.E. Romanovsky, A.G. Lewkowicz, C.R. Burn, M. Allard, G.D. Clow, K. Yoshikawa, and J. Throop, 2010: Thermal state of permafrost in North America: A contribution to the International Polar Year. Permafrost and Periglacial Processes, 21, 117-135.

Sorensen, J., 1997: National and international efforts at Integrated Coastal Management: Definitions, achievements, and lessons. Coastal Management, 25, 3-41.

Soussan, J. and I. Burton, 2002: Adapt and thrive: Combining adaptation to climate change, disaster mitigation, and natural resources management in a new approach to the reduction of vulnerability and poverty. In: UNDP Expert Group Meeting, Integrating Disaster Reduction and Adaptation to Climate Change, Havana, Cuba, 17-19 June 2002. United Nations Development Program, Havana, Cuba.

Spence, R., 2004: Risk and regulation: Can improved government action reduce the impacts of natural disasters? Building Research and Information, 32(5), 391-402.

Sperling, F. and F. Szekely, 2005: Disaster risk management in a changing climate, vulnerability and adaptation. Discussion paper prepared for the world conference on disaster reduction – reprint with addendum on conference outcomes. Vulnerability and Adaptation Resource Group, Washington, DC.

Spittlehouse, D.L. and R.B. Stewart, 2003: Adapting to climate change in forest management. Journal of Ecosystems and Management, 4, 7-17.

Stainforth, D.A., T.E. Downing, R. Washington, A. Lopez and M. New, 2007: Issues in the interpretation of climate model ensembles to inform decisions. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365, 2163-2177.

Stern, N.H., 2007: The Stern Review: The Economics of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Stevens, L., 2008: Assessment of Impacts of Climate Change on Australia's Physical Infrastructure. Academy of Technological Sciences and Engineering, Parksville, Australia.

Stewart, M.G., X. Wang, and M.N. Nguyen, 2011: Climate change impact and risks of concrete infrastructure deterioration. Engineering Structures, 33, 1326-1337.

Sudmeier-Rieux, K. and N. Ash, 2009: Environmental Guidance Note for Disaster Risk Reduction. International Union for Conservation of Nature (IUCN), Gland, Switzerland.

Swiss Re, 2000: Storm over Europe. An underestimated risk. Swiss Reinsurance Company, Zurich, Switzerland.

Tanner, T.M. and T. Mitchell (eds.), 2008: Poverty in a changing climate. Institute of Development Studies (IDS) Bulletin, 39, 4.

Tearfund, 2008: Livelihood initiatives helps poor women build community resilience. In: Linking Disaster Risk Reduction and Poverty: Good Practices and Lessons Learnt [United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (ed.)]. UNISDR, Geneva, Switzerland, pp. 45-50

Tearfund, 2011: Disasters and the Local Church: Guidelines for church leaders in disaster-prone areas. Tearfund, Teddington, UK.

TEEB, 2009. The Economics of Ecosystems and Biodiversity for National and International Policy Makers Summary: Responding to the Value of Nature. The Economics of Ecosystems and Biodiversity, Geneva, Switzerland, teebweb.org/ForPolicymakers/tabid/1019/Default.aspx.

Telford, J. and J. Cosgrave, 2006: Joint Evaluation of the International Response to the Indian Ocean Tsunami: Synthesis Report. Tsunami Evaluation Coalition, London, UK.

Thomalla, F., T. Downing, E. Spanger-Siegfried, G. Han, and J. Rockstrom, 2006: Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. Disasters, 30(1), 39-48.

Thompson, I., B. Mackey, S. McNulty, and A. Mosseler, 2009: Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Technical Series no. 43, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.

Thompson, M. and I. Gaviria, 2004: Weathering the storm: Lessons in risk reduction from Cuba. Oxfam, Boston, MA.

Thorne, C., E. Evans, and E. Penning-Rowsell (eds.), 2006: Future Flooding And Coastal Erosion Risks. Thomas Telford, London, UK.

Tompkins, E.L., 2005: Planning for climate change in small islands: Insights from national hurricane preparedness in the Cayman Islands. Global Environmental Change Part A, 15(2), 139-149.

Tompkins, E.L., M.C. Lemos, and E. Boyd, 2008: A less disastrous disaster: Managing response to climate-driven hazards in the Cayman Islands and NE Brazil. Global Environmental Change, 18, 736-745.

Tompkins, E.L., W.N. Adger, E. Boyd, S. Nicholson-Cole, K. Weatherhead, and N. Arnell, 2010: Observed adaptation to climate change: UK evidence of transition to a well-adapting society. Global Environmental Change, 20, 627-635.

Tschoegl, L., R. Below, and D. Guha-Sapir, 2006: An Analytical Review of Selected Data Sets on Natural Disasters and Impacts. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, United Nations Development Programme, Brussels, Belgium.

Tsing, A.L., J.P. Brosius, and C. Zerner, 1999: Assessing community-based naturalresource management. Ambio, 28(2), 197-198.

Twigg, J., 2004: Project planning. In: Disaster Risk Reduction: Mitigation and Preparedness in Development and Emergency Programming. Humanitarian Practice Network, Overseas Development Institute, London, UK, pp. 31-60.

UNDP, 2002: A climate risk management approach to disaster reduction and adaptation to climate change. In: Proceedings of UNDP Expert Group Meeting, Havana, Cuba, 19-21 June 2002. United Nations Development Programme, New York, NY.

UNDP, 2004a: Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. United Nations Development Programme, New York, NY.

UNDP, 2004b: A Global Review: UNDP Support for Institutional and Legislative Systems for Disaster Risk Management: Executive Summary. United Nations Development Programme, New York, NY.

UNDP, 2004c: Adaptation Policy Frameworks for Climate Change. Developing strategies, policies and measures. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

UNDP, 2009: 인도네시아: Institutional and Legal Systems for Early Warning and Disaster Risk Reduction. Regional Programme on Capacity Building for Sustainable Recovery and Risk Reduction, United Nations DevelopmentProgramme, New York, NY.

UNEP, 2006: In the Front Line: Shoreline Protection and Other Ecosystem Services from Mangroves And Coral Reefs. United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK.

UNEP, 2009. The Role of Ecosystem Management in Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction. Issues paper prepared for the global platform for Disaster Risk Reduction. United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland.

UNEP, 2010: Using Ecosystems to Address Climate Change – Ecosystem Based Adaptation. UNEP Regional Seas Information Series, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNESCAP, 2009: Case Study: The National Disaster Management System Of China And Its Response To The Wenchuan Earthquake. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand, www.unescap.org/Idd/Events/Cdrr-2009/Cdr_2e.Pdf.

UNFCCC, 2006a: Application of Environmentally Sound Technologies for Adaptation to Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

UNFCCC, 2006b. Technologies for Adaptation to Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

UNFCCC, 2007a: Investment and Financial Flows to Address Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

UNFCCC, 2007b: National Adaptation Programmes of Action (NAPAs). United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

UNFCCC, 2008a: Disaster Risk Reduction Strategies and Risk Management Practices: Critical Elements for Adaptation to Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

UNFCCC, 2008b: Integrating Practices, Tools and Systems for Climate Risk Assessment and Management and Strategies for Disaster Risk Reduction into National Policies and Programmes. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

UNFCCC, 2009a: Potential Costs and Benefits of Adaptation Options: A Review of Existing Literature. Technical Paper, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

UNFCCC, 2011a: NAPA Priorities Database. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.int/cooperation_support/least_developed_countries_portal/napa_priorities_database/items/4583.php.

UNFCCC, 2011b: Frequently Asked Questions about LDCs, the LEG and NAPAs. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.int/cooperation_support/least_developed_countries_portal/frequently_asked_questions/items/4743.php.

UNISDR, 2004: Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiative. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2005: Hyogo Framework for Action 2005–2015: Building the resilience of nations and communities to disasters. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2006: Developing Early Warning Systems: A checklist. The conclusions of the third international conference on early warning. Germany, Bonn, 27-29. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2007a: Building Disaster Resilient Communities: Good Practices and Lessons Learned. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2007b: Words into Action: A Guide for Implementing the Hyogo Framework. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2007c: 'Acting with Common Purpose'. Proceedings of the first session of the Global Platform on Disaster Risk Reduction. Geneva, 5-7 June 2007, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2008a: Linking Disaster Risk Reduction and Poverty Reduction: Good Practices and Lessons Learnt. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2008b: Towards National Resilience: Good practices of National Platforms for Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2009a: Adaptation to Climate Change by Reducing Disaster Risks: Country Practices and Lessons. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2009b: Applying Disaster Risk Reduction for Climate Change Adaptation: Country Practices and Lessons. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2009c: Risk and Poverty in a Changing Climate: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2009d: Recommendations of National Platforms to the Chair and Participants of the Second Session of the Global Platform for Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2010: Early Warning Practices can Save Many Lives: Good Practices and Lessons Learned. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2011a: 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2011b: Hyogo Framework for Action 2005-2015: Mid Term Review. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR/DKKV/Council of Europe, 2008: Disaster risk reduction in Europe: Overview of European National Platforms, Hyogo Framework for Action focal points and regional organisations and institutions. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, German Committee for Disaster Risk Reduction, and Council of Europe.

Urwin, K. and A. Jordan, 2008: Does public policy support or undermine climate change adaptation? Exploring policy interplay across different scales of governance. Global Environmental Change, 18(1), 180-191.

Van Buskirk, R., 2006: Analysis of long-range clean energy investment scenarios for Eritrea, East Africa. Energy Policy, 34(14), 1807-1817.

Varangis, P., J.R. Skees, and B.J. Barnett, 2002: Weather indexes for developing countries. In: Climate Risk and the Weather Market [Dischel, B. (ed.)]. Risk Books, London, UK, pp. 279-294.

Venter, O., W.F. Laurance, T. Iwamura, K.A. Wilson, R.A. Fuller, and H.P. Possingham, 2009: Harnessing carbon payments to protect biodiversity. Science, 326(5958), 1368.

Venton, P. and S. La Trobe, 2008: Linking Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction. Tearfund, Tweddington, UK.

Verdin, J., C. Funk, G. Senay, and R. Choularton, 2005: Climate science and famine early warning. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 360, 2155-2168.

Vignola, R., B. Locatelli, C. Martinez, and P. Imbach, 2009: Ecosystem-based adaptation to climate change: What role for policy-makers, society and scientists? Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 8(14), 691-696.

Virtanin, P., E. Palmujpki, and D. Gemechu, 2011: Global climate policies, local institutions and food security in a pastoral society in Ethiopia. Consilience: The Journal of Sustainable Development, 5, 96-118.

Vogel, C., and K. O'Brien, 2006: Who can eat information? Examining the effectiveness of seasonal climate forecasts and regional climate-risk management strategies. Climate Research, 33, 111-122.

Walters, C., 1997. Challenges in adaptive management of riparian and coastal ecosystems. Conservation Ecology, 2(1), 1.

Wamsler, C., 2004: Managing urban risk: Perceptions of housing and planning as a tool for reducing disaster risk. Global Built Environment Review, 4(2), 11-28.

Warhurst, A., 2006: Disaster Prevention: A Role for Business? Maplecroft and ProVention Consortium, Geneva, Switzerland.

Warner, K., N. Ranger, S. Surminski, M. Arnold, J. Linnnerooth-Bayer, E. Michel-Kerjan, P. Kovacs, and C. Herweijer, 2009: Adaptation to Climate Change: Linking Disaster Risk Reduction and Insurance. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat, Geneva, Switzerland.

Weih, M., 2004: Intensive short rotation forestry in boreal climates: Present and future perspectives. Canadian Journal of Forest Research, 34(7), 1369-1378.

White, P., M. Pelling, K. Sen, D. Seddon, S. Russell, and R. Few, 2004: Disaster Risk Reduction: A Development Concern. A Scoping Study on Links between Disaster Risk Reduction, Poverty and Development. Department for International Development, London, UK.

WHO, 2003: Climate Change and Human Health - Risks and Responses: Summary. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO, 2005: Health and Climate Change: The "Now and How": A Policy Action Guide. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.

Wickham, F., J. Kinch, and P.N. Lal, 2009: Institutional Capacity within Melanesian Countries to Effectively Respond to Climate Change Impacts, with a Focus on Vanuatu and the Solomon Islands. A report prepared for the Bishop Museum and SPREP. Bishop Museum, Honolulu, Hawaii.

Wilby, R.L., 2007: A review of climate change impacts on the built environment. Built Environment, 33(1), 31-45.

Wilby, R.L., 2009: Climate for Development in South Asia (ClimDev-SAsia): An inventory of cooperative programmes and sources of climate risk information to support robust adaptation. Report prepared on behalf of the UK Department for International Development (DFID), DFID, London, UK.

Wilby, R.L. and S. Dessai, 2010: Robust adaptation to climate change. Weather, 65(7), 180-185.

Wilby, R.L., J. Troni, Y. Biot, L. Tedd, B.C. Hewitson, D.M. Smith, and R.T. Sutton, 2009: A review of climate risk information for adaptation and development planning. International Journal of Climatology, 29(9), 1193-1215.

Wilches-Chaux, G., 2008: ¿Qu-ENOS pasa? – Guía de LA RED para la gestión radical de riesgos asociados con el fenómeno ENOS. LA RED, Bogota, Colombia.

Wisner, B., 2011: Are we there yet? Reflections on integrated disaster risk management after ten years. Journal of Integrated Disaster Risk Management, 1, 1-14.

Wisner, B. and J. Adams, 2002: Environmental Health in Emergencies and Disasters: A Practical Guide. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon, and I. Davis, 2004: At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability And Disasters. 2nd ed. Routledge, London, UK.

WMO, 2004: Report of the Expert Meeting on Meteorological Information for Locust Control, 18-20 October 2004. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

WMO, 2007: WMO to Provide Guidance for Heat Health Warning System. WMO Press Release 781, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Wood, A.P. and Van Halsema, G.E., 2008: Scoping agriculture, wetland interactions: Towards a sustainable multiple-response strategy. FAO Water Reports. Rome: Food and Agriculture Organisation (FAO).

World Bank, 1996. Argentina flood protection project. Staff Appraisal Report 15354, World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2000: Cities, Seas and Storms: Managing Change in Pacific Island Economies. World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2003: Protecting New Health Facilities from Natural Disasters: Guidelines for the Promotion of Disaster Mitigation. World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2007: The Caribbean Catastrophe Risk Insurance Initiative. Results of preparation work on the design of a Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility, World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2008: The Economics of Adaptation to Climate Change: Methodology Report. World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2009: Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-Based Approaches to Climate Change. World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2010: Mainstreaming Adaptation to Climate Change in Agriculture and Natural Resources Management Projects. Washington D.C.: World Bank.

World Bank and UN, 2010: Natural Hazards, UnNatural Disasters: The Economics of Effective Prevention. International Bank for Reconstruction and Development/World Bank, Washington, DC, 254 pp., gfdrr.org/gfdrr/nhud-home.

World Vision, 2008: Reducing vulnerabilities and poverty through disaster mitigation. In: Linking Disaster Risk Reduction and Poverty: Good Practices and Lessons Learnt [United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (ed.)]. UNISDR, Geneva, Switzerland, pp. 15-19.

WSSD, 2002: Report of the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, South Africa, 26 August – 4 September 2002.

WWAP, 2009: Water in a Changing World. The United Nations World Water Development Report. World Water Assessment Programme, Earthscan, London, UK.

WWC, 2009: Water Supply and Sanitation. World Water Council, France.

Yamin, F., A. Rahman, and S. Huq, 2005: Vulnerability, adaptation and climate disasters: A conceptual overview. IDS Bulletin, 36(4), 1-14.

Yodmani, S., 2001: Disaster risk management and vulnerability reduction: Protecting the poor. In: Proceedings of Asia and Pacific Forum on Poverty: Reforming policies and institutions for poverty reduction. Manila, Philippines, 5-9 February 2001.

Younger, M., H.R. Morrow-Almeida, S.M. Vindigni, and A.L. Dannenberg, 2008: The built environment, climate change, and health: Opportunities for co-benefits. American Journal of Preventive Medicine, 35(5), 517-52.

7

위험 관리: 국제적 수준 및 규모의 통합

총괄 대표저자
Ian Burton (캐나다), O. Pauline Dube (보츠와나)

대표저자:
Diarmid Campbeli-Lendrum (스위스), Ian Davis (영국), Richard J.T. Klein (스웨덴), Joanne Linnerooth-Bayer (미국), Apurva Sanghi (미국), Ferenc Toth (오스트리아)

감수 편집자:
Joy Jacqueline Pereira (말레이시아), Linda Sygna (노르웨이)

기여저자:
Neil Adger (영국), Thea Dickinson (캐나다), Kris Ebi (미국), Md. Tarik ul Islam (캐나다 / 방글라데시), Clarisse Kehler Siebert (스웨덴)

본 장을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

Burton, I., D.P. Dube, D. Campbell-Lendrum, I. Davis, R.J.T. Klein, J. Linnerooth-Bayer, A. Sanghi, and F. Toth, 2012: Managing the risks: international level and integration across scales. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp.393-435.

목 차

본문 요약 372

7.1. 국제 수준에서의 위험 관리 374
7.1.1. 맥락과 배경 374
7.1.2. 관련된 질문과 본 장(chapter)의 구조 374

7.2. 국제적 행동의 이유 374
7.2.1. 체계적 위험과 국제안보 374
7.2.2. 경제적 효율성 375
7.2.3. 책임 분담 375
7.2.4. 보완성 376
7.2.5. 법적 의무 377
7.2.5.1. 국제법의 범위, 위험관리, 적응 377
7.2.5.2. 국제조약 377
7.2.5.3. 관습법과 연성법의 원칙 377
7.2.5.4. 법적 구속력이 없는 제도 378

7.3. 현재 국제 거버넌스와 제도 378
7.3.1. 효고 행동 계획 378
7.3.1.1. 태동 및 설명 378
7.3.1.2. 이행 현황 379
7.3.2. UN기후변화협약 381
7.3.2.1. 태동 및 설명 381
7.3.2.2. 이행 현황 381
7.3.3. 현재 참여자 383
7.3.3.1. 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 연결을 위한 국제 조정 383
7.3.3.2. 국제적 기술과 운영 지원 383
7.3.3.3. 국제금융기구와 원조자 385

7.4. 국제적 수준의 재해 위험 관리와 기후변화 적응을 위한 대안, 제약, 기회 385
7.4.1. 국제법 385
7.4.1.1. 국제법의 한계와 제약 386
7.4.1.2. 국제법 적용의 기회 386
7.4.2. 국제적 재정지원 386
7.4.3. 기술이전과 협력 388
7.4.3.1. 기술과 기후변화 적응 388
7.4.3.2. 극한 현상을 위한 기술 389
7.4.3.3. 기술 이전의 금융지원 391
7.4.4. 위험 공유 및 이전 391
7.4.4.1. 국제적 위험 공유 및 이전 391
7.4.4.2. 국제적 위험 공유와 이전 메커니즘 392
7.4.4.3. 국제적 개입에 의한 부가가치 394
7.4.5. 지식습득과 관리, 전파 394
7.4.5.1. 지식습득 395
7.4.5.2. 지식의 조직화와 공유, 전파 395

7.5. 미래 정책과 연구를 위한 고려 398

7.6. 규모의 통합 399
7.6.1. 통합의 상태 399
7.6.2. 공간규모의 통합 399
7.6.3. 시간규모의 통합 399
7.6.4. 기능규모의 통합 400
7.6.5. 보다 더 나은 통합을 향하여 400

참고문헌 400

본문 요약

전지구적 수준의 상호연관성, 인구, 그리고 경제 성장의 증가와 경제와 생태계의 상호의존성 증가는 취약성을 저감시킬 수도 있고 재해위험을 증대시킬 수도 있다(높은 신뢰수준). 전지구적 개발 경로는 취약성과 재해 위험 관리에서 더욱 중요한 요소가 되고 있다. [7.2.1]

국제사회는 기후 변동성과 극한과 관련된 지역적이고 단기적인 현상의 재해와 위험관리에 도움을 주기 위한 풍부한 경험을 축적해왔다. 재해 위험 관리의 경험은 상향식, 하향식 접근을 모두 포함하지만, 대부분은 처음에 지역 수준의 문제로, 다음에는 국가 수준으로, 그리고 국가의 역량을 넘어 인도주의적 지원과 역량 구축이 필요한 경우에만 국제적 수준에서 고려되는 재난으로부터 발전되어왔다. [7.2.4]

국제적 수준에서 재해 위험 관리와 기후변화 적응을 위해 구축된 두 가지 주요 메커니즘이 존재하는데, UN재해저감국제전략(United Nations International Strategy for Disaster Reduction: UNISDR)과 UN기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)이다. 국제적인 역할을 수행하는 다른 메커니즘도 많이 있지만 이 장은 이 두 가지에 초점을 맞추고 있다. 지면의 한계상 관련된 모든 실체를 선별하고 종합적으로 평가하기 어렵기 때문이다. UNISDR과 UNFCCC는 사명과 범위, 목표가 다를 뿐 아니라 강점과 역량 또한 다르다(높은 신뢰수준). 이러한 점 때문에 현재까지 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 통합을 달성하기가 쉽지 않았다(보통 신뢰수준). [7.3] **재해 위험 관리는 다양한 방향으로부터 발전해왔다. 가령 법에 따라 운영 차원에서 안전한 실천을 요구하는 하향식 접근과 지역 수준에서부터 국가 및 국제적 수준으로 확대하는 접근방식이 존재한다. 기후변화 적응은 주로 인간에 의한 기후변화의 전지구적인 문제를 인식하는 것에서부터 발전되어 왔다(높은 신뢰수준).** [7.3]

UNISDR과 UNFCCC 외에, 기후변화 적응과 재해 위험 관리를 위해 사용되던 다른 국제법과 수단이 있다. 국제적 행동과 관리와 관련된 이러한 영역에서 법적인 염원과 의무 간의 관계는 복잡할 뿐 아니라 이해되거나 동의를 얻기도 어렵다 (높은 신뢰수준). 이러한 다른 영역에는 기후변화 등으로 인한 사람들의 이동을 해결하기 위해 발의된 국제난민법, 인권 향유에 영향을 미치는 기후변화와 관련해 시민이 국가에 대항할 때 이용되는 인권법, 기존 법적 신조의 확대를 위한 시도(가령 신생 보호 책임신조에 따라 국가가 기후변화에 대한 행동을 실행) 등이 포함된다. 다른 국제법 영역의 도구를 이용해 기후변화 적응 및 재해 위험 저감 문제를 해결하기 위한 시도는 대체로 성공하지 못했다. [7.2.5]

재해 위험 저감 및 기후변화 적응에 관한 국제적 행동은 국가의 관심과 공통의(전지구적) 공공재에 관한 관심에 의해 동기가 부여될 수 있다. [7.2] 전지구적 경제와 공익, 국경을 넘는 재해 위험 관리의 상호의존성 및 지역적으로 잠재적인 위험분산을 고려했을 때 재해 위험 저감 및 기후변화 적응에 관한 국제적인 협력은 국가 또는 하위지역 단독의 계획보다 더 경제적으로 효율적이다. 개발도상국가들이 물리적 재해에 더 취약하다는 점에서 연대와 형평성의 개념은 국제적 수준에서 재해 위험 저감 및 기후변화 적응을 해결하기 위한 동기를 부여한다. [7.2]

재해 위험 저감과 기후변화 적응의 국제적 수준에서의 긴밀히 통합되고 이들이 국제적 개발과 개발 원조에서 주류화되면 이용가능하고 확정된 자원과 역량의 효율적인 이용을 촉진할 수 있다. [7.4] 재해 위험 저감과 기후변화 적응 모두 현재 개발 정책 및 실천에 통합될 수 있는 가능성에 비해 제대로 통합이 이뤄지지 못하고 있다. 재해 위험 저감과 기후변화 적응은 상호 지원 및 시너지 창출 방식으로 지식과 경험을 공유함으로써 서로 이익을 얻을 수 있다.

기후변화 적응은 전체의 재해 위험 관리에 한 요소로서 포함될 수 있다. 또한 현재 기후관련 재해는 적응 어젠다의 필수적인 요소가 되고 있다. [7.4]

재해 위험 관리 및 기후변화 적응을 위한 국제 자금지원에서 시너지 창출 기회가 존재하지만 아직 완전히 실현되지는 않았다 (높은 신뢰수준). 국제 수준의 인도주의적 대응을 위한 지출 규모와 비교했을 때 재해 위험 관리를 위한 국제 자금지원은 상대적으로 낮은 수준이다. [7.4.2] 정부는 기후변화 적응을 위해 더 많은 자금을 동원할 것을 약속했으며, 이는 재해 위험 관리를 위해 필요한 장기적인 투자를 지원하는 데 도움이 될 수 있다. [7.4.2]

2010 칸쿤협약(Cancun Agreement)에서 명시된 기후변화 적응을 위한 국제 자금지원 확대와 기후변화 녹색 기금(Climate Change Green Fund)은 재해 위험 관리를 촉진하고 강화할 것이다(보통 신뢰수준). 국제적 수준에서 기후변화 적응을 위해 상당한 규모의 추가적인 자금지원을 제공하기로 한 협약은 기후 및 기상 관련 재해 위험 저감을 포함한다. 이런 점에서 재해 위험 관리와 기후변화 적응을 위한 프로젝트 및 계획이 국가 수준에서 결합 및 통합될 가능성이 존재한다. [7.3.2.2, 7.4]

UN기후변화협약 하의 기술이전과 협력은 최근까지도 적응보다 온실가스 배출 저감에 초점을 맞추었다(높은 신뢰수준). 예측과 경보 시스템 및 긴급 대응을 발전, 강화하기 위한 재해 위험 관리 기술이 효고 행동 계획(Hyogo Framework for Action: HFA)을 통해 촉진되고 있지만, 여러 국제 및 국내 단체들 사이에 산재해 있어 UNISDR과 긴밀하게 연결되지 않고 있다. 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 발전을 위해선 기술이전과 협력이 중요하다. 두 영역 간의 기술이전과 협력을 위한 조율은 아직까지 부족한 수준이어서 단편적인 실행에 그치고 있다(높은 신뢰수준). [7.4]

취약 국가에서 재난위험 이전 기술 및 기타 위험고유 수단 개발에 있어서 국제금융기구와 양자원조집행기구, 기타 국제 참여기구들은 촉매역할을 해왔다. 기후변화 적응 및 재해 위험 저감을 지원하기 위한 국제 협력과 관련해 비교적 새롭고 확대된 영역으로서, 위험 공유 및 기술 이전을 위한 더 강력한 산출물과 방식이 개발 중에 있다(높은 신뢰수준). [7.4] 이러한 메커니즘에는 송금, 재해 사후 차관, 보험, 재보험 등이 포함된다. 기후변화 우려에 대한 대응의 일부로서, 국제 위험분산 및 지수형 날씨 소액보험을 비롯한 추가적인 보험수단이 개발 및 확장되고 있다. 이러한 프로세스와 상품은 국제금융기구뿐 아니라 비정부단체와 민간 부문에 의해 개발 중에 있다. [7.4.4.2]

재해 위험 저감과 기후변화 적응에서 얻을 수 있는 교훈중 하나는 더 강력한 국제적 수준의 노력이 반드시 현지 및 지역 수준에서 실질적이고 신속한 결과로 이어지지 않는다는 점이다 국제적 수준에서부터 지역 수준에 이르기까지 개선된 통합의 여지가 존재한다(높은 신뢰수준). [7.6] 자연재해 저감을 위한 10개년 계획기간(International Decade for Natural Disaster Reduction: 1990–1999)을 통한 재해 위험 저감 확대, UNISDR 수립, HFA 생성 및 적응의 결과는 구체화하거나 수량화하기 어렵지만 이환율 및 사망률 감소에 어느 정도 기여했을 수 있다. 그러나 경제 및 자산 손실 부분에 있어선 크게 성공을 거두지 못했다. 재해 위험 문제가 지속적으로 증가해온 것은 국제 관리 역량이 향상되었음에도 불구하고 노출 및 취약성이 끊임없이 확대되었기 때문이다 (보통 신뢰수준). [7.5, 7.6]

7.1. 국제 수준에서의 위험 관리

7.1.1. 맥락과 배경

인간의 삶에서 대기변화(홍수, 가뭄, 사이클론 등)와 관련된 위험에 대응하는 것은 언제나 필요한 것이었다(Lamb, 1995). 최근 수십 년간, 대규모 재해와 관련되어 경제적 손실로 이어지는 극한기상 현상이 증가했다(Lamb, 1995). 국제적 수준(지역 및 국가 수준 포함)에서 위험을 극복하거나 관리하기 위한 방식에 관한 경험이 크게 축적되었다.

그러나 인위적 요소에 의한 기후변화와 관련된 위험에 경우는 다르다. 이들은 가능성 또는 개연성이 있을 것으로 규명된 새로운 위험이다(IPCC, 1990, 1996, 2007).

기후변화와 커지는 영향이 수용되면서 발리행동계획(Bali Action Plan)(13차 UNFCCC 협약체 회의(UNFCCC, 2007a)) 및 2010년 12월 칸쿤협약 등에서 적응의 필요성이 더욱 강조되게 되었다.

이러한 점에서 국제 커뮤니티는 오랜 역사를 가진 재해 및 '정상적인' 극한기상 위험의 관리와 새로운 문제(인위적 기후변화와 변동성 및 극한기후의 관련 변화에 대한 적응 문제) 사이의 간극에 직면해 있다. 인위적 기후변화 적응(CCA)의 비교적 새로운 영역이 어떻게 오랜 경험이 구축된 재해 위험 관리(DRM)으로부터 이익을 얻을 수 있는가라는 문제가 제기되어 왔다. 본 특별보고서는 이 질문에 초점을 맞추고 있다.

극한기후는 부정적인 영향과 긍정적인 영향을 모두 가질 수 있다. 극한 현상의 발생은 일반인과 정책결정자들의 기후변화에 관한 인식을 높였다. 이는 DRM 지원, 적응 강화, 완화 노력 촉진 측면에서 정부정책의 우선순위를 강화하는 데 도움이 될 수 있다. (Adger 등, 2005). 개발 프로세스에서 기후 관련 DRM과 CCA의 통합을 위한 국제 프레임워크는 노출 및 변동성 저감 가능성을 제공할 수 있다(Thomalla 등, 2006; Venton and La Trobe, 2008). 온실가스 저감을 위한 국제수준의 공동 노력은 장기적으로 빈번하게 발생하는 극한기후에 대한 노출을 줄일 수 있는 길이다. 형평성, 기술이전, 글로벌화, 밀레니엄개발목표(Millennium Development Goals(MDG)에 대한 충족 문제를 해결하기 위한 신중한 노력과 함께 적응을 촉진하도록 계획된 국제 프레임워크는 저감 노력과 결합할 때 취약성의 저감이라는 결과를 낳을 수 있다(Adger 등, 2005; Haines 등, 2006). 2007/2008 인간개발보고서(Human Development Report)는 지금 당장 기후변화가 적절하게 해결되지 않을 경우 미래에 전세계 빈곤층의 40%(약 26억 명)에게 제한된 기회만이 주어질 것이다(Stern, 2007; Watkins, 2007). 기후 위험 노출의 장기적인 저감 가능성은 지속적인 개발과 맞물려 있다(O'Brien 등, 2008). DRM과 CCA 모두 지속가능한 개발을 통해 탄력성을 구축하기 위한 방법을 모색한다(O'Brien 등, 2008).

일부 주장에 의하면 DRM과 CCA는 인식의 개선, 시너지 및 차이점의 활용, 중복 영역의 통합을 위한 프레임워크를 통해 실현될 수 있다(Venton and La Trobe, 2008). 2005년 일본 효고현 고베에서 개최된 세계재해저감회의(World Conference on Disaster Reduction)(UNISDR, 2005c)와 발리로드맵은 재해위험저감(DRR)를 위한 실천 영역 내에서 기후변화의 영향을 줄이기 위한 협력 필요성을 제시했다. 168개 정부가 고베에서 체결한 효고 행동 계획(2005-2015)을 통해 DRR과 CCA의 관련 측면의 통합이 촉진될 수 있다(UNISDR, 2005a).

7.1.2. 관련된 질문과 본 장(chapter)의 구조

중요한 질문(재해 위험 관리 경험이 어떻게 기후변화 적응을 위해 정보를 제공하고 도움을 줄 수 있는가?)의 맥락에서 본 장은 긴밀한 협력 토대를 제공하기 위해 해결해야 할 관련 문제들을 제시한다. 첫 번째 질문은 국제적 수준의 재해 위험 관리 및 기후변화 적응에 관한 근거와 관련이 있다. 7.2절은 체계적인 위험과 국제 안보, 경제 효율성, 연대, 보완성의 문제를 다룬다.

두 번째 주제는 자연과 국제적 수준에서 기관의 성격 및 개발, 역량과 관련이 있다. 이 주제는 효고 행동 계획 및 대한 UN기후변화협약에 초점을 맞춘 7.3절에서 탐구된다.

세 번째 주제는 국제적 수준에서 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 기회와 제약에 관한 것이다. 여기엔 법률, 재정, 기술, 위험이전, 협력 문제, 지식 구축 및 그 관리와 전파가 포함된다. 7.4절은 이러한 모든 요소들을 다룬다.

7.5절은 미래 정책 및 연구에 관한 고려사항을 다룬다.

재해 위험 관리로부터 얻은 교훈을 기후변화 적응 영역에 도입하기 위해선 다른 시공간 차원에서 다른 양상으로의 접근이 필요하다. 7.6절은 전 차원에 걸친 문제 전반을 통합적으로 다룬다.

7.2. 국제적 행동의 이유

이 절은 재해 위험 관리와 기후변화 적응을 위한 재원조달, 지원, 규제, 기타 유형의 국제적 정책개입을 정당화하거나 제약하는 개념과 원칙을 선별해서 간략하게 살펴본다. 7.2.5절에서와 같이 종합적이고 부가적인 원칙들을 논의하려고 하지 않았다. 이 절은 극한기상의 위험과 국경들을 걸치고 한 국가의 정책과 조치를 넘어서는 위험관리 개입의 현실에서 시작해

이러한 위험들의 체계적 본질과 이것이 국제 안보에 미치는 영향을 다루며 이어서 효율성, 책임 분담, 보완성과 같은 원칙들이 기존의 체제와 협약에서 국제적 담론, 관행, 그리고 법적 의무를 만들어가는지 논의한다.

7.2.1. 체계적 위험과 국제안보

'체계적 위험'이란 용어는 하나의 실체 또는 실체들의 집단의 실패가 연결된 다른 실체에 연쇄적인 영향을 미칠 수 있는 하나의 시스템에서 연관성 및 상호의존성으로 규정되는 위험들을 말한다. 국제적 상호의존성이 크게 증가했기 때문에, 한 국가에서 발생한 충격이 세계의 다른 국가들에 미치는 중대하

고 양방향인 체계적 영향들의 전체 범위가 잘 문서화되어 있지 않지만 잠재적으로 영향을 미칠 수 있다(Kleindorfer, 2009). 더욱이 빙하의 용해와 같은 중요한 상호 연관적인 사건들은 특정 영역에서의 위험 수준을 높이고, 그러 한 변화들의 초기 영향은 2차, 3차 영향으로 확대될 수 있다(Alexander, 2006). 이것은 관련된 홍수위험 유역을 공유한 여러 국가의 인접 지대에 적용될 수 있으며, 월경성국제지구가 필요하다(Linnerooth-Bayer 등, 2001).
재화(무역), 재원(자본흐름과 송금), 그리고 사람(이주 인구)의 이동과 관련된 관계 및 연결도 아래에서 논의되는 바와 같이 국경을 초월해서 영향을 줄 수 있다. 게다가 하천 상류에 위치한 국가의 산림 벌채가 하류에 위치한 국가의 홍수 위험을 높일 수 있는 것과 같이 한 국가의 행동들이 다른 국가에 영향을 준다. 2007-2008년 금융위기로 예상치 못한 연쇄 위기를 겪은 후, 글로벌 공급망을 가진 기업들은 위기 관리와 및 붕괴위험 관리에 상당한 자원을 투입하고 있다 (Sheffi, 2005; Harrington and O'Connor, 2009).

재해로부터의 재정과 경제 영향의 연쇄성을 보여주는 사례는 많지 않다. 2005년 허리케인 카트리나로 인해 국제에너지기구(International Energy Agency)는 총 6,000만 배럴에 이르는 유럽 및 아시아의 비축유 방출을 발표했고(Bamberger and Kumins, 2005), 유가는 미국뿐 아니라 캐나다와 영국에서까지 뛰어 올랐다. 또한 재해는 국제 무역에도 영향을 미친다. Gassebner등(2010)은 1962-2005기간동안 170개 국가에 대해 중력모형을 사용하여 추가적인 재해는 평균적으로 수입의 0.2%, 수출의 0.1% 감소시키는 것으로 결론지었다. 무역에 대한 대참사의 영향을 결정하는 주요 조건은 영향받는 국가의 민주화 수준과 지리적인 크기이다.

연쇄 영향에 의한 이주 인구와 관련해서는, 재해 뿐 아니라 일반적인 환경 변화로 인한 현재와 미래 이주 인구 추정은 의견이 엇갈리고 논쟁의 여지가 있다 (Myers, 2001; Christian Aid, 2007). 그러나 중간범위의 추정치는 2050년까지 이주 인구가 2억 명이라고 한다(Brown, 2008). 이주의 원인을 극한기후로만 보면, 최근 보고는 2008년 갑작스런 기후관련 재난에 의한 이주는 2,000만 명 이상인 것으로 추정했다. (OCHA/IDMC, 2009). 그러나 이 보고서와 다른 보고서들은 기후변화 위험, 빈곤증가, 전염병 전파, 분쟁을 포함하는 이주의 동기를 구분하는 것이 어렵다는 점을 인정하고 있다(Castles, 2002; Myers, 2005; Thomalla 등, 2006; Barnett and Adger 2007; CIENS, 2007; Dun and Gemenne, 2008; Guzmán, 2009; Morrissey, 2009).

극한기상으로 인한 급작스럽게 쫓겨나는 것과 다르게, 이동성 및 이주는 보통은 천천히 이주하게 되어 점진적인 기후변화에 대한 적응전략이 될 수 있다(Barnett and Webber, 2009). 그러나 극빈층과 취약계층은 많은 경우 이동할 수 없다(Tacoli, 2009). 극한기상으로 인한 이주의 경우, 도착지역에 큰 부담이 될 수 있다(Barnett and Adger, 2007; Heltberg 등, 2008; Morrissey, 2009; Tacoli, 2009; Warner 등, 2009a). 이러한 부담의 일부인 이주의 잠재적 갈등은 통과지역, 도착지 또는 복귀지역의 정부와 사람들의 반응에 따라 크게 달라진다. 거버넌스, 정치적 안정성, 경제, 그리고 폭력의 역사가 있었는지가 일반적인 주요 인자이다(Kolmannskog, 2008).

기후관련 재해의 국제적인 영향은 재정적 결과, 국제무역, 이주를 넘어설 수 있으며, 더 일반적으로는 인간의 안전에까지 영향을 미칠 수 있다. O'Brien 등 (2008)은 DRR, CCA와 인간의 안전에 대한 복잡하고 체계적인 연결에 관해 보고하며, 개발 수준, 거버넌스, 불평등, 그리고 문화적 풍습을 포함하는 사회적 배경을 직면하는 것이 중요하다고 강조했다. 그러므로 더 나아가 국제적 수준에서 기후변화에 직면한 재해 위험 관리의 이유는 윤리적 문제와 사회-생태계에 연결된 사람과 장소들 사이에 증가하는 연결성을 강조하게 된다.

7.2.2. 경제적 효율성

공공정책에 관한 문헌에서는 정부개입은 시장 결함과 비효율성을 해결하기 위해 정당화되며, 이 이유가 국제적 개입에도 적용될 수 있다. Stern (2007)은 시장이 없고 어긋나 있기 때문에 자원배분이 비효율적이어서 적응이 자율적으로 발생하지 않는다고 주장했다. 이 경우에서 시장은 공공재인 경우 자원들을 효율적으로 할당하지 않으며, 이때 재화는 다음의 두 가지 조건을 충족한다: 한 개인의 재화 소비는 다른 사람의 소비에 필요한 재화의 가용도를 감소시키지 않으며; 누구도 재화 이용으로부터 효과적으로 배제될 수 없다. Tompkins and Adger (2005)과 Berkhout (2005)은 수자원과 같이 어떤 영역들은 국가 규제 및 상황에 따라 공공재에서 사유재로 어떻게 바꾸는지를 논의했다. 그럼에도 불구하고, Stern 등이 제시한 (그리고 자원의 비효율적인 할당을 야기하는) 상호의존성과 공공재의 원칙들이 국제적 책임에 관한 문헌에서 자주 언급되고 있다(Stern, 2007; Vernon, 2008; Gupta 등, 2010; World Bank, 2010a).

조기경보시스템(공공재의 예로써)은 교환을 통해 기후자료를 더 효율적으로 사용하기 위한 지역과 국제 협력에 좌우될 수 있다. 기상학 분야에서 세계기상기구(World Meteorological Organization: WMO)의 후원 하에 수년 간 논의를 거쳐 일상적으로 교환되는 자료의 유형에 관한 공식적인 합의가 이루어졌다(WMO, 1995; Basher, 2006). 다른 위험 분야에서도 유사한 수준의 합의가 도출되었는데, 하천 유역 수준에서 홍수 관리를 위한 자원 및 전문지식의 공유와 같은 것들이다. 국제적 협력을 통해 효율성을 향상시킨 또 다른 예는 카리브해 국가들이 재보험료를 낮추기 위해 재해 보험 풀을 구성한 것이다(6.3.3절과 7.4절, 그리고 사례연구 9.2.13 참고).

7.2.3. 책임 분담

국제적 개입을 정당화할 수 있는 것은 효율성에 관한 주장뿐 아니라 특히 극한현상의 영향과 기후변화로 인한 변화에 대응할 수 있는 책임 분담과 연대에 대한 고려 사항들이다. 이 절은 기후관련 극한현상에 대한 적응에 관한 현재의 문헌에서 발견되는 선택된 원칙들을 참고한다: 이 주제에 관한 도덕과 윤리에 관한 문헌을 종합적으로 평가하기 위한 것은 아니다.

2000년 9월 189개 국가가 채택한 밀레니엄선언 (Millennium Declaration)은 다음과 같다: "우리는 우리의 개별 사회에 관한 책임과 별개로 인간의 존엄과 평등, 글로벌 수준의 형평성의 원칙을 유지하기 위한 공동의 책임을 갖는다. 지구적 도전은 형평성과 사회 정의의 기본 원칙에 따라 비용과 부담을 나누는 방식으로 관리되어야 한다. 고통 받거나 혜택이 가장 적은 사람들은 가장 많은 혜택을 누리는 사람으로부터 도움을 받을 자격이 있다"(UNGA, 2000).

사건 당 인명손실 및 소득 대비 자산손실 측면에서 최빈국의 국민들은 더 높은 부담을 떠안는다. Munich Re의 과거 손실 자료에 의하면, 주요 재해에 대한 저소득국가의 평균 사망자 수는 고소득국가(World Bank에 의한 구분)의 40배 가량이었으며, 저소득국가의 총국민소득 대비 직접적인 자산손실 비율은 고소득국가의 세 배였다(Barnett 등, 2008; Linnerooth-Bayer 등, 2010). 일부 극한기후(표 3-1 참고)의 빈도, 규모, 공간적 범위의 변화는 개별 국가의 위험 관리 능력을 넘어서는 손실로 이어질 수 있다(Rodriguez 등, 2009). 많은 문헌들이 실질적인 국제적 지원이 없을 경우 대부분의 취약 국가들은 극한기상 변화 및 기후변화로 인한 영향에 적응하기 어려울 것이라고 결론 내렸다(Agrawala and Fankhauser, 2008; Agrawala and van Aalst, 2008; Klein and Persson, 2008; Klein and Möhner, 2009; Gupta and van de Grijp, 2010; Gupta 등, 2010; World Bank, 2010a). 책임 분담은 취약성 및 빈곤 감소를 위한 사전 개입뿐 아니라 사후 재해 대응 및 지원의 형태를 취할 수 있다.

극한기상은 밀레니엄 선언에 표현된 밀레니엄개발목표, 특히 위험관리에서 국제개입의 직접적인 존재이유로 설명할 수 있는 극심한 빈곤과 기아 퇴치 목표의 진전을 저해한다(UNDP, 2002; Mirza, 2003; Watkins, 2007; UNISDR, 2009a) (UNISDR, 2005b; Heltberg 등, 2008). Barrett 등 (2007)은 일부 빈곤층에 대한 사전 위험관리 전략이 빈곤의 함정을 영속시키는 상황인 재앙적 손실에 의한 고통을 감소시키기 위해 개량종자에 대한 투자와 같이 예상되는 이익을 흔히 희생시킨다는 것을 보여주었다. 빈곤층은 기후변화 및 지구물리학적 위험과 같은 기타 압력, 변화하는 경제상황(예: 환율 변동) 등에 다중 노출될 가능성이 높아 비교적 가벼운 위험에 대해서도 취약성을 나타낼 수 있다(O'Brien and Leichenko, 2000).

책임 분담과 일반적인 인간 관계는 재난 후 인도주의적 지원과 가장 효과적으로 연결돼 왔으며, 밀레니엄선언은 이러한 맥락에서 자연재해에 대해 구체적인 언급을 하고 있다. 6절(취약계층 보호)은 다음과 같다: "우리는 자연재해의 결과로 인해 불균형적으로 고통을 겪는 어린이와 모든 민간인이 모든 지원과 보호를 받음으로써 가능한 빨리 정상적인 삶으로 복귀할 수 있도록 보장하기 위해 노력을 아끼지 않는다." 재난구조의 제시가 정치적으로 그리고 새로운 사업 기회 측면에서 국가에게 새로운 영향력을 발휘할 기회를 제공할 수 있다는 점에서 세계화와 함께 책임분담 원칙이 더 강화되고 있다. 정부는 민간기업이 참여하는 영리목적의 운영을 위한 인도주의적 노력에 편승할 수 있다(Dunfee and Hess, 2000).

재해는 국가의 대응 메커니즘을 무너뜨릴 수 있으며, 이 경우 연대 형태의 국제 구조와 지원이 요구된다. 인도주의적 지원은 여전히 필수이지만, 재해위험 저감을 위한 통합적 접근법을 희생하면서 재해 대응전략을 강조할 경우 취약성을 영구화시킬 수 있다(UNDP, 2002; Bhatt, 2007). 이러한 이유에서 DRR과 CCA 단체들은 균형을 바로잡고 전반적인 재해 위험 관리 비용을 줄이기 위한 사전 투자 및 계획을 강조한다(Kreimer and Arnold, 2000; Linnerooth-Bayer 등, 2005). DRR과 CCA를 더 강하게 지지하도록 인도주의 단체를 지원하는 것이 이러한 노력에 포함된다.

통상적인 우려를 넘어서, 기후변화에 크게 기여하는 국가들이 손실을 감소시키거나 보상하기 위한 비용 지불 의무를 갖는다는 주장이 있을 수 있다. 이는 '오염자 부담의 원칙'이 바탕이 된다. 또한 국가들이 가장 취약하고 기후변화 문제에 적게 기여하는 국가들을 지원해야 할 '원칙적인' 의무를 갖는다고 주장될 수 있다. 이 주장의 바탕을 이루는 표현 즉 공동의 그러나 차별화된 책임과 각자의 능력(common but differentiated responsibilities and respective capabilities: CBDR)은 국제환경법의 하나의 원칙으로서 떠올랐으며 1992 리우지구정상회의(Rio Earth Summit)와 관련해서(또한 이후 UNFCCC 서문과 제3조에서) 명확하게 표현되었다.

"국가마다 전세계적인 환경 악화에 기여한 바가 다르다는 점을 고려했을 때 국가들은 공통적이지만 차별적인 책임을 진다. 선진국은 그들의 사회가 전 지구 환경에 미친 압력과 그들이 이용하는 기술 및 재정자원의 관점에서, 국제적으로 지속가능한 개발을 추구하기 위해 부담해야 할 책임을 인정하고 있다." (리우 선언 중 원칙 7, UNCED, 1992). CBDR은 7.2.5절에서 추가로 논의된다. 여기서는 CBDR 원칙이 새로운 변화를 비롯해 전반적인 변화에 적용될 수 있는 동시에 재해가 발생하지 않거나 기후변화가 없다면 그 심각성이 덜할 것이라는 증거나 근거가 있는 경우에 한해 기후관련 재해와 관련이 있다는 점을 언급하는 것이 중요하다.

다른 문헌들(예: Adger 등, 2009; Caney, 2010)은 권리 즉 위험한 기후변화로 인해 고통을 겪지 않거나 위험한 기후변화를 피할 수 있는 권리 측면에서 기후변화와 관련된 형평성 문제를 다룬다(Adger, 2004; Caney, 2008). 국제적 연대와 높은 관련이 있는 권리 논의는 개인과 집단이 사회적 배척, 주변부 거주, 노출, 취약성으로 이어지는 프로세스를 통해 다른 사람들에 의해 부과된 위험이나 재해로부터 보호받을 권리를 갖는다는 주장으로 확대될 수 있다. 이 문헌에 의하면, 기후변화가 미치는 영향(예: 질병 부담, 영양실조, 식품안전에 미치는 영향)은 생명과 생계의 기본적인 권리를 위태롭게 만들 수 있다. Caney(2010, p. 83)도 미래의 부인할 수 없는 권리, 즉 '강제로 쫓겨나지 않을 권리'에 대해 논의했다. 그러나 이러한 논의는 경쟁적인 기본 권리들로 인해 여러 가지 난제를 제기한다(O'Brien 등, 2009).

7.2.4. 보완성

'보완성' 원칙은 국제적인 개입을 뒷받침할 수 있다. 보완성은 유럽연합에 관한 마스트리히트 조약(Treaty of Maastricht) 제 5조에 표현되어 있다(Maastricht Treaty, 1992). 이는 낮은 수준에서의 행동보다 높은 수준의 행동이 더 효율적이거나 더 필요하다고 간주되는 경우 중앙 통치 구조가 행동을 실행해야 한다는 개념에 근거한다. 보완성의 목표는 책임을 강화하고 적용 지점부터 먼 거리에 있는 곳에서의 의사결정 위험을 낮추는 것이다(Gupta and Grubb, 2000). 예를 들어, 유럽에서 보완성 원칙은 홍수와 관련된 국제적 수준 또는 국가 수준의 보호는 국경 간 집수 지역에 한해 적용되어야 한다는 것으로 해석되어왔다(Stoiber, 2006). 많은 지역과 강 유역에서 홍수위험 관리 계획이 개발되어야 하지만, 홍수 보호는 주로 국가 책임으로 인식되거나 독일이나 인도 같은 국가에서는 하위 지역(주)의 책임으로 인식되고 있다.

또한 이 원칙은 다층적 거버넌스는 정부의 모든 수준 간의 협력을 필요로 함을 인식하는 것이다 (Begg, 2008). 이러한 협력의 일례로, 2004년 아프리카연합(African Union)이 대륙 수준의 재해 위험 저감을 위한 아프리카 지역 전략(African Regional Strategy for Disaster Risk Reduction)을 개발한 것을 들 수 있다(African Union, 2010). 대륙 수준 이하에서, 즉 지역 수준 (예: 지역경제공동체 (Regional Economic Communities), 국가 수준 (예: 국가재해관리(National Disaster Management) 플랫폼), 구역 수준(예: 구역재해관리위원회 (예: District Disaster Management Committees)), 현지 수준(예: 마을개발위원회(Village Development Committees))에서 재해관리 전략이 개발되고 있다. 어떤 한 수준에서의 행동은 반사작용 방식으로 나머지 모두에게 영향을 줄 수 있다.

7.2.5. 법적 의무

7.2.5.1. 국제법의 범위, 위험관리, 적응

현대 국제법은 전쟁과 평화 시기의 공존 상태(웨스트팔리아 체제에 근거한 19세기 국제법 개념), 국가와 국민의 관계(예: 인권법), 공동 목표를 달성하고 공동 우려를 해결하기 위한 국가와 다른 국제 참여자들 간의 협력(예: 국제환경법)과 관련이 있다. 국제사법재판소규정(Statute of the International Court of Justice) 38조에 의하면 국제법은 다음의 주요 세가지 원천에 근거한다: (1) "국가들에 의해 명백하게 인정되는 규칙"으로 제정되고 신중한 협상과정의 결과인 국제조약 (2) "법으로서 인정되는 일반적인 관행의 근거"로서의 국제관습 (3) "문명국에 의해 인정되는" 법의 일반원칙(Birnie 등, 2009 참고). 이러한 조약, 국제관습법, 법의 일반원칙의 결합이 포함하는 법규범과 의무는 UNFCCC에 포함된 것과 같이 기후변화 적응을 위한 국제협력 또는 새롭게 떠오르는 국제재난구조법과 같이 자연재해에 대한 대응을 위한 국제 협력에 동기를 부여하고 그러한 협력을 정당화 및 촉진하는 데 이용될 수 있다.

경성법(hard law)의 국제적 원천 외에, 연성법(soft law) 원칙도 법률적 구속력이 없는 결의안, 지침, 행동강령의 형태로 존재하며(Chinkin, 1989; Bodansky, 2010), 국가들은 이를 법적 구속력이 없는 다른 제도로서 채택하고 있다. 경성법과 연성법은 하나의 틀을 제공하며, 이 틀 내에서 국가는 기후변화 적응 및 재해 위험 관리와 관련된 의무(경성법) 또는 책무(연성법)를 갖는다. 이들은 가뭄의 영향 완화(UN 사막화방지협약(United Nations Convention to Combat Desertification)), 적응 촉진 수단의 계획 및 실행(UNFCCC; 7.3.2절 참고), 예방책 실행(리우 선언), 인권 보호 및 촉진을 위한 국제 협력(OHCHR, 2009, Para. 84 et seq.), 재해 위험 저감을 위한 국가 법률 개발 등의 의무를 포함한다(HFA; 7.3.1 참고).

국제법은 규범 프레임워크를 제공하고 "기후변화에 대한 적절한 적응을 촉진하기 위한 수단을 실행"할 의무를 부과하는 것처럼 보인다((UNFCCC 4.1조 (b)). 그러나 한편에선 국제법 체제가 기후변화 적응 및 재해 저감 위험을 완전히 촉진할 준비가 되어 있지 않다고 주장한다. 예를 들어, 국경을 초월한 재난구조 및 회복을 위한 법적 프레임워크를 수립하는 것을 목표로 하는 국제 재해 대응법은 "영역, 지리적 범위, 정확성의 차이로 인해"(Fisher, 2007), "재해 대비와 보호, 대응과 관련해 법적 구속력이 있는 책임을 부과하는 조약을 성사시키고 수용하기를 망설이는" 국가들로 인해(Fidler, 2005) 분산된 것으로 규정되어 왔다. 또 다른 예인 국제 피난법은 환경요소로 인해 국경을 넘어 이주하는 사람들에게 난민 자격을 부여하는 근거로 환경적 요인을 인정하지 않는다(Kibreab, 1997).

7.2.5.2. 국제조약

극한기상 관련 재해 위험 관리 또는 기후변화 적응을 국제적 수준에서 다루는 국제 조약은 매우 드물다. 국제 수준에서 기후관련 위험 관리를 해소하기 위한 주요 조약인 UNFCCC는 참여자들이 적절한 적응을 촉진하고, 극한기후 관련 계획 수립을 위해 협력하도록 약속한다. 또한 참여자들에게 보험수단을 강구하도록 하고 있지만 이것이 국제적 수준의 보험 수단인지 여부는 아직 확실하지 않다. 제 4.1(b)조에서 UNFCCC 참여자들은 "기후변화에 대한 적절한 대응을 촉진하는 수단을 포함하는 국가 프로그램 및 적절한 경우 지역 프로그램을 생성하고 실행하며 정기적으로 갱신"하는 데에 합의했다. 제 4.1(e)조에서 참여자들은 기후변화 영향에 대한 대응을 준비하고, 연안, 수자원, 농업 그리고 아프리카를 비롯해 가뭄, 사막화, 홍수에 취약한 지역의 보호 및 복구를 위한 계획을 개발하고 실행하는 데에 합의했다. 제 4.8조는 참여자들에게 "자금조달, 보험, 기술이전을 포함해" 개발도상국의 특정 수요와 관심사를 충족하기 위한 행동을 고려하도록 하고 있다. 제 3.14조에서, UNFCCC의 교토의정서(Kyoto Protocol)는 재원, 보험, 기술이전의 수립을 고려하고 있다(7.4.2, 7.4.3, 7.4.4절 참고).

UNFCCC 이외에도, 사막화방지협약을 체결한 참여자들은 국제 협력과 동반자협정의 지원 하에 모든 수준에서 효과적인 행동을 실행함으로써 심각한 가뭄 및/또는 사막화를 겪는 국가들의 사막화를 방지하고 가뭄의 영향을 완화하는 것을 목표로 한다(2조).

재해완화 및 구조작업을 위한 전기통신자원 공급에 관한 탐페레 협약(Tampere Convention on the Provision of Telecommunication Resources for Disaster Mitigation and Relief Operations)은 재해구조와 관련된 유일한 다자간 협약이다(Fidler, 2005). 재해 대응을 위한 중요 장비에 대한 규제장벽을 완화하기 위한 목표로 2005년에 발효된 템페레 협약의 첫 적용은 취약국가들의 제한된 회원가입으로 인해 제한적인 성공에 그쳤다(Fisher, 2007).

7.2.5.3. 관습법과 연성법의 원칙

관습법과 연성법 원칙은 국제조약과 달리 비형식적인 과정을 통해 생성되며 규범형식으로 존재하지 않지만(Bodansky, 2010, p. 192 이하 참조), 국제조약에 반영되곤 한다. 재해 위험 저감 및 기후변화 대응을 위한 국제행동을 정당화하고 지시하는 다양한 관습과 원칙이 존재한다. 관습법으로서 체계화되기 위해선 두 가지 요소가 요구된다. 일관되고 지속적인 상태의 관행(규칙적 행동)이라는 증거와 그 관행이 법적 의무 측면(법적 확신)에서 동기를 부여 받는다는 증거가 그것이다(Bodansky, 1995). 반면 연성법의 법 원칙은 관습적인 규범이 아니며 행동 규칙성을 반영하지 않는다. 오히려 "국제법 개발 및 더 정확한 규범을 개발하기 위한 협상"을 구축하는 데 있어 중요한 집단적 포부로 표현된다(Bodansky, 2010, p. 200). 현실에서는 관습법의 규칙(법적 의무를 따르는 국가의 실제 관행을 반영)과 연성법 원칙 사이의 차이가 모호한 경우가 많다. 예를 들어, 공동의 차별화된 책임과 각 당사국의 능력 원칙은 재해위험을 해소 및 적응을 위한 재정지원에 있어 각 국가들이 차

별화된 책임을 갖는다는 주장을 뒷받침하는 예가 될 수 있는 것으로 국가 관행에 의해 지지되는 경우가 많다. 그러나 대부분의 국가가 이 원칙을 법적 의무로 인식하는지는 명확하지 않다는 점에서 법적 확신이 부족하다. 이런 점에서 공동의 차별화된 책임과 각 당사국의 능력 원칙은 관습적인 규범이라기 보다는 일반 원칙에 가까울 수 있다. 그럼에도 불구하고 공동의 차별화된 책임과 각 당사국의 능력 원칙은 관습적인 국제법의 규범이 아니더라도 국제 관계에 적용할 수 있는 원칙이다.

예방원칙에 의하면 과학적 불확실성이 환경위험에 관한 무대책을 정당화하지 않는다(Trouwborst, 2002). 이러한 원칙은 리우선언 원칙 15와 UNFCCC 제3조를 비롯한 여러 국제 제도에 명시되어 있다. 국경을 초월하는 위험을 예방하고 그러한 잠재적인 위험과 관련해 통지 및 협의할 의무를 명시한 이 원칙은 국제환경법 하에서 표현된 연성법 규범이다. 글로벌 환경과제와 같은 여러 국가 간의 문제에 대한 국가의 책임을 법률에 적용할 수 없음에 따라 더 일반적인 협력 의무가 제시되었다. UN 인권최고대표사무소(Office of the High Commissioner for Human Rights)는 "기후변화는 국제 커뮤니티의 모든 회원국의 협력을 통해서만 효과적으로 다루어질 수 있다."라고 언급했다(OHCHR, 2009). 협력의무로부터 잠재적인 환경위험을 다른 국가에게 알릴 의무가 있다. 이는 리우선언(법적 구속력이 없는 제도) 원칙 18 및 19에 반영되어 있다. 이들 원칙에 의하면 국가들은 모든 자연재해 또는 다른 국가들의 환경에 급작스럽게 해로운 영향을 미칠 수 있는 긴급상황을 다른 국가들에게 즉시 통지해야 하며(원칙 18), 국가들은 국경을 초월해 환경에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 활동으로 인해 영향을 받는 국가들에 대해 사전에 그리고 적시에 통지하고 관련 정보를 제공해야 한다(원칙 19).

7.2.5.4. 법적 구속력이 없는 제도

다수의 국제 제도는 그 성격상 법적 구속력이 없다(Raustiala, 2005). 재해구조와 관련된 대부분의 주요 국제제도는 법적 구속력이 없다. 국제적십자연맹 운동 및 재난대응 국제 NGO 행동 규범(Code of Conduct for the International Red Cross and Red Crescent Movement and Nongovernmental Organizations in Disaster Relief)(ICRe, 1995)과 국제 인도주의 단체에 의해 개발되어 구조의 질에 초점을 맞춘 스피어 프로젝트, 인도주의 헌장과 재난 대응의 최소 기준(Sphere Project, Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response)(Sphere Project, 2004) 등이 그러한 예다. 이러한 제도들은 국제 비정부단체(NGO)에 의해 생성되기 때문에 국가의 정부정책으로 인식되는 경우가 드물다는 점에서 준수 메커니즘((Fidler, 2005)뿐 아니라 적용에 있어서도 한계가 있다. 국내실향지침(Guiding Principles on Internal Displacement)(Cohen, 1998)은 재해예방 및 인간 취약성에 관한 원칙을 제시한다.

또한 국제인권장전(International Bill of Human Rights)에 표현된 국제 인권 규범은 재해 위험 저감 및 기후변화 적응에 적용돼 왔다. 특히 UN 인권고등판무관 사무소 보고서(Report of the Office of the High Commission for Human Rights)는 기후변화 및 대응수단이 생존, 적절한 음식과 물, 건강, 주택, 자기결정에 관한 권리를 비롯한 인권 실현에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 점을 언급했다(OHCHR, 2009). 이러한 권리들은 극한기상 현상에 의해 유발된 이주의 맥락에서 고려될 때 위태로워질 수 있다. 7.3.1절에서 논의한 바와 같이, HFA는 정부 및 복수의 이해관계자들의 주요 과제를 명시하고 있다. 법적 프레임워크의 개발 등이 그러한 과제의 예다(UNISDR, 2005a, 22절). HFA는 실행에 있어서의 제도적 기준에 따라 재해 위험 저감의 실행이 국가의 우선사항임을 확실히 보장하기 위한 최우선의 영역인 국제적 프레임워크이다. 적응과 관련해 13차 기후변화에 관한 국제연합기본협약체약국회의에서 발리로드맵을 통해 적응 내에서 재해 저감 전략 및 위험관리의 고려사항을 다룰 필요성이 인정되었다(UNFCCC, 2007a). 적응은 칸쿤협약에서 추가적으로 다뤄지고 있다(UNFCCC, 2010c).

7.3. 현재 국제 거버넌스와 제도

UN 및 기타 국제기구들이 주체가 되어 관리하는 수 많은 관련 프레임워크 및 규약 중 본 특별보고서와 관련해 가장 중요한 것은 재해 위험 저감을 위한 HFA와 기후변화의 부정적인 영향에 대한 적응을 포함하는 UNFCCC다. DRR과 CCA 모두 폭넓은 개발 맥락에서 발생하며 특히 개발도상국들이 직면한 과제와 관련이 있다는 점에서, 이 둘은 세 번째 중요 국제 프레임워크인 MDGs와 간접적으로 관련이 있다.

UNFCCC는 협상 1년 후인 1992년에 채택되었으며 이후 1997년 채택된 교토의정서에 의해 보완되었다. UNFCCC와 교토의정서는 각각 1994년과 2005년에 발효되었다. 한편, DDR 프레임워크가 협상 2년 후인 2005년에 구속력이 없는 제도로 채택되었다. 이 프레임워크의 기간은 2005년부터 2015년까지이다. HFA는 재해 위험 저감을 위해 기후변화를 다루는 것이 타당하다는 점을 인식하고 있다. 채택 이후 두 프로세스는 프레임워크와 접근법을 통합해서 현재의 위험관리 전략에 가치를 부가하기 위해 서로 긴밀한 협력을 시작했다. 이IPCC 특별보고서는 정부에 의해 수행된 전략의 한 예다. 이 보고서는 서로 다르지만 관련된 정책 프레임워크 내에서 운영되는 두 개 커뮤니티의 첫 번째 공식적 결과이다.

이 절은 먼저FA와 UNFCCC의 목표, 법적 성격, 실행 현황 등을 소개한다. 이후 두 프레임워크의 실행과 관련된 국제 참여자들과 기타 관련 국제적 정책 프레임워크와 기구들을 요약한다.

7.3.1. 효고 행동 계획

7.3.1.1. 태동 및 설명

1989년에 재해 영향의 저감을 위한 첫 번째 집단적 시도가, 특히 위험에 노출되기 쉬운 개발도상국가 내에서 실행되었다. 여기서 UN총회는 1990년대를 자연재해 저감을 위한 10개년 계획기간(International Decade for Natural Disaster Reduction: IDNDR)으로 지정했다(Wisner 등, 2004). 약 120개 국가위원회가 설립되었으며 1994년 첫 번째 자연재해저감을위한국제회의(World Conference on Natural Disaster Reduction)가 일본 요코하마에서 개최되었다. 이 회의를 통해 '요코하마 전략 및 행동계획(Yokohama Strategy and Plan of Action)'이 도출되어 기술 및 과학에 초점을 맞춘 정책 지침을 제공했다.

2000년 IDNDR에 뒤이은 UN 재해 저감을 위한 국제전략기구(UNISDR)는 IDNDR의 기술 및 정책 범위를 확대했다. 여기에는 사회행동, 공공의 약속, 지속가능한 개발과의 연결 강화 등이 포함된다. UNISDR 체계는 재해 위험 저감을 위한 도구와 방법을 촉진하는 한편 재해 저감 영역과 기후변화 영역 간의 협력을 권장한다. UNISDR 사무국은 재해 위험 저감에 관한 정보와 지침을 제공하는 한편 그러한 중점을 기후변화에 대한 적응 영역으로 확대해 나가고 있다. 또한 재해위험에 관한 전지구 평가를 수행하고 재해 위험 저감을 위한 국가 정책을 촉진한다. 또한 UNISDR은 국가 플랫폼 개발을 촉진한다. UNISDR의 핵심적인 기능은 재해 위험 저감을 통해 얻은 교훈과 우수 관행을 수집하고 교환하며 분석하고 전파하는 것이다(7.4.5절 참고).

2005년 1월 인도양 쓰나미가 발생한 지 3주 후, 2차 세계재해저감회의(World Conference on Disaster Reduction)가 일본 고베에서 개최되었다. 168개 정부가 효고 행동 계획 2005-2015: 재해에 강한 국가 및 커뮤니티 건설(Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters)을 채택했다. 파괴적인 쓰나미 직후에 채택된 이 프레임워크는 많은 국가에 가시적인 프레임워크를 제시했다. UN총회에서 HFA가 만장일치로 지지되었다(UNISDR, 2005a). HFA는 구속력이 있는 협약이 아니다. 즉 각국 정부들은 단순히 자발적으로 사용할 수 있는 일련의 권장사항들로써 프레임워크에 동의하고 채택한 것이다. 국제법에서 HFA는 연성법으로 설명될 수 있다.

HFA의 자발적인 성격을 자기규제 및 신뢰에 기반한 유용하고 융통성 있는 약속으로 인식하는 견해가 있는 반면 일부에선 이를 내재적인 취약성으로 간주하고 있다(Pelling, 2011, p. 44).

HFA의 전략적 목표에는 지속가능한 개발 정책 및 계획과 DRR의 통합, 위험에 대한 회복력을 구축하기 위한 제도, 메커니즘, 역량의 개발 및 강화, 긴급상황 대비, 대응, 회복 프로그램의 설계 및 실행과 재해위험 접근법의 체계적인 통합 등이 포함된다. 또한 이 프레임워크는 다섯 가지 행동 우선순위(Priorities for Action)를 제시한다.

1) DDR이 이행을 위해 강력한 제도적 근거를 갖고 국가 및 지역에서 우선되어야 함을 보장한다.
2) 재해위험을 규명, 평가, 감시하고 조기경보를 개선한다.
3) 지식, 혁신, 교육을 통해 모든 수준에서 안전과 회복력의 문화를 구축한다.
4) 근원적인 위험 요소를 저감시킨다.
5) 모든 수준에서 효과적으로 대응하기 위한 재해 준비를 강화한다.

이러한 프레임워크는 지속적인 행동에 기후변화 위험과 적응을 포함시킬 필요를 명시하고 있지 않지만, 우선순위 행동이 다위험 접근법을 통해 모든 위험을 다룬다는 점에서 기후변화 위험 및 적응을 포함한다. HFA는 기후 변동성 및 기후변화와 더불어 DRR을 DDR 전략 및 기후변화 적응에 통합하기 위해 노력하는 국가들을 포함해 다양한 참여자들의 중요 과제를 규명한다(UNISDR 2005a; UNISDR, 2009a, 2011a,b; World Bank, 2011a).

7.3.1.2. 이행 현황

본 절은 전략적 목표와 행동우선순위의 이행하는 HFA의 성과를 측정하는 데 이용된 다양한 도구를 검토한다.

HFA의 초안이 작성되었을 때 DRR 실행의 성과 측정은 논쟁의 대상이었다. 최종 합의된 문구에는 진행사항의 표적 또는 지표가 포함되지 않았지만 국가들이 각자 위험 저감의 진행사항을 감독하기 위한 지침을 스스로 개발할 것을 권장한다. 2008년 이러한 프로세스를 지원하기 위해 UNISDR은 진행사항 지표에 관한 지침을 발행했다(UNISDR, 2008). 이 지침은 국가 보고서에 이용되는 자기평가를 위한 템플릿을 제공한다. 외부의 객관적인 평가가 존재하지 않는 상태에서 '자기 평가'는 학습 경험으로써 분명한 가치가 있다. 그러나 DRR 및 CCA의 실제 경과에 관한 내부 보고서와 관련해 항상 존재하는 의혹을 피할 수 없다.

HFA 적용을 권장하는 주요 수단인 HFA 예방 모니터링 서비스 웹(HFA Monitoring Service on Prevention Web)은 주로 스스로 DRR 경과를 모니터링하는 국가들을 위한 지침으로 이용된다. 이는 지역, 국가, 지역 수준의 경과 평가를 위한 다단계 온라인 도구이다. 핵심 지표는 아래에서 언급된 바와 같이 다섯 가지 HFA 행동우선순위에 대해 측정되며 자세한 분석과 함께 글로벌평가보고서(Global Assessment Reports)를 통해 보고된다(UNISDR, 2009a, 2011a; 7.4.5절 참조). 이렇게 격년으로 발행되는 보고서 외에, UNISDR은 HFA 달성 진척의 중기 검토 보고서를 발행한다(UNISDR, 2011 b). 이 외에 경과 측정을 위한 추가적인 도구에는 DDR을 위한 전지구 플랫폼과 지역 플랫폼, 기타 유사 메커니즘에 관한 격년 보고서가 있다. 세계은행(World Bank)과 UN개발계획(United Nations Development Programme: UNDP)도 HFA를 이용해 DDR 그리고 점진적으로 CCA에 관한 국가 및 지역 프로그램 지원을 위한 지침을 제시한다(HFA는 1.3.6절과 6.3.2절에서도 논의된다).

HFA 채택 및 성과지표 개발의 결과, DDR을 다루기 위한 전지구적 노력이 더 체계화되었다. 2009년 첫 번째 재해 위험 저감에 관한 글로벌평가보고서(Global Assessment Report: GAR)가 발표되었고 같은 해 재해 저감을 위한 시민사회조직 글로벌 네트워크(Global Network of Civil Society Organisations for Disaster Reduction: GNDR)도 HFA 성과에 관한 보고서를 발표했다(GNDR, 2009). GAR은 HFA 채택 이후 재해 위험 저감의 진행사항이 전규모에 걸쳐 다양하게 나타나고 있는 것으로 보고했다. 이러한 다양성은 UNISDR이 정의한 지표에 대한 국가 정부기관들의 자기평가에 근거한다(UNISDR, 2008). 또한 이러한 지표들이 주관적인 평가를 요구한다는 점에서 국가 간 진척은 직접적으로 비교되지 않는다.

국가들은 DDR을 증진하기 위해 역량을 강화하고, 제도적 체계를 개발하고, 법제화했으며, 많은 지역에서 조기경보시스템이 실행되는 개선을 이루었다. 그러나 글로벌 평가 보고서(UNISDR, 2009a, 2011a)의 결론에 의하면 DDR은 아직 공공투자와 개발계획, 관리체계의 주류화되기 위해 진척이 필요하다. HFA가 중반기에 들어선 2010년 UN 사무총장은 이러한 우려와 관련해 재해 저감이 여전히 개발부문, 계획 부처, 금융기관의 비즈니스 프로세스에 확실히 통합되지 않고 있다고 언급했다(UNGA, 2010, p. 5).

또한 GAR과 GNDR (2009, 2011) 모두 기후변화 적응 및 빈곤 감소를 위한

국가 및 국제적 수준의 정책과 제도적 프레임워크가 아직 DDR을 위한 정책 및 제도적 프레임워크와 동기화되지 않고 있다고 언급했다. 가령 2011 GAR은 제도와 프로그램 메커니즘 간의 조정이 약하고 별도고 관리되고 있다고 보고했다(UNISDR, 2011a, p. 150).

GNDR은 생태계 관리 접근법이 위험 저감을 포함한 여러 가지 혜택을 제공할 수 있다는 점에서 DDR 전략의 핵심이 될 수 있다는 점을 알게 되었다. 그러나 많은 국가들이 피해 및 경제적 손실 위험 저감을 위한 방식으로 기본적인 위험 동인(예: 식품안전, 사회보호, 규범 및 표준 구축, 빈곤 완화, 도시 및 지방의 취약한 통치 체계, 지방의 취약한 생계문제, 생태계 쇠퇴)을 다루는 데 어려움을 겪고 있다(GNDR, 2009). 네 번째 HFA 우선순위 행동(기본적인 위험요소 저감)은 시민사회에서 가장 어려운 과제로 13개 기준 모두 평가척도에서 2점에 불과했으며 '그 중 일부는 큰 폭의 개선이 필요'했다(GNDR, 2009, pp. 24-26). GAR 또한 이러한 취약 영역을 언급했지만 국가들이 회복력 증대를 위한 메커니즘(예: 인식 개선, 교육, 훈련, 위험 평가, 조기경보시스템, 안전 구축, 거시 금융제도 내 소액보험)을 이용해 기본적인 위험 동인을 다룰 수 있는 가능성에 주목했다(UNISDR, 2009a, 2011a).

또한 2009 GAR은 영향을 받는 지역, 사건의 빈도, 보고된 손실 측면에서 기후관련 재해위험이 빠르게 확대되고 있다고 평가했다. 이러한 빈도는 발생 패턴뿐 아니라 모든 범주의 기후관련 위험에 대한 보고 개선과 관련이 있다. 데이터는 아시아 및 라틴아메리카 12개 국가(아르헨티나, 볼리비아, 콜롬비아, 코스타리카, 에콰도르, 인도의 오리사주와 타밀나두주, 이란, 멕시코, 네팔, 페루, 스리랑카, 베네수엘라)의 표본으로부터 수집되었다. 보고서는 이러한 증가가 부유한 국가와 빈곤한 국가 사이의 불공평한 위험 배분을 심화시킬 것이라고 내다보았다(UNISDR, 2009a, p. 11). 뿐만 아니라, 기후변화가 이러한 기후관련 위험의 지리적 분포와 강도, 빈도를 변화시킴으로써 가난한 국가 및 그 커뮤니티가 손실을 흡수하고 재해로 인한 타격으로부터 회복할 수 있는 능력을 넘어서는 위협을 가하고 있다고 결론 내렸다(UNISDR, 2009b). 그러나 2011 GAR은 여전히 취약성이 증가하고 있는 남아시아를 제외한 모든 지역에서 열대저기압과 홍수로 인한 사망위험이 줄어드는 의미있는 성과를 보고했다(UNISDR, 2011a, p. 28).

2009 글로벌 플랫폼의 논의뿐 아니라 2009과 2011 GAR은 성과를 측정하기 위한 노력의 일환으로 성과평가에 지역 차원을 도입했다.

GNDR에 의하면 HFA의 다섯 가지 행동우선순위의 성과를 평가한 결과, 다섯 개 우선순위 전반에 걸쳐 가장 낮은 수준의 경과를 보인 곳은 DDR에 관한 의사결정 과정에서 참여 수준이 가장 낮은 커뮤니티였다(GNDR, 2009). 이러한 결과는 지역 수준에서의 정책 실행을 위해서 국제적 수준의 정책 수립과 국가 수준의 정책 수립 간의 더 강한 연결이 필요하다는 점을 시사한다. 가뭄, 홍수, 열대폭풍의 예측을 위한 계절적 및 장기적인 조기경보시스템(EWS) 개발은 큰 진전이 있었다. 이러한 시스템은 생명과 재산 보호에 효과적인 것으로 입증되었다. 2009 GAR에서 EWS 상태가 평가되었다(UNISDR, 2009a, p. 127 Box 5.2). 이는 WMO에 의해 수행된 EWS 진행상황 평가에 근거한다(WMO, 2009). 사이클론 및 홍수의 영향 저감에 있어서 EWS 효과의 전형적인 예는 모잠비크(2007년 사이클론에 대해 처음으로 EWS 테스트)와 방글라데시(지난 30년 이상 지속적으로 홍수 및 사이클론 EWS 개발)에서 찾을 수 있다(Paul 등, 2010; 또한 사례연구 9.2.11 참고).

핵심적인 발견은 교육 및 지식공유(토착 및 전통에 관한 지식 포함)의 중요성과 특정 부문에 대한 모범적인 도구 및 국제 기준에 대한 쉽고 체계적인 접근의 보장과 관련이 있다(7.4.5절 참고). 국가 개발 계획 및 빈곤 감소 전략에서 핵심 정책 및 프로그램 목표로서 DRM과 CCA를 위한 프레임워크와 정책을 조화시키고 연결시키면 잇점이 있다는 것이 인식되고 있다. 또한 DRM 정책은 기후변화를 고려할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 많은 국가들이 재해예방 및 대응의 결점을 해소하기 위한 역량, 제도적 체계, 법률 강화에 있어서 큰 진전을 이루었다(GNDR, 2009; UNISDR, 2009a).

중기 HFA 평가 준비에 있어서 UNISDR 사무국은 "재해 위험의 저감 기준"을 수립하기 위해 문헌 검토를 의뢰했다. 그 결과 UNISDR 사무소 및 협력 단체 (NGO와 국제개발은행)의 보고서를 중심으로 47개의 주요 문서가 파악되었다(UNISDR, 2011b).

HFA 중반기 평가(HFA Mid-Term Review) 2010-2011은 두 가지 중요한 국제적 이슈를 제기했다. 첫 번째, 모든 수준에서 DDR과 관련해 취해진 행동과 달성된 성과를 측정하기 위한 책임메카니즘 개발이 필요하다는 것이다. 두 번째, 국제 커뮤니티에서 HFA 시행을 지원하기 위한 보다 일관되고 통합된 접근법을 개발하기 위한 필요성이다. 평가는 다양한 국제 참여자들 간에 행동의 연결이 필요하다는 점을 제시하고 있다(UNISDR, 2011 b).

그러나 재해 저감의 국제적 경과를 평가하기 위한 이러한 모든 수단(국가 경과 보고서, 2009 및 2011 GAR, GNDR 보고서, HFA 중기 평가)은 모두 참여 기관들에 의해 내부적으로 생산되었다는 점을 인식할 필요가 있다. 자문위원회 및 동료 평가를 이용하긴 했지만 모두 자가평가를 포함한다는 것이다. GNDR의 보고서는 UN 및 정부와 완전히 독립적으로 발행되었지만 과학적으로 정확한 평가라고 단언할 수는 없다. 국가 HFA 보고서는 온라인(www.preventionweb.net/english/hyogo/progress/pid:73&pih:2)을 통해 제공된다.

위에서 언급된 연구들 모두 HFA 성과 평가를 시도했지만 평가 받는 활동 또는 기관으로부터 완전히 분리된 것은 없다. 또한 어떠한 연구도 다른 다자기구와 비교해 주체 조직인 UNISDR의 성과를 구체적으로 평가하지 않았다. 본 보고서는 2011년에 영국의 원조기구인 국제개발부(Department for International Development: DFID)가 발표한 다자간 원조평가(Multilateral Aid Review)에 포함되었다. 이 평가의 목적은 43개 다자기구의 성과를 조사함으로써 영국 원조를 위한 자금 가치의 극대화를 보장하는 것이었다. 이 평가에 의하면 UNISDR은 43개 다자기구 중 43번째였다(DFID, 2011).

이러한 독립적인 비교 평가는 설립 이후부터의 UNISDR에 대한 평가를 포함할 뿐 아니라 DDR과 관련해 지지 및 인식 개선에 있어 성공을 거둬 온 세 개 글로벌 플랫폼의 글로벌 조율 기관으로서 UNISDR의 강점을 파악했다. 그러나 이 평가를 통해 UNISDR의 결점도 파악되었다. 국제적 조율에 있어서 부진한 성과, 특정 지역이 아닌 넓은 범위에 초점을 맞춰야 하는 글로벌 사명과 달리 국가 수준의 대응에 초점을 맞추는 경향이 이러한 결점에 포함되었다. 또한 평가 보고서는 전략적 고려사항에 대한 부적절한 관심과 리더십 실

패에 대한 비판과 함께, 전략 및 실행 계획에 있어 UNISDR 사명에 명확한 비전이 없으며 결과기반 프레임워크의 부재로 인해 투입 대비 산출 결과를 측정하기 어렵다고 보고했다(DFID, 2011, p. 211).

UNISDR은 2009년에 UNISDR이 요청한 외부 평가뿐만 아니라 UN감사에도 비판이 반영되어 있으며 현재 관리 및 혁신 프로그램에 그에 따른 변화가 포함되어 있다고 언급함으로써 그 평가에 대응했다(UNISDR, 2011 c).

위험 저감 및 기후변화 적응의 경과를 모니터링하기 위해 채택된 수단(내부 또는 외부, 자기 평가, 동료 검토)이 무엇이든, 재해 이전에 DRR 및 CCA를 측정하는 데 있어 내포된 문제들이 인식되어야 한다. 객관적이고 과학적인 측정수단인 경우에도 주어진 구조적 또는 비구조적 수단이 실제로 극한 위험 하에서 사람과 재산에 필요한 수준의 보호를 제공할 것인지 여부를 정확하게 판단하기는 쉽지 않다. 구조적 시험을 수행할 수 있고 모의 연습은 경보시스템이나 준비성의 효과를 테스트하는데 유용할 수 있지만, 그런 성과 테스트는 기껏해야 재해 현실의 근사치를 추정할 수 있을 뿐이다. DRR 및 CCA 적용에 대한 근본적인 테스트는 다음 재해의 영향이 발생할 때까지 기다릴 수 밖에 없다. 그러나 이러한 한계가 있다고 해서, 기존 지식의 상한선 내에서 객관적이고 과학적인 방법으로 진행상황을 모니터링하고 측정하기 위한 필요성이 없어지는 것은 아니다.

7.3.2. UN기후변화협약

7.3.2.1. 태동 및 설명

UNFCCC는 기후변화 해결을 목표로 하는 다자간 조약이다. UNFCCC의 궁극적인 목표는 제 2조에 기술되어 있다(UN, 1992; Oppenheimer and Petsonk, 2005 참고):

> "기후시스템의 위험한 인위적 간섭을 방지할 수 있는 수준으로 대기의 온실가스 농도를 안정화하는 것이다. 그리고 이는 생태계가 자연적으로 기후변화에 적응하고 식량 생산이 위협받지 않으며 지속가능한 방식으로 경제발전이 가능하도록 충분한 시간 프레임 내에서 달성되어야 한다."

UNFCCC는 1991년 2월부터 1992년 5월까지 협상되었으며, 1992년 6월 리우데자네이루에서 열린 UN환경개발회의(UN Conference on Environment and Development)에서 체결되었다. 이후 1994년 3월 21일 발효되었으며 1995년부터 매년 UNFCCC 당사국총회(Conference of the Parties: COP)가 열리고 있다. UNFCCC의 규칙, 제도, 절차는 다른 곳에서 자세하게 설명되고 있다(예: Yamin and Depledge, 2004; Bodansky, 2005). UNFCCC 하에서 우선순위로서 적응의 개발이 Schipper에 의해 분석되었다(2006).

UNFCCC 및 이후 실행에 관한 협상의 주요 취지는 기후변화의 완화다. 모든 정책과 수단은 이산화탄소(CO_2)와 같은 온실가스 배출을 줄이고 산림, 해양, 지하 저장고 등에 이를 보유 및 억류하는 것을 목표로 한다. Schipper(2006)에 의하면 초기에 기후변화에 대한 적응은 우선순위가 낮았지만 현재 UNFCCC의 다양한 헌신의 대상이 되고 있다(Box 7-1 참고). 종합적으로, 이러한 헌신은 기후변화 위험의 체계적인 성격과 적응에 관한 경제적 효율성, 보완성, 연대와 관련된 원칙을 인정한다.

1997년 3차 당사국총회에서 채택되어 2005년 발효된 교토의정서는 37개 산업 국가 및 유럽연합에 대해 1990년에 비해 2008년부터 2012년까지 온실가스 배출을 1990년에 비해 평균 5%까지 낮추기 위한 구속력 있는 목표를 설정하고 있다. 적응은 교토의정서에서 거의 다뤄지지 않지만 다음 두 가지 예외가 있다. 제 10(b)조는 당사자들이 기후변화를 완화하고 기후변화에 대한 적절한 적응을 촉진하기 위한 수단을 포함하는 국가 프로그램 그리고 적절한 경우 지역 프로그램을 수립하고 실행하며 발표하고 정기적으로 갱신해야 한다고 명시하고 있다. 청정개발체제(Clean Development Mechanism) 제 12.8조 는 후에 적응기금이 그 토대를 제공한다(7.4.2절 참고).

7.3.2.2. 이행 현황

현재까지 HFA 하에서 UNISDR이 진행상황을 평가한 방식으로 UNFCCC 하에서 적응에 대한 진행상황을 전반적으로 평가한 적은 없다. 그러나 UNFCCC 당사자들은 국가 간 커뮤니케이션을 통해 적응을 비롯한 UNFCCC 실행을 위한 활동을 제출해야 한다. 일반적인 보고 템플릿이 없기 때문에 보고서는 내용 면에서 매우 다양하며 집계 또는 비교 문제를 발생시킨다. 또한 COP 연례 회의는 국가들이 UNFCCC 하의 자신의 약속에 대한 경과를 스스로 평가하고 향후 실행을 위해 협상하고 새로운 결정을 채택할 수 있도록 허용했다. 2011년 6월까지 총 195 개 UNFCCC 당사자들이 존재했다: 194개 국가와 1개 지역 경제 통합기구(유럽연합).

1990년대, UNFCCC 협상에서는 물론 학계에서도 적응에 대한 관심은 매우 낮았다(Burton 등, 2002). 2001년 '지속가능한 개발 및 형평성 맥락에서의 기후변화 적응'을 포함하는 IPCC 3차 평가보고서가 발행되면서 관심이 증가하기 시작했다. 또한 2001년 COP7은 개발도상국에서의 적응을 촉진할 활동에 개략적으로 제시한 결의안(5/CP.7)을 채택했다. 여기엔 최빈국에 의한 국가적응 행동 프로그램(National Adaptation Programmes of Action: NAPA)의 대비도 포함된다. 이를 위해 COP7은 세 개의 기금 즉 개발도상국의 적응을 지원하기 위한 최빈국기금(Least Developed Countries: LDCF), 특별기후기금(Special Climate Change Fund: SCCF), 지구환경기금(Global Environment Facility: GEF)의 신탁기금 하의 적응을 위한 운영접근법의 전략적 우선순위화(Strategic Priority 'Piloting an Operational Approach to Adaptation: SPA)를 설립했다. 또한 COP7은 적응기금(Adaptation Fund) 운영을 위한 첫 단계를 취했다(Huq, 2002; Dessai, 2003; Mace, 2005). 7.4.2절은 기후변화 적응을 위한 국제적 자금지원에 관해 더 많은 정보를 제공한다.

2001년 이후 많은 결의안들이 연이어서 UNFCCC 하의 기후변화 적응에 대한 우선순위를 높였다. Decision 1/CP.10은 Decision 5/cP.7를 토대로 하며, 개발도상국에서의 적응 지원 필요성을 반복했으며 지역별 컨설팅 프로세스를 시작했다. Decision 2/CP.11에 의해 영향, 취약성, 적응에 관한 나이로비 작업 프로그램(Nairobi Work Programme)이 수립되어 2006-2010년에 걸쳐 운영되었다. 현재 다음 단계가 고려 중에 있으며 2011년 더반에서 열리는 COP17에서 결정될 예정이다. 나이로비 작업 프로그램의 목

Box 7-1 | UNFCCC에 포함된 기후변화 적응을 위한 헌신

제 4.1조 모든 당사자는 공동의 차별화된 책임과 각 국가 및 지역 개발 우선순위 목표 및 환경을 고려하여:

(b) 발생원별 인위적 배출 해결 및 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에 의해 관리되지 않는 모든 온실가스의 흡수원(sink)을 통한 제거를 통해 기후변화를 완화하기 위한 수단과 기후변화에 대한 적절한 적응을 촉진하기 위한 수단을 포함하는 국가 프로그램 그리고 적절한 경우 지역 프로그램을 수립하고 실행하며 발표하고 정기적으로 갱신해야 한다.

(e) 기후변화 영향에 대한 대응을 준비하고, 연안, 수자원, 농업 그리고 아프리카를 비롯해 가뭄, 사막화, 홍수에 취약한 지역의 보호 및 복구를 위한 계획을 개발하고 실행하는 데 협력한다.

(f) 관련 사회, 경제, 환경 정책 및 행동에서 실현 가능 가능한 수준에서 기후변화를 고려하고, 영향 평가 등을 비롯해 경제, 공중위생, 환경의 질에 미치는 부작용을 최소화하기 위한 목적으로 국가 수준에서 수립되고 결정된 적절한 정책을 채택하며 기후변화를 완화하거나 기후변화에 적응하기 위한 프로젝트나 수단을 고려한다.

제 4.4조 부속서 2에 포함된 선진국 당사자들과 기타 개발도상국 당사자들은 특히 기후변화의 악영향에 취약한 개발도상국들이 필요로하는 비용을 지원해야 한다.

제 4.8조 당사자들은 협약 하에서 개발도상국 당사국들의 특정 필요와 관심사를 충족하기 위한 재정 지원, 보험, 기술이전 관련 행동들을 포함하여 협약에서 어떠한 행동이 필요한지를 충분히 고려해야 한다[...].

제 4.9조 당사자들은 기금 조성과 기술 이전과 관련해 행동을 실행함에 있어서 최빈국의 특정 필요와 특정 상황을 고려해야 한다.

표는 (i) 영향, 취약성, 적응에 대한 이해 및 평가를 개선하고 (ii) 현재 및 미래의 기후 변화 및 취약성을 고려해 건전한 과학적, 기술적, 사회경제적 토대에서 기후변화에 대응하는 적응행동 및 수단과 관련된 의사결정을 수행하기 위해 개발도상국을 비롯한 모든 당사자들을 지원하는 것이다(Decision 2/CP.11). 나이로비 작업 프로그램은 당사자들과 정부간 기구, 비정부기구, 민간 부문, 커뮤니티, 기타 이해관계자에 의해 실행된다. 나이로비 작업 프로그램은 9개 작업 영역 중 몇 가지는 특히 '기후관련 위험과 극한 현상' 및 '적응 계획 및 관행'을 비롯한 DRR과 CCA와 관련이 있다

2009년 12월 코펜하겐에서 COP는 2007년 12월 합의된 Decision 1/CP.13(발리로드맵(Bali Action Plan)으로도 불림)을 이용해 5차 회의에서 합의된 결과를 도출하고 결의안을 채택하기 위해, 장기적인 협력 행동을 통해 "완전하고 효과적이며 일관된 협약의 실행을 가능하게 하는 종합적인 프로세스"를 출범했다(COP15). 발리로드맵은 완화와 적응에 공평한 우선순위를 부여하며 개발도상국의 기후변화 대응과 관련해 기술과 금융을 핵심 메커니즘으로 파악했다(Clernencon, 2008; Ott 등, 2008; Persson 등, 2009). 발리로드맵은 다섯 가지 주요 영역에서 적응 강화 필요성을 인식했다.

1) 적응 행동의 긴급한 실행을 지원하기 위한 국제협력. 여기엔 취약성 평가, 이행의 우선순위화, 재정수요평가, 역량, 구축, 대응 전략, 적응행동을 부문 및 국가계획으로의 통합 등을 통한 실행을 포함한다[...]
2) 보험과 같은 위험 공유 및 이전 수단을 포함하는 위험 관리 및 위험 저감 전략
3) 개발 도상국가(특히 기후변화의 악영향에 취약한 국가)에서 기후변화 영향과 관련된 손실 및 피해를 해결하기 위한 수단 및 재해 저감 전략
4) 회복력 구축을 위한 경제 다각화
5) 협약의 촉매 역할 강화 방식. 즉 일관되고 통합된 방식으로 적응을 지원하기 위한 수단으로서 다자 기구, 공공 및 민간 부문, 시민사회에 시너지 창출 활동 및 프로세스를 권장하는 방식.

COP15에서는 어떠한 합의도 도출되지 않았으며 위의 다섯 가지 문제를 비롯해 어떠한 결의안도 채택되지 않았다. 대신 COP는 코펜하겐 협정(Copenhagen Accord)에 주목하기로 결의했다. 당사자들 간의 합의가 존재하지 않으며 구속력이 없는 코펜하겐 협정은 발리로드맵에 비해 적응을 중요하게 다루지 않는다(Bodansky, 2010; Grubb, 2010; Klein, 2010). 그러나 7.4.2절에서 언급한 바와 같이 코펜하겐 협정(Copenhagen Accord)은 완화와 적응을 위한 자금 지원 확대를 위한 이정표 역할을 했다.

2010년 Decision 1 /CP.16(칸쿤협약의 일부)은 칸쿤적응체제(Cancun Adaptation Framework)를 확립했다(Cozier, 2011). 이는 모든 당사자들이 계획, 실행, 역량 강화, 지식개발과 관련된 9개 행동 강령을 취함으로써 적응을 위한 조치를 강화하도록 촉진한다. 여기엔 지역 또는 국가, 하위지역, 지역 수준에서 효고 행동 계획 고려해 기후변화 관련 재해위험 절감 전략(조기경보시스템, 위험 평가 및 관리, 보험과 같은 공유 및 이전 메커니즘 등)을 실행하는 노력이 포함된다. 이 외에도 Decision 1/CP.16은 (i) 최빈국과 기타 개발도상국이 국가 적응계획을 생성하고 실행할 수 있도록 지원하는 프로세스 (ii) 기술을 지원하고 관련 정보를 공유하며 시너지를 촉진하고 다음 단계 행동을 위해 필요한 금융, 기술, 역량 구축을 위한 권장사항을 제시하는 적응위원회(Adaptation Committee) (iii) 개발 도상국가(특히 기후변화의 악영향에 취약한 국가)에서 기후변화 영향과 관련된 손실 및 피해 해결과 관련해 접근법을 고려하기 위한 작업 프로그램을 수립했다.

또한 Decision 1/CP.16은 기술집행위원회(Technology Executive Committee)와 기후기술센터 및 네트워크(Climate Technology Center and Network)로 구성된 기술메커니즘(Technology Mechanism)을 수립했다. 이러한 기술 메커니즘은 완화 및 적응을 위한 기술의 연구개발, 시연, 배치, 보급, 이전 등을 비롯한 기술 사이클의 다양한 단계에서 행동을 가속화한다. 마지막으로 Decision 1/CP.16은 UNFCCC 제 11조 하에서 금융 메커니즘을 운영하는 새로운 실체로서 녹색기후기금(Green Climate Fund)을 설립했다.

UNFCCC 하에서 국제 적응 정책의 전개는 협상에서 적응의 중요성이 커지고 있으며 관련 COP 결의안의 구체성 및 명확성 수준이 증가하고 있다는 사실을 보여준다. 또한 이는 UNFCCC 하의 적응이 칸쿤협약에서 분명하게 언급한 효고 행동 계획의 재해 위험 저감 노력과 관련이 있음을 보여준다. 그러나 Decision 5/CP.7에서 부터 Decision 1/CP.16까지 전개되기 까지는 10년이 소요되었다.

7.3.3. 현재 참여자

다양한 참여자들이 국제적 수준에서 DRM과 CCA에서 역할을 수행하고 있다. 이 절은 종합적인 평가 대신 DRM과 CCA 사이의 접점에서 지원을 제공하는 국제 사회들을 살펴보고 각 범주의 주요 참여자에 대해 설명하며 해당 사항이 있을 경우 그러한 역할 수행의 강점과 약점에 관한 독립적인 평가에 대해 요약 설명한다.

7.3.3.1. 재해 위험 관리와 기후변화 적응의 연결을 위한 국제 조정

DRM과 CCA를 실행하고 그 둘을 상호연결시키는 데 관여하는 참여자가 필수라고 여기는 행동과 참여자의 다양성을 고려했을 때, 효과적인 국제 협력이 중요하다. 전반적으로 현재 시스템은 취약하다. 2009년 재해 위험 저감에 관한 글로벌 평가보고서(Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction)는 "재해 위험 저감, 빈곤 감소, 기후변화에 대한 적응을 위한 노력이 적절하게 조율되고 있지 않다" (UNISDR, 2009a)라고 언급한다.

DRM에 기여하는 DRR을 위한 주요한 조율 메커니즘은 재해 위험 저감을 위한 국가 및 커뮤니티를 지원하는 시스템 개발을 목표로 한다. 이러한 파트너들에는 정부, 정부간 기구, NGO, 국제금융기관, 과학 및 기술 기구, 특수 네트워크, 시민사회, 민간 부문이 포함된다. 전 수준에 걸친 다양한 이해관계자 중에서도 국가 정부는 가장 중요한 역할을 한다. 국가 조율 메커니즘 개발에서부터 재해 위험 저감의 상태에 관한 기준 평가 수행, 국가 프로그램의 발행 및 요약정보 개신, 효고 행동 계획의 목표 및 우선순위 달성을 위한 국가의 진행상황 평가, 관련 국제 법의 실행, 재해 위험 저감과 기후변화 전략의 통합 등이 정부의 역할에 속한다. 정부간 기구는 DRR 프로그램 촉진, 개발계획과의 통합, 역량구축을 비롯한 지원 역할을 수행한다. 계획 및 실행의 일차적인 역할은 국가 정부가 수행하지만 지역 및 전지구 수준에서 지원, 모니터링, 정보 공유 역할을 수행하는 것은 UNISDR 사무국과 기타 정부간 기구라는 사실은 보완성의 원칙에 부합한다.

UNISDR은 기후변화 대응에서 DRR의 역할을 지지하고 DRR과 CCA의 연결에 관한 과학적인 평가를 지원하는 방식으로 DRR과 CCA 연결을 위해 구체적인 노력을 기울여 왔다(본 보고서에 포함됨). DRR과 CCA의 연결에 있어서 UNISDR의 효율성을 다룬 두 개의 평가가 최근 발행되었다. 재해 위험 저감을 위한 UN 사무총장 특별대표와 UNISDR에 대한 주요 원조기구들은 사무국의 성과와 관련해 독립적인 평가를 요청했으며 그 결과가 2010년에 발행되었다(Dalberg, 2010). 이 평가는 전반적인 UNISDR의 효율성(특히, 지지 및 인식 개선, 전지구적이고 지역적인 플랫폼 수립, 기후변화 정책에 대한 DRR의 통합에 기여한 측면에서)을 보증했다. 그러나 한편으로는 CCA 실행 내 비교우의의 정의 부족, 기후변화 적응 및 더 넓은 의미의 DRM 개념 에서 DRR에 대해 할당된 자원 및 포커스의 균형 등을 비롯한 어려움 강조되었다. 또한 평가를 통해 조율의 실행(특히 국가 수준에서 UN 국가팀(UN Country Teams), 세계은행, 기타 관련 파트너와의 효율적인 조율 필요성)과 새로운 프로그램이 완전히 실행되고 그것이 지속가능한지 여부에 대해 어려움이 제기되었다.

영국 정부는 2011년 UNISDR 사무국과 기타 다자간 기구의 성과 평가를 발표했다(DFID, 2011). 평가는 UNISDR의 전반적인 운영과 조직 강점에 대해 비판적인 입장을 취하며 결과 기반의 프레임워크 부족과 전략적 방향, 조율에 대한 초점, 개혁 속도의 취약성을 지적했다. 그러나 한편으론 UNISDR의 차별적인 역할을 강조하며 "기후변화, 그 중에서도 특히 적응에 초점을 맞추었다"라고 평가했다.

CCA 측면에서 이해를 높이고 모범관행을 공유하기 위한 주요 글로벌 메커니즘은 UNFCCC 사무국에 의해 조율되는 나이로비 작업 프로그램(Nairobi Work Programme: NWP)이다(UNFCCC, 2010a; 7.3.2.2절 참고). NWP는 주로 이해 당사자를 위한 포럼과 '행동약속' 및 정보의 공유, 시너지, 보급을 통해 CCA에 기여하는 바를 명시하기 위한 조직으로서의 기능을 한다. NWP 내에서 재해 위험 저감은 적절하게 표현되어 있다. 즉 NWP는 DRR을 명시된 14개 적응 실행 활동 중 하나로 인식하며 DRR과 CCA의 연결, 위험 매핑, 적응 대안의 비용 편익 분석 등과 같은 영역의 업무 강화를 위한 관련 행동 요구를 제시하고 있다. 파트너에 의한 137개의 행동 서약 중 59개가 DRR 요소를 포함했다. 당사자들에 의한 NWP 평가가 실행 중에 있지만 아직 정책 및 실무, 정보교환을 지원하는 정도에 대한 공식적인 평가는 이루어 지지 않고 있다.

7.3.3.2. 국제적 기술과 운영 지원

오늘날 DRM과 CCA는 국제 협력 활동뿐 아니라 국제 기술 및 운영 지원과도 연결되기 시작했다.

7.3.3.2.1. 재해 위험 저감과 기후변화 적응을 위한 기후 서비스

국가 기상 및 수문 서비스(National meteorological and hydrological services: NMHS)는 재해 위험 관리와 기후변화 적응 모두와 관련된 시간

Box 7-2 | 국제 개발 맥락에서 재해 위험 관리와 기후변화 적응 신

극한기상 및 기후변화에 대한 취약성은 소득수준과 분배, 지원제도, 특정 부문의 역량을 비롯한 사회경제적 개발에 의해 결정된다. 반대로, 기후변화의 영향(극한기상 현상 빈도의 증가로 인한 영향 포함)은 경제 발전을 방해할 수 있다(Stern, 2007). 상대적으로 가난하고 고립되어 있으며 좁은 범위의 경제활동에 의존적인 국가들이 특히 그러한 충격에 취약하다(UNISDR, 2009a). 이러한 점에서 기후변화 적응, 재해 위험 저감, 지속가능한 개발의 목표는 복잡하게 연결되어 있다. HFA와 UNFCCC가 CCA 및 DRR을 위한 주요 국제 프레임워크지만 다양한 범위의 다른 정부 및 제도 메커니즘도 중요한 영향을 미친다. 이러한 메커니즘은 세계무역기구(World Trade Organization) 협약(적응을 위한 개발 및 잠재적 기술 이전에 영향을 미침, WTO, 2011)에서부터 국제보건규칙(International Health Regulations)(콜레라와 같이 기후에 민감한 전염병의 국경 간 확산을 관리하는 방법에 영향을 미침, WHO, 2007), 국제 인도주의 단체의 행동규범(예: 재난구조를 위한 국제적십자운동 및 NGO 행동규범(Code of Conduct for the International Red Cross and Red Crescent Movement and NGOs); ICRC, 1995))에 이르기까지 다양하다.

국가 수준의 개발계획 수립에 있어서 빈곤 감소 전략과 같은 접근법이 중요하지만, 글로벌 개발목표의 규정을 위한 중앙 프레임워크는 밀레니엄 선언과 그와 관련한 MDG임에 틀림없다. 이는 모든 UN 회원국뿐 아니라 23개 국제단체들에 의해 합의되었으며 2015년을 목표로 한다(UN, 2011). 또한 이는 4,000만 달러에서5,500만 달러에 이르는 부채를 탕감하기 위한 다자간부채탕감방안(Multilateral Debt Relief Initiative)(IMF, 2011)과 국민총소득의 0.7%를 해외개발원조에 지원하기로 합의한 선진국들의 원조 약정 같은 국제원조협약에 의해 뒷받침되고 있다. 8개 MDG는 정량화할 수 있는 21개 목표로 구분되며 이러한 목표는 60개 지표로 측정된다(UN, 2011).

DRM와 CCA 모두 MDG에서 명확하게 다뤄지지 않는다. 그러나 실제로는 이들은 강하게 연결돼 있다. 첫째, 재해가 발생하면 많은 목표들에 걸쳐 진전이 방해될 수 있다. 둘째, MDG를 향한 진전은 극한기상 현상 및 기후변화에 대한 회복력 증대에 도움이 될 수 있다(Schipper and Pelling, 2006). 이러한 점에서 MDG 내에서 CCA와 DRM의 연결은 국제 개발의 일관성 측면에서 중요하며, 효고 행동 계획의 목표일은 MDG의 의도된 완료일과 일치한다(UNISDR, 2005b).

예외가 있기는 하지만 대부분의 LDC(특히 사하라 이남 지역에서)는 현재 MDG 달성에서 벗어나 있다(UN, 2011). 이는 부분적으로 해당 국가들의 재무적, 구조적, 제도적 취약성이 원인이다. 또한 대부분의 선진국들이 원조 목표인 0.7%를 달성하는데 실패한 것도 원인이다. 이러한 점에서 MDG목표 달성 실패 또는 지연은 극한기상 및 기후변화에 대한 취약성의 원인이자 결과이다(UNISDR, 2005b).

의 척도에 기상 관측 및 예측을 제공하는 주요 원천이다. 이러한 국가 서비스는 국제 표준을 설정하고 회원간의 조율을 실행하는 WMO의 회원을 구성할 뿐만 아니라 재해 저감 및 서비스 전달 부문 그리고 기후 예측과 적응 부문을 포함한 여러 관련 국제 프로그램을 지원한다. 제 프로그램을 지원하는 역할을 한다.

최근 다수의 연구에 의해 파악된 바에 의하면, 특히 가장 취약한 국가들에 있어서 국가와 국제적 수준에서 NMHS로부터 이용 가능한 잠재적으로 관련된 정보의 많은 양이 개발 결정에 통합되는 방식으로는 취약하다. 예를 들어 이러한 문제와 관련해 아프리카 지역의 '갭 분석'은 (i) 정책으로의 기후 통합; (ii) 실행으로의 기후 통합; (iii) 기후 서비스; (iv) 기후자료에서 격차를 파악하고 "문제는 시장의 위축 즉 개발결정을 위한 기후 서비스의 불충분한 공급과 결합된 미미한 수요"라고 결론 내렸다(IRI, 2006). 특정 부문에 대한 연구(예: 건강: Kuhn 등, 2005), 또는 지역수준의 연구(Vogel and O'Brien, 2006)는 데이터 생성이 아닌 지식 관리에 주요 결함이 있다고 결론 내렸다. 이들의 결론에 의하면 의사결정자가 정보 욕구를 파악하고 날씨 및 기후 정보 공급자 그리고 그러한 욕구를 해결하기 위해 인간과 사회의 취약성이라는 다른 영역에서 활동하는 기관들과의 협력을 촉진하는 보다 효율적인 메커니즘이 요구된다.

기후 취약성 및 변화에 대한 종합적인 접근법의 필요성과 수요 주도형 기후 서비스로의 추진에 대응해, 2009년 3차 세계기후회의(World Climate Conference)는 기후서비스에 대한 글로벌 프레임워크(Global Framework on Climate Services: GFCS) 개발을 시작했다(WMO, 2010). 이 프레임워크의 목표는 "전세계적으로 기후 위험관리 및 기후변동성에 대한 적응을 위한 관련 과학 기반의 기후정보와 예측정보를 개발하고 공급하는 것"이다. 기후변화(대개 CCA와 관련) 및 위험관리 결정 지원(DRR과CCA 공통) 맥락에서 프레임워크는 기후 변동성(대개 DRR과 관련)과 분명하게 연결된다. GFCS는 네 개의 주요 요소로 구성된다: 이용자 상호작용 메커니즘(User Interaction Mechanism); 세계 기후서비스 시스템(World Climate Services System); 기상연구(Climate Research); 관측 및 감시(Observation and Monitoring). 프로그램은 취약한 개발도상국을 중심으로 기후정보에 대한 접근 및 이용 개선에 초점을 맞출 예정이다. 프로그램의 원칙과 주안점은 국제수준 및 더 작은 규모의 수준 전반에 걸쳐 운영 계획수립에서 DRM과 CCA의 연결 목표와 긴밀하게 대응된다. 2011년 5월 15차 WMO 회의는 "GFCS의 이행을 지원하고 촉진하는 것을 기구의 우선순위로 한다"고 약속했으며,

여기엔2012년에 검토와 채택을 위한 이행계획 개발을 포함된다.

7.3.3.2.2. 시민사회의 기술과 운영 지원

재해 위험 관리 및 인도주의적 대응에 참여하는 가장 규모가 큰 몇몇 국제시민사회기구들은 기후변화 적응 활동을 운영 프로그램에 통합하기 시작했다(예: CARE International, 2010; Oxfam, 2011). CCA 및 DRM 통합을 위한 기술지원을 제공하는 가장 오래된 시민사회의 예는 적십자/적신월사 기후센터(Red Cross/Red Crescent Climate Centre)이다. 인식 개선 및 지지와 함께 기후센터는 예측정보를 분석하고 기후위험에 관한 지식을 기후센터 전략과 계획, 활동에 통합하며 커뮤니티 수준에서의 실행에 초점을 맞춘다(IFRC, 2011).

DDR과 관련된 다양한 시민사회 단체들은 현재 각자의 운영 지원을 조율하고 CCA와의 분명한 연결을 구축하기 시작했다(UNISDR, 2009a). 2007년 출범한 GNDR은 90개국에 걸친 300개 이상의 단체로 구성된다. GNDR의 목표는 (1) DDR 공공정책 형성에 대한 영향력 발휘(개발) (2) 효과적인 정책관리를 위한 공공의 책임 증대(실행) (3) 커뮤니티 기반의 DRR을 위한 자원 및 정책적 의지 조성(동원)이다. GNDR의 다섯 개 핵심 전략 중 하나는 DRR과 기후변화 간의 기본적인 위험 요소(지속가능한 개발)를 해결하기 위한 시너지를 창출하는 것으로, 여기에는 지역 수준의 기후 적응을 위한 DDR 감시 인프라 채택과 UNFCCC COP 협상에의 입력을 포함한다. 최근 출범한 것을 감안하여 아직 효율성에 관한 평가는 이뤄지지 않았다.

7.3.3.3. 국제금융기구와 원조자

7.3.3.3.1. 지구환경기금(Global Environment Facility: GEF)

GEF는1991년 설립된 독립 금융기구로, 생물다양성, 기후변화, 국제적 수준의 수자원, 토양훼손, 오존층, 잔류성 유기 오염물질과 관련된 프로젝트를 이행하는 개발도상국에 보조금을 제공한다. GEF는 글로벌 환경 변화를 해결하기 위한 프로젝트에 대한 최대규모의 자금지원 기구가 되었으며 다음 협약들을 위한 재정체제를 제공한다:

- 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity: CBD)
- UN기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)
- 잔류성유기오염물질에 관한 스톡홀름 조약(Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: POPs)
- UN 사막화방지협약(UN Convention to Combat Desertification: UNCCD).

GEF는 적응과 관련해 UNFCCC 하에서 이용 가능한 주요 국제 기금을 관리한다: 개발, 기술이전, 역량구축, 부문별 접근과 함께 적응을 지원하는 SCCF와 최빈 개발도상(LDC)국의 NAPA의 개발 및 실행에 초점을 두고 있는 LDCF. 10개 국제 기구[UNDP, UN환경계획, 세계은행, 식량농업기구(FAO), 미주개발은행(IADB), UN공업개발기구, 국제농업개발기금, 유럽부흥개발은행(EBRD), 아프리카 개발은행, 아시아 개발은행]가 주로 국가 및 기타 국제기구와 협력해 GEF사업들을 이행하고 있다. UNFCCC 산하 기구에 의한 LDCF 기금 실행에 관한 평가 이후, UNFCCC 당사자들은 GEF에 실행 프로세스의 가속화, NAPA 갱신, 실행 기구들과의 협력을 통한 LDC와의 커뮤니케이션 개선 등을 요구했다 (UNFCCC, 2011). 또한 GEF는 UNFCCC 교토의정서 하에서 설립된 적응기금 (Adaptation Fund)에 대한 임시 사무국 서비스를 제공한다. 이 기금은 주로 청정개발체제 (Clean Development Mechanism) 하에서 탄소배출권 (Certified Emission Reductions)의 수익금 비율을 통해 자금이 조달된다(Adaptation Fund, 2011a). 적응기금은 DRR 프로젝트를 비롯한 개발도상국의 기후변화 적응 프로젝트의 자금을 조달한다(Adaptation Fund, 2011 b).

7.3.3.3.2. 세계은행과 지역 개발은행

주요 개발은행(아프리카 개발은행, 아시아 개발은행, EBRD, IADB, 세계은행그룹)이 기후변화와 재해 저감을 위해 기금의 상당 부분을 관리한다. 여기엔 기후 위험 및 회복을 개발 계획수립에 통합하는 것을 포함해 폭넓은 주제를 다루는 기후회복을 위한 시범프로그램(Pilot Program for Climate Resilience)이 포함된다(World Bank, 2009; Climate Funds Update, 2011).

DRM 및 CCA를 위한 국제 금융의 강점과 과제를 가장 뚜렷하게 보여주는 사례는 세계은행이 관리하는 재해저감복구국제본부(Global Facility for Disaster Reduction and Recovery: GFDRR)이다. 이는 HFA 실행을 지원하기 위한 UNISDR 시스템과 협력관계에 있다. GFDRR의 사명은 재해 저감과 기후변화 적응을 MDG 개발 및 달성을 촉진하기 위한 국가 정책과 계획, 전략에 통합하는 것이다. 세계은행은 원조국과 기타 이해관계자 대신 GFDRR에 대한 운영 서비스를 제공한다. GFDRR은 재해위험이 높으며 소득수준이 낮거나 중간인 국가들에 국제협력을 지원하고 기술 및 금융 지원을 제공한다 (GFDRR, 2010).

GFDRR에 대해서는 두개의 독립적 평가가 수행되어왔다 (Universalia Management Group, 2010; DFID, 2011). 국제 본부는 상당한 기금을 동원했다(2006년부터 2009년까지 2억 4000만 달러 이상의 출자 및 출자약속). 기금은 이해당사자와 타당하게 대응한 것으로 생각되며, 기후변화 적응을 포함하여 DDR 서비스에 관한 지식과 정책, 실행을 연결하는데 도움을 주는 독보적 역할을 했다. 또한 기금은 비용효과적으로 프로그램을 이행한 것으로 생각된다(DFID, 2011). 그러나 기금을 통해 동원되어온 자원은 요구에 비해 크게 미치지 못한 채로 있으며, 협력, 정책 통합, 결과 측정은 국가간에 공평하지 않은 것으로 생각된다. 이러한 문제에도 불구하고 국제본부는 중요한 진전을 달성했으며 기능 개선 및 실행 규모 확대를 위해 필요한 단계를 실행해 왔다 (Universalia Management Group, 2010; DFID, 2011).

7.4. 국제적 수준의 재해 위험 관리와 기후변화 적응을 위한 대안, 제약, 그리고 기회

7.4.1. 국제법

7.2.5절에서 기술한 바와 같이, 국제법의 기존 도구와 수단은 재해 위험 저

감 및 관리, 그리고 기후변화에 적응하게 만들도록 도움을 줄 수 있다. 동시에 국제법을 이러한 과제들을 다루는데 적용할 때는 범위와 강제성에 제한이 있음을 인식해야 한다.

7.4.1.1. 국제법의 한계와 제약

구조적으로 국제법은 시스템을 생성하고 그 시스템의 한 부분을 차지하는 국가에 의해 명시적 또는 묵시적으로 수용될 필요성에 의해 촉진되기도 하고 제약되기도 한다. 협상된 조약의 타당성은 국가의 동의에 달려 있다. 한편 관습법은 국가의 관행과 법적 확신이 있을 때에 한해 존재한다. 예를 들어, 7.2.5절에서 언급된 재해완화 및 구조작업을 위한 전기통신자원 공급에 관한 탐페레 협약(Tampere Convention on the Provision of Telecommunication Resources for Disaster Mitigation and Relief Operations)의 경우, 25개 재해 취약 국가 중 4개 국가만이 협약을 체결하면서 협약으로부터 큰 혜택을 얻을 수 있는 많은 국가들에 대한 관련성이 제약을 받았다. 액면 그대로 재해위험 응답 관련성이 높고 기후변화 적응을 도와주는 의무를 뒷받침하는 국제인권장전(International Bill of Rights)은 널리 받아들여지지 않고 있다. 또한 국제법이 국가들에 의해 생성되고 그러한 국가들에 적용되기 때문에, 재해 위험 저감 및 기후변화 적응과 관련이 있는 국가가 아닌 많은 참여자들은 의무를 부담하지 않는다. 그러나 이러한 참여자들은 시민으로서 국가의 의무로부터 혜택을 얻을 수 있다.

일부 국제법 영역은 재해 위험 관리 및/또는 기후변화 적응에 적용 가능할 것으로 보이는 도구를 제공하고 있지만 아직 내재적인 역량의 한계로 인한 제약이 존재한다. 1949년의 제네바협약(Geneva Conventions)에 명시된 국제인도법(International humanitarian law: IHL)은 보편적인 지지로 인해 널리 적용되고 있지만(Lavoyer, 2006; Fisher, 2007). 무력분쟁 상황으로 제한된다. 반면 IHL에 대응하는 평화시기 법률인 국제재난대응법 (International Disaster Response Law: IDRL)(Fisher, 2007 참고)는 중앙제도와 제네바 협약의 보편적 동조가 부족할 뿐 아니라 조율 및 모니터링에 있어서도 어려움을 겪고 있다(Fisher, 2007). 두 번째 예로서, 국제법은 다양한 원인에 의해 발생하는 기후로 인한 이주에 적절하게 대응할 준비를 갖추지 못한 반면(Von Doussa 등, 2007; generally Biermann and Boas, 2010), 문헌은 난민법(refugee law)이 기후변화와 관련된 이주의 과제를 해결하기 위한 수단을 제공해야 한다는 주장에 대해 동의하지 않는다. 1951년의 난민 지위에 관한 협약 (Convention relating to the Status of Refugees)에 명시된 바와 같이 기후로 인한 이주로 인해 국경을 넘는 사람들에 대한 국제난민법의 적용은 복잡하고 제한적이다(UNHCR, 2009). '난민'이라는 용어를 확장하기 위한 협약의 재개는 재협상을 위험에 빠트릴 수 있으며, 잠재적으로 피난민의 보호 수준이 더 낮아지는 결과로 이어질 수 있다 (Kolmannskog and Myrstad, 2009).

7.4.1.2. 국제법 적용의 기회

국제법과 관련해 알려진 개념과 정의, 절차의 잠재적인 확대는 국제법을 적용해 재해 위험 저감 및 기후변화 적응을 해결할 수 있는 기회로 이해될 수 있다.

기후변화의 영향을 완화하고, 재해대응을 촉진하며, 대응 노력을 위한 국제적 촉진을 지시하는 현재의 국제법 의무를 넘어(7.2.5절), 국제법이 국가들에 의해 형성되며 국가관행과 관련이 있다는 사실은 국제법이 미래 상황에도 적응할 수 있다는 것으로 해석된다. 기존 국제법의 해석 및 적용을 확대하고 재해 대응 및 기후변화 적응을 위한 새로운 법을 도입하는 것 모두 미래에 가능한 대안이다.

해석의 확대에 있어서 논쟁이 될 수 있는 영역은 피난법이다. 국제난민협약 및 의정서(Refugee Convention and Protocol)에서 '난민'은 자신의 국적인 국가 외부에 있으며 "충분히 근거 있는 박해의 두려움"으로 인해 자신의 국가로 돌아갈 수 없거나 그러한 의지가 없는 사람으로 정의된다. 일부 문헌은 "박해"에 환경 재해 또는 악화를 포함할 것을 제안하고 있다(Warnock, 2007; Kolmannskog and Myrstad, 2009). 시민적 및 정치적 권리에 관한 국제규약(International Covenant on Civil and Political Rights) 제 7조는 고문과 "잔인하고 비인간적이거나, 또는 수치스러운 형벌"을 금지하고 있다. 일부 문헌은 비인간적인 대우의 의미가 기후변화의 영향으로 인해 기본적인 최저생활수준이 불가능한 상태로 남겨지는 것을 포함하는 것으로 확대될 가능성을 언급하고 있다. 더 나아가 "기후변화로 인한 인구 이동이라는 새로운 부담"을 공유하고 "영향을 받는 개인의 인권을 옹호"하기 위한 새로운 국제 협약을 제의한다(Von Doussa 등, 2007). 난민의 정의에 대한 확대는 아직 논쟁의 여지가 많다. 또한 기후로 인해 국경을 넘는 이동을 해결하기 위해 난민법을 이용하는 것에 반대하는 국가가 많다.

또한 자연재해에 대한 적용에서, 새롭게 떠오르는 법적 신조인 '보호책임'이 제시되어 왔다. 인권법의 원천은 "자연재해 발생 이전, 발생 시점, 발생 이후", 특정 책임 준수에 관한 의무가 없는 상태에서 그러한 책임 준수에 관한 국가관행의 발생은 자연재해 맥락에서 새로운 보호 책임을 지원하며 이러한 신조를 촉진하는 데 이용된다 (Saechao, 2007).

7.4.2. 국제적 재정지원

UNFCCC는 온실가스 배출 완화 및 기후변화 적응 필요성 외에 이러한 프로세스에서 선진국이 개발도상국을 지원할 책임이 있음을 인식하고 있다(Box 7-1의 제4.4조 참고). 재정지원은 적응을 위한 적응비용의 대리변수로 설명되어 온(4.5절 참고), 재정지원 수요 평가에서부터 시작한다. UNFCCC (2007b)는 2030년에 전세계적으로 필요한 추가적인 투자 및 자금지원이 480억 달러에서 1,710억 달러에 이를 것으로 추정했다(생태계 적응에 대한 현재의 투자 필요성을 고려할 경우 600억 달러에서 1,930억 달러). 이 중 개발도상국들의 수요는 280억 달러에서 670억 달러일 것이다(UNFCCC, 2007b). 이러한 추정에서 가장 불확실한 것은 적응 인프라 구축을 위한 비용으로, 2030년에 80억 달러에서 1,300억 달러가 필요할 수 있으며 이 중 3분의 1이 개발도상국을 위한 것이다. 또한 UNFCCC (2007b)는 농업, 물, 건강, 연안 보호를 위해 추가로 410억 달러가 필요하며, 이 중 대부분이 개발도상국에서 이용될 것으로 추정했다. World Bank (2006), Stern (2007), Oxfam International (2007), Watkins (2007), World Bank (2010b) 등의 다른 연구들도 개발도상국의 적응을 위한 연간 추가비용 추정치를 제공하고 있다. 이러한 추정치는 표 7-1에 제시돼 있다. 또한 Parry등(2009)과 Fankhauser (2010)는 이러한 추정치를 더욱 자세히 다루었다.

표 7-1 | 개발도상국의 연간 적응 비용과 재원 소요 추정

	평가년도	미국 달러(10억)	기간
World Bank	2006	9-41	현재
Stern	2006	4-37	현재
Oxfam	2007	〉50	현재
UNDP	2007	86-109	2015
UNFCCC	2007	28-67	2030
World Bank	2010	70-100	2010-2050

출처: World Bank, 2006, 2010b; Stern, 2007; Oxfam International, 2007; UNFCCC. 2007b; Watkins, 2007.

이러한 다양한 추정치 간에는 높은 수준의 불확실성이 존재하기는 하지만, 대체로 개발도상국에서의 지구적 적응비용이 연간 수백 억 달러일 것이라는데 공감하고 있다. 위에서 언급한 추정치에 관한 경제협력개발기구 (Organisation for Economic Co-operation and Development: OECD) 평가에 의하면 개발도상국의 적응 비용에 관한 정량화 가능한 정보가 부족하며, 대부분의 연구들이 국가 내 몇몇 부문(대개는 연안, 그보다 적은 비중으로 물, 농업, 건강)으로 제약된다(Agrawala and Fankhauser, 2008). 또한 이러한 연구들은 상대적으로 대략적인 관계를 가정하며 완벽한 예측 및 높은 수준의 자생적 적응 등을 가정한다. 국가 내 누적적인 영향을 조사한 교차연구는 거의 없으며, 소수의 연구만이 더 넓은 범위에서 영향 또는 적응의 거시경제적 결과를 연구했다.

또한 대부분의 문헌은 온도나 해수면의 평균적인 변화에 대한 적응만을 고려한다. 평균 상태에서의 돌발적 기후변화 또는 극한기상 현상의 빈도 및 규모의 변화에 관한 관심은 적었다(Agrawala and Fankhauser, 2008).

Agrawala and Fankhauser(2008)에 의하면, 규모 측면의 경우에도 전지구의 적응 비용에 대한 합의는 아직 시기상조일 수 있다. 또한 대부분의 경우 추정치는 특정 적응활동에 기인하는 것도 아니고 적응에 대한 투자의 혜택을 설명하는 것도 아니다. 부분 간 중복 계산 및 매우 제한된 수준(주로 지역 수준)의 자료에서부터 글로벌 수준까지의 확대 등의 문제가 이용을 제한한다. 한편 Parry등(2009)은 많은 부문과 적응이 추정에 포함되지 않았다고 지적했다.

이러한 전지구적 추정치 외에, 추정치를 도출하기 위한 공통적인 방식이 없고, 모든 국가에서 그러한 방식을 이용 가능하지 않은 것이 사실이지만, 전체 적응 재정 소요를 국가별 추정치를 합하여 평가할 수 있다. 대부분의 LDC에서 완료된 NAPA(7.3.2절과 6장 참고)들은 지금까지 개발도상국의 적응 우선순위와 재정소요 평가에 가장 많은 노력을 기울인 것이다. 긴급하고 즉각적인 적응이 필요한 우선순위 프로젝트의 누적 비용은 2009년 9월 NAPA를 완료한 43개 국가에 대해 약 16억 6천만 달러이다(UNFCCC, 2010b). 위에서 언급한 글로벌 추정에서 이탈된 것은 다음과 같은 몇 가지 요소로 설명될 수 있다. 즉 43개 LDC만 포함하고 우선순위화된 사업들만 포함하며, 중기 또는 장기소요가 아닌 긴급하고 즉각적인 적응 소요만을 고려했기 때문이다(Persson 등, 2009).

국제사회의 과제는 규명된 적응 재정소요를 어떻게 충당하는가이다. GEF는 자격을 갖춘 개발도상국가에 재원을 지원하기 위한 LDCF와 SCCF를 운영함으로써 '추가'되거나 '증가'된 적응비용을 충족시키며, 사업 또는 계획의 기본 비용은 수원국 또는 양자 또는 다자간 원조기구가 부담한다. LDCF와 SCCF는 선진국의 자발적인 부담에 의존한다. 2010년 5월 기준 이들 기금 하에서 3억 1,500만 달러가 약정되었으며(LDCF에 대해 2억 2,100만 달러, SCCF에 대해 9,400만 달러), 이중 2억 2,000만 달러가 배분되었다(LDCF로부터 1억 3,500만 달러, SCCF로부터 8,500만 달러)(GEF, 2010a). 또한 GEF는 SPA에 총 5,000만 달러를 배분했다 GEF, 2008; Klein and Miihner, 2009 참고).

2009년 운영되기 시작한 적응기금은 특별 적응기금이사회(Adaptation Fund Board)에 의해 운영되고 있다. 적응기금은 UNFCCC와 교토의정서 하의 첫 금융지원수단으로 선진국의 자발적인 기여에만 의존하지 않는다. 적응기금은 청정개발체제(Clean Development Mechanism: CDM) 하의 프로젝트 활동 수익금의 2%를 수령하지만, 구체적인 적응 프로젝트 및 프로그램에 자금을 지원하기 위한 다른 원천으로부터도 기금을 수령할 수 있다. 적응기금으로부터 이용 가능하게 될 실제 총 금액은 CDM이 이용되는 정도와 탄소 가격에 달려 있다. 2010년 10월 기준, 적응기금은 2억 209만 달러를 수령했으며 이 중 1억 3,055만 달러가 CDM 활동으로부터 창출되었다. 2010년 10월 31일부터 2012년 12월 31일까지 적응기금에 이용 가능한 잠재적인 자원은 2억 8,840만 달러에서 4억 150만 달러에 이를 것으로 추정된다.

GEF 관리 기금이 80개 국가의 적응 활동을 지원해 왔지만(ersson 등, 2009), 기금 관리 방법과 관련해 개발도상국의 비난이 존재한다(예: Mitchell 등, 2008; Klein and Miihner, 2009; Ministry of Foreign Affairs of Denmark and GEF Evaluation Office, 2009). 또한 기금의 예측 가능성 및 적절성, 의사결정 과정의 형평성과 공정성에 관한 우려의 목소리가 존재한다(Mace, 2005; Paavola and Adger, 2006; Muller, 2007; Persson 등, 2009). GEF는 이러한 비판을 인정하고, COP 보고서에서 그 대응방법에 대해 설명했다(GEF, 2009, 2010b). 한편 선진국들은 일부 개발도상국의 수탁 위험에 관한 우려를 나타냈다. 이러한 우려는 책임과 투명성 개선을 통해 해결될 수 있으며, 그 이후에 국제 금융에 의해 프로그램 기반 적응이 지원될 수 있다(Mitchell 등, 2008; GEF, 2010b). 적응기금은 그러한 평가를 하기에 운영 기간이 짧지만, 그 지배 구조 및 직접적인 접근의 대안과 관련해 처음으로 긍정적인 신호가 나타나고 있다(Czarnecki and Guilanpour, 2009; Brown 등, 2010; Grasso, 2010).

UNFCCC 맥락에서의 기금 운영 외에, 적응을 위한 재원은 몇 가지 다른 경로를 통해 제공되고 있다. 이러한 경로에는 개발도상국들의 국가, 부문, 지역 예산; 양자 및 다자간 개발 지원; 민간 부문 투자 등이 포함된다. 이는 적응 재원조달 범위를 넓혀 파편화시켜 재원뿐만 아니라 정책, 규칙, 절차의 급증으로 이어진다(Persson 등, 2009). 그러나 재원이 급증한다 해도 현재 이용 가능한 재원은 위에서 제시한 적응재원소요에 비해 턱없이 부족한 실정이다.

이렇듯 부족한 실정과 관련해, 2009 코펜하겐 협정(Copenhagen Accord)은 국제 기후를 위한 자금지원의 이정표 역할을 했다. 코펜하겐 협정은

2010-2012년에 걸쳐, '빠른 시작'을 위한 "추가적인 자금 300억 달러"를 제공하기 위한 선진국의 공동 약속으로, 적응과 완화 사이의 균형을 유지하며 2020년까지 모든 원천으로부터(공공 및 민간 양자 및 다자)연간 1,000억 달러 조성이라는 장기적인 공동 목표를 수립했다(Bodansky, 2010). 코펜하겐 협정은 COP에 의해 채택되지 않았지만 공동의 약속과 장기적인 목표는 1년 후 COP가 채택한 칸쿤협약의 일부가 되었다. 당사자들은 기후변화의 악영향에 특히 취약한 개발도상국의 "긴급하고 즉각적인 필요성을 고려해, 예측가능하고 적절한 추가적인 자금이 개발도상국에 제공되어야 한다"는 데에 합의했다. UN 사무총장에 의해 수립된 기후변화 자금지원에 대한 고위자문그룹(High-level Advisory Group on Climate Change Financing)은 2020년까지 연간 1,000억 달러 조성의 타당성을 분석한 후 어렵지만 목표를 달성할 수 있을 것이라고 결론 내렸다. 재원은 대안 금융, 기존 원천의 확대, 민간 부문 흐름 증대 등을 포함해 민간 및 공공, 양자 및 다자 등 다양한 원천으로부터 조달될 필요가 있다. 최빈국, 군소 도서국가, 아프리카 국가와 같은 취약한 개발도상국에서 보조금과 양허성 차관은 적응을 위해 매우 중요하다(AGF, 2010).

기후 재원이 다른 국제 재원 흐름과 어떻게 연결되어 있는가에 대한 질문이 제기되고 있다. 발리로드맵은 금융자원 공급 부문을 통해 "지속가능한 개발 정책을 토대로 적응 행동을 실행하는 것에 대해 인센티브를 제공하기 위한 수단"을 언급했다. 주류화(mainstreaming) 즉, 기후변화에 대한 적응을 개발 계획 및 의사결정 과정에 통합하는 것과 관련해 코펜하겐협정 이전에 많은 논쟁이 있었지만 결국 코펜하겐협정은 적응과 개발 사이에 존재하는 위험을 다루지 않았다(Persson 등, 2009; Klein, 2010). 운영 관점에서 적응을 개발에 통합하는 것은 공동의 이해를 얻고 있다. 즉 인간 안보 강화와 적응과 개발 사이의 시너지 창출 기회 강화를 위한 노력이 인식되어 추구되고 있다(Gigli and Agrawala, 2007; Klein 등, 2007; Kok 등, 2008; Gupta and Van de Grijp, 2010). 뿐만 아니라 적응과 개발 목표 모두에 기여하는 것으로 보일 수 있는 다양한 범위의 활동이 존재한다(McGray 등, 2007).

그러나 기후 정책 관점에서 주류화는 딜레마를 생성한다(Persson and Klein, 2009; Klein, 2010). 적응 및 개발을 위한 재원 흐름 – 예를 들면 공적개발원조(official development assistance: ODA) – 은 별도로 관리된다. 적응과 개발의 통합을 뒷받침하는 주장 중 하나는 적응이 독립적인 활동(즉, 지속적인 개발 및 의사결정 과정과 분리)으로서 계획, 실행, 관리되는 것보다 적응과 개발이 통합될 때 금융 및 인적자원의 더 효율적인 이용이 가능하다는 점이다. 그러나 개발도상국은 원조기구가 적응과 개발 사이의 시너지 창출을 모색함에 따라 결과적으로 적응을 위한 금융이 새롭고 추가적인 자금이 아니라 실제로는 고정된 크기의 ODA 예산에 흡수될 것이라며 우려를 표현했다(Michaelowa and Michaelowa, 2007). 이러한 우려는 현재 적응을 위해 이용 가능한 자금의 양이 개발도상국에서 적응을 위해 필요한 자금 추정치에 비해 부족하다는 사실에 근거한다. 둘째로, 주류화를 통해 적응을 위한 추가적인 기금을 더 일반적인 개발활동에 통합하게 되는 것과 관련된 우려가 존재한다. 이는 기후변화와 관련된 혜택을 정량화하는 것을 비롯한 평가 기회를 제약한다(Yamin, 2005). 셋째로는, ODA를 이용해 주류화된 적응을 추구하는 원조기구가 국가 주도 프로세스이어야 할 것에 대한 조건을 부과할 수 있다는 우려가 존재한다(Gupta 등, 2010).

7.3.2절에서 언급한 바와 같이, 칸쿤협약은 제 11조 하에서 금융 메커니즘을 운영하는 새로운 실체로서 녹색기후기금(Green Climate Fund)을 설립했다. 녹색기후기금은 아직 운영되고 있지 않기 때문에 이것이 주류화 딜레마를 어떻게 해결할 수 있는지 또는 개발도상국에서 이 기금이 기후 적응과 관련해 얼마나 중요할 것인지를 논하는 것은 아직 이르다. 지금 언급할 수 있는 것은 "칸쿤협약에서 적응을 위한 새로운 다자간 기금의 상당 부분이 녹색기후기금을 통해 이동해야 한다"고 결정되었다는 점이다.

7.4.3. 기술이전과 협력

7.4.3.1. 기술과 기후변화 적응

기후변화로 인한 미래 영향에 대한 적응과 현재 재해 완화 모두에서 기술은 큰 주목을 받고 있다. 자원과 인적 역량, 문화적 차이로 인해 많은 개발도상국에서 기술의 지속가능성, 운영, 관리는 어려운 문제일 수 있다. 또한 기술이전은 복잡하고 능력배양을 필요로 할 뿐만 아니라 고객(기술 이용자)의 주안점이 개발자(기술 설계자)의 주안점과 다르기도 하다 (O'Brien 등, 2007). 이용가능성과 적응을 위한 기술 이용에서 지적재산권이 문제가 되는 경우는 드물다(Murphy, 2011). 그러나 지적재산권이 문제가 되는 경우, 신기술의 적절한 배치를 조성하고 기술개발자에 대한 인센티브를 보호하는 수단이 필요하다(Doig, 2008) 개발자/소유자로부터 미래 이용자로의 기술이전의 중요성이 폭넓게 인식되고 있지만 많은 문헌들은 적응을 위해 어떤 기술이 어디에서 어디로, 어떤 메커니즘을 통해 이전되어야 하는가에 대해 구체적으로 다루는 대신 이 문제를 포괄적인 수준에서 다루는 것으로 보인다. 제도, 정치, 기술, 경제, 정보, 금융, 문화, 법, 참여, 협상 장애물은 완화 및 적응 기술의 이전을 방해할 수 있으며, 이러한 장애물을 극복하기 위해선 협력 노력이 필요하다(IEA, 2001). 정책 수단으로서 민간-공공 부문 협력은 적응 프로젝트를 위해 필요한 기술 이전 메커니즘이 될 수 있다(Agrawala and Fankhauser, 2008). 적응 관련 문헌에서 취약성 저감 및 기후관련 재해에 대한 대응 능력 증대에 있어 중요한 기술 이전을 다룬 발간물은 찾아보기 어렵다. 이 절은 적응을 위한 기술에 관한 문헌과 그러한 기술의 국제 이전과 관련된 문제를 검토한다.

IPCC에 의한 기술이전의 방법론적 및 기술적 문제에 관한 특별보고서(Special Report on Methodological and Technological Issues in Technology Transfer)는 '기술이전'을 "정부, 민간부문, 금융기관, NGO, 연구/교육 기관 등과 같은 다양한 이해관계자 사이에서 완화 및 적응을 위한 노하우와 경험, 장비의 흐름을 포함하는 넓은 범위의 프로세스"라고 정의한다 (IPCC, 2000, p. 3). 보고서가 이용하는 광범위하고 포괄적인 용어인 '이전(transfer)'은 국가 내 기술보급과 기술협력을 모두 아우른다. 보고서는 국제 및 국내 기술이전 프로세스와 장벽, 정책을 평가한다. 이 절은 국제적인 측면에 초점을 맞추고 있다.

기후변화 적응은 단순히 특정 기술을 적용하는 것 이상을 의미한다(Klein 등, 2005). 적응을 위한 방법에는 인프라 설계의 견고성 증대, 장기적인 투자, 관리가 취약한 시스템의 탄력성 증대, 자연계의 적응성 강화, 취약성 증가 경향의 방향 전환, 사회 위험 인식 및 준비성 개선 등이 포함된다. 극한기

Box 7-3 | 아시아 지역의 적응을 위한 기술의 사례

아시아에서 커뮤니티 수준의 기후변화, 취약성, 극한기상에 대한 적응은 규모가 작고 농업 물, 개량에 주로 집중되어 있다(Alam 등, 2007). 이들 지역은 영향을 받는 커뮤니티의 생계에 초점을 맞추고 관행 변화에 대한 인식을 높이며, 농업을 다양화하고 수원보호를 촉진한다. 예를 들어, 사우디아라비아는 이미 물 저장을 위한 215개 댐과 30개 담수처리시설을 건설하고 물 보호 및 보존을 위한 법률을 통과시켰으며 누출 감지 및 통제 계획을 출범시켰다. 또한 발전된 관개 용수 보호 계획과 기후변화 적응 프로그램의 일부로서 개조된 양수기를 위한 시스템을 실행했다 (Alam 등, 2007). 인도의 경우 전통적인 접근법과 혁신적인 기술 접근법이 결합되어 가뭄위험을 관리하는 데 이용된다. 가뭄 기술관리(예: 가뭄에 내성이 강한 품종의 개발 및 이용, 농업의 경작시기 이동, 물 관리에 있어 식품 및 가뭄 통제 기술)는 모형에 기반한 10년간DML 예측과 결합된다. 모형 결과는 적절한 가뭄 보호 수단을 취하기 위한 조기 경보로 해석된다(Alam 등, 2007). 중국의 경우 적응 기술이 식품 재해 완화를 위해 폭넓게 이용되고 있다(Alam 등, 2007). 1987년 필리핀에서 태풍으로 인해 200,000가구 이상이 완전히 파괴된 것을 또 다른 예로 들 수 있다. 필리핀 사회복지개발부(Department of Social Welfare and Development)는 태풍에 가장 취약한 지역 주민들을 위해 내풍 주택을 제공하는 프로그램을 실행했다. 코어셸터(Core Shelter)로 불리는 이 주택은 태풍에 강한 특징을 갖추고 있어 최대 풍속 180 km/h의 바람을 견딜 수 있다. 이 기술은 필요한 보호를 제공함으로써 성공적인 기술임이 입증되었으며, 최근의 산사태(Government of the Philippines, 2008)와 태풍(Government of the Philippines, 2010)을 겪은 지역에서 채택되었다.

상 현상 관련 재해인 경우, 긴급 조치 및 보강보다 예상된 적응이 더 효과적이고 비용이 낮다. 또한 기후 변동성 및 극한 현상에 대한 더 나은 적응으로부터 즉각적인 혜택을 얻을 수 있다. 인간 시스템의 적응 역량을 결정하는 요소에는 기술, 정보, 지식, 기술에 접근할 수 있는 경제적 부의 수준과 제도, 인프라, 사회적 자본의 존재가 포함된다(Smit 등, 2001; Christoplos 등, 2009).

기후위험을 극복하기 위한 역량 구축에 필수적인 '쉬운' 대안과 관련해, 기술을 구체적으로 설명하거나 적용 사례를 제시하는 방대한 발행물이 존재한다(Klein 등, 2000, 2005). 가령 연안 적응을 위한 적용에는 조위계와 역사적, 지리적 방법 외에 지도화, 조사, 촬영, 항공 레이저 스캐닝(라이다(lidar)), 위성 및 항공을 이용한 원격 탐사, 위성항법장치(GPS) 등과 같은 다양한 유형의 공간정보기술이 포함된다. 이러한 기술은 적응 전략(보호와 후퇴)을 수립하고 선택된 전략을 실행하며(설계, 구축, 운영), 조기경보시스템을 제공하는 데 도움이 된다(UNFCCC, 2006a). 또 다른 예로는 해수면 상승으로부터의 보호를 위한 기술이 있다. 가령 구조적(hard structural) 대안으로서 수로, 둑, 홍수방벽, 방파제, 호안, 격벽, 제방, 도형 방파제, 방조문, 방조제, 염수침입 장벽 등이 있으며 비구조적(soft structural) 대안으로서 주기적인 해빈의 조성, 사구의 복원 및 생성, 습지의 복원 및 생성 등이 있다(Klein 등, 2000, 2005). 지역 조건을 고려해 선택된 이러한 기술의 결합은 연안 지역의 극한 현상에 대한 보호를 제공한다. 구조적인 수단은 지역화된 솔루션이며, 지역 환경 및 수문 측면의 영향과 같은 지역화된 정보가 필요하다. 또한 유사한 사건에 의해 영향을 받는 지역에서 가치가 있을 수 있는 일련의 지역적인 대안(홍수 및 가뭄 관리)이 존재한다(Klein 등, 2005, p. 19). 또한 지속가능한 개발 노력과 함께 CCA 및 DRR 필요성을 위한 기술이전 노력을 통합함으로써 갈등을 피하고 시너지를 창출하는 것이 중요하다(Hope Sr., 1996; Sanusi, 2005).

적응은 일반적으로 개발의 시작이라고 가정된다. 그러나 Eriksen and Brown(2011)은 이러한 가정에 이의를 제기하며 적응 수단이 지속가능한 개발 원칙과 상충하며 사회적 형평성과 환경적 완전성 모두 위협받을 수 있다고 주장한다. 지속가능한 개발을 위해선 다른 사회적, 환경적 변화라는 더 큰 맥락에서 극한 현상에 대응하는 것이 중요하다(Yohe 등, 2007; Eriksen 등, 2011).

UNFCCC (2006a) 보고서는 부록 1에 포함되지 않은 기술 중 당사자들에 의해 파악된 기술 필요성을 요약하고 있다. 흥미로운 것은 기술 필요성의 우선순위화를 위한 공통 리스트 중 적응을 위한 잠재력을 언급한 국가는 하나뿐이었다는 점이다. 보고서에 언급된 30개 기술 중 극한기후에 대한 극복 및 적응과 관련된 기술 필요성에는 배수시설 개선, 비상계획, 건물 및 토지 증축, 해수면 상승으로부터의 보호 등이 포함된다. 이러한 기술들은 DDR 및 CCA목표 즉 전반적인 생태적, 사회적 취약성 저감과 연관된 좋은 예다. 또 다른 UNFCCC 보고서(2006b)에 의하면 완화를 위한 기술과 달리 적응을 위한 기술의 형태는 더 친숙한 경향이 있다. 여러 세대에 걸쳐 기둥 위에 집을 짓거나 수상 채소밭을 경작함으로써 홍수를 극복해 온 것이 그러한 예다. 발달된 재료과학과 위성 원격감지 분야의 새로운 발전에 의존하는 기술 유형도 있다(Box 7-3 참고). UNFCCC 보고서(2006b)는 기후변화를 비롯해 변화하는 환경에 적응하기 위해 이용할 수 있는 이전 및 새로운 기술을 개괄적으로 제시한다. 아시아의 재해 저감 하이퍼베이스(Disaster Reduction Hyperbase)는 개발도상국과 산업국가 간의 커뮤니케이션을 촉진하는 DRM과 관련된 신기술 전통적인 토착기술을 위한 웹 기반의 통합체이다 (kameda, 2007).

7.4.3.2. 극한 현상을 위한 기술

Sahu (2009)는 재해완화 영역에서 출발해 극한기상 현상 및 그 영향에 대한 적응을 촉진하기 위한 기술문제에 접근하면서 재해관리의 다양한 단계에

적용할 수 있는 다양한 기술을 개략적으로 제시한다. 극한기상에 대한 적응과 관련된 기술에는 조기경보시스템과 재해 대비, 재해 생존자 탐색 및 구조, 물 공급과 정화, 처리, 식품 공급과 저장, 안전, 에너지 및 전기 공급, 재해 피해자를 위한 의약품 및 건강관리 서비스 제공, 질병 감시, 위생관리, 폐기물 관리, 재해에 강한 주택 및 건물 건축 등이 포함된다(Sahu, 2009).

폭풍과 허리케인, 토네이도와 같이 바람이 많은 환경에 대한 취약성을 낮추는 데 있어 내풍성 건축 기술의 발전이 중요하다. 국제 허리케인 연구센터(International Hurricane Research Centre)의 보고서는 허리케인으로 인한 손실을 낮출 수 있는 장치 및 기술을 제시한다(IHRC, 2006). 바람벽(Wall of Wind) 테스트 장치(최대 풍속 209 km/hr의 바람을 생성하는 멀티 팬 시스템으로 물 주입 및 잔해 추진 시스템을 포함하며 작은 규모의 1층 건물을 테스트하기에 충분한 바람장(wind field)을 갖추고 있다)는 건물의 고장모드(failure mode)에 대한 이해를 높이고 허리케인의 영향을 완화할 기술 및 제품 생산을 이끌 것으로 기대된다(Fugate and Crist, 2008).

현재 및 미래 기후 체제 하의 극한기후 관리에서 가장 중요한 것은 예측 및 조기경보를 제공하는 능력이다. 전지구 기후 모델로부터 예측 정보는 변화하는 위험에 관한 유용한 정보를 제공할 수 있다. 또한 유용한 조기경보시스템은 다중 위험 경고 및 가능한 수준까지 취약성이 발전할 위험에 관한 경고를 제공할 수 있다. 특히 위성 및 항공기 감시, 기상 모델, GIS를 비롯한 컴퓨터 도구, 지역 및 지역 커뮤니케이션 시스템은 가장 중요한 기술 요소이다. (여기서 초점을 맞추는 기술 측면과 별개로, 사회적 측면과 커뮤니케이션 측면의 조기 경보가 중요하다.) 미국에서는 기후 관련 재해와 그렇지 않은 재해 모두의 경우 비상 운영에서 GIS의 이용의 중요성이 증가하고 있다. GIS 기술을 통해 대중들은 정보를 제공받을 수 있으며, 공무원들은 더 효과적인 의사결정을 수행하고 긴급구조원들은 태풍 희생자의 위치를 효과적으로 파악하고 그들을 구조할 수 있다(NASCIO, 2006). 극한기상의 예상 변화와 관련해 지역에서 이용 가능한 기후변화 정보가 부족하다. 이러한 상황은 특히 개발도상국에서 기후관련 재해를 관리하는 데 제약이 되고 있다. 이러한 점에서 규모축소화 및 도구(지역 기후모델의 규모축소화에 관한 자세한 정보는 3.2.3절 참고)의 개발 및 실현을 지원하고 그러한 기술을 개발도상국에 이전하기 위한 지역적 메커니즘의 개발이 필요하다

공간 기술(지구 관측, 위성 영상, 공간 센서의 실시간 적용, 지도화 등)은 가뭄, 홍수, 폭풍과 같은 극한기상을 포함한 재해를 저감하는 데 있어 중요한 역할을 한다(Rukieh and Koudmani, 2006). 특히 이러한 기술은 위험 평가와 완화, 위험 취약 지역 파악, 제한 구역 및 대피경로 설정 등을 통한 재해 대비 단계에 유용할 수 있다. 공간기술은 조기경보 및 재해관련 노력의 관리에서 중요한 역할을 한다. 개발도상국가에서 공간기술 기반 솔루션을 이용하기 위해선 인식을 개선하고 국가 역량을 구축하며 국가의 필요에 적절한 맞춤화된 솔루션을 개발할 필요가 있다(Rukieh and Koudmani, 2006). WMO, 미국 해양대기관리처(National Oceanic and Atmospheric Administration), 미국 국제개발기구(US Agency for International Development), 수문연구센터(Hydrologic Research Center)의 전지구적 돌발홍수 가이드를 위한 공동 계획은 국제적 수준 및 조기경보와 관련된 공간 기술 적용의 좋은 예를 제시한다. 시스템은 전지구 센터가 생성한 전지구적 자료를 이용하고 전지구적 정보를 지역 산출물로 축소하여 국가기구에 전송한다. 이후 정보는 국가 수준에서 축소되고 사용자와 커뮤니티로 전파된다(WMO, 2007, 2010). 또 한가지 중요한 점은 일부 개발도상국(인도, 방글라데시, 중국, 필리핀)은 자체적으로 또는 다른 공간 기술 공급자와의 협약을 통해 발전된 원격 탐사의 역량을 갖추고 있다는 점이다.

위험 저감 및 구조 기구와 정부의 지원은 여러 요소 중에서도 특히 이러한 재해의 규모 및 성격에 관한 정보를 적시에 이용할 수 있느냐에 달려 있다. 현재 이러한 정보의 대부분은 지상의 정보원에 의해 제공된다. 재해 경보 및 탐지 시스템은 지상 기반 정보만으로는 파괴의 규모가 적절하게 모니터링될 수 없다. 이러한 문제는 공간 기반 탐지 시스템으로부터의 입력 정보를 이용함으로써 개선될 수 있다. 많은 유형의 위험에 대한 발전된 경보 제공 능력을 갖춘 전지구적 공간 기반 모니터링 및 정보 시스템은 최신 탐지 기술(광학, 적외선, 레이더)과 결합될 수 있다. 소형 위성으로부터의 고해상도 영상에 관한 영국의 계획이 이러한 사례에 포함된다(Holdaway, 2001). 문헌은 이러한 기술이 아직 갖춰져 있지 않은 국가에서 CCA 및 DRR 역량구축을 위해선 이러한 기술과 관련 노하우의 이전이 매우 중요하게 될 것이라고 내다보았다(보통 신뢰수준, 제한적 증거수준).

소형 위성(경량의 소형 크기, 500kg 이하)은 다른 국가들에서도 기후와 관련한 위험을 감지하고 대비하기 위한 중요 기술로 인식되고 있다. Shimizu (2008)는 이 영역에서의 국제협력의 중요성을 강조한다. 그에 의하면 대형 로켓과 위성을 개발하고 자신의 영토에서 발사할 수 있는 능력을 갖춘 국가는 소수에 불과하다. 몇몇 아시아 국가들은 OECD 국가들과 협력하여 DAICHI (지구관측기술위성)와 WINDS (Wideband Internetworking engineering test and demonstration satellite) 같이 광학 및 마이크로파 센서를 갖춘 소형 지구관측 위성을 개발해 왔다. 아시아 국가들과 미국 및 유럽연합의 협력 하에 2006년부터 2011년까지 운영된 DAICHI는 이 기간 동안 큰 재해를 겪은 지역의 긴급 관측에 중대한 기여를 했다(JAXA, 2011).

사이클론의 부정적인 영향을 완화하기 위해선 신뢰할 수 있는 열대저기압 예측 및 경보, 이해관계자와 이용자, 일반 대중에 대한 효과적인 정보 전달 방식이 뒷받침 되어야 한다(Lee 등, 2006). NMHS는 와이브로 접속, GPS, GIS와 같은 통신 기술의 발전을 토대로 경보 및 대안의 타당성과 효율성, 다양한 다중 채널을 통한 전파를 위한 백업 역량을 강화하고 있다(Lee 등, 2006). 자연재해 관리는 주요 과제를 해결하기 위해 발전되었다. 즉 신기술(예: 위성 및 지상기반 센서)이 제공하는 실시간 데이터를 정보로 전환하여 사람들이 자신의 안전 및 번영에 관한 의사결정에 이용할 수 있도록 한다(Groat, 2004).

기후변화로 인한 극한 현상의 변화와 관련해 적응 촉진을 위한 기술이전에 관한 문헌은 매우 제한적이다. 기술이전 관련 프로세스와 경로, 이해관계자, 장벽에 관한 정보를 얻기 위해, 기후변화에 대한 적응을 평가하는 문헌의 범위를 확대할 필요가 있었다. 또한 기후변화 완화, 재해 위험 저감(예방, 완화, 대비), 기타 관련 영역을 뒷받침하는 기술이전에 관한 문헌으로부터 유용한 통찰이 추론되었다. 기술 개발 및 이전에 관한 DRR 문헌은 위성 기반 정보와 이를 해석하기 위한 국제 노하우의 국제이전 정보를 수집, 전파함으로써 극한기후 사상의 예측 및 모니터링을 위한 국제 협력이 확대되어 가는 현상을 다룬다. 수문기상학 데이터의 수집에서부터 자연의 대응 예측(예: 기후 또는 홍수 예측), 의사결정권자(부문별 이용자 또는 커뮤니티)들에 대한 정보(또는 경고) 전달에 이르기까지 모든 EWS 요소 전반에 걸쳐 긴밀한 연계를 구축하는 것이 중요하다는 인식이 증가하고 있다(보통 동의수준, 제한적 증거수준).

7.4.3.3. 기술 이전의 금융지원

기후변화 완화는 최근 금융지원 메커니즘과 혁신적인 금융지원의 주된 관심사항이었다. 반면 적응을 위한 기술이전은 부족한 인센티브 체계와 증가된 위험, 높은 거래비용으로 인해 제약을 받았다(Klein 등, 2005). 그러나 완화를 위한 기술 이전을 통해 습득한 지식은 적응을 위한 기술 이전과도 관련이 있다. 개발도상국에 대한 에너지 및 산업기술의 투입 결과는 노동력의 숙련도, 시장조건, 기술발전 정도, 기초 서비스(전력과 물)의 신뢰성, 예비 부문의 이용 가능성 등을 비롯한 여러 가지 요소에 달려 있다. 기술이전의 성공 여부는 기술 그 자체보다 서로 연관된 사회경제적, 제도적, 통치적 문제들에 의해 결정되고는 한다(Klein 등, 2005, p. 23). 또한 이러한 요소들은 적응을 위한 기술 이전에 있어 중요하다. 이들이 이전된 기술의 채택과 관련해 타당성과 효율성을 결정하기 때문이다(예: 구축 및 설치 규제, 숙련된 노동력, 기술 운영에 필요한 물과 전력).

UNFCCC (2005)는 기후변화에 대한 대응과 관련해 환경적으로 건전한 기술의 이전을 다루고 있다. 즉 기후변화 적응을 위한 기술과 그 이전의 필요성과 그러한 기술 및 이전의 파악 및 평가를 다룬다. 비용은 기술 이전에 있어서 가장 큰 장벽 중 하나다. 이런 점에서 기술 개발 및 이전을 위한 혁신적인 금융지원이 필요하다. 기술 이전을 위한 잠재적인 자금 조달원에는 당사자들의 양자간 활동, GEF, 세계은행, 지역 은행 등과 같은 다자간 활동, SCCF, LDCF, 공동 실행을 통한 금융지원 흐름, CDM 프로젝트, 민간 부문 등이 포함된다(7.3.3.3절 참고). 적응 활동을 위한 GEF 기금에는 SPA 신탁기금, LDCF, SCCF가 포함된다. 또한 GEF는 교토의정서 하에서 적응기금이사회에 사무국 서비스를 제공한다(7.4.2절 참고).

이미 기후변동성은 개발의 주요 장애물로 인식되고 있으며, 세계은행 기금의 2%가 재해 복구 및 회복에 할당되고 있다(World Bank, 2008). 가용 기금을 효율적으로 이용하기 위해 세계은행(2009)은 심사 도구인 ADAPT(Assessment & Design for Adaptation to Climate Change: A Prototype Tool)을 개발했다. 이는 기후변화에 대한 잠재적인 민감도와 관련해 프로젝트 개발을 평가하는 소프트웨어 기반의 도구다. 이 도구는 기후 데이터베이스와 기후 변동성 및 변화로 인한 위협과 기회에 관한 전문가 평가를 결합한다. 2011년 현재, 이 도구는 인도와 아프리카 사하라 이남 지역의 농업 및 관개, 모든 지역의 다양한 생물 다양성과 천연자원의 지식 영역을 다룬다.

적응을 위한 기술이전에 대한 금융지원과 관련해 관례적인 대안과 혁신적인 대안 모두 고려될 수 있다. 관례적인 대안인 GEF 기금(SPA, LDCF, SCCF)은 역량 구축, 협력, 정보공유를 위한 계획을 포함하며 적응 기술의 배치, 확산, 이전을 위해 이용될 수 있는 금융자원에 대한 접근 기회를 제공한다. 기술 필요성 평가에서 파악된 프로젝트들은 이러한 금융지원 기회를 이용해 실행될 수 있다. 이러한 경험과 군소 도서국가 및 LDC와 같은 국가들의 특정 필요성을 토대로, 적응 기술과 관련된 추가적인 자금 지원 가이드가 제공될 수 있다. 또한 적응기술의 촉진, 지원, 증대를 위한 혁신적인 금융지원 메커니즘을 탐색할 기회가 존재한다(UNFCCC, 2005).

기술이전 전문가그룹(Expert Group on Technology Transfer)의 보고서는 기술 개발 및 이전을 위한 자금지원을 고려해, 기술을 성숙단계와 금융지원 원천(공공 또는 민간 부문), UNFCCC 내 존재유무에 따라 분류하고 기술 연구, 개발, 배치, 보급, 이전을 위해 현재 이용 가능한 금융지원 자원을 추정한다. 완화 기술에 대한 금융지원은 연간 700억 달러에서 1650달러로 추정된다. 적응과 관련해, 보고서는 연구 개발이 특정 지역 및 적용 분야에 대해 맞춤화된 기술에 초점이 맞춰져 있으며 관련 지출이 프로젝트 비용의 일부가 되고 있다고 주장한다. 개발도상국에서 적응 프로젝트에 대한 지출은 현재 연간 10억 달러에 이른다(UNFCCC, 2009a).

보고서는 관심 및 기금 조성 측면에서 적응을 위한 기술 이전이 완화를 위한 기술 이전보다 뒤쳐지고 있음을 분명하게 보여주고 있다. 기후 변동성 특히, 기후 관련 극한 현상에 대한 취약성을 저감시키는 데에 도움이 되는 기술과 관련해 자금 이전 및 자금조성 메커니즘은 CCA와 DRR 모두에서 중요한 것으로 보인다(높은 신뢰수준).

7.4.4. 위험 공유 및 이전

이 절은 극한기상 위험의 공유와 이전을 위한 보험 및 기타 금융수단에 대한 접근을 실현하는 데 있어 국제 커뮤니티(국제금융기관, NGO 개발기구, 민간 시장 참여자, 새로운 적응 커뮤니티)의 현재 및 미래 역할에 대해 살펴본다. 위험의 국제 이전 및 공유는 내부적으로 기후위험 포트폴리오를 충분히 분산할 수 없는 모든 국가들의 개인과 정부에게 기회를 제공한다. 특히(6.3.3절에서 언급한 바와 같이), 임시방편적이고 불충분한 재해 사후 지원에 의존하기를 원하지 않는 정부에게 기회이다.

경험에 의하면 개인과 국가, 국제사회의 기술 공유 및 이전 전략을 실행하는 데 있어 국제 커뮤니티가 중요한 역할을 수행할 수 있다(높은 신뢰수준). 다음의 논의는 이러한 역할의 성공적이거나 가치부가적인 사례뿐만 아니라 제약에 대해 살펴본다.

7.4.4.1. 국제적 위험 공유 및 이전

국제 커뮤니티는 위험이전(일반적으로 지불 수반)과 위험 공유(일반적으로 지불을 수반하지 않는 비형식적 형태)를 DRM 및 CCA의 필수 요소로 인식한다(정의에 대해선 사례 연구 9.2.13 참고). 2005 HFA는 재해 커뮤니티에 "재해에 대한 보험 및 재보험을 비롯해 위험공유를 위한 금융지원 수단의 개발을 촉진"할 것을 요구한다(UNISDR, 2005a, p. 11). 또한 2007 발리로드맵은 적응 강화를 위한 수단으로서 위험공유 메커니즘을 고려할 것을 요구한다(UNFCCC, 2007a). 발리로드맵은 UN FCCC 제 4.8조와 교토의정서 제 3.14에 명시된 바와 같이 보험 고려 의무를 토대로 한다.

위험 공유 및 이전은 국제 수준의 필요성에 의한 경우가 많다. 지역 및 국가 공동기금(5.5.2절 및 6.3.3절에서 논의)은 충분히 분산될 수 없는 통계적으로 의존적인(공변) 위험에 대해 실행 가능하지 않다. 단일 사건은 분산의 기

본적인 보험원칙을 침해하며 보험에 가입된 많은 자산의 동시적인 손실을 야기할 수 있다. 이러한 이유에서 일차 보험회사, 개인, 정부(특히 작은 국가에서)는 위험을 지역적 또는 세계적으로 분산하는 위험 공유 및 이전 수단에 의존한다. 국제적 합의의 몇 가지 예는 다음과 같다.

- 정부는 주요 재해 이후 국제 긴급 지원 및 차관을 제공받는다.
- 가족은 재해 사후 송금을 통해 구조를 제공할 먼 거리 국가에 거주하는 친척의 위치를 파악한다.
- 대규모의 재해 발생 이후, 농가는 국제적 지원을 받는 소액대출기관으로부터 대출을 받는다.
- 보험회사는 민간 재보험회사로부터 재보험을 구매하고 재보험회사는 이러한 위험을 국제 이해관계자에게 분산한다.
- 정부는 위험을 직접적으로 국제 자본시장에 이전하는 대재해 채권(catastrophe bond)를 발행한다.
- 많은 작은 국가들이 대재해보험 풀을 형성한다. 이러한 보험 풀은 위험을 분산하고 국가들의 재보험 구매를 가능하게 한다.

이러한 금융 합의는 국제적 성격을 가지며, 국제 개발 및 기후적응 커뮤니티에 의해 지지된다(UNISDR, 2005b; UNFCCC, 2009b 참고). 이러한 수단은 비용 효율적인 위험 저감을 우선순위로 설정하는 위험관리 전략과 분리된 것이 아니라 그 일부로 인식되어야 한다.

7.4.4.2. 국제적 위험 공유와 이전 메커니즘

이 절에서는 송금, 재해 사후 차관, 보험 및 재보험, 대체 보험 메커니즘, 지역 공동기금 등을 비롯해 위험의 공유 및 이전을 위한 국제 메커니즘을 살펴본다.

7.4.4.2.1. 송금

송금(외국인 근로자 또는 국외 거주 커뮤니티가 자국으로 자금을 이체하는 것)은 비공식적인 위험 공유 및 이전에서 큰 부분을 차지하며 심지어 공적인 개발 원조비를 초과하기도 한다. 2010년의 공식적인 전세계 송금 규모는 3250만 달러로 추정되며 기록되지 않은 송금 규모는 이의 50%를 넘을 것으로 보인다. 송금이 그 수령 국가의 국내총생산의 3분의 1을 차지하는 경우도 있다(World Bank, 2011 b).

다수의 연구들에 의하면, 송금은 재해 후 크게 증가하며, 재해 사후 원조국의 지원을 초과하곤 한다(Lucas and Stark, 1985; Miller and Paulson, 2007; Yang and Choi, 2007; Mohapatra 등, 2009). 급여는 자금이체 전문기관을 통해 이체될 수 있지만 이러한 경로를 통해 전달이 잘 이루어지지 않는 경우가 많아 직접적인 운반 형식으로 송금이 이루어진다(Savage and Harvey, 2007). 개념은 단순하지만 송금은 관련 이체 수수료로 인해 복잡해질 수 있다. 영국에서 수행된 설문조사에 의하면 평균 규모의 이체에 대해 2.5%에서 40% 사이의 관련 비용이 발생할 수 있다(DFID, 2005). 이체 관련 정보는 모호하거나 익숙하지 않은 언어로 표현된 경우가 많으며, 일부 국경간 이체는 선진국들이 국제 자금세탁과 테러 지원 자금에 대응하기 위해 취하는 정책들로 인해 제약이 따른다(Fagen and Bump, 2006). 마지막으로 해외 친척들과의 커뮤니케이션 문제뿐 아니라, 재해 상황에서 필요 서류를 손실할 가능성이 존재한다.

국제 커뮤니티는 재해 사후 송금을 위한 비용 및 장벽을 낮추기 위해 적극적인 노력을 기울여 왔다. 개발기구들 중에서도 DFID는 거래 비용을 크게 낮출 것으로 예상되는 모바일 뱅킹과 재해 복구 전용 특별 예금계좌를 비롯한 금융포용(financial inclusion) 정책을 지원하고 있다. 또한 보안을 위해 생체인식카드와 망막 스캐너와 같은 하이테크 수단이 제안되었다(DFI D, 2005; Pickens 등, 2009).

7.4.4.2.2. 재해 사후 차관

가장 중요한 재해 사후 금융지원 수단 중 하나인 차관은 재해 사후 정부와 개인에게 자원을 제공한다. 상환의무는 나중으로 연기된다. 그러나 취약성이 높은 국가의 정부와 개인은 재해 사후에 상업 대출기관으로부터 차입이 어려울 수 있다. 1980년대 초 세계은행은 회복 및 복원을 위한 500건 이상의 융자를 실행했으며 총 지급금은 400억 달러 이상이었다(World Bank, 2006). 또한 아시아개발은행도 이러한 목적으로 대규모 융자를 실행했다(Arriens and Benson, 1999). 재해 사전 계획의 중요성이 증가하면서, 최근 일부 국제기구에서는 재해 사전 정부보증채권 협약이 제시되고 있다. 가령 세계은행의 재해 인출 연기 옵션(catastrophe deferred drawdown option)은 정부가 비상사태를 선포한 후 신속하게 지출을 실행한다(World Bank, 2008).

소액금융기관(micro-finance institutions: MFI)의 경우 재해 사후 대출은 대출 조건 완화 또는 부채 탕감을 조장하는 증가된 수요로 인한 위험과 관련이 있다. 이러한 위험은 특히 취약한 지역에서 심하게 나타난다. 재해 사후 기간에 상환 능력이 있는 MFI를 지원하기 위한 필요성을 인식하고 스위스 국가경제국(Swiss State Secretariat for Economic Affairs: SECO)과 IADB, 민간 투자자가 비상 유동성지원기구(Emergency Liquidity Facility: ELF)를 생성했다(UNFCCC, 2008). 코스타리카에 위치한 ELF는 재해 사후에 필요한 즉각적인 유동성을 낮은 금리로 지역 MFI에 제공한다.

7.4.4.2.3. 보험과 재보험

보험은 위험에 처한 가구와 농장, 비즈니스, 정부의 재해 손실을 분배하기 위한 수단이며, 국제 위험 이전을 위한 수단으로서 가장 크게 인정받고 있다. 극한기상 현상으로부터 재산 손실에서 보험화된 부분은 1950년대의 경우 무시할 수 있는 수준이었지만 2007년에는 약 20%까지 증가했다(Mills, 2007).

보험 및 재보험시장이 국제투자자로부터 자금을 끌어들이면서 보험은 세계적으로 재해 위험을 이전하기 위한 수단이 되고 있다. 이 시장은 국제적인 성격이 크지만 아직 보장에 대해서는 균등하지 않다. 가령 2000년에서 2005년 사이 기간 동안 미국 보험회사들은 2,000개 이상의 미국 외 국가의 재보험회사들로부터 매년 재보험을 구입했다(Cummins and Mahul, 2009, p. 115). 1980년부터 2003년까지 보험회사들은 개발도상국가에 대해 기후 관련 재해로 인한 전체 손실의 4%를 보장했지만(약 1조 달러로 추정), 고소득국가에 대해선 40%를 보장했다(Munich Re, 2003).

국제 커뮤니티는 소액 보험 및 국가 보험 프로그램의 지원을 통해 개발도상국의 보험 가입을 촉진하는 데 있어 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 역할 수행에 대한 예로 다음의 네 가지를 들 수 있다.

- 세계은행과 세계식량계획(World Food Programme)은 말라위 시범 소액보험 프로그램을 수립하기 위해 필수적인 기술과 서비스를 지원했다(5.5.2절 참고). 이 프로그램은 소규모 농가에 지수기반 가뭄 보험을 제공한다(Hess and Syroka, 2005; Suarez 등, 2007).
- 몽골 정부와 세계은행은 몽골 지수기반 가축 보험 프로그램(Mongolian Index-Based Livestock Insurance Program)을 통해 드물게 발생하는 극한 현상(가축 사망률 30% 이상)으로 인한 손실을 보전하고(5.5.2절 참고), 정부보증채권 협약을 제공한다(Skees and Enkh-Amgalan, 2002; Skees 등, 2008).
- 세계식량프로그램은 파리 소재 재보험회사를 통해 보험계약을 획득하고 에티오피아 정부에 보험을 제공함으로써 극한 가뭄 발생 시 구조 활동을 위한 자금 확보를 보장했다(Hess, 2007).
- 버뮤다, 캐나다, 프랑스, 영국 정부와 카리브개발은행(Caribbean Development Bank) 및 세계은행은 최근 카리브재해위험보험기구(Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility)(7.4.4.2.5절에서 논의)의 개시자금을 제공하기 위한 출자를 약속했다(Cummins and Mahul, 2009).

이러한 초기 프로그램, 그 중에서도 특히 소액보험 계획은 가장 취약한 국가에 도움을 주고 있지만, 현재 운영을 확대하기 위해선 많은 과제들이 존재한다는 점을 보여주고 있다. 보험에 대한 데이터, 규정, 신뢰, 지식의 부족과 높은 거래 비용은 장벽으로 작용한다(Hellmuth 등, 2009).

사례 연구 9.2.13에서 논의된 바와 같이, 보험 및 기타 위험 이전 수단은 여러 가지 방법으로 DRR과 CCA를 촉진할 수 있다. 즉, 금융 회복을 위한 수단을 제공함으로써 장기적인 손실을 줄이고 위험에 관한 지식을 획득하며 위험 저감을 위한 인센티브(및 명령)을 창출하고, 기후변화에 대한 취약성을 줄이기 위해 위험하면서도 비용 효율적인 투자를 실행하는 농가와 기업에 필요한 안전 수단을 제공한다(Linnerooth-Bayer 등, 2009; Warner 등, 2009b).

7.4.4.2.4. 대안 보험 수단

경우에 따라 위험관련 증권을 의미하는 보험 유사 수단은 위험을 국제 자본시장에 매각할 수 있도록 하는 금융 지원 장치다. 국제 자본시장의 엄청난 규모를 고려했을 때 대안 또는 비전통적 위험 금융지원 수단은 잠재력이 크다. 여기엔 재해위험(CAT) 채권(아래 및 6.3.3절과 사례연구 9.2.13에서 설명)과 산업 손실 보증, 사이드카(회사가 보험의 일부 또는 전부를 구입함으로써 이익과 위험을 공유), 재해 에쿼티 풋(catastrophic equity put) 등이 포함된다. 이러한 수단들은 대규모의 손실 발생 시 위험에 대한 파이낸싱을 제공하는 데 있어 그 역할이 점점 중요해지고 있다. 이러한 수단들에 대한 논의는 이 장의 범위를 벗어나지만 가장 중요한 위험 연계 증권인 CAT 채권에 대해 살펴볼 가치가 있다. CAT 채권은 완전 담보부 증권으로 이를 통해 투자자는 특정 자연재해가 발생하지 않을 경우 시작 수익률 이상의 수익률을 획득하지만(예: 규모 4 이상의 허리케인), 사건이 발생할 경우 원금과 이자를 희생함으로써 보험회사 또는 정부의 손실을 공유한다.

CAT 채권의 90%가 보험회사 및 재보험회사에 의해 발행된다. 아직 이 시장은 실험 단계에 있긴 하지만, 2005년부터 2006년 사이 CAT 채권 모집이 두 배 이상 증가했다. 그러나 2006년 47억 달러로 정점을 찍은 후(Cmmins and Mahul, 2009) 계속 감소해 2009년엔 34억 달러를 기록했다(Munich Re, 2010).

2006년과 2009년 Swiss Re와 도이치은행(Deutsche Bank Securities)에 의해 최초의 정부 발행 재난 구조 CAT 채권 모집이 실행되었다. 이는 멕시코에 자금을 지원해 지진(2009년)과 허리케인 위험에 대비한 재해기금인 FONDEN의 보험 가입을 위한 자금을 제공하고 재해 회복 및 구조에 대한 비용을 지불하는 것이 목적이었다(Cardenas 등, 2007). 세계은행은 이러한 거래를 위한 기술 지원을 제공했다. 멕시코 CAT 채권의 거래 비용이 크고, 기초 위험(채권에 의해 유발되는 위험은 이러한 손실과 상관관계가 높지 않을 것으로 예상된다)이 거래 성공의 장애물이긴 하지만, 앞으로 이러한 유형의 위험 이전이 취약성이 높은 개발도상국 정부에 매력적인 수단이 될 것으로 기대된다(Lane, 2004). 6장에서 논의한 바와 같이, 많은 정부 국고가 재해 위험에 취약하며 일반적으로 개발도상국의 재해 사후 금융 전략은 높은 비용을 유발한다.

국제 기구 및 원조 기구들은 다른 경우의 국가 위험의 이전에서 중요한 역할을 수행하고 있다(9.2.13절에서 논의). 2006년 세계식량계획은 에티오피아 정부 지원 생산안전망 프로그램(Productive Safety Net Programme)을 지원하기 위한 목적으로 지수 기반 보험 상품을 매입했다. 이 보험은 홍수로 인한 비상사태 발생시 즉각적인 현금을 지급한다. 이 거래는 전통적인 재보험 수단에 의존했지만, 현재 같은 목적의 CAT 채권 발행에 관심을 두고 있다. Tomasini and Van Wassenhove(2009)는 재해 발생 시 인도주의적 지원을 제공하는 데 있어 증권화 수단이 중요한 역할을 한다는 점에 주목했다.

7.4.4.2.5. 지역 리스크 풀(risk pool)

지역 기반의 재해 보험 풀은 가능성이 높은 수단으로 취약성이 높은 국가 특히 작은 국가들이 더 적절하게 국제적으로 위험을 이전할 수 있도록 지원한다. 재해 보험 풀은 개별 국가 또는 지역들의 위험을 결합하고 시간이 지남에 따라 적립금을 축적함으로써 분산효과를 창출하고 결과적으로 보험료를 낮출 수 있는 기회를 제공한다. 또한 재해보험 풀이 시간 간 분산을 가능하게 함으로써 재보험 가격결정 사이클의 변동성을 완화하고 보험 가입 정부에 안정적인 보험료를 제공하고 있다는 실증적인 증거들이 증가하고 있다(Cummins and Mahul, 2009).

최근의 사례로서(6.3.3절과 사례연구 9.2.13에서 논의) 카리브재해위험보험기구(Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility: CCRIF)는 2007년에 설립되어, 금융시장에서 개별적으로 보험을 구입했을 때보다 낮은 비용(약 50% 절감)으로 카리브 커뮤니티 정부에 보험수단을 제공하고 있다. 16개 도서국가 정부는 각자의 지진 및 허리케인 노출 정도에 따라 자원을 납입했다. 앞으로 보험금은 허리케인 지수(풍속)와 지진 지수(진동)에 따라 지급될 예정이다. 사건 발생 후 조기에 지급된 현금은 재해 발생 후의 전형적인

상황인 유동성 부족을 해소하는 데 도움이 될 것이다.

7.4.4.3. 국제적 개입에 의한 부가가치

취약 국가의 재해위험 금융 솔루션 개발에 있어서 국제금융기구와 원조기구, 기타 국제 참여자들이 촉매제 역할을 하고 있다.

- 연계능력 발휘와 관련해, 세계은행은 CCRIF의 개발을 조율했다(Cummins and Mahul, 2009)
- 위험시장 인프라 개발을 위한 공공재 지원과 관련해 원조기구들은 지수 기반 날씨 파생상품에 필요한 기상관측소 구축을 위한 자금 지원을 고려할 수 있다.
- 기술지원과 관련해, 세계식량계획은 위험 평가를 수행하고 에티오피아 구가 위험 이전을 지원하기 위한 기타 수단을 제공했으며(Hess, 2007), 세계은행은 멕시코 CAT 채권을 위한 기술 지원을 제공했다(Cardenas 등, 2007).
- 시장 접근과 관련해, DFID는 은행 서비스에 대한 접근을 촉진하기 위한 법률 및 규제 환경을 조성함으로써 신속한 송금을 가능하게 했다(DFID, 2005; Pickens 등, 2009).
- 금융 위험 이전과 관련해, 빌게이츠재단(Bill Gates Foundation)은 에티오피아 소액보험을 위해 보조금을 지원했다(Suarez and Linnerooth-Bayer, 2010). 세계은행은 몽골의 소액보험 프로그램을 위해 저비용 자본을 지원했다(Skees 등, 2008). 스위스 SECO와 IADB는 ELF에 저금리 차관을 제공했다(UNFCCC, 2008). 많은 국가들이 CCRIF 준비기금에 기부했다(Cummins and Mahul, 2009).

제시된 예는 국제 커뮤니티의 위험 공유 및 이전 프로젝트와 관련된 수 많은 예 중 몇 가지에 불과하지만, 국제금융기구와 개발/원조 기구들이 다양한 방법으로 위험 공유 및 이전 계획을 지원하고 실행 가능하게 만들 수 있다는 것을 보여준다. 한편 여기서 부가가치와 관련된 의문이 제기된다. 커뮤니티 기반의 위험 공유와 시장 기반의 위험 이전을 위해 필요한 제도적 조건의 창출이 가치를 제공한다는 사실에 대해서는 논쟁의 여지가 없다. 그러나 직접 금융(특히 보험)은 논쟁의 여지가 있다. 비평가들은 7.2.2절에서 논의된 경제적 효율성 원칙을 지적하며 공공 및 국제적 지원 특히 보험료 보조 형식의 지원이 가격신호를 왜곡하고 예방조치 실행에 대한 인센티브를 약화시킴으로써 취약성을 영구화시킬 수 있다고 주장한다. 반면 옹호자들은 7.2.3절에서 논의된 '연대원칙'을 지적하며, 선진국들의 사회 시스템에서 연대가 중요한 역할을 한다고 주장한다(Linnerooth-Bayer and Mechler, 2008). 소규모 보험사에 대한 재보험 제공과 같은 다른 유형의 지원은 민간 시장의 (새로운) 역할을 밀어낼 수 있다. 마지막으로 비평가들은 빈곤국가에 보험금을 보조하는 것보다 현금을 보조하는 것이 더 효과적일 수 있다고 주장한다(Skees, 2001; Gurenko, 2004).

이러한 우려를 인식함에 따라 특정한 맥락에서 재해 보험 및 기타 위험 금융 시장 개입을 뒷받침하는 타당하고 중요한 근거가 있을 수 있다(Cummins and Mahul, 2009; Linnerooth-Bayer 등, 2010). 특히 다음의 경우에 그러하다.

- 민간 시장이 존재하지 않거나 초기단계인 경우. 이 경우 역량 강화를 위한 지원(예: 거버넌스 및 규제 개선, 지식 창출)이 도움이 될 수 있는 경우.
- 민간 시장이 적절하게 기능하지 않는 경우 특히 민간 자본에 대한 제약과 미래 손실의 빈도 및 정도에 대한 불확실성으로 인해 보험료가 보험계리적인 공정시장가격을 초과하는 경우(Kunreuther and Michel-Kerjan, 2009). 이 경우 경제적으로 정당한 보험료 즉 완전한 민간 시장에 의해 부과되는 보험료보다 낮은 수준의 보험료가 적절할 수 있다(Froot, 1999; Cutler and Zeckhauser, 2000).
- 인구가 충분한 보험 보장을 구매할 능력이 없는 경우. 이 경우 인센티브를 크게 왜곡하지 않는 금융 지원이 요구될 수 있다. 예를 들어 몽골에서의 프로그램 설계자들은 위험의 '하층'보다 '상층'에 보조금을 지원하는 것이 가격왜곡이 덜하다고 주장한다. 시장이 '하층'에 대한 보험 제공에 실패할 수 있기 때문이다(Skees 등, 2008).
- 대안은 재해 발생 후 대안이 무상 원조를 제공하는 경우.

7.4.5. 지식습득과 관리, 전파

DRR과 CCA의 긴밀한 통합뿐 아니라 전 수준에 걸쳐 이 두 가지를 위험 관리를 위한 지속가능한 개발계획으로 통합하기 위해서는 모든 수준에서 다양한 방식을 통한 지식의 습득, 개발, 관리, 보급이 요구된다. 시간 및 공간 수준 전반에 걸쳐 위험에 대한 노출 및 취약성 수준에 관한 지식(Louhisuo 등, 2007; Heltberg 등, 2008; Kaklauskas 등, 2009), 법률적 측면의 DRM과 CCA, 다양한 수준의 금융 수단 그리고 적절한 기술에 대한 접근 정보, 재해 위험 저감을 위한 적절한 위험 공유 및 이전 수단(7.4.1-7.4.4절 참고)이 통합된 위험관리의 핵심이다. 지식 습득과 관리, 접근성과 관련해 다양한 분야의 과학자들과 의료인, 정책입안자, 대중의 협력이 필요하다(Thomalla 등, 2006). 또한 지식의 유형과 구체성, 창출 및 보급 방식은 보완성 원칙과 재해 위험 관리에 관한 정보의 공유 및 보급 원칙을 유지하며, 지역수준에서부터 국가 및 지역 수준, 국제적 수준에 이르기까지 전 수준에 걸쳐 다양하게 나타난다(Marincioni, 2007; Chagutah, 2009).

기후변화 위험에 관한 통합 정보와 지식, 경험의 습득과 저장, 검색, 공유와 관련해 국제적으로 합의된 메커니즘은 아직 수립되지 않았다(Sobel and Leeson, 2007). 이러한 메커니즘이 수립된 경우에도 단편적이고, 하향식 접근법이 가정되며 명확한 국제적 사명 없이 제도에 의해 수행되고, 자료의 품질과 범위가 부적절하다는 한계가 있다. 또한 방대한 정보가 수집되었지만 효과적으로 이용되고 있지 않은 경우도 있다(Zhang 등, 2002; Sobel and Leeson, 2007). 정부 제도 하에서 자료 또는 정보에 대한 접근은 관료주의에 의해 제약되는 경우가 많으며, 다중적인 형태와 양립 불가능한 자료로 인해 공유된 정보의 강화가 방해 받을 수 있다. 전 수준에 걸쳐 통합된 위험관리를 달성하는 데 있어 주요 과제는 네트워크화된 프로그램을 위한 명확한 메커니즘을 수립해 다양한 경험과 도구, 정보를 창출하고 교환하는 것이다. 결과적으로 이러한 프로그램을 통해 DRR 및 CCA 참여자들은 다양한 수준에서 기후 위험 저감을 위한 다양한 대안을 이용할 수 있다. 이러한 메커니즘은 CCA 및 DRR을 개발계획에 통합하기 위한 노력을 지원할 것이다. UNDP, 세계은행, DFID, IADB와 같은 개발기구, 캐나다 국제개발기구(Canadian International Development Agency), 유럽연합 집행위원회(European Commission) 등에 의한 계획이 그러한 예이다(Benson and Twigg, 2007). 무엇보다도 개발 맥락에서 기후 위험에 대한 책임은 필요로 하는 적절한 정보와 지식이 효과적으로 알려지고 공유될 때 달성될 수 있다(Ogallo, 2010).

7.4.5.1. 지식습득

자연적인 지식 습득은 복잡하고 계속적이며 비선형적일 뿐 아니라 여러 세대를 거치는 오랜 프로세스이다. DRR 및 CCA에 대한 지식 습득은 오랜 시간에 걸친 진실성과 적용 가능성을 위한 지식의 습득, 문서화, 평가와 관련이 있다. 지식 습득과 문서화는 HFA에 의한 주안점을 대응적인 긴급구조에서부터 능동적인 DRR 접근으로 이동하는 데 초점을 맞추고 예방, 완화, 대비의 강화뿐 아니라 지역 수준에 더 큰 초점을 맞추는 CCA 변화와의 연결을 목표로 해야 한다(7.4.3.2절 참고). 전 세계 공간정보 인프라 개발의 조율과 지원을 목표로 하는 지구공간정보인프라(Global Spatial Data Infrastructure: GSDI)는 능동적인 DRR 접근법을 위해 중요 서비스를 제공한다(Kohler and Wachter, 2006). GSDI의 생성을 촉진하는 획기적인 성과는 지리공간 정보 등의 공유 및 상호운용을 위한 공통의 토대를 형성하는 상호운용 표준 및 기술의 개발이었다. 그러나 지구공간정보 인프라는 현장 및/또는 적용 분야의 특수 목적에 따라 아직 폭넓게 활용되고 있지 않다(Le Cozannet 등, 2008; Di and Ramapriyan, 2010). DRR 및 CCA 관련 지식의 습득과 개발, 교환을 위한 대학, 정부기관, 국제기구, 민간 부문에 의한 노력이 있어 왔지만 이러한 노력의 국제적인 조율은 아직 이루어지지 않고 있다(Marincioni, 2007). 국제적 수준에서 국제학술연합회의(the International Council for Science: CSU)는 DRR 및 CCA로 확대된 환경변화 정보를 창출하기 위한 노력을 촉진하고 자금을 지원하는 주요 국제단체이다. ICSU는 국내 과학단체(121개)와 국제 과학연합(30개)을 회원으로 하는 NGO로서 주로 자연과학에 초점을 맞춘다(www.icsu.org). 그러나 몇 년 사이 많은 변화가 있었으며 ICSU는 현재 국제사회과학위원회(International Social Science Council: ISSC)와 긴밀하게 협력하고 있다. ICSU에 의해 촉진되는 주요 글로벌 환경변화(GEC) 연구 프로그램은 네 가지이다: 생물다양성 과학에 의한 국제프로그램(International Programme of Biodiversity Science: DIVERSITAS), 생물권 국제연구프로그램(International Geosphere Biosphere Programme), ISSe와 긴밀하게 연결된 변화에 관한 인간차원 국제연구프로그램(International Human Dimensions Programme), 세계기후연구프로그램(World Climate Research Programme). 이러한 프로그램은 역량구축 및 정보 보급 영역인 분석, 연구, 훈련 시스템(System for Analysis, Research and Training)에 의해 뒷받침된다. 네 개 GEC 프로그램은 CCA와 DRR의 기초를 형성하는 배경과학을 생성하는데 있어 중요한 역할을 해왔다. CCA를 위한 UN 정책과 과학 간의 연결은 IPCC 프로세스를 통해 달성되며, DRR을 위한 연결은 UNISDR의 활동을 통해 달성된다.

GEC 연구 프로그램이 통합되어 있지 않아 특정 분야로 제한된 단편적인 정보만을 제공한다는 우려가 증가하고 있다. 이러한 우려는 지역 수준에서부터 전지구 수준에 이르기까지 자연과학과 사회과학의 통합을 목표로 하는 지구시스템과학협력(Earth System Science Partnership)의 생성으로 이어졌다. 그러나 이 협력 프로그램은 증가하는 통합 정보에 대한 욕구를 충족시키지 못했다(Leemans 등, 2009). 그 결과 ICSU에 의해 제도 및 과학 차원에서 지식창출 프로세스의 구조조정이 실행되었다. 이러한 구조조정은 지역 및 지역 수준의 관련 정보를 이용해 지속가능한 개발을 위한 환경위험을 해결한다는 측면에서 주로 통합접근법과 잠재적인 이용자와의 지식의 공동생산에 초점을 맞추고 있다. 이러한 계획은 DRR과 CCA의 통합 프로세스와 미래 개발과의 연결에 영향을 미칠 것이다(ICSU, 2010; Reid 등, 2010).

DRR과 CCA에 대한 기후서비스 평가는 7.3.3.2절에 제시되어 있다. 그러나 기후변화정보 창출은 하향식 접근법을 따르며 광범위한 정보 생산을 위해 전 지구적 모델에 의존해 왔다. 이렇게 창출된 정보는 지역 수준의 맥락이 명확하지 않으며 대개 불확실성과 복잡성 때문에 대중이 이해하기 어려운 문제가 있다. 또한 위험에 대한 정책입안자들의 행동을 이끄는 데 있어 낮은 인센티브를 제공한다(Weingart 등, 2000; Schipper and Pelling, 2006). 기후변화 정보는 주로 긴 시간 범위에서 제공된다(예: 2050년). 이는 대부분의 정부의 지속 기간인 5년을 넘어서는 기간이다. 의사결정에 있어서 모든 차원의 기후 정보가 필수적이다. 그러나 실제로는 기후정보 이외의 다양한 요소들이 의사결정에 영향을 미치고 있다. IPCC 5차 평가보고서는 2050년 이전 기간 즉 가까운 미래의 기후를 포함할 것이다. 1년 단위에서 10년 단위 차원의 정보 전달 강화를 위한 노력은 위험관리에 대한 기후정보의 동화를 개선할 것이다(Goddard 등, 2010; Vera 등, 2010). 그러나 영향과 취약성, 적응을 표현하기 위해서는 위험의 생물물리학적 성격과 사회경제적 요소 사이의 복잡한 상호작용이 설명되어야 한다. 교육수준이 낮고 커뮤니케이션 인프라가 부적절한 지역에선 이러한 연관관계에 대한 커뮤니케이션이 어렵다(Vogel and O'Brien, 2006).

지식습득과 문서화를 위해선 숙련된 인력과 인프라, 적절한 제도, 자금 측면의 역량이 요구된다(7.4.3.1절). 전세계적으로 다양한 위험 및 취약성을 포함하는 장기적인 연구와 모니터링이 필요하다(Kinzig, 2001). 예를 들어 위험 예측은 재해예방에서 중요한 측면이지만 그러한 정보의 창출은 비용을 수반한다. WMO의 기상 네트워크를 통한 날씨 예측은 개선되어 가고 있다. 그러나 기상관측소 네트워크는 아직 공간적으로 충분치 않고, 운영을 중단하거나 적절한 장비를 갖추지 못한 관측소도 있다(Ogallo, 2010). 기상예보는 불확실성이 큰 것으로 규정되고는 하지만 정책입안자들과 대중이 쉽게 이해할 수 있는 방식으로 전달될 필요가 있다(Vogel and O'Brien, 2006; Carvalho, 2007).

범학문적 정보창출 즉, 전통적으로 구분되었던 사회과학, 자연과학, 행동과학, 공학의 연결을 통해 기후변화 위험 저감을 위한 지적 정보를 창출하기 위한 노력이 계속되고 있다. 새롭게 구성된 재해위험에 관한 통합연구(Integrated Research on Disaster Risk: IRDR)는 ICSU, ISSC, UNISDR이 공동 후원하는 프로그램으로 통합접근법을 토대로 자연 및 인위적 요소로 인한 환경위험을 이해하는 것으로 목표로 한다(ICSU, 2008; McBean, 2010). IRDR은 이러한 과제를 해결하고 점진적으로 취약성 경향에 관한 데이터와 정보, 지식을 제공하기 위해 구성되었다. 이러한 정보와 지식은 의사결정자들이 DRR 및 CCA를 위한 통합 정책과 수단을 수립하는데 있어 중요한 토대가 된다.

7.4.5.2. 지식의 조직화와 공유, 전파

매스미디어 및 정보통신기술(ICT)를 통해 전세계적으로 재해정보의 교환이

크게 증가하고 있다. 재해 대응과 달리, DRR과 CCA의 폭넓은 필요를 해결하는 데 있어서 매스미디어의 역할은 여전히 제한적이다. 그러나 기후 및 미디어 전문가들이 참여하고 있는 중북부 및 동북부 아프리카 지역 국가 기후 저널리스트 네트워크(Network of Climate Journalists of the Greater Horn of Africa: NECJOGHA)와 같은 지역 수준의 다양한 계획들이 현재 수립 중이어서 상황을 개선하고 있다(Ogallo, 2010). NECJOGHA는 환경 감시, 기후, 농업경제, 공공보건 등을 토대로 통합된 정보를 사용자에게 보급함으로써 기후 변화에 대한 지속가능한 대응을 강화하고 있다. 분명한 것은 다양한 차원의 다양한 요구를 충족시키기 위하여 지식과 정보의 보급 및 공유를 위한 다각적인 전략이 요구된다는 것이다(Glik, 2007; Maitland and Tapia, 2007; Maibach 등, 2008; Saab 등, 2008; 6장 참고). 특히 효과적인 위험 저감을 위해 위험 정보를 넘어 취약성 개발에 관한 정보를 파악하고 전달하기 위해 큰 노력이 필요하다(Zhang 등, 2002).

재해 대응 및 회복은 재해 발생 이전 및 재해 상황 중의 효율적인 커뮤니케이션과 밀접하게 연결돼 있다(Zhang 등, 2002). 텔레비전, 라디오, 신문과 같은 매스미디어는 재해 상황 중 또는 재해 발생 직후 정보를 전달하기 위한 강력한 메커니즘이다. 그러나 이러한 매체는 문제를 지나치게 과장해서 다룰 수 있으며 이것이 위험에 대한 인식과 대응에 영향을 미칠 수 있다(Vasterman 등, 2005; Glik, 2007). 대인 커뮤니케이션 채널과 결합된 매스미디어에서의 단계 흐름접근법은 정보 보급을 위한 더 효과적인 접근법을 제공한다(Maibach 등, 2008; Chagutah, 2009; Kaklauskas 등, 2009).

휴대전화, 상호작용 기능을 갖춘 온라인 블로그 웹사이트, 다른 웹페이지로 연결되는 링크, 크라우드 소싱 실시간 방송, 트위터, 페이스북 등의 소셜네트워크 기반의 기타 형식 등을 비롯한 정보통신 기술의 이용이 증가하고 있으며 이는 시기 적절한 정보 보급을 위한 도구가 되고 있다. 이러한 기술은 신속한 정보 교환을 촉진한다. 가령 구조자에게 재해 현장을 전달하거나 관련자들에게 필수적인 정보를 전달할 수 있다. 그러한 정보가 적절한 형식 및 언어로 제시되고 정보전달을 위한 시설이 접근 가능한 경우에 특히 그렇다(Glik, 2007). 휴대폰 기반의 재해대응 서비스를 개발하려는 시도가 증가하고 있다. 가령 재해정보를 다양한 언어로 변환하는 서비스(Hasegawa 등, 2005) 또는 실시간 통화 데이터를 이용해 재해 지역 희생자의 위치 및 이동 정보를 제공하는 서비스가 가능하다(Madey 등, 2007). 오늘날 선진국에서는 재해 경보정보를 보급하는 데 휴대전화가 일상적으로 이용 되고 있다. 이러한 프로세스는 개발 도상국으로 빠르게 확대되고 있다.

1996년 UN인도적지원조정실(UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs: OCHA)에 의해 구축된 ReliefWeb 웹 사이트(www.reliefweb.int)를 통해 재해 구조를 위한 정보 공유 및 보급이 개선되었다. ReliefWeb은 인터넷 기반의 국제적 재해정보의 수집, 공유, 보급 메커니즘을 제시한다(Wolz and Park, 2006; Maitland and Tapia, 2007; Saab 등, 2008). 국제헌장(International Charter)(www.disasterscharter.org)은 ReliefWeb의 확대를 위한 공간 자료를 제공하고 있다. 그러나 OCHA ReliefWeb은 대비 및 재해예방을 다루지 않아 CCA와 DRR을 완전히 포용하지 않고 있다. 이에 비해 최근에 개설된 PreventionWeb (www.preventionweb.net)은 재해 위험 저감을 다룬다.

재해 대응에서 매스미디어와 정보통신기술의 역할이 점점 증가하고 있음에도 불구하고 재해로 인한 손실을 줄이기 위해서는 여전히 큰 개선이 필요하다. 재해구조에 있어서 휴대전화와 인터넷 시설의 잠재력은 아직 완전히 이용되고 있지 않다. OCHA ReliefWeb은 지역 수준에서 국가 수준의 인도주의 지원 활동을 제대로 표현하지 못한다. 이러한 정보의 대부분이 아직 다양한 언어로 번역되고 있지 않는 것이 그러한 예다(Wolz and Park, 2006). 세계 인구 중 상당수가 인터넷이나 기타 통신 서비스에 접근할 수 없다(Samarajiva, 2005).

그러나 재해현장 근로자들에 의한 개선된 접근이 재해구조에 긍정적인 영향을 미치고 있다는 증거가 제시되고 있다(Wolz and Park, 2006). 라디오와 인터넷을 결합한 위성방송 서비스인 RAdio and InterNET(RANET)은 수문-기상학적 정보와 기후관련 정보를 전달하며, 개발도상국의 인터넷 접근 제한 문제를 해결하기 위한 혁신적인 예를 제시하고 있다(Boulahya 등, 2005). 인도주의적 지원을 위해 정보를 조율하기 위해선 정보통신기술을 지속적으로 이용할 수 있어야 한다. 그러나 이러한 지속가능한 이용은 한정된 자원과 시스템 유지 및 업그레이드와 같은 문제에 직면해 있다. (Saab 등, 2008). 또한 정보통신기술은 컴퓨터에 저장된 문서와 데이터로 구성된 명확한 지식으로 제한된다. 즉 경험을 토대로 한 암묵적 지식은 대체로 부족하다. 이러한 경험은 다른 사람의 전문지식, 능력, 이해, 전문가의 직관력과 연결돼 있으며 재해구조에서 중요한 가치가 있을 수 있다(Kaklauskas 등, 2009). 재해관리와 양방향 웹 커뮤니케이션의 이용 증가에 관한 국제 협력은 암묵적 지식의 여과를 가능하게 한다.

7.4.5.2.1. 재해 위험 저감 및 기후변화 적응

UNISDR, 국제적십자사연맹(Federation of Red Cross and Red Crescent Societies), 연방 긴급 사태 관리청(Federal Emergency Management Agency) 등과 같은 재해관리 기구와 더불어, 학계를 통해서도 지식 보급의 큰 성과가 있었다. 그러나 일반 대중은 이러한 지식이 쉽게 이해되지 않는다. DRR과 CCA의 통합에 있어서, 지식 습득 및 교환을 위한 데이터 및 정보의 통합을 위한 컴퓨터 네트워크, 디지털 도서관, 위성 통신, 원격 탐사, 그리드 기술, GIS 등의 정보통신기술의 이용이 점점 중요해지고 있다 UNISDR, 2005b; Louhisuo 등, 2007; 7.4.3.2절). 정보통신기술은 학습을 위한 상호작용 모형을 제시하며, 이러한 학습 모형은 원격교육과 온라인 데이터 공유 및 검색에 유용할 수 있다. 예를 들어, 벨기에 루뱅 가톨릭대학교 재난역학연구소(Centre for Research on the Epidemiology of Disasters: CRED)는 1900년부터 현재까지 전 세계 재해에 관한 18,000건 이상의 사항이 보관된 EM-DAT(Emergency Events Databasea)를 관리하고 있다(www.cred.be). 데이터는 국가 수준에서 기록되며, 재해 대비 및 취약성 평가를 위해 유용한 자원을 제공한다. 그러나 작은 규모의 재해 정보는 체계화되기 어렵다(Tschoegl, 2006). CRED 외에, Munich Re NatCatSERVICE는 전지구적 자연재해로 인한 손실에 관한 종합적인 데이터베이스로서 매년 800건에 가까운 사건이 새로 저장된다. 2009년의 데이터베이스는 1980년대부터 시작된 25,000개 이상의 사항을 보관하고 있다. 그러나 주요 사건에 대한 기록은 2,000년 전으로 거슬러 올라간다(Schmidt 등, 2009; Zschocke and de Leon, 2010). Munich Re 데이터베이스는 보험손실에 주로 초점을 맞추고 있어 보험 보장 범위가 낮은 영역에 대해선 다루지

않는 경향이 있다. 지역 수준에서, 라틴아메리카의 DesInventar 데이터베이스는 1994년에 재해예방에 관한 사회학적 연구 네트워크(Network for Social Studies in Disaster Prevention)에 의해 개발된 지역 데이터베이스이다. 재해를 소규모 영향, 중간 영향, 대규모 영향을 미치는 재해를 분류하는 DesInventar 데이터베이스(www.desinventar.net)는 참여자, 기관, 부문, 지방 및 국가 정부 간의 위험관리를 위한 의사소통 촉진을 목표로 한다. 이러한 계획은 UNDP에 의해 카리브해 지역, 아시아, 아프리카로 확대되었다. 한편 UNFCCC는 지역 대응 전략에 관한 지역 수준의 데이터베이스를 제공한다 (maindb.unfccc.intlpublidadaptation).

또한 재해 위험 저감을 위한 정보통신기술은 이메일, 뉴스그룹, 온라인 채팅, 메일링 리스트, 웹 포럼 등을 통한 개인과 국가, 지역, 국제 수준의 기관들 간의 상호작용 강화와 연결되어 있다(Marincioni, 2007). 일본에서 통합 재해 위험 저감 시스템을 생성하기 위한 시도가 있었다. 이 시스템은 더 수준 높은 정보 창출 및 전달사슬의 일부로서 이동통신을 이용하며, 지구 관측 자료 분석, 네비게이션 및 웹 기술, GIS, 그리드와 같은 신기술을 포함한다 (Louhisuo 등, 2007). 이러한 혁신이 다른 지역으로 확산될 때 국제적 수준의 DRR 노력에 기여하게 된다.

또 다른 예인 NetHope International은 개발과 재해문제를 정보통신기술 중심의 사명에 통합한다(Saab 등, 2008). RANET (www.oar.noaa.gov/spotlite/archive/spoUanet.html)은 가뭄을 위해 아프리카에서 개발되었으며 이후 아시아, 태평양, 중앙아메리카, 카리브해 지역으로 확대되었다. RANET은 활발한 참여가 이뤄지고 있으며 전지구 기후 데이터뱅크로부터의 자료와 지역 규모의 자료를 결합해 종합적인 정보 및 예측 정보를 보급한다. RANET에서 농업 연구원, 개발 실무자, 훈련을 받은 커뮤니티 회원들로 구성된 네트워크를 통해 정보를 지역 맥락과 언어로 전환된다. 그 결과 RANET은 스페어타임 대학교(Spare Time University)와 같은 다른 교육 프로그램에서 CCA에 대한 혜택과 함께 DRR 학습에 대한 접근을 개선하기 위해 고려되고 있다(Glantz, 2007). RANET은 아프리카의 다양한 지역에서 극한기후에 대한 취약성을 줄이기 위해 설립되었다. 예를 들어, 서아프리카 지역의 강우 예측은 농부들이 어떤 작물을 재배하고 다양한 토양 유형이 존재하는 밭들 중 어떤 밭을 이용해야 하며 가뭄 기간 동안 가축을 위한 물과 초원을 어디에서 찾아야 할 것인지를 결정하는 데 도움을 준다. 그러나 RANET은 기술 지원, 후속 훈련, 전력 공급, 조율 등을 이용할 수 없다는 문제에 직면해 있다.

UNISDR에 의한 PreventionWeb 설립은 전 차원에 걸쳐 국제 재해 위험 관리를 위한 정보 공유에 있어서 정보통신 기술의 잠재력을 보여준다. PreventionWeb은 2006년부터 발전해 왔으며 ReliefWeb의 경험을 토대로 구축되었다. 전체적인 글로벌 재해 위험 저감 정보의 단일 진입점이 되는 것을 목표로 하며 연결, 경험 교환, DRR 정보 공유, CCA 및 개발 프로세스와의 통합을 위한 공동 플랫폼을 제공한다. 매일 업데이트가 이뤄지는 PreventionWeb 플랫폼은 뉴스, DRR 계획, 이벤트 캘린더, 온라인 토론, 주소록, 국가 프로파일, 자료표, 오디오 및 비디오 콘텐츠 등을 포함한다. 이런 점에서 PreventionWeb은 주로 DRR 전문가들의 요구에 부합하며 재해위험에 관한 비전문가들의 더 나은 이해를 촉진한다. PreventionWeb은 Zhang등(2002), Marincioni (2007), Kaklauskas등(2009), 및 기타에서 발전되어 온 더 수준 높은 정보와 지식의 공유 및 보급에 대한 필요에 대응한다. 이 웹사이트는 정보 및 지식 공유가 필수적인 HFA 실행을 지원하는 데 있어 중요한 역할을 한다(Zschocke and de Leon, 2010). 그러나 PreventionWeb이 비교적 새로운 프로그램이기 때문에 아직 잠재력이 완전히 실현되지 않고 있다.

DRR에 초점을 맞춘 PreventionWeb 외에도 DRR과 CCA 모두를 지원하는 웹 기반의 포털 수가 증가하고 있다. 이중 무엇보다도 ProVention Consortium(www.proventionconsortium.org)은 DRR과 기후에 초점을 맞추었지만 현재 운영이 중단되었다. UN Adaptation Learning Mechanism (www.adaptationlearning.net)은 140개 국가 이상의 온라인 리소스와 문서와 관련된 링크를 제공한다. DRR에 어느 정도 초점을 맞추고 있는 Linking Climate Adaptation Network/CBA-X (www.linkingclimate-adaptation.org)은 2008년 현재 회원 수가 1,000명 이상이었으며 연구자와 실무자, 정책입안자들을 위해 리소스와 출판물을 제공한다. 적응에 초점을 맞춘 WeAdapt/ WikiAdapt(www.weadapt.org)는 단순한 네트워크 및 보급 역할을 뛰어 넘어 지식 통합과 기타 혁신적인 적응 도구를 다룬다. 비교적 새로운 이러한 포탈들은 주로 각 커뮤니티에 의해 이용되며 상대 커뮤니티에 의해 비판을 받곤 한다(Mitchell and van Aalst, 2008). 재해 위험 관리에서 정보 자원과 같은 정보통신기술 성과는 CCA, DRR, 개발 커뮤니티 간의 조율과 협력을 통해 개선될 수 있다.

7.4.5.2.2. 지식공유 및 보급의 제약

언급된 모든 정보 도구와 관련해 번역된 정보의 품질과 표현된 언어가 그 도구의 효과에 영향을 미친다. 또한 이러한 메커니즘은 가장 필요한 때인 재해 발생 시 붕괴되곤 한다(Marincioni, 2007; Saab 등, 2008). 가난한 국가에서는 신기술에 대한 접근이 쉽지 않다. RANET과 같이 가장 혁신적인 도구들조차 수 많은 제약(특히 원거리 지역에서)을 보여준다(Boulahya 등, 2005).

증가된 정보 흐름에서의 역할과 달리, 재해 및 위험 지식의 공유에서 정보통신기술의 역할에 대한 인식에는 차이가 있다. 여기서 지식은 간단히 정보의 이해로 정의되며 정보는 체계화된 자료를 의미한다(Zhang 등, 2002; Marincioni, 2007). 재해정보의 순환은 증가하고 있지만 이것이 항상 새로운 위험 저감 접근법의 동화 증가로 이어지는 것은 아니며 이러한 요인은 부분적으로 효과적인 공유 부족에 기여한다. 그러나 정보의 이용/적용 능력 부족은 주요 요인일 수 있다(Zhang 등, 2002; UNISDR, 2005b). 재해 위험 저감에 대한 정보통신기술의 동화는 무엇보다도 지식 수준과 제도적 협약을 비롯한 업무환경에 달려 있다. 이런 점에서 효과는 개발 수준에 따라 다양하게 나타날 수 있다 Samarajiva, 2005; Marincioni, 2007; Section 7.4.3.2절). 결과적으로 전세계 기관의 일상적인 운영에 있어서 PreventionWeb과 같이 비교적 새로운 프로그램의 기여는 정보통신기술의 접근성과 동화에 달려있다. 증거에 의하면 정보 하나만으로는 재해 위험 저감을 적절하게 해결할 수 없다. 오히려 자원의 이용 가능성과 효율적인 관리 구조, 소셜 네트워크 등과 같은 다른 요인들이 중요하다(Glik, 2007; Lemos 등, 2007; Maibach 등, 2008; Chagutah, 2009).

기후변화 위험 관리의 주요 제약은 재해관리, 기후변화, 개발을 위해 일하는 커뮤니티들이 서로 별개로 운영되기 때문에 발생한다. 또한 이는 재해로 이어지는 극한기후에 대한 취약성을 증가시킨다(Schipper and Pelling,

2006; Lemos 등, 2007). 예를 들어, 인도주의적 지원에 대한 강조는 위험 저감을 적절하게 통합하지 않아 취약성 증가로 이어지는 개발 어젠다에 기인한다(Benson and Twigg, 2007). 한편 개발 커뮤니티 회원들은 보험을 적절하게 이용하고 있지만 이를 기후변화로 인한 위험의 저감과 연결시키지 못해 커뮤니티를 극한기상에 대한 취약성에 노출시킨다. 도시 개발자와 기후위험 커뮤니티와의 연계가 없는 도시들에서도 이와 유사한 현상이 관찰되었다(Wamsler, 2006). 그러나 실제로 도시개발과 기후적응 커뮤니티 모두 재해 취약성에 관심을 갖는다. 이는 연구와 정보공유, 글로벌 안보를 위한 협력을 촉진하는 데 있어 공통적인 토대가 될 수 있다(Schipper and Pelling, 2006; Lemos 등, 2007).

전문가 집단 간의 커뮤니케이션의 차이가 발생하는 것은 표현 양식과 전문용어의 차이 때문이다. Heltberg 등(2008)은 지식 보급의 토대인 다양한 참여자 전반에 걸쳐 위험, 취약성, 적응과 같은 핵심 용어에 대해 보편적으로 공유되는 기본 정의를 체계화할 필요가 있다고 주장했다. 또한 이러한 주장은 수많은 인도주의 기구 간의 더 효과적인 협력(Saab 등, 2008) 및 재해 위험 관리를 위한 FAO 가이드(Baas 등, 2008; 1장 참고)와 관련해서도 제기되었다. UNISDR에 의한 유사한 지역 및 국제 체계와 연결된 국가 재해 위험 저감 기관을 설립하기 위한 움직임이 증가하고 있다. 이러한 흐름은 국가 수준에서 기후변화 및 개발 커뮤니티를 비롯한 다양한 이해관계자를 하나로 연결하기 위한 프레임워크를 제공하며 이는 결국 국제 수준에서 더 수준 높은 통합 위험 관리로 이어진다. . 또 다른 노력에는 국가 수준에서 재해 위험 저감과 빈곤 감소 프레임워크를 통합하기 위한 국제적 프로그램들이 포함된다.

결론적으로 문헌에 의하면 HFA 의 주안점을 대응적인 긴급구조에서부터 능동적인 DRR로 이동하는 것과 관련해 정보 및 지식 층 구축을 위한 노력이 국제적으로 이뤄지고 있다(높은 신뢰수준). 전통적인 미디어와 정보통신기술은 재해대응, CCA, DRR에 관한 정보의 교환 및 보급을 촉진하는 주요 요소들이다(높은 신뢰수준). 이는 다시 새로운 지식 창출을 자극하고 현재 여전히 제한적인 상태에 머물고 있는 DRR과 CCA의 통합을 더 수준 높은 방향으로 이끌 것이다(보통 신뢰수준). 전세계적으로 많은 지역에서 정보통신기술 인프라가 아직 적절하게 개발되지 않고 있기 때문에 정보통신기술에 대한 의존은 한계가 있다. 또한 국제적인 차원에서 데이터 및 정보의 교환 증가는 위험 저감을 위한 완벽한 솔루션이 아니라는 데에 문헌들간의 의견이 일치하고 있다. 정보와 경험을 지식과 행동으로 전환할 수 있도록 각각 이용 가능한 형태로 창출하고 공급하기 위한 자원은 재해 저감에서 매우 중요한 차원이다(높은 신뢰수준). 또한 기후변화 위험 관리의 다양한 단계에서 어떠한 정보가 필수적이며 다양한 위험 저감 시나리오 하에서 다양한 참여자들이 그러한 정보를 어떻게 이해하고 이용해야 하는지를 파악하기 위해서는 국제 커뮤니티의 더 많은 관심이 필요하다. 데이터 수집, 정보 및 지식 습득, 재해 구조 관리는 오랜 역사를 가졌다. CCA, DRR, 개발 커뮤니티의 경험을 통합하기 위한 통합 정보자원 도구의 구축 프로세스는 아직 약하다. 그러나 이러한 도구는 미래에 재해에 대한 취약성을 낮출 가능성이 높다(높은 신뢰수준).

7.5. 미래 정책과 연구를 위한 고려

국제적 수준에서 재해 위험 저감에 관한 경험이 어떻게 기후변화 적응을 강화하거나 지원하는 데 이용될 수 있는가? DRR 체제(주로 UNISDR과 효고 행동 계획에 의해 예로 제시됨)과 CCA 체계(주로 UNFCCC와 IPCC에 의해)가 자세히 기술되고 문헌이 허용하는 범위까지 평가되어왔다. 일반적인 가정 중 하나는 DRR 커뮤니티가 CCA 커뮤니티로부터 많은 것을 학습해야 하고 그 반대도 성립되어야 한다는 것이다(IPCC, 2009). 재해 위험 저감과 기후변화 적응이 '통합'되어야 한다는 주장이 폭넓게 제기되고 있다(Birkmann and von Teichman, 2010).

기후변화 적응과 재해 위험 저감의 통합 요구는 계속 증가하고 있다(UNISDR, 2009a). 그러나 재해 위험 저감과 기후변화 적응은 여전히 개발활동의 중심에서 벗어나 있다(UNISDR, 2009a). UN 글로벌재해위험저감 평가 보고서(United Nations Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction)는 지방의 취약한 생계기반, 도시의 빈약한 국정운영, 생태계의 쇠퇴 등과 같은 기초적인 위험 동인을 해결하기 위해 취약한 재해 위험 저감의 신속한 패러다임 이동을 요구했다(UNISDR, 2009a). 또한 보고서는 재해 위험 저감 및 기후변화 적응을 위한 기존 제도와 정부 협약의 조화를 요구하고(p. 181), 위험 저감을 위한 20단계 계획을 제시했다(pp. 176–177).

이러한 결론은 공식 UN 보고서(UNISDR, 2009a)로부터 도출되었으며 과학 문헌(O'Brien 등, 2006; Schipper, 2009)뿐 아니라 다른 정부보고서(DFID, 2005; Birkmann 등, 2009; CCD, 2009) 및 옹호 문헌(Venton and La Trobe, 2008)에서 폭넓게 지지되고 있다.). 최근, 지역수준의 환경 변화와 관련해 폭넓게 평가된 ICSU(2010) 보고서(벨몬트 과제(Belmont Challenge)로 불리움): 주요한 전지구 환경 변화 연구의 자금에 대한 지원자들에 의해 인간의 이행과 지역 환경 변화에 대한 적응을 지원하기 위한 지식 전달이라는 과제와 관련해 국제 연구 역량 평가를 사명으로 하는 인간의 이행과 적응(Human Action and Adaptation)은 결론적으로 위험 및 취약성을 식별하고 대응하기 위해 필요한 통합 정보를 전달하고 완화 및 적응 전략을 개발하기 위해 높은 수준의 조율 및 협력 연구 프로그램을 요구했다. 또한 ICSU와 ISSC는 지구시스템 연구의 초점 및 프레임워크를 재고하기 위해 폭넓은 컨설팅을 수행했다. 이 컨설팅을 통해, 지구시스템 과학과 지속가능한 개발의 교차점에서 중요 문제를 해결하기 위한 학문 연구와 범학문적 연구의 균형을 요구하는 네 개의 그랜드 과제(Grand Challenges)가 도출되었다(Reid 등, 2010):

- 미래 환경 조건 및 그로 인해 사람들에 미치는 영향에 관한 예측의 유용성 개선
- 글로벌 및 지역 환경 변화를 관리하기 위한 관측 시스템의 개발, 강화, 통합.
- 어떻게 파괴적인 전지구적 환경 변화를 예측하고 피하며 관리할 수 있는지를 판단
- 전지구적 지속가능성을 향한 효과적인 단계를 실행하기 위한 제도적, 경제적, 행동적 변화를 판단

벨몬트 과제와 그랜드 과제 모두 국제적인 수준에서 DRR과 CCA, 개발과 같은 과제에 대한 통합적인 접근법을 취하고 있다. 재해 위험 저감과 기후변화 적응을 통합하기 위한 정책 제안이 부족하다.

또한 공식 보고서는 이러한 방향의 움직임은 발전이 느린지와 관련해 많은 이유를 제시하고 있다. 한 가지 제약은 통합적 차원의 어려움으로, 7.6절에서 다루고 있다. 또 다른 두 가지 제약은 '규범적 차원'과 '지식 차원'으로 기술된다(Birkmann 등, 2009). 지금까지 파악된 과제와 제약에는 다음이 포함된다.

- 규범적 차원(Birkmann 등, 2009으로부터 채택)
  - 취약성 및 역량 평가에서는 물론 적응 계획, 프로그램, 프로젝트의 설계, 수립, 실행에 있어서도 획일적인 방식과 표준, 절차가 부재 취약성 및 역량 평가를 적용할 때 및 적응 수단을 설계 및 실행할 때 필요한 명확한 규범 부족
  - 안정 욕구와 신속하게 정상으로 회복하려는 경향은 재해 사후 기회의 탐색 및 이용 범위를 제한하며, 기후변화를 고려해 적응적인 방식으로 회복한다. 안정 욕구의 개념은 변화와 역동성을 이용할 기회를 방해할 수 있다. 즉, 재해 발생 후 존재하는 기회를 이용하고 미래 기후 변화를 고려해 적응적인 방식으로 재건축을 하는 경우는 거의 없다. 일반적으로 재해 이전 상태로 신속하게 인프라를 구축하는 경우가 더 일반적이다.
- 지식 과제(Birkmann 등, 2009으로부터 채택)
  - 이용되는 용어의 차이, 즉 DRR과 CCA 커뮤니티에 의해 서로 다른 용어와 정의가 이용되고 있다.
  - 지역 수준에서 기후의 구체적인 영향에 관한 정보를 이용할 수 없다(7.4.5.1절 참고).
  - 관련 인구 자료에 관한 정보의 제한(사회 및 경제 파라미터). 인구 변동성 및/또는 경제 불안정성이 높은 지역에서 특히 제한적이다.
  - 과학 커뮤니티에 의해 습득된 기후변화에 관한 과학적 지식이 다른 언어로 옮겨지거나 종사자들에게 전달되지 않고 있다. 또한 이해하기 어려운 방식으로 전달되기 때문에 실무적 지식으로 이어지지 않는다(7.4.5.2.2절 참고)
  - 적응의 성공 여부를 측정하고 자금 지원 가이드와 모니터링 및 평가 전략에 통합할 수 있는 적절한 평가 지표의 부재(ICSU, 2010).

이 특별보고서를 위해, DRR 실천에서부터 CCA 발전에 이르기까지 무엇을 학습할 수 있는가의 측면에서 질문이 제기되었다. 그러나 문헌에 의하면 DRR과 CCA 커뮤니티 간의 협력은 양방향 프로세스다. 이는 지역 및 국가 수준의 실무 '통합'이 어떻게 국제적 수준의 변화에 의해 촉진될 수 있는가에 관한 질문을 제기했다.

7.6. 규모의 통합

7.6.1. 통합의 상태

문헌은 재해 위험 저감 및 기후변화 적응의 통합에 관한 세 가지 다른 관점을 반영한다. 전문가 및 실무자 커뮤니티 사이의 공통된 견해 중 하나는 기후변화 적응이 재해 위험 저감에 통합되어야 한다는 것이다(CCD, 2008a,b, c; Prabhakar 등, 2009, p. 26). 심지어 기후변화 적응이 쓸데 없는 시간 낭비라는 주장도 있다(Mercer, 2010). 재해 위험 저감이 기후변화 적응 영역의 많은 부분을 다루고 있으며 국제 개발 커뮤니티 내에서 이미 체계화가 이뤄졌기 때문이다(Lewis, 1999; Wisner 등, 2004). 재해 위험 저감 실무자들은 기후변화가 취약성과 재해에 기여하는 수 많은 요인 중 하나이며 (Mercer, 2010), 이런 점에서 기후변화 적응을 수용할 필요가 있다고 인식하는 경향이 있다.

두 번째 견해는 기후변화 적응 커뮤니티에서 주로 채택되고 있다. 이들은 기후변화의 영향과 관련이 있을 수 있는 교차 위험의 다양성을 인정하고 재해위험을 이러한 위험 중 하나라고 인식한다(Birkmann and von Teichman, 2010). 이러한 견해에서는 재해 위험 저감이 기후변화 적응으로 통합되어야 한다.

더 일반적으로 받아들여지는 세 번째 견해는 재해 위험 저감과 기후변화 적응이 더 폭넓은 개발계획에 효과적으로 통합되어야 한다는 것이다 planning (Glantz, 1999; O'Brien 등, 2006; Lewis, 2007; CCD, 2009; Christoplos 등, 2009; UNISDR, 2009a).

그러한 형태의 통합을 위해 실무 차원에서 이미 많은 단계들이 진행 중이다(5장과 6장 참고). 기후변화와 직접적으로 연관이 없는 위험과 재해도 많지만 그 영향은 기후변화에 대한 취약성을 증가시키는 역할을 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 7.5절에서 언급한 바와 같이 통합을 방해하는 많은 요소들이 존재한다. 또한 재해 위험 저감과 기후변화 적응 간의 완전한 통합이 가능하거나 바람직하다는 견해에 대해 합의가 이뤄진 것도 아니다.

통합의 잠재적인 혜택과 장애물은 세 가지 차원 측면에서 조사될 수 있다: 공간 차원, 시간 차원, 기능 차원(Birkmann and von Teichman, 2010).

7.6.2. 공간규모의 통합

문헌은 DRR과 CCA가 다른 공간 차원에서 운영되며(Birkmann and von Teichman, 2010) 실무에서 DRR과 CCA의 통합이 문제가 있거나 실현 불가능하다는 견해를 반영한다. 재해는 특정 지역에서 발생하는 사건으로 인식되곤 한다. 반면 기후변화는 전지구 또는 지역적 현상으로 인식된다. 지역 기반의 기후변화적응이 점점 뚜렷해지고(Adger 등, 2005), 지역 재해의 영향이 더 큰 공간 차원에서 더 광범위한 영향을 미치는 것으로 인식됨에 따라 현재 이러한 견해는 수정되고 있다(4장과 6장, 7.2.1절 참고).

공통적으로 통합을 방해하는 것으로 언급되는 것 중 하나는 기후변화 예측이 지역 수준에서 정확한 정보를 제공하지 않으며(3장 참고), 적응 전략이 전체 국가들 또는 지역 수준에서 설계되는 경향이 있다는 것이다(German Federal Government, 2008; Red Cross and Red Crescent Climate Centre, 2007).

7.6.3. 시간규모의 통합

또한 CCA과 DRR의 시간적 차원에서 차이가 인식되고 있다. 재해 커뮤니티

는 전통적으로 비교적 단기간의 구조 및 재건축을 비롯한 인도주의적 대응에 초점을 맞춰왔다. (UNISDR, 2009b). 반면 기후변화는 수십 년에서 수백 년에 이르는 장기 프로세스로서 인식되어 왔다(3장). 이는 주로 단기에 초점을 맞춘 개발 커뮤니티에 문제를 제기한다. DRR과 CCA 종사자 간의 더 효과적인 협력과 통합은 이러한 시, 공간적 과제를 감지하고 해결하며 극복하는 데 도움이 된다. 이는 CCA 측면에서 기후관련 재해 위험의 인식을, DDR 측면에서 장기적인 기후변화 위험 요소 간의 통합을 요구한다.

7.6.4. 기능규모의 통합

CCA와 DRR 기관, 조직, 메커니즘의 기능차원의 통합은 지역, 국가, 국제적 수준 관리 전반으로 확대된다. 국제적 수준에서 UNFCCC에 표현된 기후 적응 '체제'와 UNISDR 형식의 DDR '체제' 간의 관련성은 약하다. 두 '체제'의 성격은 근본적으로 다르다. 전자는 국제 협약의 실행에 중점을 두는 반면 후자는 UN의 부처간 지원 프로그램에 중점을 둔다. 이러한 두 가지 제도적 협약의 역사는 뚜렷하게 다르다. 오랫동안 인도주의와 긴급 대응 조치가 지배적이었던 재해현장은 최근에야 DDR 접근법을 향해 이동하고 있다(Burton, 2003). 이와 비슷하게, 기후변화는 초기에 대기오염문제로 인식되어 온실가스 배출 감축에 초점이 맞춰졌지만 UNFCCC 협상을 통해 개발 문제와도 관련이 있는 것으로 사고가 서서히 전환되고 있다. 두 가지 체제가 서로 다른 양상으로 발전해 온 결과 새롭게 떠오르는 국제적 기후 체제(UNFCCC)는 국가 수준에서 환경부처와 연결되는 반면 재해 체제(UNISDR)는 긴급 계획 및 준비 기관 또는 대통령과 연결된다. DRR과 CAA 모두 경제 계획 및 발전 기구와는 관련이 없다(UNISDR, 2009b).

또한 '하향식 접근'과 '상향식 접근'의 대립도 존재한다. 자연재해와 그것에 관련한 재난은 오랜 역사를 가지며, DRR은 7.2절에 기술된 근거에 대응해 지역 수준에서 국가 및 국제 수준으로 서서히 이동하고 있다. 한편 대기과학자들의 연구 결과에 의해 주목을 받게 된 기후 변화는 처음엔 주로 전지구 문제로 인식되었으나 CCA 필요성이 점점 뚜렷해짐에 따라 점차 하위 수준으로 이동했다. 이는 DRR이 발전해 온 국제 수준과 CCA가 이동하고 있는 국가 및 지역 수준에서 두 체제가 서로를 보완할 기회가 존재한다는 점을 보여준다.

7.6.5. 보다 더 나은 통합을 향하여

이 특별보고서의 의무는 DRR의 경험을 통한 학습에 의해 CCA가 어떻게 강화될 수 있는지, 또한 그 반대의 경우는 어떻게 성립하는지를 고려하는 것이다. 문헌들에 의하면, 긴밀한 통합이 DRR과 CCA 모두에게 이익이 될 수 있으며, 지속가능한 발전으로 통합될 때 사회에 더 많은 효익을 제공할 수 있다(UNISDR, 2009a). 이러한 의미에서 통합은 기관 차원의 형식적인 통합이 아니라 공생 또는 융합으로 이해된다. DRR과 CCA 간의 통합이 지역적, 국가적, 국제적 수준에서 이뤄질 경우 통합적 차원이 촉진될 수 있다. 국제적 수준의 통합은 국가적, 지역적 수준의 통합을 촉진하는 데 도움을 줄 수 있으며 그 반대도 가능하다. 특별보고서는 그 자체로 협력의 전형적인 예다. 이는 전지구적 환경 변화 과학연구 커뮤니티의 큰 폭의 진전과 일치한다. 이러한 연구 커뮤니티는 국제적 수준의 관리 측면에서 재해 위험 저감 및 기후변화 적응을 위해 연구 결과를 제시하고 있다.

참고문헌

본장에인용된, 일반인이쉽게열람하기어려운비-저널문헌의디지털라이브러리는 IPCC 검토및최종과정의일부로서취합되었고, IPCC 사무국또는 IPCC 실무그룹 II 웹사이트를통해접근할수있다.

Adaptation Fund, 2010: Financial Status of the Adaptation Fund Trust Fund. AFB/EFC3I7Rev.1, Adaptation Fund, GEF, Washington, De.

Adaptation Fund, 2011a: About the Adaptation Fund. Adaptation Fund, GEF, Washington, DC, adaptation-fund.org/about.

AdaptationFund, 2011 b: Funded Projects. Adaptation Fund, GEF, Washington, DC, adaptation-fund. 0 rg/funded_pro jects.

Adger, W.N., 2004: The right to keep cold. Environment and Planning, A, 36, 1711-1715. Adger, W.N., N.W. Arnell, and E.L. Tompkins, 2005: Successful adaptation to climate change across scales. Global Environmental Change, 15, 77-86.

Adger, W.N., I. Lorenzoni, and K. O'Brien (eds.), 2009: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

African Union, 2010: Extended Programme of Action for the Implementation of the Africa Regional Strategy for Disaster Risk Reduction (2006-2015). In: Extended Programme of Action for the Implementation of the Africa Regional Strategy for Disaster Risk Reduction (2006 - 2015) and Declaration of the 2nd African Ministerial Conference on Disaster Risk Reduction 2010. African Union Commission and United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Addis Ababa, Ethiopia, p. 25-54.

AGF, 2010: Report of the Secretary-Generai's High-Level Advisory Group on Climate Change Financing. United Nations, New York, NY, www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/Documents/AG F _reports/AG F%20Report.pdf.

Agrawala, S. and S. Fankhauser (eds.), 2008: Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments. OECD, Paris, France.

Agrawala, S. and M. van Aalst, 2008: Adapting development cooperation to adapt to climate change. Climate Policy, 8,183-193.

Alam, M., A. Rahman, M. Rashid, G. Rabbani, P. Bhandary, S. Bhadwal, M. Lal, and M.H. Soejachmoen, 2007: Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change In Asia. Background Paper for the UNFCCC, UNFCCC, Bonn, Germany, unfccc. i ntlfi l es/a da ptatio n/m etho do 10 g i es_for/vu l ne ra b i l ity-an d_a da ptati onl application/pdf/unfcccasian_workshop_background_paper.pdf.

Alexander, D., 2006: Globalization of disaster: trends, problems and dilemmas. Journal of International Affairs, 59, 1-22.

Arriens, W.U. and e. Benson, 1999: Post disaster rehabilitation: The experience of the Asian Development Bank. Paper presented to the IDNR-ESCAP Regional Meeting for Asia: Risk Reduction and Society in the 21st Century, Bangkok, Thailand, 23-26 February 1999.

Baas, S., S. Ramasamy, J.D. DePryck, and F. Battista, 2008: Disaster Risk Management Systems Analysis. Environment, Climate Change and Bioenergy Division, FAO, Rome, Ita ly, 68 pp.

Bamberger, R.L. and L. Kumins, 2005: Oil and Gas: Supply Issues after Katrina. Congressional Research Service, Library of Congress, Washington, De.

Barnett, B.J., e.B. Barrett, and J.R. Skees, 2008: Poverty traps and index-based risk transfer products. World Development, 36(1 0),1766-1785.

Barnett, J. andW.N.Adger, 2007: Climate change, human security and violent conflict. Political Geography, 26, 639-655.

Barnett, J. and M. Webber, 2009: Accommodating Migration to Promote Adaptation to Climate Change: A Policy Brief. World Bank and SCCCD, Washington, DC and Stockholm, Sweden.

Barrett, c.a. B.J. Barnett, M.R. Carter, S. Chantarat, J.w. Hansen, A.G. Mude, D.E Osgood, J.R. Skees, e.G. Turvey, and M.N. Ward, 2007: Poverty Traps and Climate Risk: Limitations and Opportunities of Index-Based Risk Financing. IRI Technical Report 07-02, International Research Institute for Climate and Society, Palisades, NY, 53 pp.

Basher, R., 2006: Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred. Philosophical Transactions of the Royal Society, 364, 2167-2182.

Begg, 1.,2008: Subsidiarity in regional policy. In: Subsidiarity and economic reform in Europe [Gelauff, G., I. Grilo, and A. Lejour (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 291-310.

Benson, e. and J. Twigg, 2007: Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction: Guidance Notes for Development Organisations. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies/the ProVention Consortium, ProVention Consortium Secretariat, Geneva, Switzerland, 178 pp.

Berkhout, F. 2005: Rationales for adaptation in EU climate change policies. Climate Policy, 5,377-391.

Bhatt, M.R., 2007: Good practice in local approaches to climate change adaptation and disaster risk management in South Asia: Lessons from Tsunami Evaluation Coalition. In: Climate Change, Humanitarian Disasters and International Development: Linking vulnerability, risk reduction and response capacity. Research and Policy Workshop, 27 April 2007. Oslo Center for Interdisciplinary Environmental and Social Research Forskningsparken, Oslo, Norway.

Biermann, F. and I. Boas, 2010: Global adaptation governance: the case of protecting climate refugees. In: Global Climate Governance Beyond 2012: Architecture, Agency andAdaptation [Bierman, F., P. Pattberg, and f. Zelli (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 255-269.

Birkmann, J. and K. von Teichman, 2010: Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: key challenges - scales, knowledge, and norms. Sustainability Science, 5, 171-184

Birkmann, J., K. von Teichman, P. Aldunce, e. Bach, N. T. Binh, M. Garschagen, S. Kanwar, N. Setiadi, and L.N. Thach, 2009: Addressing the challenge: Recommendations and quality criteria for linking disaster risk reduction and adaptation to climate change. In: DKKV Publications Series 38 [Birkmann, J., G. Tetzlaff, and K.-O. Zentel (eds).]. German Committee for Disaster Reduction, Bonn, Germany.

Birnie, P., A. Boyle, and e. Redgwell, 2009: International Law and the Environment. 3rd ed. Oxford University Press, Oxford, UK.

Bodansky, D., 1995: Customary (and not so customary) international environmental law. Indiana Journal of Global Legal Studies, 3(1), 105-119.

Bodansky, D., 2005: The international climate change regime. In: Perspectives on Climate Change: Science, Economics, Politics, Ethics [Sinnott-Armstrong, W. and R.B. Howarth (eds.)]. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 147-180.

Bodansky, D., 2010: The Art and Craft of International Environmental Law. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Boulahya, M., M.S. Cerda, M. Pratt, and K. Sponberg, 2005: Climate, communications, and innovative technologies: Potential impacts and sustainability of new radio and internet linkages in rural African communities. Climatic Change, 70, 299-310.

Brown, J., N. Bird, and L. Schalatek, 2010: Direct Access to the Adaptation Fund: Realising the Potential of National Implementing Entities. Overseas Development Institute, London, UK, 10 pp.

Brown, 0., 2008: Migration and Climate Change. Research Series No. 31, International Organization for Migration, Geneva, Switzerland.

Burton, 1.,2003. Do we have the adaptive capacity to develop and use the adaptive capacity to adapt In: Climate Change, Adaptive Capacity and Development [Smith, J.B., R.J.T. Klein, and S. Huq (eds.)]. Imperial College Press. London, UK, pp 137-161.

Burton, I., S. Huq, B. Lim, o. Pilifosova, and E.L. Schipper, 2002: From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. Climate Policy, 2(2), 145-159.

Caney, S., 2008: Human rights, climate change and discounting. Environmental Politics, 17, 536-555.

Caney, S., 2010: Climate change, human rights and moral thresholds. In: Human Rights and Climate Change [Humphreys, S. (ed.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 69-90.

Cardenas, V., S. Hochrainer, R. Mechler, G. Pflug, and J. Linnerooth-Bayer, 2007: Sovereign financial disaster risk management: the case of Mexico. Environmental Hazards, 7,40-53.

CARE International, 2010: Community-Based Adaptation Toolkit. Cooperative for Assistance and Relief Everywhere (CARE), Chatelaine, Switzerland, www.careclimatechange.org/files/toolkitiCARE_CBA_Toolkit.pdf.

Carvalho, A., 2007: Ideological cultures and media discourses on scientific knowledge: re-reading news on climate change. Public Understanding of Science, 16, 223.

Castles, S., 2002: Environmental Change and Forced Migration: Making Sense of the Debate. New Issues in Refugee Research, Working Paper No. 70, United Nations High Commissioner for Refugees, Geneva, Switzerland.

CCD, 2008a: Incentives and Constraints to Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction - A Local Perspective. Commission on Climate Change and Development, Stockholm, Sweden.

CCD, 2008b: Overview of Adaptation Mainstreaming Initiative. Commission on Climate Change and Development, Stockholm, Sweden.

CCD, 2008e: Links between Disaster Risk Reduction, Development and Climate Change. Commission on Climate Change and Development, Stockholm, Sweden.

CCD, 2009: Closing the Gaps: Disaster Risk Reduction and Adaptation to Climate Change in Developing Countries. Commission on Climate Change and Development, Stockholm, Sweden.

Chagutah, 1,2009: Towards improved public awareness for climate related disaster risk reduction in South Africa: A Participatory Development Communication perspective. Ismb«: Journal of Disaster Risk Studies, 2(2), 113-126.

Chinkin, e.M., 1989: The challenge of soft law: Development and change in international law. International and Comparative Law Quarterly, 38(4), 850-866.

Christian Aid, 2007: Human Tide: The Real Migration Crisis. Christian Aid, London, UK, www.christianaid.org.uk/Images/human-tide.pdf.

Christoplos, I., S. Anderson, M. Arnold, V. Galaz, M. Hedger, R.J.T. Klein, and K. Le Goulven, 2009: The Human Dimension of Climate Adaptation: The Importance of Local and Institutional Issues. Commission on Climate Change and Development, Stockholm, Sweden.

CIENS, 2007: Climate Change, Humanitarian Disasters and International Development: Linking Vulnerability, Risk Reduction and Response Capacity. Research and Policy Workshop. 27 April 2007. Oslo Center for Interdisciplinary Environmental and Social Research (CIENS), Forskningsparken, Oslo, Norway.

Clernencon, R., 2008: The Bali Road Map: A first step on the difficult journey to a post-Kyoto Protocol agreement. Journal of Environment and Development, 17(1), 70-94.

Climate Funds Update, 2011: Pilot Program for Climate Resilience. Climate Funds Update, www.climatefu n dsu p date. org/l i sti n g/p i l ot -p rog ra m- for- cl i m ate- resilience.

Cohen, R., 1998: The Guiding Principles on Internal Displacement: a New Instrument for International Organizations and NGOs. Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, DC 1-1568, 1 UN Plaza, 10017 NY, New York, USA. Also available on http://www.fmreview.org/FMRpdfs/FMR02ifmr209.pdf.

Cozier, M., 2011: Restoring confidence at the Cancun Climate Change Conference. Greenhouse Gases: Science and Technology, 1(1), 8-10.

Craeynest, L., L. Gallagher, and e. Sharkey, 2010: Business as Unusual DirectAccess: Giving power back to the poor Caritas Internationalis and CIDSE, Vatican City, Italy and Brussels, Belgium.

Cummins, J.D. and O. Mahul, 2009: Catastrophe Risk Financing in Developing Countries: Principles for Public Intervention. World Bank, Washington, De.

Cutler, D.M. and R. Zeckhauser, 2000: The anatomy of health insurance. In: Handbook of Health Economics. Vol. 1 [Culyer, AJ. and J.P. Newhouse (eds.)]. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, pp. 563-643.

Czarnecki, R. and K. Guilanpour, 2009: The Adaptation Fund after Poznan. Carbon and Climate Law Review, 3(1), 79-87.

Dalberg, 2010: United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) Secretariat Evaluation: Final Report.

Davis, I., 2004: The application of performance targets to promote effective earthquake risk reduction strategies. Engineering Paper no 2726 presented at the Thirteenth World Conference on Earthquakes, Vancouver, Canada 1-6 August 2004.

De Lucia, V., 2007: Common but differentiated responsibility. In: The Encyclopedia

of Earth [c.J. Cleveland (ed.)]. Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, Washington, DC, www.eoearth.org/artide/Cornrnonbutd ifferentiated_responsi b i l ity.

Dessai, S., 2003: The Special Climate Change Fund: origins and prioritisation assessment. Climate Policy, 3(3), 295-302.

DFID, 2005: Sending Money Home A Survey of Remittance Products and Services in the United Kingdom. Department for International Development, London, UK.

DFID, 2011: The Multilateral Aid Review. Ensuring maximum value for money for UK aid through multilateral organisations, Annex 6, Assessment Summary ISDR. Criteria for Assessment Table 2, Department for International Development, London, UK, pp 217-218.

Di, L. and H.K. Ramapriyan, 2010: Standards-based data and information systems for Earth observations - An introduction. In: Standard-Based Data and Information Systems for Earth Observation [Di, L. and H.K. Ramapriyan (eds.)]. Springer¬Verlag, Berlin, Germany, pp. 1-6.

Diacon, D., 1992: Typhoon resistant housing in the Philippines: The Core Shelter Project. Disasters, 16(3), 266-271.

Doig, A 2008: Setting the Bar High at Poznan. Christian Aid, London, UK, www.christianaid.org.uk/images/poznan-report.pdf.

Dun, O. and F. Gemenne, 2008: Defining environmental migration. Forced Migration Review, 31,10-11.

Dunfee, 1W. and D. Hess, 2000: The legitimacy of direct corporate humanitarian investment. Business Ethics Quarterly, 10(1), 95-109.

Eriksen, S. and K. Brown, 2011: Sustainable adaptation to climate change: Prioritising social equity and environmental integrity. Climate and Development, 3(1), 3-6.

Eriksen, S., P.Aldunce, e.s. Bahinipati, R.D.'A Martins, J.I. Molefe, e. Nhemachena, K. O'Brien, F. Olorunfemi, J. Park, L. Sygna, and K. Ulstrud, 2011: When not every response to climate change is a good one: identifying principles for sustainable adaptation. Climate and Development, 3(1),7-20.

Fagen, P. and M. Bump (ed.), 2006: Remittances in Conflict and Crises: How Remittances Sustain Livelihoods in War, Crises, and Transitions to Peace. International Peace Academy, New York, NY.

Fankhauser, S., 2010: The costs of adaptation. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1(1), 23-30.

Fidler, D., 2005: Disaster relief and governance after the Indian tsunami: What role for internationa l law Melbourne Journal of International Law, 6(2), 458.

Fisher, D., 2007: The law of international disaster response. In: Global Legal Challenges: Command of the Commons, Strategic Communications and Natural Disasters [M.D. Carsten (ed.)]. International Law Studies Vol. 83, US Naval War College, Newport, Rhode Island, pp. 293-320.

Foley, e., 2007: Mozambique: A Case Study in the Role of the Affected State in Humanitarian Action. HPG Working Paper, Humanitarian Policy Group and Overseas Development Institute, London, UK.

Froot, KA (ed.), 1999: The Financing of Catastrophe Risk. The University of Chicago Press, Chicago, I L.

Fugate, w.e. and e. Crist, 2008: Florida Hurricane Loss Mitigation Program. Report to the Florida Legislature, Florida Division of Emergency Management, Tallahassee, FL, www.floridadisaster.org/Mitigation/Documents/RCMPAnnualRpt SFYO 7 -08- fina I-secured. pdf.

Gassebner, M.,A Keck, and R. Teh, 2010: Shaken, not stirred: The impact of disasters on international trade. Review of International Economics, 18(2),351-368.

GEF, 2008: Report on the Completion of the Strategic Priority on Adaptation. GEF/C34/8, Global Environment Facility, Washington, DC, www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/documents/C.34.8%20Report%200n%2Othe%20Complet ion%200f%20the%20SPApdf.

GEF, 2009: Report of the GEF to the Fifteenth Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCc/CP/2009/9, UN FCCC, Bonn, Germany, unfccc. intiresource/docs/2009/cop15/eng/09.pdf.

GEF, 201 Oa: Status Report on Least Developed Countries Fund and Special Climate Change Fund. GEF/LDCF.SCCF.9/Inf.2/Rev.2, GEF, Washington, DC, www.thegef.org/ g ef Is ite s/th eg ef. 0 rgifi l e sid 0 cu m e nts/S tatu s %20 Rep 0 rt%2 0 0 n %2 Oth e% 2 0 C lim ate%20Change%20Funds%20-%200ct%208, %202010-Rev2.pdf.

GEF, 201 Ob: Report of the GEF to the Sixteenth Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCC-ClCPI2010/5, UNFCCC, Bonn, Germany, http://unfccc.intiresource/ docs/2010/cop16/eng/05.pdf.

German Federal Government, 2008: German Strategy for Adaptation to Climate Change. Adopted by the German Federal Cabinet on 17 December 2008, The Federal Government, Berlin, Germany, www.bmu.de/files/english/pdf/application/ pdfldas_gesamCen_bf.pdf.

GFDRR, 2010: Partnership Charter. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, Wash ington, DC, gfdrr. org/gfdrrlsites/gfdrr.org/fi les/publ icationl GFDRR_Partnership_Charter_2010.pdf.

Ghesquiere, F., O. Mahul, M. Forni, and R. Gartley, 2006: Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility: A solution to the short-term liquidity needs of small island states in the aftermath of natural disasters. IAT03-13/3, World Bank, Washington, DC.

Gigli, S. and S. Agrawala, 2007: Stocktaking on Progress on Integrating Adaptation to Climate Change into Development Co-operation Activities. COM/ENV/EPOClDCD/DAC(2007)1/FINAL, Environment Directorate and Development Co-operation Directorate, OECD, Paris, France, 74 pp.

Glantz, M.H., 1999: EI Nino as a hazard-spawner. In: The Nature of Hazards: Commemorative Volume to Celebrate Achievements of International Decade for Natural Disaster Reduction [J. Ingleton (ed.)]. Tudor Rose Publishers, Leicester, UK, pp. 78-79.

Glantz, M.H., 2007: How about a spare-time university WMO Bulletin, 56(2), 1-6. Glik, D.C., 2007: Risk communication for public health emergencies. Annual Review of Public Health, 28,33-54.

GNDR, 2009 : Clouds but Little Rain: Views from the Frontline - A local perspective of progress towards implementation of the Hyogo Framework for Action. Global Network of Civil Society Organisations for Disaster Reduction, London, UK.

GNDR, 2011: If We do not Join Hands ... Summary Report, Views from the Frontline, Local reports of progress on implementing the Hyogo Framework for Action, Global Network of Civil Society Organisations for Disaster Reduction, London, UK.

Goddard, L., Y.Ait Chellouche, W. Baethgen, M. Dettinger, R. Graham, P. Hayman, M. Kadi, R. Martinez, and H. Meinke, with additional contributions by E. Conrada, 2010: Providing seasonal-to-interannual climate information for risk management and decision-making. Procedia Environmental Sciences, 1, 81-101

Government of the Philippines, 2008: DSWD leads turnover of core shelter units to landslide victims in Southern Leyte. Government of the Philippines, Manila, Philippines, www.reliefweb.intlrw/rwb.nsf/db900SID/FBUO-7JSDJYOpenDocument.

Government of the Philippines, 2010: Philippines: DSWD, UNDP turn over core shelter project to Sorsogon beneficiaries. Government of the Philippines, Man i la, Phi I ipp ines, www.reliefweb. intlrwlrwb.nsf/db900si d/MYAI- 82W3G GOpenDocument.

Grasso, M., 2010: An ethical approach to climate adaptation finance. Global Environmental Change, 20(1), 74-81.

Groat, Ch.G., 2004: Seismographs, sensors, and satellites: better technology for safer communities. Technology in Society, 26(2-3), 169-179.

Grubb, M., 2010: Copenhagen: back to the future. Climate Policy, 10(2), 127-130. Gupta, J. and M. Grubb, 2000: Competence and subsidiarity. In: Climate change and European leadership: a sustainable role for Europe [Gupta, J. and M. Grubb (eds.)]. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 372 pp.

Gupta, J. and N. van de Grijp (eds.), 2010: Mainstreaming Climate Change in Development Cooperation: Theory, Practice and Implications for the European Union. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 347 pp.

Gupta, J.,A. Persson, L. Olsson, J. Linnerooth-Bayer, N. van der Grijp,A. Jerneck, R.J.T. Klein, M. Thompson, and AG. Patt, 2010: Mainstreaming climate change in development co-operation policy: conditions for success. In: Making Climate Change Work for Us: European Perspectives on Adaptation and Mitigation Strategies [Hulme, M. and H. Neufeldt (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 319-339.

Gurenko, E., 2004: Catastrophe Risk and Reinsurance: A Country Risk Management Perspective. Risk Books, London, UK.

Guzman, J.M., 2009: The use of population census data for environmental and climate change analysis. In: Population Dynamics and Climate Change [Guzman, J.M., G. Martine, G. McGranahan, D. Schensul, and C. Tacoli (eds.)]. UNFPA and liED, New York, NY and London, UK, pp. 192-205.

Haines, A, R. Kovats, D. Campbell-Lendrum, and C. Corvalan, 2006: Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. The Lancet, 367(9528),2101-2109.

Harrington, K. and J. O'Connor, 2009: How Cisco succeeds at global risk management. Supply Chain Management Review, July/August 2009.

Hasegawa, S., K. Sato, S. Matsunuma, M. Miyao, and K. Okamoto, 2005: Multilingual disaster information system: information delivery using graphic text for mobile phones. AI & Society, 19, 265-278.

Hellmuth, M., D. Osgood, U. Hess,A Moorhead, and H. Bhojwani (eds.), 2009: Index Insurance and Climate Risk: Prospects for Development and Disaster Management. Climate and Society No.2, International Research Institute for Climate and Society, Columbia University, New York, NY, 112 pp.

Heltberg, R., P.B. Siegel, and S.L. Jorgensen, 2008: Climate Change, Human Vulnerability and Social Risk Management. World Bank, Washington, DC.

Hess, U., 2007: Risk management framework- the big LEAP in Ethiopia, presentation, Insurance in catastrophe risk.

Hess, U. and J. Syroka, 2005: Weather-based Insurance in Southern Africa: The Case of Malawi. Agriculture and Rural Development Discussion Paper 13, World Bank, Washington, DC.

Holdaway, R., 2001: Is space global disaster warning and monitoring now nearing reality Space Policy, 17(2), 127-132.

Hope Sr., K.H., 1996: Promoting sustainable community development in developing countries: The role of technology transfer. Community Development Journal, 31(3),193-200.

Huq, S., 2002: The Bonn-Marrakech agreements on funding. Climate Policy, 2(2), 243-246.

IeRe, 1995: The Code of Conduct for the International Red Cross and Red Crescent Movement and NGOs in Disaster Relief. International Committee of the Red Cross, Geneva, Switzerland, www.icrc.org/englresources/documents/misc/code¬of-conduct- 290296. htm.

IeSU, 2008: A Science Plan for Integrated Research on Disaster Risk: addressing the challenge of natural and human induced environmental hazards. International Council for Science, Paris, France.

IeSU, 2010: Regional Environmental Change: Human Action and Adaptation. International Council for Science, Paris, France.

IEA, 2001: Technology without Borders. Case Studies of Successful Technology Transfer. OECD/International Energy Agency, Paris, France.

IFRe, 2011: Red Cross/Red Crescent Climate Centre. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland, www.climatecentre.org.

IHRe, 2006: News Updates on the Release of Public Hurricane Loss Model (Winter/Spring 2006). International Hurricane Research Centre, Florida International University, Miami, FL.

IMF, 2011: International Monetary Fund Factsheet: The Multilateral Debt Relief Initiative. International Monetary Fund, Washington, DC, www.imf.org/external/np/exr/fa cts/pdf/mdri. pdf.

IPee, 1990: 기후변화: The !PCC Scientific Assessment. The First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPee, 1996: Climate Change 1995. The Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPee, 2000: Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPee, 2007: Climate Change 2007. The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPee, 2009. Scoping Meeting for an !PCC Special Report on Extreme Events and Disasters: Managing the Risks. Proceedings [Barros, V., et al. (eds.i], Oslo, Norway, 23-26 March 2009.

IRI, 2006. A Gap Analysis for the Implementation of the Global Climate Observing System Programme in Africa. IRI Technical Report IRI-TR/06/1, International Research Institute for Climate and Society, Palisades, NY, portal.iri.columbia.edul po rta lise rver. ptigateway/PTAR GS_ 0 _2_2806_0_0_1 8/G apAna lysi s. pdf.

JAXA, 2011: DAICHI (ALOS) Operation Completion. Japan Aerospace Exploration Agency, Tokyo, Japan, www.jaxa.jp/press/2011/05/20110512_daichi_e.html.

Jordan, A, 2000: The politics of multilevel environmental governance: Subsidiarity and environmental policy in the European Union. Environment and Planning A, 32(7), 1307-1324.

Kaklauskas A, D. Amaratunga, and R. Haigh, 2009: Knowledge model for post¬disaster management. International Journal of Strategic Property Management, 13,117-128.

Kameda, H., 2007: Networking disaster risk reduction technology and knowledge through Disaster Reduction Hyperbase (DRH). In: Proceedings of the Disaster Reduction Hyperbase (DRH) Contents Meeting, Kobe, Japan, 12-13 March 2007, drh. edm. bosa i. go. jp/Pro jectiPha se2/1 Documents/9 _EXr. pdf.

Kibreab, G., 1997: Environmental causes and impact of refugee movements: a critique of the current debate. Disasters, 21(1),20-38.

Kinzig, AP., 2001: Bridging disciplinary divides to address environmental and intellectual challenges. Ecosystems, 4, 709-715.

Klein, R.J.T., 2010: Linking adaptation and development finance: a policy dilemma not addressed in Copenhagen. Climate and Development, 2(3), 203-206.

Klein, R.J.T. and A Mohner, 2009: Governance limits to effective global financial support for adaptation. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, WN., I. Lorenzoni, and K.L. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 465-475.

Klein, R.J.T. and A Persson, 2008: Financing Adaptation to Climate Change: Issues and Priorities. European Climate Platform (ECP) Report NO.8. An Initiative of Mistra's Climate Policy Research Programme (Clipore) and the Centre for European Policy Studies (CEPS).

Klein, R.J.T., J. Aston, E.N. Buckley, M. Capobianco, N. Mizutani, R.J. Nicholls, P.D.

Nunn, and S. Ragoonaden, 2000: Coastal adaptation. In: Methodological and Technological Issues in Technology Transfer [Metz, B., O.R. Davidson, J.-W Martens, S.N.M. van Rooijen, and L. Van Wie McGrory (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 349-372.

Klein, R.n, WW Dougherty, M.Alam, and A Rahman, 2005: Technology to understand and manage climate risks. Background Paper for the UNFCCC Seminar on the Development and Transfer of Environmentally Sound Technologies for Adaptation to Climate Change, Tobago, 14-16 Jun 2005, UNFCCC, Bonn, Germany, unfccc. i ntlttclea r/pdflWorkshopslT obago/background Pa per _0 I d. pdf.

Klein, R.J.T., S.E.H. Eriksen, L.O. Naess, A. Hammill, 1M. Tanner, e. Robledo, and K.L. O'Brien, 2007: Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance. Climatic Change, 84(1), 23-44.

Kleindorfer, P.R., 2009: Climate Change and Insurance: Integrative Principles and Regulatory Risk. INSEAD Working Paper No. 2009/43/TOM/INSEAD, INSEAD, Fontainebleau, France, ssrn.com/abstract=1456862.

Kiihler, P. and J. Wachter, 2006: Towards an open information infrastructure for disaster research and management: Data management and information systems inside DFNK. Natural Hazards, 38, 141-157.

Kok, M., B. Metz, J. Verhagen, and S. van Rooijen, 2008: Integrating development and climate policies: national and international benefits. Climate Policy, 8(2), 1 03-118.

Kolmannskog, V., 2008: Future floods of refugees. Norwegian Refugee Council, Oslo, Norway.

Kolmannskog, V. and F. Myrstad, 2009: Environmental displacement in European asylum law. European Journal of Migration and Law, 11, 313-326.

Kreimer, A and M. Arnold, 2000: Managing Disaster Risk in Emerging Economies. Disaster Risk Management Series No 2, World Bank, Washington, De.

Kuhn, K., D. Campbell-Lendrum,A Haines, and J. Cox, 2005. Using Climate to Predict Infectious Disease Epidemics. World Health Organization, Geneva, Switzerland, whq I ibdoc. who. intlpub l i cati ons/2 005/9241 593865. pdf.

Kunreuther, H. and E. Michel-Kerjan, 2009: At War with the Weather: Managing

Large-Scale Risks in a New Era of Catastrophes. 1 st ed. The MIT Press, Cambridge, MA

Lamb, H., 1995: Climate, History and a Modern World. 2nd ed. Routledge, New York, NY.

Lane, M., 2004: The viability and likely pricing of "cat bonds" for developing countries. In: Catastrophe Risk and Reinsurance: A Country Risk Management Perspective [Gurenko, E. (ed.)]. Risk Books, London, UK, pp. 239-268.

Lavoyer, J.-P., 2006: International humanitarian law: Should it be reaffirmed, clarified or developed In: Issues in Intemational Law and Military Operations [Jaques, R.B. (ed.)]. International Law Studies Vol. 80, US Naval War College, Newport, Rhode Island, pp. 287-310.

Le Cozannet, G., S. Hosford, J. Douglas, J.-J. Serrano, D. Coraboeuf, and J. Comte, 2008: Connecting hazard analysts and risk managers to sensor information. Sensors, 8, 3932-3937.

Lee, W-J., RA Pielke Jr., and L. Anderson-Berry, 2006: Disaster mitigation, warning systems and societal impact. Rapporteur Report. In: Sixth International Workshop on Tropical Cyclones, San Jose, Costa Rica, 21-30 Nov 2006, WMO, Geneva, Switzerland, Topic5_M_CWong.pdf.

Leemans, R., G. Asrar, A Busalacchi, J. Canadell, J. Ingram, A Larigauderie, H. Mooney, e. Nobre, A Patwardhan, M. Rice, F. Schmidt, S. Seitzinger, H. Virji, e. Vorosmarty, and O. Young, 2009: Developing a common strategy for integrative global environmental change research and outreach: the Earth System Science Partnership (ESSP) Strategy paper. Current Opinion in Environmental Sustainability, 1, 4-13.

Lemos, M.e., E. Boyd, E.L. Tompkins, H. Osbahr, and D. Liverman, 2007. Developing adaptation and adapting development. Ecology and Society, 12(2), 26, severe. wo rl dwe ath er. org/iwtcl do cum entl www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art26/.

Lewis, J., 1999: Development in Disaster-prone Places: Studies of Vulnerability. Intermediate Technology Publications, London, UK.

Lewis, J., 2007: Climate and disaster reduction. Tiempo Climate Newswatch, www.tiempocyberclimate.org/newswatch/comment070217.htm.

Linnerooth-Bayer, J. and R. Mechler, 2008: Insurance against Losses from Natural Disasters in Developing Countries. Background paper for United Nations World Economic and Social Survey, United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York, NY.

Linnerooth-Bayer, J., R. l.oefstedt, and G. Sjostedt (eds.), 2001: Transboundary Risk Management. Earthscan Publications, London, UK.

Linnerooth-Bayer, J., R. Mechler, and G. Pflug, 2005: Refocusing disaster aid. Science, 309, 1044-1046.

Linnerooth-Bayer, J., K. Warner, e. Bals, P. Hoppe, I. Burton, 1 Loster, and A Haas, 2009: Insurance mechanisms to help developing countries respond to climate change. The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice, 34, 381-400.

Linnerooth-Bayer, J., e. Bals, and R. Mechler, 2010: Insurance as part of a climate adaptation strategy. In: Making Climate Change Work for Us: European Perspectives on Adaptation and Mitigation Strategies [Hulme, M. and H. Neufeldt (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Louhisuo, M., 1 Veijonen, J. Ahola, and 1 Morohoshi, 2007: A disaster information and monitoring system utilizing earth observation. Management of Environmental Quality, 18(3), 246-262.

Lucas, R. and O. Stark, 1985: Motivations to remit: evidence from Botswana. Journal of Political Economy, 93(5), 901-918.

Maastricht Treaty, 1992 : Provisions Amending the Treaty Establishing the European Economic Community with a view to Establishing the European Community, www.eurotreaties.com/maastrichtec.pdf.

Mace, M.J., 2005: Funding for adaptation to climate change: UNFCCC and GEF developments since COP-7. Review of European Community & International Environmental Law, 14(3), 225-246.

Madey, G.R.,A. Barabasi, N.V. Chawla, M. Gonzalez, D. Hachen, B. Lantz,A Pawling, 1 Schoenhar, G. Szab6, P. Wang, and P. Yan, 2007: Enhanced situational awareness: Application of DDDAS concepts to emergency and disaster management. In: Computational Science - ICCS 2007: 7th International Conference, Beijing, China, 27-30 May 2007, Proceedings, Part I, LNCS 4487 [Shi, Y. and G.D. Van Albada (eds.)]. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 1090-1097.

Maibach, E.W, C. Roser-Renouf, and A. Leiserowitz, 2008: Communication and marketing as climate change-intervention assets. A public health perspective. American Journal of Preventive Medicine, 35(5), 488-500.

Maitland, C. and A. Tapia, 2007: Outcomes from the UN OCHA 2002 Symposium & HIN Workshops on Best Practices in Humanitarian Information Management and Exchange. College of Information Sciences and Technology, Pennsylvania State University, University Park, PA.

Marincioni, F., 2007: Information technologies and the sharing of disaster knowledge: the critical role of professional culture. Disasters, 31(4), pp. 459-476.

McBean, GA, 2010: Introduction of a New International Research Program: Integrated Research on Disaster Risk - The Challenge of Natural and Human¬Induced Environmental Hazards. In: Geophysical Hazards: Minimizing Risk, Maximizing Awareness. Part /I [Beer, 1 (ed.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 59- 69, www.cprm.gov.br/33IGCl1340016.html.

McGray, H., A. Hammill, R. Bradley, E.L. Schipper, and J.-E. Parry, 2007: Weathering the Storm: Options for Framing Adaptation and Development. World Resources Institute, Washington, DC. 57 pp.

Mercer, J., 2010. Disaster risk reduction or climate change adaptation: Are we reinventing the wheel Journal of International Development, 22, 247-264.

Michaelowa, A. and K. Michaelowa, 2007: Climate or development: is ODA diverted from its original purpose Climatic Change, 84(1), 5-21.

Miller, D. and A. Paulson, 2007: Risk Taking and the Quality of Informal Insurance: Gambling and Remittances in Thailand. Working Paper No. 2007-01, Federal Reserve Bank of Chicago, Chicago, IL, ssrn.com/abstract=956401.

Mills, E., 2007: From Risk to Opportunity: Insurer Responses to Climate Change. A Ceres Report, Ceres, Boston, MA.

Ministry of Foreign Affairs of Denmark and GEF Evaluation Office, 2009: Joint External Evaluation: Operation of the Least Developed Countries Fund for Adaptation to Climate Change. MFA, Copenhagen, Denmark, 112 pp.

Mirza, M.M.Q., 2003: Climate change and extreme weather events: Can developing countries adapt Climate Policy, 3, 233-248.

Mitchell, 1 and M. van Aalst, 2008: Convergence of Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation. A Review for DFID 31 st October 2008. Department for International Development (DFID), London, UK, www.preventionweb.netifilesI7853_ConvergenceofDRRandCCA1.pdf.

Mitchell, 1, S. Anderson, and S. Huq, 2008: Principles for Delivering Adaptation Finance. Institute of Development Studies, University of Sussex, Brighton, UK, 6 pp.

Mohapatra, S., J. George, and D. Ratha, 2009: Remittances and Natural Disasters: Ex-post Response and Contribution to Ex-ante Preparedness. Policy Research Working Paper 4972, World Bank, Washington, DC.

Morrissey, J., 2009: Environmental Change and Forced Migration - A State of the Art Review. Background Paper, Refugee Studies Centre, Oxford Department of International Development, Queen Elizabeth House, University of Oxford, 48 pp., www.rsc.ox.ac. uk/events/environmenta l-cha nge-and-migrationl EnvChangeandFmReviewWS.pdf.

Miiller, B., 2007: Nairobi 2006: Trust and the Future of Adaptation Funding. Oxford Institute for Energy Studies, Oxford, UK, 26 pp.

Munich Re, 2003: TOPICSgeo: Annual Review - Natural Catastrophes 2002. Munich Reinsurance Group, Geoscience Research, Munich, Germany.

Munich Re, 2010: Insurance-linked Securities (ILS). Market Update Q1 2010, Munich Re, Munich, Germany.

Murphy, B., 2011: Briefing Paper: Technology for Adapting to Climate Change. weADAPT, the Collaborative Platform on Climate Adaptation, weadapt.orgl kn ow led g e- b a se/w i ki a d a ptite ch n 0 l 0 gy- a n d-a d a pta ti 0 n.

Myers, N., 2001: Environmental refugees: A growing phenomenon of the 21 st century. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 357, 609-613.

Myers, N., 2005: Environmental refugees: An emergent security issue. In: Session 11/ - Environment and Migration, 13th Meeting of the OSCE Economic Forum, Prague, Czech Republic, 23-27 May 2005, pp. 23-27.

NASCIO, 2006: State of Louisiana GIS Support for Emergency Operations Before, During, and After the Hurricanes of 2005. National Association of State Chief Information Officers, Lexington, KY, www.nascio.org/awards/nominations/ 2006 Lou i sia na9. pdf.

O'Brien, G., P. O'Keefe, J. Rose, and B. Wisner, 2006: Climate change and disaster management. Disasters, 30(1), 64-80.

O'Brien, G., P. O'Keefe, and J. Rose, 2007: Energy, poverty and governance. International Journal of Environmental Studies, 64(5), 607-618.

O'Brien, K. and R. Leichenko, 2000: Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. Global Environmental Change, 10,221-232.

O'Brien, K., L. Sygna, R. Leichenko, WN. Adger, J. Barnett, 1 Mitchell, L. Schipper, 1 Tanner, C. Vogel, and C. Mortreux, 2008: Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation and Human Security. GECHS Report 2008:3, prepared for the Royal Norwegian Ministry of Foreign Affairs by the Global Environmental Change and Human Security (GECHS) Project.

O'Brien, K., B. Hayward, and F. Berkes, 2009: Rethinking social contracts: building resilience in a changing climate. Ecology and Society, 14(2), 12, www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art12/.

OCHAIIDMC, 2009: Monitoring Disaster Displacement in the Context of Climate Change. UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) and Internal Displacement Monitoring Center (IDMC), Geneva, Switzerland.

Ogallo, L., 2010: The mainstreaming of climate change and variability information into planning and policy development for Africa. Procedia Environmental Sciences, 1, 405-41 O.

OHCHR, 2009: Report of the Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights on the Relationship between Climate Change and Human Rights. UN Doc. AlHRCl1 0/61, Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights, Geneva, Switzerland.

Oppenheimer, M. and A. Petsonk, 2005: Article 2 of the UNFCCC: historical origins, recent interpretations. Climatic Change, 73(3), 195-226.

Ott, H.E., W Sterk, and R. Watanabe, 2008: The Bali roadmap: new horizons for glob¬al climate policy. Climate Policy, 8(1),91-95.

Oxfam, 2011: Adaptation and Risk Reduction. Oxfam, Oxford, UK, www.oxfam.org.uk/resources/i ssues/cl imatecha nge/i ntroducti on. htm l#a daptati on.

Oxfam International, 2007: Adapting to Climate Change: What's Needed in Poor Countries, and Who Should Pay. Oxfam Briefing Paper 1 04, Oxfam International Secretariat, Oxford, UK, 47 pp.

Paavola, J. and WN. Adger, 2006: Fair adaptation to climate change. Ecological Economics, 56(4), 594-609.

Parry, M., N.Arnell, P. Berry, D. Dodman, S. Fankhauser, C. Hope, S. Kovats, R. Nicholls, D. Satterthwaite, R. Tiffin, and 1 Wheeler, 2009: Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates. International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London, UK, 111 pp.

Paul, B.K., H. Rashid, M. Shahidul Islam, and L. Hunt, 2010: Cyclone evacuation in Bangladesh: Tropical cyclones Gorky (1991) vs. Sidr (2007). Environmental Hazards, 9, 89-101.

Pelling, M., 2011 : Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation. Routledge, Abingdon, UK.

Persson,A. and R.J.T. Klein, 2009: Mainstreaming adaptation to climate change into official development assistance: challenges to foreign policy integration. In: Climate Change and Foreign Policy: Case Studies from East to West [Harris, P. (ed.)]. Routledge, London, UK, pp. 162-177.

Persson, A., R.J.T. Klein, C. Kehler Siebert, A. Atteridge, B. Muller, J. Hoffmaister, M. Lazarus, and 1 Takama, 2009: Adaptation Finance under a Copenhagen Agreed Outcome. Stockholm Environment Institute, Stockholm, Sweden, 187 pp.

Pickens, M., D. Porteous, and S. Rotman, 2009: Banking the Poor via G2P Payments. Focus Note 58, Consultative Group to Assist the Poor, Washington, DC.

Prabhakar, S.V.R.K., S. Anch, and R. Shaw, 2009: Climate change and local level disaster risk reduction planning: need, opportunities and challenges. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 14, 7-33.

Raustiala, K., 2005: Form and substance of international agreements. American Journal of International Law, 99, 581.

Rautela, P., 2005: Indigenous technical knowledge inputs for effective disaster management in the fragile Himalayan ecosystem. Disaster Prevention and Management, 14(2),233-241.

Rayner, S., 2010. How to eat an elephant: a bottom-up approach to climate policy. Climate Policy, 10, 615-621.

Red Cross and Red Crescent Climate Centre, 2007: Red Cross, Red Crescent Climate Guide. Red Cross, The Hague, The Netherlands.

Reid, WV., D. Chen, L. Goldfarb, H. Hackmann, Y.l Lee, K. Mokhele, E. Ostrom, K.

Raivio, J. Rockstrorn, H.J. Schellnhuber, and A. Whyte, 2010: Earth system science for global sustainability: Grand challenges. Science, 330,916-917.

Rodriguez, J., F. Vos, R. Below, and D. Guha-Sapir, 2009: Annual Disaster Statistical Review 2008 -The numbers and trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, universite Catholique de Louvain, Louvain, Belgium, www.emdat.be/publications.

Rukieh, M. and M. Koudmani, 2006: Use of Space Technology for Natural Disaster Detection and Prevention. General Organisation of Remote Sensing, Damascus, Syria, www.iemss.org/iemss2006/papers/s11/288_RUKIEH_0.pdf.

Saab, D., E. Maldonado, R. Orendovici, L. Ngamassi,A. Gorp, K. Zhao, C. Maitland, and A. Tapia, 2008: Building global bridges: Coordination bodies for improved information sharing among humanitarian relief agencies. In: Proceedings of the 5th InternationallSCRAM Conference, Washington, DC. May 2008 [Fiedrich, F. and B. Van de Walle (eds.)].

Saechao, lR., 2007: Natural disasters and the responsibility to protect: From chaos to clarity. Brooklyn Journal of International Law, 32, 663.

Sahu, S., 2009: Guidebook on Technologies for Disaster Preparedness and Mitigation. Prepared for the Asian and Pacific Centre for Transfer ofTechnology, New Delhi, I nd ia, tech no logy4sme. n etidocs/G u id eb ook%2 00n%2 OTechno I og ies %2 Ofo r% 20 D isa ster%2 0 Prepa redness%2 0& %2 0 Mitigation. pdf.

Samarajiva, R., 2005: Policy Commentary: Mobilizing information and communications technologies for effective disaster warning: lessons from the 2004 tsunami. New Media & Society, 7(6), 731-747.

Sanusi, Z.A., 2005: Technology Transfer under Multilateral Environmental Agreements: Analyzing the Synergies. UNU-IAS Working Paper No. 134, Institute of Advanced Studies, United Nations University, Yokohama, Japan.

Savage, K. and P. Harvey (eds.), 2007: Remittances during Crises: Implications for Humanitarian Response. Overseas Development Institute, London, UK.

Schipper, E.L.F., 2006: Conceptual history of adaptation in the UNFCCC process. Review of European Community & International Environmental Law, 15(1), 82-92.

Schipper, E.L.F., 2009: Meeting at the crossroads: Exploring the linkages between climate change adaptation and disaster risk reduction. Climate and Development, 1, 16-30.

Schipper, L. and Pelling, M., 2006: Disaster risk, climate change, and international development, scope for, and challenges to integration. Disasters, 30 (1) 19-38

Schmidt, S., C. Kemfert, and P. Hoppe, 2009: Tropical cyclone losses in the USA and the impact of climate change - A trend analysis based on data from a new approach to adjusting storm losses. Environmental Impact Assessment Review, 29,359-369.

Sheffi, Y., 2005: The Resilient Enterprise. MIT Press, Cambridge, MA.

Shimizu, l., 2008: Disaster Management Satellite System Development and International Cooperation Promotion in Asia. Science and Technology Trends Quarterly Review, No. 27/April 2008, 93-108.

Skees, J., 2001: The bad harvest: More crop insurance reform: A good idea gone awry. Regulation: The CA TO Review of Business and Government, 24, 16-21.

Skees, J.R. and A. Enkh-Amgalan, 2002: Examining the feasibility of livestock insurance in Mongolia. World Bank Working Paper 2886, World Bank, Washington, DC.

Skees, J., B. Barnett, and A. Murphy, 2008: Creating insurance markets for natural disaster risk in lower income countries: the potential role for securitization. Agricultural Finance Review, 68, 151-157.

Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein, and G. Yohe, 2001: Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof,

P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 877-912.

Sobel, R.S. and P.I Leeson, 2007: The use of knowledge in natural-disaster relief management. The Independent Review, 11 (4), 519- 532.

Sphere Project, 2004: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response. The Sphere Project, Geneva, Switzerland.

Steffen, W, A. Sanderson, P.D. Tyson, J. Jager, PA Matson, B. Moore III, F. Oldfield, K. Richardson, H.J. Schellnhuber, B.L. Turner, and R.J. Wasson, 2004: Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Stern, N., 2007: The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Stoiber, E., 2006. Why Europe needs a subsidiarity early-warning mechanism. Europe's World, Summer 2006.

Suarez, P. and J. Linnerooth-Bayer, 2010: Micro-insurance for local adaptation. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1 (2),271-278.

Suarez, P., J. Linnerooth-Bayer, and R. Mechler, 2007: The Feasibility of Risk Financing Schemes for Climate Adaptation: The Case of Malawi. DEC-Research Group, Infrastructure and Environment Unit, World Bank, Washington, DC.

Tacoli, c., 2009: Crisis or adaptation Migration and climate change in a context of high mobility. Environment and Urbanization, 21, 513-525.

Thomalla, F., 1 Downing, E. Spanger-Siegfried, G. Han, and J. Rockstrorn, 2006: Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. Disasters, 30(1), 39-48.

Tomasini, R. and L. Van Wassenhove, 2009: Humanitarian Logistics. Palgrave Macmillan, London, UK.

Tompkins, E.L. and WN. Adger, 2005: Defining a response capacity for climate change. Environmental Science and Policy, 8, 562-571.

Trouwborst, A., 2002: Evolution and Status of the Precautionary Principle in International Law. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.

Tschoegl, L. (with R. Below and D. Guha-Sapir), 2006: An analytical review of selected data sets on natural disasters and impacts. In: UNDP/CRED Workshop on Improving Compilation of Reliable Data on Disaster Occurrence and Impact, CRED, Brussels, Belgium, pp. 2-21.

UN, 1970: UN General Assembly resolution 2626, The International Development Strategy for the Second United Nations Development Decade (25th session). Earthscan, London, UK.

UN, 1992: United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations, New York, NY, unfccc. intlresource/docs/convkp/conveng.pdf.

UN, 2011: Millennium Goals Report 2011. United Nations, New York, NY, www.un.org/millenniumgoals/pdf/%282011_E%29%20M DG%20Report%202 011_Book%20LR.pdf.

UNCED, 1992: Rio Declaration 1992. United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil.

UNDP, 2002: A Climate Risk Management Approach to Disaster Reduction and Adaptation to Climate Change. United Nations Development Programme Expert Group Meeting, Integrating Disaster Reduction with Adaptation to Climate Change, Havana, Cuba, 19-21 June 2002, 24 pp.

UNFCCC, 2005: Report on the seminar on the development and transfer of technologies for adaptation to climate change. Note by the secretariat. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.intl re sou rcel do cs/2 0 0 51 sb stale n g/O 8. P df.

UNFCCC, 2006a: Synthesis report on technology needs identified by Parties not included in Annex I to the Convention. Note by the secretariat. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.intl resource/docs/2 006/sbsta/eng/inf01 . pdf.

UNFCCC, 2006b: Technologies for adaptation to climate change. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.intl resource/docs/pub l i cati ons/tech_for _ada ptation_ 06. pdf.

UNFCCC, 2007a: Bali Action Plan. Report of the Conference of the Parties (COP 13), Bali, adopted by Decision 1/CP.13 of the COP-13, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany. unfccc.intifiles/meetingsl cop_13/appl ication/pdf/cp_ba li_action.pdf.

UNFCCC, 2007b: Investment and Financial Flows to Address Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, 272 pp.

UNFCCC, 2008: Mechanisms to manage financial risks from direct impacts of climate change in developing countries. Technical paper, FCCCITP/2008/9, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

UNFCCC, 2009a: Recommendations on future financing options for enhancing the development, deployment, diffusion and transfer of technologies under the Convention. FCCCISB/2009/2, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.intiresource/docs/2009/sb/eng/02sum.pdf.

UNFCCC, 2009b: Draft decision CP.15 Copenhagen Accord. FCCCICP/2009/L.7, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany.

UNFCCC, 201 Oa: Nairobi Work Programme. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.intiadaptation/nairobi_work_ programme/items/3633.php.

UNFCCC, 201 Ob: Potential Costs and Benefits of Adaptation Options: A Review of Existing Literature. FCCCITP/2009/2/Rev.1, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.intiresource/docs/20091 tp/02r01.pdf.

UNFCCC, 201 Oe: Report of the Conference of the Parties on its Sixteenth Session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010. United Nations Framework Convention on Climate Change, UN FCCCICP/2010I7IAdd.1. Also available on unfccc.intiresource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2.

UNFCCC, 2011: Draft decision -ICP.16: Further guidance for the operation of the Least Developed Countries Fund. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.intifiles/meetings/cop_16/conference_ documents/application/pdf/20101204_cop16Jdcf.pdf.

UNGA, 2010: Implementation of the International Strategy for Disaster Reduction. Report of the Secretary General to the Sixty- fifth session, Ref Al65/388, United Nations General Assembly, New York, NY.

UNGA, 2000: United Nations Millennium Declaration. Resolution adopted by the General Assembly, United Nations General Assembly (Al55/L.2), New York, NY.

UNHCR, 2009: Climate Change, Natural Disasters and Human Displacement: A UNHCR Perspective. United Nations High Commissioner for Refugees, Geneva, Switzerland, www.unhcr.orglrefworld/docid/4a8e4f8b2.html.

UNISDR, 2005a: Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters. In: Report of the World Conference on Disaster Risk Reduction, Jan. 2005, Kobe, Japan, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, pp. 40-62.

UNISDR, 2005b: The Link between Millennium Development Goals (MDGs) and Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, www.unisdr.org/eng/mdgs-drr/link-mdg-drr.htm.

UNISDR, 2005e: World Conference on Disaster Reduction (WCDR): Proceedings of the Conference held at Kobe Japan. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, www.unisdr.org/wcdr/thematic-ses¬sionslWC DR-proceed ings-of- the-Conference. p df.

UNISDR, 2008: Indicators of Progress: Guidance on Measuring the Reduction of Disaster Risks and the Implementation of the Hyogo Framework of Action. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2009a: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 207 pp., www.preventionweb.netlenglish/hyogo/garlreportlindex.phpid=1130&pid:34&pih.

UNISDR, 2009b: Second Global Platform on Disaster Risk Reduction, Geneva, June 2009: Concluding Summary by the Platform Chair. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2011a: Revealing Risk, Redefining Development. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2011 b: Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters, Mid-Term Review 2010-2011. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2011 e: Response to the United Kingdom's Department for Intemational Development : Multilateral Aid Review of the UN Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

Universalia Management Group, 2010: Evaluation of the World Bank Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR). Universalia Management Group, Montreal, Canada, gfdrr.org/docs/GFDRR_EvaluationReportVol-I.pdf.

Vasterman, P., c.J. Yzermans, and AJ.E. Dirkzwager, 2005: The role of the media and media hypes in the aftermath of disasters. Epidemiologic Reviews, 27, 107-114.

Venton, P. and S. La Trobe, 2008: Linking Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction. Tearfund, Teddington, UK.

Vera, c., M. Barange, O.P. Dube, L. Goddard, D. Griggs, N. Kobysheva, E. Odada, S. Parey, J. Polovina, G. Poveda, B. Seguin and K. Trenberth, 2010: Needs assessment for climate information on decadal timescales and longer. Procedia Environmental Sciences, 1,275-286.

Vernon, 1,2008: The economic case for pro-poor adaptation: what do we know IDS Bulletin, 39(4), 32-41.

Vogel, C. and K. O'Brien, 2006: Who can eat information Examining the effectiveness of seasonal climate forecasts and regional climate-risk management strategies. Climate Research, 33, 111-122.

Von Doussa, J.,A Corkery, and R. Chartres, 2007: Human rights and climate change. Australian International Law Journal, 14, 161.

Wamsler, c., 2006: Mainstreaming risk reduction in urban planning and housing: a challenge for international aid organizations. Disasters, 30(2), 151-177.

Warner, K., M. Hamza, A Oliver-Smith, F. Renaud, and A. Julca, 2009a: Climate change, environmental degradation and migration. Natural Hazards, 55(3), 689-715.

Warner, K., N. Ranger, S. Surminski, M. Arnold, J. Linnerooth-Bayer, E. Michel-Derjan, P. Kovacs, and C. Herweijer, 2009b: Adaptation to Climate Change: Linking Disaster Risk Reduction and Insurance. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

Warnock, A, 2007. Small island developing states ofthe Pacific and climate change: Adaptation and alternatives. New lealand Yearbook of International Law, 4, 247-286.

Watkins, K. (ed.), 2007: Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World. Human Development Report 2007/2008 of the United Nations Development Programme, Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK and New York, NY, USA, 384 pp.

Weingart, P., A Engels, and P. Pansegrau, 2000: Risks of communication: discourses on climate change in science, politics, and the mass media. Public Understanding of Science, 9(3), 261-283.

WHO, 2007: International Health Regulations. World Health Organization, Geneva, Switzerland, www.who.intlgb/ebwha/pdUilesIWHA58IWHA58_3-en.pdf.

Wisner, B., P. Blaikie, 1 Cannon, and I. Davis, 2004:At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. 2nd Ed. Routledge, London, UK.

WMO, 1995: Resolution 40 (Cg-XII), WMO Policy and Practice for the Exchange of Meteorological and Related Data and Products Including Guidelines on Relationships in Commercial Meteorological Activities. Twelfth WMO Congress, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

WMO, 2007: Commission for Basic Systems Management Group Seventh Session. Final Report. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

WMO, 2009: Thematic progress review on Early Warning Systems. Background paper for Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

WMO, 2010: High-level Taskforce towards the Global Framework for Climate Services (GFCS). World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, www.wmo.intl h It-gfcs/index_en. htm I.

WMO, 2011: Resolution 48 (Cg-XVI) - Response to the Report of the High-Level Task Force on the Global Framework for Climate Services. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Wolz, c., and N. Park, 2006: Evaluation of ReliefWeb. Prepared for Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, United Nations by Forum One Communi cations, www.reliefweb. intlrw/l ib.nsf/db900SI D/LTI 0-6VLQJ P Open Document.

World Bank, 2006: Clean Energy and Development: Towards an Investment Framework. DC2006- 0002, World Bank, Washington, DC. 146 pp.

World Bank, 2007a: A Partnership for Mainstreaming Disaster Mitigation in Poverty Reduction Strategies. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2007b: The Caribbean catastrophe risk insurance initiative: results of preparation work on the design of a Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility. World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2008: Catastrophe risk deferred drawdown option (000), orCAT 000. Background Note, World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2009: Climate Investment Funds: PPCR Programming and Financing Modalities. World Bank, Washington, DC, siteresources.worldbank.org/INTCCI Resourceslppcrprogra mm ingdraftvers2 apri 123. pdf.

World Bank, 2010a: World Development Report 2010: Development and Climate Change. World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2010b: Economics of Adaptation to Climate Change: Synthesis Report. World Bank, Washington, DC. 101 pp.

World Bank, 2011a: Disaster Risk Management Programs for Priority Countries. World Bank, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), Wash ington, DC.

World Bank, 2011 b: Migration and Remittances Factbook. World Bank, Washington, DC.

WTO, 2011: Legal Texts of the World Trade Organization. World Trade Organization, Geneva, Switzerland, docso n line. wto. org/gen_browse Deta i l. asp preprog=3.

Yamin, F., 2005: The European Union and future climate policy: Is mainstreaming adaptation a distraction or part of the solution Climate Policy, 5(3), 349-361.

Yamin, F. and J. Depledge, 2004: The Intemational Climate Change Regime: A Guide to Rules, Institutions and Procedures. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 699 pp.

Yang, D. and H. Choi, 2007: Are remittances insurance Evidence from rainfall shocks in the Philippines. The World Bank Economic Review, 21(2), 219-248.

Yohe, G.w., R.D. Lasco, Q.K.Ahmad, N.w.Arnell, S.J. Cohen, C. Hope,A.C. Janetos, and R.T. Perez, 2007: Perspectives on climate change and sustainable development. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 811-841.

Zhang, D., L. Zhou, and H. Nunamaker Jr., 2002: A knowledge management framework for the support of decision making in humanitarian assistancel disaster relief. Knowledge and Information Systems, 4, 370-385.

Zschocke, T. and J.C.V. de Leon, 2010: Towards an ontology for the description of learning resources on disaster risk reduction. In: Knowledge Management Information Systems, E-Learning, and Sustainability Research [Lytras, M.D., P. Ordonez De Pablos,A. Ziderman,A. Roulstone, H. Maurer, and J.B. Imber (eds.)]. Proceedings of the Third World Summit of the Knowledge Society, WSKS 2010, Corfu, Greece, 22-24 Sep. 2010, Springer-Verlag, Berlin, Germany,pp.60-74

8 지속가능하고 복원력 있는 미래를 향하여

총괄 대표저자
Karen O'Brien (노르웨이), Mark Pelling (영국), Anand Patwardhan (인도)

대표저자:
Stephane Hallegatte (프랑스), Andrew Maskrey (스위스), Taikan Oki (일본), Ursula Oswald-Spring (멕시코), Thomas Wilbanks (미국), Pius Zebhe Yanda (탄자니아)

감수 편집자:
Carlo Giupponi (이탈리아), Nobuo Mimura (일본)

기여저자:
Frans Berkhout (네덜란드), Reinette Biggs (남아프리카), Hans Gunter Brauch (독일), Katrina Brown (영국), Carl Folke (스웨덴), Lisa Harrington (미국), Howard Kunreuther (미국), Carmen Lacambra (콜롬비아), Robin Leichenko (미국), Reinhard Mechler (독일), Claudia Pahl-Wostl (독일), Valentin Przyluski (프랑스), David Satterthwaite (영국), Frank Sperling (독일), Linda Sygna (노르웨이), Thomas Tanner (영국), Petra Tschakert (오스트리아), Kirsten Ulsrud (노르웨이), Vincent Viguie (프랑스)

본 장을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:
O'Brien, K., M. Pelling, A. Patwardhan, S. Hallegatte, A. Maskrey, T. Oki, U. Oswald-Spring, T. Wilbanks, and P.Z. Yanda, 2012: Toward a sustainable and resilient future. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. pp. 437-486.

목 차

본문 요약 411

8.1. 서론 413

8.2. 적응으로써의 재해 위험관리; 지속가능한 개발계획과의 관계 414
8.2.1. 적응, 재해 위험저감 및 지속가능한 개발의 개념과 상호 관계 415
8.2.2. 재해 위험관리와 기후변화 적응이라는 맥락에서 생태계서비스의 지속가능성 416
8.2.3. 대응 양상에서 가치와 인식의 역할 417
8.2.4. 기술의 선택, 가용성 및 접근 418
8.2.5. 의사결정에서 절충: 다중적 범위 및 압력원 다루기 419

8.3. 극한 현상에 대한 장/단기적 대응의 통합 421
8.3.1. 현 세대의 대응과 미래의 안녕 간의 관계 421
8.3.2. 장기 목표와 단기 목표의 조화를 방해하는 장벽 422
8.3.3. 복원력 촉진을 위한 장/단기적 이행의 연계 423

8.4. 자원에의 접근, 형평성 및 지속가능한 개발과의 관련성 424
8.4.1. 능력과 자원: 가용성과 한계 424
8.4.2. 지방, 국가 및 국제적 승자와 패자 425
8.4.3. 인간의 안전에 대한 잠재적 관련성 427
8.4.4. 관련된 국제목표 달성과의 관련성 428

8.5. 재해 위험관리, 기후변화 적응, 온실가스 저감 사이의 상호작용 428
8.5.1. 복원력에 대한 한계로써의 기준값과 전환 정점 428
8.5.2. 적응, 저감, 재해 위험관리 상호작용 429
8.5.2.1. 도시 430
8.5.2.2. 농촌 431

8.6. 미래 극한기후에 대한 전향적, 장기적 복원력을 위한 옵션 431
8.6.1. 미래를 위한 계획 수립 431
8.6.2. 접근법, 도구 및 통합 관행 433
8.6.2.1. 분석과 모델링 도구의 개선 433
8.6.2.2. 제도적 접근법 434
8.6.2.3. 다중 목표 달성을 위한 혁신적 전략과 이행 434
8.6.3. 혁신적 변화 촉진 435
8.6.3.1. 적응적 관리 436
8.6.3.2. 학습 436
8.6.3.3. 혁신 437
8.6.3.4. 리더십 437

8.7. 복원력 있고 지속가능한 미래를 위한 재해 위험관리와 기후변화 적응 간의 시너지 438

참고문헌 440

본문 요약

극한기상 및 극한기후의 위험을 줄이기 위해서는 점진적인 이행부터 혁신적 변화까지 다양한 이행이 필요하다(높은 동의수준, 강한 증거수준). [8.6, 8.7] 점진적인 이행은 기존 기술, 거버넌스 및 가치 체계 내에서 효율을 향상하는 것을 목표로 하는 반면에 혁신적 이행은 그러한 시스템들의 근본적 속성을 바꾸는 것을 지향한다. 점증적 접근법과 혁신적 접근법 사이의 균형은 진화하는 위험 프로파일과 근본적인 사회 및 생태 조건에 달렸다. 재해 위험, 기후변화 영향, 대응 및 적응 능력은 불균등하게 분포한다. 취약성은 종종 빈곤국이나 빈곤집단에 집중되지만 부유한 집단조차도 극한 현상에 취약할 수 있다. 취약성이 높고 적응능력이 상대적으로 낮은 경우, 극한기상 및 극한기후의 변화는 시스템의 혁신적 변화 없이는 지속가능한 적응을 하기 어렵게 만들 수 있다. 요구되는 경우에 그러한 혁신은 적응적 관리, 학습, 혁신, 리더십을 더욱 중시함으로써 촉진된다.

증거에 의하면, 재해 위험관리와 적응 정책은 통합 및 강화, 지원이 가능하지만 그러기 위해서는 정책영역과 관행영역에서 신중한 조율이 필요하다(높은 동의수준, 보통 증거수준). [8.2, 8.3, 8.5, 8.7] 복원력 있고 지속가능한 개발경로에 재해 위험관리를 포함시키는 일은 다중적 압력원, 서로 다른 우선적 가치, 경쟁하는 정책목표들을 고려하면서 변화의 과정을 대응, 적응, 형성할 능력을 강화하는 통합적 체계적 접근법을 통해 촉진된다.

개발 계획과 재해 후 복원은 빈곤하고 소외된 커뮤니티의 생계와 안녕보다는 전략적 경제부문과 기반시설을 우선시해 왔다. 이는 지역능력을 강화하고 지역발전의 비전을 재해 위험저감 및 기후변화 적응을 위한 장기적 전략에 통합할 기회를 놓치는 결과를 야기할 수 있다(높은 동의수준, 강한 증거수준). [8.4.1,8.5.2] 재해 후 복원력에 이르는 경로의 주요한 제약은 복구 자금지원이 시간의 제약을 받는다는 것이다. 필수 서비스를 제공하는 생태계의 악화도 국지적으로 미래 위험관리와 적응 이행을 위한 옵션을 제한한다.

학습 프로세스는 재해 위험관리, 기후변화 적응, 지속가능한 발전에 있어서 능력과 복원력 결과를 형성하는 것이 핵심이다(높은 동의수준, 강한 증거수준). [8.6.3, 8.7] 반복적인 모니터링, 연구, 평가, 학습 및 혁신 과정은 극한 현상의 맥락에서 재해 위험을 줄이고 적응적 관리를 촉진할 수 있다. 기술적 혁신과 접근도 특히 지방의 능력발전과 결합되면 복원력 달성에 도움이 될 수 있다.

변화하는 극한기후의 맥락에서 복원력 있고 지속가능한 개발을 향해 진전하는 데는 가정과 패러다임에 질문을 던지고 새로운 대응 패턴을 장려할 혁신을 자극하는 것이 이로울 수 있다(보통 동의수준, 강한 증거수준). [8.2.5, 8.6.3, 8.7] 재해 위험, 기후변화, 기타 압력원을 성공적으로 다루기 위해서는 전략개발에의 폭넓은 참여, 여러 관점을 결합할 능력, 사회적 관계를 구성하는 대조적인 방식들을 포용할 필요가 있다.

다중위험(multi-hazard)에 대한 위험관리 접근법들은 농촌 및 도시의 맥락에서 복합적인 위험요소를 저감할 기회를 제공한다(높은 동의수준, 강한 증거수준). [8.2.5, 8.5.2, 8.7] 여러 가지 위험을 고려하면 한 가지 위험만을 목표로 한 위험저감 노력이 현재와 미래에 다른 위험들로 인한 노출과 취약성을 증가시킬 가능성을 감소시킨다. 다중위험에 대한 위험관리에 적응을 포함시키려면 현재의 기후변동성과 전망된 극한기후의 변화를 고려해야 한다. 이 전망된 변화들은 영향받은 인간 시스템과 자연계에 그 동안의 변화들과는 다른 문제를 가한다. 극한 현상 변화가 인간 시스템과 자연계에 더 큰 압력을 주는 경우, 직접적 영향은 더더욱 예측 불가능하여 관련 적응문제를 증가시킬 수 있다.

가장 효과적인 적응 및 재해 위험저감은 상대적으로 가까운 시일에 개발 이익을 줄 뿐만 아니라 장기적으로 취약성도 저감하는 이행들이다(높은 동의수준, 강한 증거수준). [8.2.1, 8.3.1, 8.3.2, 8.5.1, 8.6.1] 현재의 결정들과 미래를 위한 다양한 가치, 이익 및 우선사항에 관련된 장기 목표들은 절충된다. 따라서 재해 위험관리와 기후변화 적응에 관한 단기 관점과 장기 관점은 조화시키기 어려울 수 있다. 그러한 조화를 이루려면 지방의 위험관리 관행과 국가적 제도 및 법률 기틀, 정책, 계획 사이의 단절을 극복할 필요가 있다. 복원력에 대한 고려는 여러 종류의 지식, 동반적 거버넌스(inclusive governance) 강조, 적응적 관리의 원칙을 통합하는 것을 비롯해 장단기 대응을 조화시키기 위한 툴을 제공한다. 그러나 사회시스템 또는 자연시스템에 관련된 복원점 혹은 전환점이 초과되면 복원력 한계에 직면한다.

재해 위험관리와 기후변화 적응의 통합을 위한 강력한 토대의 구축은 현재의 정책과 관행으로부터 이익과 손해를 보는 이는 누구인지, 인간의 안전에 어떤 영향이 있는지 등을 포함해 개발을 뒷받침 하는 가치와 이익을 투명하게 하는 것을 포함한다(강한 동의수준, 보통 증거수준). [8.2.3, 8.2.4, 8.4.2, 8.4.3, 8.6.1.2] 재해 위험관리는 물론이고 기후변화 적응에서도 (1) 제도와 거버넌스 방식의 목표, 기능 및 구조의 재평가와 잠재적 변혁; (2) 시간 및 공간 범위에서 시너지 창출; (3) 정보, 기술, 자원 및 능력에 대한 접근에의 증대가 문제이다. 이 문제들은 특히 기후 관련 위험이 가장 높고 그러한 위험을 관리할 능력이 약한 국가와 지역에서 심각하다. 이러한 문제들에 대처하는 것은 상당한 능력과 강력한 위험관리 기록을 가진 국가들에게도 이익이다.

사회적, 경제적, 환경적 지속가능성은 재해 위험관리 및 적응 접근법으로 강화될 수 있다. 지속가능성의 전제조건은 빈곤을 야기하고 지속시키며 자원접근을 제약하는 구조적 불평등을 포함한 취약성의 근본 원인을 다루는 것이다(보통 동의수준, 강한 증거수준). [8.6.2, 8.7] 이것은 다른 사회 및 경제 정책 영역에서 재해 위험관리를 통합시키고 위험관리에 장기적으로 전념할 것을 요구한다.

기후변화 완화, 적응, 재해 위험관리 사이의 상호작용은 복원력 있는 지속가능한 경로에 지대한 영향을 끼칠 것이다(높은 동의수준, 낮은 증거수준) [8.2.5, 8.5.2, 8.7] 특히 저감목표와 적응목표 간 상호작용은 국지적으로 작용하지만 지구적으로 영향을 끼칠 것이다.

지속가능하고 복원력 있는 미래로 가는 접근법과 경로는 많다. 복수의 접근법과 개발경로가 극한기후에 대한 복원력을 증가시킬 수 있다(보통 동의수준, 보통 증거수준). [8.2.3, 8.4.1, 8.6.1, 8.7] 극한기후 적응 이행의 선택과 결과는 다양한 능력과 자원, 그리고 복수의 상호작용 과정을 반영해야 한다. 이행은 경쟁하는 우선적 가치와 목표 사이의 절충, 그리고 시간이 지나면서 변하는 서로 다른 개발 비전에 의해 기틀이 잡힌다. 위험 및 위험 측정, 인식 및 이해는 시간이 지남에 따라 발전하므로, 반복적, 반사적 접근법을 이용하면 다양한 정책 해법을 고려할 수 있도록 개발경로에 위험관리를 결합할 수 있다. 현재의 선택이 현재나 미래의 취약성을 저감 또는 악화할 수 있고, 미래의 대응을 촉진 또는 제약할 수 있다.

8.1. 서론

본 장은 변화하는 극한기후와 개발의 관련성에 초점을 맞추고, 재해 위험관리와 기후변화 적응이 지속가능하고 복원력 있는 미래에 어떻게 함께 기여할 수 있는지를 고찰한다. 극한 현상의 빈도, 시기, 규모 및 특징의 변화는 현재는 물론 미래에도 재해 위험 및 취약성 저감이라는 목표에 문제를 가한다(3장 참고). 대응, 적응, 변화에 대한 사회생태시스템의 능력을 강화하는 것은 기후변화 속에서 지속가능하고 복원력 있는 발전경로 구축의 핵심이다. 사회생태시스템 개념은 위험의 발생과 관리에서 그리고 지속가능한 발전의 추구에서 사회적 인자와 생태학적 인자들의 상호독립성을 인정한다. 정책 의제에 20년 동안이나 포함되어 있었음에도 지속가능한 발전은 여전히 반대가 있고 난해하다(Hopwood 등, 2005). 그러나 기후변화의 맥락에서, 지구에서 인간의 지속가능성은 복원력 있는 사회생태시스템과 밀접한 연관이 있으며, 사회생태시스템은 사회제도, 인간의 힘, 인간의 능력에 영향을 받는다(Pelling, 2003; Bohle 등, 2009; Adger 등, 2011).

극한 현상은 발전 상황과 관련 있는 노출 및 취약성의 근본 조건에 의해 영향으로 혁신된다. 예를 들어, 제도적 장치와 거버넌스 상 약점이 극한 현상을 재해로 혁신시킬 수 있다는 증거수준은 강하다(Hewitt, 1997; Pelling, 2003; Wisner 등, 2004; Ahrens and Rudolph, 2006). 극한 현상이 전지구적 영향에 결부될 가능성은 세계의 경제가 점점 더 상호연결 됨에 따라 계속 증가하고 있지만, 상대적 의미에서 대부분의 영향은 적응에 대한 심각한 환경, 경제, 기술, 문화 및 인지 한계가 있는 정황에서 발생할 것이다(5.5.3절 참고). 극한 현상에 관련하여, 전지구적 위험평가는 사회적 손실뿐 아니라 생계 또는 GDP의 비율로서 경제적 손실이 개발도상국에 그리고 그러한 국가들 내에서도 빈곤지역과 빈곤가구에게 불균형적으로 집중되어 있음을 보여준다(UNDP, 2004; UNISDR, 2009, 2011; World Bank, 2010a).

이 장은 변화하는 극한 현상의 결과는 개발과정과 밀접하게 연관된 재해 위험저감과 기후변화 적응에 대하여 어떻게 대응하고 접근하는가에 달렸다고 인식한다. 이 장에 소개된 문헌들의 평가는 극한 현상의 변화가 기후변화 대응과 지속가능한 발전전략을 더욱 연계시키고 결합할 것을 요구한다는 것과 이러한 연계는 장/단기적 목표의 더 큰 일관성에 달렸다는 것을 보여준다. 그러나 발전에 대한 서로 다른 해석, 서로 다른 선호와 우선적 가치 및 동기부여, 미래에 대한 서로 다른 비전이 존재하고, 연루된 무수한 절충이 존재한다. 사회생태시스템의 복원력에 대한 연구는 그러한 목표들 간의 간극을 다루는 법에 대한 교훈을 제공한다. 혁신적 사회, 경제, 환경 대응은 재해 위험저감과 적응을 촉진시킬 수 있다(Box 8-1 참고). 혁신은 종종 사회적 가치, 제도 및 기술적 관행에 대한 문제를 포함한다(Loorbach 등, 2008; Hedren and linnet 2009; Pelling 2010a). 복원력 있고 지속가능한 미래는 위험과 불확실성을 관리할 적응적 관리, 학습, 혁신 및 리더십 능력을 비롯해, 혁신을 촉진하는 전향적인 대책을 수반하는 선택이다.

본 장에서는 재해 위험저감과 기후변화 적응에 관한 다양한 이해와 관점이 어떻게 보다 지속가능하고 복원력 있는 미래를 조성하는 데 도움이 될 수 있는가에 대한 통찰을 제공하는 다양한 문헌을 평가한다. 앞 장들의 핵심 메시지에 기초해, 이 장의 목적은 특히 재해 위험저감과 기후변화 적응을 개발 정책 및 경로에 결합하는 것에 관하여, 필요한 점진적이고 혁신적 변화에 대한 과학적 지식을 평가하는 것이다. 다양한 분야의 경험을 취합하여, 이 장에서는 점진적 접근법에서 통합적 접근법으로 전환해 혁신을 포함하는 증명된 경로를 식별한다. 그림 8-1에서 보는 바와 같이, 이 통합적 접근법은 복원력을 잔류위험 용인가능성과 위험관리 비용 사이의 어딘가에 위치하는 가변적인 목표로 간주한다.

목표는 위험관리 능력(기후변화 적응, 재해 위험관리, 개발을 통합한)에 관하여 위험 및 불확실성 변화(극한기후는 물론 도시화 같은 개발추세에 의해 진행되는) 사이의 관계로서 움직인다. 위험과 불확실성이 증가할수록 실무에서의 점증적 적응은 복원력 달성에 더 이상 충분치 않을 수 있고, 어떤 면에서는 점점 커지는 복원력 격차로 인해 혁신적 해법을 추구하게 될 것이다. 강화

Box 8-1 | 변화하는 극한기후에 대한 대응에서의 혁신

혁신은 가치시스템을 비롯한 시스템의 속성; 규제, 법률 및 관료 체계; 금융기관; 기술적 또는 생물물리 시스템을 근본적으로 변화시킨다(용어집 참고). 이 장은 극한기후의 맥락에서 기후변화 적응전략과 보다 폭넓은 인간개발 시스템과의 통합을 통한 재해 위험관리시스템의 혁신에 초점을 맞춘다. 이것은 기후변화에 관련된 다른 유형의 혁신과는 비슷하면서도 다르다. 예를 들어, 기후변화와 개발실패를 정치(Harvey, 2010), 사회(Kovats 등, 2005), 경제(Jackson, 2009), 가치(Leiserowitz 등, 2006) 혁신의 범위와 재해 위험관리(Klein, 2007)의 범위를 식별함으로써 이해하려는 시도가 있었다. 이 사례들에서 관측된 균형 상태 및 변화 과정은 유사하지만(종종 공통의 언어를 사용한다) 행동주체와 목표는 뚜렷이 다르다. 즉, 더 넓은 정치, 경제, 사회, 윤리 시스템의 혁신은 보다 복원력 있고 지속가능한 형태의 재해 위험관리를 시작하거나 닫아버릴 수 있다(Birkland, 2006). 극한기후 관리의 혁신을 목표로 한 이행은 더 넓은 시스템에 영향을 줄 수 있기 때문이다. 이것은 특히 당대의 개발 목표, 경로 및 계급이 취약성과 위험의 근본원인 내지 근접원인의 일부로 확인되어 다루어지는 경우, 즉, 그것들이 복원력 있고 지속가능한 미래를 구축할 해법의 일부로서 간주되는 경우에 그렇다(Wisner, 2003; Pelling, 2010a). 사회적 정체가 어떻게, 그리고, 왜 기존 개발 우선순위와 궤도의 수정을 어렵게 만드는가에 대한 연구들이 수행된 바 있지만(Pelling and Manuel-Navarrete, 2011), 더 넓은 혁신이 재해 위험관리에 영향을 주고, 또 재해 위험관리가 혁신에 영향을 주는 방식에 대한 학술적 연구는 현재까지 극히 제한적이다.

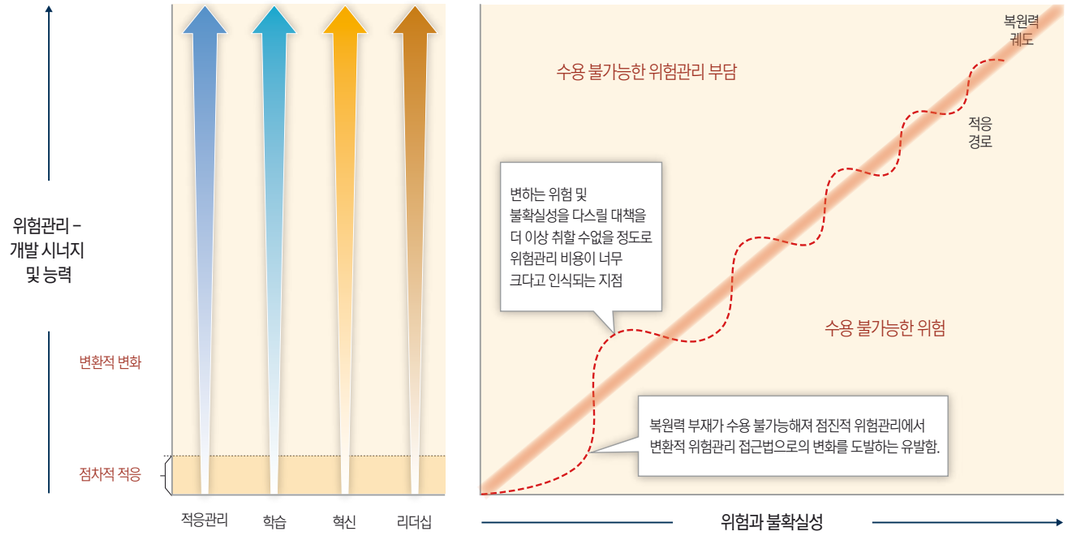


표 8-1 | 복원력을 향한 점증적 경로와 혁신적 경로

된 실험 및 학습 접근법을 통해, 기후변화 적응, 재해 위험관리, 개발은 위험의 동적인 동인 및 발현 보조를 맞추기 위한 경로를 제공할 수 있다.

본 장에서는 이후에 재해 위험관리, 기후변화 적응, 지속가능하고 복원력 있는 개발 간의 관계를 고찰한다(8.2절). 8.2.1절에서는 그 목표들과 목표달성 장애물 간의 시너지와 갈등을 고찰하고, 8.2.2절에서는 생태계와 생물다양성의 역할을 고찰한다. 지속가능한 정책을 설계하는 데 있어서 가치관과 인식의 중요성(8.2.3절) 그리고 기술의 역할(8.2.4절)을 고찰하고, 8장의 마지막으로 8.2.5절에서는 시간 범위, 공간 범위, 다중적 압력원 사이의 절충의 중요성을 고찰한다.

8.3절에서는 시간의 관점에 초점을 두고, 단기 및 장기 목표를 통합하기 위한 옵션을 고찰하기 위해, 현행 재해대응책의 장기적 결과를 고찰하고(8.3.1절), 단기 대응과 장기 대응을 통합하는 데 방해되는 장벽을 고찰하며(8.3.2절), 복원력의 장벽을 극복하고 촉진시킬 옵션을 제안한다(8.3.3절).

8.4절에서는 재해 위험저감과 기후변화 적응이 자산과 자원 접근성에 미치는 영향을 고찰하고, 특히 적응 및 재해 위험저감 정책을 이행할 능력과 자원 가용성의 중요성(8.4.1절)을 고찰한다. 또한, 재해 및 재해 위험저감과 적응을 위한 정책들에서 승자와 패자의 존재(8.4.2절), 인간사회에서 그 분배 효과의 영향(8.4.3절), 새천년 개발목표 같은 국제 목표를 달성할 가능성(8.4.4절)도 고찰한다.

8.5절에서는 재해 위험관리와 적응을 기후변화 저감 정책과 결합하는 문제에 초점을 맞춘다. 재해 위험관리와 적응 측면에서 달성 가능한 것들의 한계로서 기준값과 전환 정점의 역할, 그리고 그 세 정책을 고려하는 것의 중요성(8.5.1절), 그리고 도시 지역과 농촌 지역에서 저감, 적응, 재해 위험관리 사이의 시너지와 갈등(8.5.2절)을 고찰한다. 8.6절에서는 극한기후에 대한 복원력을 촉진하고 적응, 재해 위험관리 및 기타 정책 목표를 결합할 도구와 옵션을 확인한다. 시나리오 사용을 비롯해 미래 계획에 대한 다양한 접근법(8.6.1절), 그리고 점진적 변화부터 혁신적 변화까지 장단기적으로 진전을 이루기 위한 연속적 옵션들의 존재(8.6.2절)를 고찰한다. 이러한 변화에는 재해 위험관리와 적응을 향상시킬 분석 및 모델링 도구의 사용(8.6.2.1절), 새로운 제도적 도구들의 시행(8.6.2.2절), 다중 목표를 달성하기 위한 혁신적 전략(8.6.2.3절)이 있다. 그러한 혁신적 변화들은 복합적 접근법을 사용해(8.6.3절), 이를테면 적응적 관리(8.6.3.1절), 학습(8.6.3.2절), 혁신(8.6.3.3절), 리더십(8.6.3.4절) 접근법을 복합적으로 사용해 촉진될 수 있다. 끝으로 8.7절에서는 복원력 있고 지속가능한 미래를 달성하기 위한 재해 위험관리와 기후변화 적응 간의 시너지를 고찰한다.

8.2. 적응으로써의 재해 위험관리; 지속가능한 개발계획과의 관계

앞서 재해 위험관리(재해 위험저감 포함)와 기후변화 적응의 개념과 관계를 고찰하였다. 이 두 개념과 실무는 서로 겹치는 부분이 많으며, 매우 상호보완적이다. 재해 위험관리는 기후에서 유래한 것 이외의 위험, 이를테면 지진과 화산폭발과 같은 위험을 다루는 반면에 기후변화 적응은 강수, 기온 또는 해수면의 점진적 변화 같은 불연속 재해로 분류되지 않는 현상에 관련된 취약성을 다룬다. 이 두 커뮤니티가 다루는 위험의 예로는 홍수, 가뭄, 열파가 있다.

재해 위험관리는 점차 적응의 '최우선 과제(frontlines)' 중 하나로 간주되고 있으며, 아마도 기후변화 적응을 지속가능한 개발 계획에 편입 또는 통합하기에 가장 유망한 분야 중 하나일 것이다(Sperling and Szekely, 2005; G.O'Brien 등, 2006; Schipper and Pelling, 2006; Schipper, 2009). 그러나 그것은 개발 정책, 메커니즘 및 도구의 수정을 요하고, 위험 감수와 위험 생성으로부터 이익과 손해를 보는 사람에 대한 식별과 대응이 필요하다. 개발에 대한 서로 다른 개념과 그래서 지속가능한 개발계획에 대한 서로 다른 관점은 재해 위험저감이 어떻게 적응에 기여할 수 있는가에 대하여 서로 다른 결론에 이른다. 이 절에서는 이 장에서 사용되는 주요 개념의 정의를 살펴보고, 생태계서비스, 가치관과 인식, 기술, 의사결정에서의 절충이 지속가능한 개발 계획 및 결과에 영향을 끼치는 데 어떤 역할을 하는지를 고찰한다. 또한 의사결정에 관련된 절충도 고찰한다.

8.2.1. 적응, 재해 위험저감 및 지속가능한 개발의 개념과 상호 관계

적응은 위험을 저감하거나 이로운 기회를 활용하기 위하여 실제 또는 예상되는 기후와 그 효과에 적응하는 과정이라고 정의할 수 있다(1.1.2절 참고). 적응 이행은 공공 또는 민간 행동주체에 의해 취해질 수 있고, 예방적(anticipatory)이거나 반응적(reactive)일 수 있으며, 점진적이거나 혁신적일 수 있다(Adger 등, 2007; Stafford Smith 등, 2011). 원칙과 실무에서 적응은 그저 기후변화를 다루기 위해 설계된 개별 대책들의 통합 수준이 아니다. 적응은 취약성과 취약성 저감 계획 및 이행뿐 아니라 위험 인식에 대한 진화하는 경험을 비롯해 여러 인자들에 대한 대응을 망라하는 지속적 과정이다(Tschakert and Dietrich, 2010; Weber, 2010; Wolf, 2011).

이행은 적응능력에 기초한다. 이 보고서에서 적응능력은 개인, 커뮤니티, 사회, 또는 조직이 이용할 수 있고 적응 준비 및 착수에 사용될 수 있는 강점, 속성 및 자원의 조합이라고 정의된다. 또한 적응능력은 혁신하고 예기할 능력(Armitage, 2005), 실수로부터 학습할 수 있는 능력(Adger, 2003), 변화를 다루면서 경험을 생성할 수 있는 능력(Berkes 등, 2003)이라고도 설명할 수 있다. 기후변화에 대한 적응능력을 강화하려면 과거, 현재, 미래의 기후위협, 적응적 전략에 대한 축적된 기억, 그리고 기후시스템의 기습성과 불연속에 대비할 예방적 이행에 주의를 기울여야 한다(Nelson 등, 2007).

적응능력은 부문, 지역, 국가들 간에, 그리고 국가 내부에서도 상이하다(K.O'Brien 등, 2006). 부유한 국가와 지역은 적응에 투입할 자원을 많이 보유하지만, 재무자원의 가용성은 적응능력을 결정하는 인자 중 하나일 뿐이다(Moss 등, 2010; Ford and Ford, 2011). 다중적 압력의 맥락에서 문제의 중요성을 인식하고, 취약한 부문과 커뮤니티를 식별하며, 과학적 지식을 실질적 이행으로 승화시키고, 프로젝트와 프로그램을 시행할 능력도 그러한 인자 중 하나이다(Moser and Ekstrom, 2010). 적응능력은 사실 동적이며, 경제적 및 자연적 자원, 사회적 네트워크, 권한, 제도, 거버넌스, 인적자원, 기술에 좌우된다(Parry 등, 2007). 특히, 부유한 국가가 기후영향에 반드시 덜 취약하지는 않으며 사회경제시스템은 그것의 가장 약한 연결 고리만큼 취약할 수 있다는 것을 이해하는 것이 중요하다(K.O'Brien 등, 2006; Tol and Yohe, 2007). 2003년 유럽의 열파 때 경험했듯이 부유한 국가조차도 극한 현상에 사회적, 경제적으로 심각하게 영향받을 수 있다(Salagnac, 2007; 사례 연구 9.2.1 참고).

현재 많은 국가, 지역, 지방의 적응계획은 다양한 옵션을 확인하는 것을 포함하고 있지만 그 비용, 이익, 영향, 잠재력, 한계에 대한 지식은 여전히 불완전하다(NRC, 2010; 4.5절 참고). 가장 매력적인 적응 이행은 상대적으로 단기간에 개발이익을 줄 뿐 아니라 장기적으로 취약성을 저감하는 이행이다(Agrawala, 2005; Klein 등, 2007; McGray 등, 2007; Hallegatte, 2008a; NRC, 2010). 이것은 재해대비와 위험저감에서 이미 확인된(비록 늘 실시되지는 않지만) 교훈이다(IFRC, 2002; Pelling, 2010b). 새로운 문헌들은 지속가능성을 통해 적응을 고찰하면서, 모든 적응 대응이 반드시 유순한 것은 아니라고 인정한다. 절충이 있고, 부정적 결과가 나올 잠재력, 경쟁하는 이해관계, 서로 다른 종류의 지식, 적응 대응에 내재하는 승자와 패자가 있다(Eriksen and O'Brien, 2007; Ulsrud 등, 2008; Barnett and O'Neill, 2010; Beckman, 2011; Brown, 2011; Eriksen 등, 2011; Gachathi and Eriksen, 2011; Owuor 등, 2011). 지속가능한 적응은 생태계의 연약함을 포함해 취약성과 빈곤의 근본원인을 다루는 과정이라고 정의된다. 지속가능한 적응은 취약성에 기여하는 사회의 근본적 속성을 사회적으로 혁신 또는 변화시키는 방식이라고 간주된다(Eriksen and O'Brien, 2007; Eriksen and Brown, 2011).

재해 위험은 여러 방식으로 정의될 수 있다(1.1.2절 참고). 그러나 일반적으로 재해 위험(risk)은 위험(hazard), 노출 및 취약성 개념과 긴밀히 연관되어 있다. 이 보고서에서 위험은 부정적 결과를 유발할 수 있는 자연적 또는 인위적 물리현상이 발생할 잠재력으로 정의된다. 노출은 극한기후에 악영향을 받을 수 있는 곳에 인간, 생계, 환경 서비스, 자원, 기반시설, 그리고 사회적, 경제적, 문화적 자산이 있는 것으로 정의된다. 위험과 노출은 기후변화뿐 아니라 인간활동으로 인해 변화 중이다. 예를 들어, 홍수, 산사태, 폭풍 해일, 화재에 관련된 위험은 유출수, 부식 등을 조절하는 생태계서비스의 감소에 의해 영향 받을 수 있다. 습지의 배수, 벌채, 맹그로브 파괴, 그리고 표층의 불투수성, 지하수 과잉취수 같은 도시개발 관련 변화는 모두 위험 패턴을 변경시킬 수 있는 인자들이다(Nobre 등, 1991, 2005; MEA, 2005; Nicholls 등, 2008). 따라서 기상 관련 위험의 대부분은 현재 인위적 요소를 갖고 있다(Cardona, 1999; Lavell, 1999).

취약성의 정의와 해석은 재해 위험 커뮤니티와 기후 커뮤니티에서 분분하다(종종 상충하기도 한다) (1.1.2절과 2.2절 참고). 취약성은 시간이 지나면서 환경 변화와 사회경제적 변화의 결과로 증가 또는 감소할 수 있다(Blaikie 등, 1994; Leichenko and O'Brien, 2008). 일반적으로, 한 국가에서 발전 지표의 향상은 사망위험 감소와 연관이 있지만 경제손실과 보험청구의 증가와도 연관이 있었다(UNDP, 2004; Pielke Jr. 등, 2008; Schumacher and Strobl, 2008; ECA, 2009; UNISDR, 2009; World Bank, 2010a). 최근 증거에 의하면, 노출 증가에도 불구하고, 열대저기압과 홍수로 인한 사망 위험이 현재 전 세계는 물론 노출이 극심한 아시아와 같은 지역에서도 감소 중이다(UNISDR, 2011). 이와 대조적으로, 취약성 감소가 경제자산의 급속한 노출증가를 보충하지 않고 있기 때문에 경제손실 위험은 전 세계적으로 증가 중이다. 예를 들어, OECD 국가들에서 경제손실은 1인당 GDP보다 빠른 속도로 증가 중이다. 다시 말해서, 재해로 인한 부의 손실위험이 부의 창출보다 빠르게 증가 중이다(UNISDR, 2011). 그러나 어떤 유형의 개발은, 특히 개발이 불공평하거나 생태계시스템을 퇴화시키는 경우에는 취약성을 증가시키거나 사회집단들 사이에 이전시킬 수 있다(UNISDR, 2011). 성장이 좀 더 공평한 경우에도 취약성이 발생할 수 있다(예: 현대 건물이 안전표준에 따라 건설되지 않는 경우) (Hewitt, 1997; Satterthwaite, 2007).

기후변화는 기상 관련 위험의 빈도, 심각도 및 공간분포 상의 변화를 통해 그리고 기후영향으로 인한 취약성 증가(예: 용수량 감소, 농업생산량 및 식량 가용성 감소, 열스트레스 증가)를 통해 기존 위험을 심화시킬 수 있다(4.3절 참고). 적응과 마찬가지로, 재해 위험저감은 예방적(신규 개발이 위험을 증가시키지 않도록 보장) 이거나 시정적(기존 위험수준을 저감) 일 수 있다(Lavell, 2009). 위험다발 지역에서 노출인구 증가를 감안하면, 예방적 재해위험저감은 미래의 극한기후 관련 위험을 다루는 데 근본적으로 중요하다. 이와 동시에, 기존 기후위험에 대한 노출 및 민감성의 축적, 예를 들어, 과거의 도시계획이나 농촌 기반시설 결정으로부터 상속된 축적을 다루기 위해서는 재해 위험저감에 투자가 필요하다.

기후변화 적응과 재해 위험관리(특히 재해 위험저감)는 경제, 사회, 환경의 모든 범위에서 장기적 지속가능성 결정에 핵심 요소이다(Wilbanks and Kates, 2010). 지속가능한 개발의 정의로 가장 널리 쓰이는 일반적으로 수용된 정의는 브루트란트 보고서(Brundtland Commission Report)에서 나온 정의이다. 이 보고서는 지속가능한 개발을 "미래 세대의 필요 충족 능력을 손상시키지 않고 현재의 필요를 충족시키는 개발"이라고 정의하였다(WCED, 1987). 인간의 필요를 충족시키고 사회경제 발전의 기회를 제공하고; 지구의 생명유지 시스템을 지탱하고; 개발 과정 및 결정에서 참여의 폭을 확장하고; 문제 해결을 위한 더 다양한 옵션을 제공하기 위해 지식을 이행으로 옮기도록 촉진하는 등 지속가능한 개발의 원칙들이 다수 부상하였다(WCED, 1987; Meadowcroft, 1997; NRC, 1999; Swart 등, 2003; MEA, 2005). 지속가능한 개발은 사회경제 목표와 환경 목표 중 어느 한쪽을 희생하지 않고 그 두 목표를 달성하는 경로를 찾는 것을 의미하기 때문에 근본적으로 정치적인 개념이다(Wilbanks, 1994).

지난 몇 십년 간 지속가능한 개발과 기후변화 간 관계에 대한 고찰이 증가해 왔다(Cohen 등, 1998; Yohe 등, 2007; Bizikova 등, 2010). 개발에 관한 문헌은 개발 경로가 어떻게 기후변화에 대한 취약성과 기후변화 정책에 대한 취약성뿐만 아니라 다른 위험들과도 관련되는지를 고찰한다(예: Davis, 2001; Garg 등, 2009). 확실히 일부 기후변화와 관련된 환경변화는 지속가능한 개발을 잠재적으로 위협하고 있다. 그러나 그러한 변화는 특히 추세나 현상이 지속 불가능한 개발 실무나 개발 경로(예: 인구나 경제활동을 덜 취약한 지역으로 재배치)의 상당한 조정을 요할 만큼 심각한 경우에는 지속가능성을 향한 움직임에 도움이 될 수도 있다. 그러한 경우, 재해 위험저감과 기후변화 적응은 지속가능한 개발에 중요하게 기여할 수 있고 심지어 필수적일 수도 있다.

재해 위험관리를 통해 취약성이 성공적으로 감소한 예가 일부 존재한다. 그러나 부분적으로는 관측된 환경적 압력을 기후변화로 인한 것이거나 기후변화 대응에 따른 것이라고 할 수 있는 능력에 한계가 있어서 기후변화 적응에 관한 실증자료는 미흡하다(Fankhauser 등, 1999; Adger 등, 2007; Repetto, 2008). 재해 위험저감 측면에서, 재해 조기경보시스템의 향상(IFRC, 2005)과 개발 및 인간복지의 증가(UNISDR, 2011) 덕분에 지난 몇 십년간 수많은 사람들이 죽음을 모면하였다. 그러나 사망률을 줄이고 재해와 극한기후에 영향받는 사람 수를 줄이기 위해 할 수 있는 방법들이 다수 존재한다. 예를 들어, 최근에 100여개 국가들이 효고 행동 계획(Hyogo Framework of Action)의 목표에 관한 진척도를 자체평가(UNISDR, 2009, 2011) 한 바에 의하면, 예방적 및 시정적 재해 위험저감의 전제조건인 포괄적이고 정확하고 접근 가능한 위험평가를 수행한 개발도상국은 극소수이다. 더욱이 재해 위험저감에 얼마나 투자했는지를 정량할 수 있는 국가도 극소수이다. 재해 위험관리 또는 기후 적응의 성공여부를 평가할 방법은 많다. 이를테면 이행(환경적 압력원을 예상해서 결정된 이행)의 목표가 달성된 정도를 그러한 환경적 압력원이 실현되는지 여부에 상관없이 측정하는 것도 한 가지 방법이다. 기후적응과 재해 위험관리는 기후변화로 인한 극한 현상의 변화에 대응하는 데 기여할 수 있지만 두 접근법 중 어느 것도 단독으로는 충분치 않다.

국가 차원에서 계량경제 분석은 재해가 경제성장에 끼치는 영향에 대하여 다른 결론에 도달했지만 증거들을 맞춰보면 부정적 영향이 암시된다. Noy and Nualsri(2007), Noy(2009), Hochrainer(2009), Jaramillo(2009), Raddatz(2007)는 자연재해가 성장에 대한 전반적 영향이 부정적이라고 주장한 반면에, Albala-Bertrand(1993)과 Skidmore and Toya(2002)는 복구와 생산성 효과를 자극하는 효과가 있어 장기적으로 경제성장에 긍정적인 영향을 준다고 주장한다. Cavallo and Noy(2009), Loayza 등(2009)이 주장한 바와 같이, 이 차이는 큰 재해와 작은 재해의 영향의 차이에서 기인할 수 있다. 후자는 성장에 부정적 영향을 끼치고 전자는 성장을 강화시킨다. 어떤 경우든, 재해손실이 다른 사회적, 경제적 영향으로 전환되는지의 여부는 개별 재해가 어떻게 관리되는가에 달렸고(Moreno and Cardona, 2011), 그것은 능력과 정치적 우선순위와 관련있다. 지역적 차원에서, Strobl(2011)은 허리케인 산사태가 미국에서 카운티 수준의 경제성장에 끼친 영향을 조사한다. 이 분석에 의하면, 적어도 1년에 한 번 허리케인에 강타 당하는 카운티는 경제성장이 평균 0.79% 감소하고 그 다음 해에는 0.22% 증가한다. Noy and Vu(2010)는 재해가 베트남의 도(province) 수준에서의 경제성장에 끼치는 영향을 조사하였고, 치명적인 재해는 경제생산을 감소시키지만 희생이 큰 재해는 단기 성장을 증가시킨다는 것을 발견하였다. Rodriguez-Oreggia 등(2009)은 멕시코의 지자체 수준에서 빈곤과 세계은행 인간개발지수에 초점을 맞추었다. 이 연구에 의하면, 재해를 입은 지자체들은 빈곤이 1.5-3.6% 증가하였다. 재해와 개발 사이의 중요한 연관성을 고려하면, 재해 위험저감, 기후변화 적응, 지속가능한 개발을 일관되고 통합된 틀 안에서 고려할 필요가 있다(G.O'Brien 등, 2006; Schipper and Pelling, 2006).

8.2.2. 재해 위험관리와 기후변화 적응이라는 맥락에서 생태계서비스의 지속가능성

생태계에 대한 인구압력을 줄이고 자연자원을 보다 지속가능한 방식으로 관리하면 기후변화를 완화시키고 극한기후 및 극한기상 현상에 대한 취약성을 저감하려는 노력들이 수월해질 수 있다. 생태계가 악화되면 생태계는 인간의 생계와 사회가 의존하고 있는 생태계 재화 및 서비스를 제공할 능력(MEA, 2005; WWF, 2010), 그리고 기후변화를 비롯한 환경교란을 이겨낼 능력이 약화된다. 생태계 시스템과 그것에 결부된 사회생태시스템에서 붕괴와 그 후 체제전환이 일어날 가능성이 기후변화 및 기타 교란현상의 규모, 빈도, 지속기간에 대응해 증가 중일 수 있다는 증거가 있다(Folke 등, 2004; MEA, 2005; Woodward, 2010). 생태계서비스의 크고 지속적인 전환은 커뮤니티의 사람들이 누릴 수 있는 총 복지수준에 영향을 줄 뿐 아니라, 세대 내 및 세대 간 사람들의 복지분배에도 영향을 끼친다. 그리하여 자원사용에 대한 새로운 갈등을 야기하고 지속가능한 개발의 한 요소인 세대간 형평성에 대한 의문도 야기할 수 있다(Thomas and Twyman, 2005). 그것은 계속적으로 나타나는 어족 자원의 고갈 사례에서 주장된 바와 같이, 연속적인 자원시스템에 대한 압력 증가라는 도미노 효과를 낳을 수 있다(Berkes 등, 2006). 그러나 생태계가 체제전환을 겪게 되는 기준값과 그것들이 사회적 압력을 촉진시킬 수 있는 지점은 부분적으로 공간적 시간적 변동성 때문에 아직 알려진 바가 거의 없다(Biggs 등, 2009; Scheffer, 2009).

생태계는 기후 관련 극한 현상을 막아줄 자연장벽 역할을 하여 재해 위험을 줄여줄 수 있다(Conde, 2001; Scholze 등, 2005). 예를 들어, 맹그로브 산림은 매우 효과적인 자연적 수방 기제이기 때문에 해수면 상승에 있어서 점점 더 중요해질 것이고, 이미 해안의 극한기후 및 비기후적 현상을 막는 해안방어 수단으로 사용되고 있다(Adger 등, 2005). 그러한 생태계서비스의 이익은 생태계의 건강, 위험 특징, 지역 지형, 위험에 대하여 생태계의 지리와 위치에 의해 결정된다(Lacambra and Zahedi, 2011). 기후변화 적응의 생태학적 한계를 평가하면서 Peterson(2009)은 생태계 체제전환은 극한기후 충격의 결과로 일어날 수 있지만 그러한 전환은 생태계의 복원력에 좌우되며 여러 범위에서 진행되는 공정들에 의해 영향받는다고 강조한다. 특히, 조절 서비스(예: 홍수 조절, 토양침식 조절)의 손실은 생태학적 복원력을 약화시킨다는 증거가 있다(MEA, 2005).

생태계와 생태계 접근법도 변화하는 기후조건에 대한 적응을 수월케 할 수 있다(Conde, 2001; Scholze 등, 2005). 수문학적 지속가능성을 제공하는 수자원과 습지의 보존은 급수에 대한 압력과 영향을 줄여 적응을 더욱 촉진할 수 있고, 반면에 탄소 저감과 대체 에너지(예: 바이오연료)를 위한 산림 보존은 탄소배출을 저감하고 여러 이익을 줄 수 있다(Reid, 2006). 해안 방어와 눈사태 방호가 그러한 예이다(Silvestri and Kershaw, 2010). 예를 들어, 뉴욕에서는 노후된 하수시스템이 더 이상 적절하지 않아 미처리 빗물과 하수가 정기적으로 거리에 범람한다. 폭우가 내린 뒤에는 넘쳐나는 물이 수처리 플랜트에 도달하는 대신에 곧장 강과 하천으로 흘러든다. 미국 EPA는 미국 전역의 하수 기반시설을 업그레이드하는 데 20년 동안 약 3,000억 US$가 필요할 것이라고 추정하였다. 이에 뉴욕시는 지붕, 도로, 인도의 녹색 기반시설에 53억 US$를 투자할 것이다. 이것은 여러 가지 이익을 약속한다: 새로운 녹색공간은 더 많은 빗물을 흡수해 도시의 하수시스템 부담을 줄일 수 있고, 공기질을 향상시키고, 물과 에너지 비용을 저감할 수 있다. 생태계 구성요소의 그러한 변화는 결부된 사회생태시스템의 복원력을 강화할 지렛대로 사용될 수 있다(Biggs 등, 2009).

생물다양성도 적응에 중요하다. 기능적으로 다양한 시스템은 기능적으로 빈곤한 시스템에 비해 기후변화 및 기후다양성에 적응할 여지가 더 많다(Elmqvist 등, 2003; Hughes 등, 2003; Lacambra and Zahedi, 2011). 더 큰 유전자풀은 변화된 기후조건에 더 잘 적응된 유전형의 출현을 촉진시킬 것이다. 그러므로 생물다양성의 보존과 생태계 완전성의 유지관리는 기후변화 극한 현상에 대처할 사회의 적응능력을 향상시키는 데 핵심 목표일 수 있다(Peterson 등, 1997; Elmqvist 등, 2003; SCBD, 2010).

온실가스 저감을 통해 기후변화 정도를 감소하려는 적응 전략들은 생물다양성에 부정적으로도 긍정적으로도 영향을 줄 수 있다(Edenhofer 등, 2011). 이것은 차례로 극한기후에 적응할 능력에도 영향을 준다. 예를 들어, 일부 바이오에너지 농장(plantation)은 생물다양성이 높은 부지를 대체하고, 외래종을 도입하고, 해로운 농약을 사용한다. 이것은 결국 생태계 복원력을 감소시킬 수 있고 그리하여 생태계의 극한 현상 대응능력도 감소시킬 수 있다(Foley 등, 2005; Fargione 등, 2009). 대규모 수력발전은 육상 및 수상 생물다양성의 감소를 야기할 수 있고, 어류의 이동을 억제할 수 있고, 수은 오염을 초래할 수도 있다(Montgomery 등, 2000). 또한 습지 침전물 역학을 변화시켜 해안지역에서 침전물 고갈을 초래할 수 있고, 이것은 결국 해안 침식으로 이어져 해안이 해수면 상승과 폭풍해일에 더욱 취약해질 수 있다(Silvestri and Kershaw, 2010).

벌채와 산림퇴화로 인한 탄소배출량을 저감(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation)하고 탄소 축적량(carbon stocks)을 유지/강화하고 지속가능한 산림관리(REDD+)를 촉진하는 데 초점을 맞춘 노력들에 대한 국제적 관심과 지원이 점점 증가하는 것은 저감에 대한 우려에서 촉발된 자연자원 보호 및 지속가능한 관리를 위한 인센티브가 적응에게도 공동 이익을 줄 잠재력이 있는 경우의 한 예이다. 산림으로부터 제공되는 생태계서비스는 빗물유출을 조정하고 홍수위험을 줄이며, 토양이 물과 바람에 침식되지 않도록 보호하고 생물종의 이동로를 제공함으로써 일부 기후변화에 대한 복원력을 증가시킬 수 있다(Locatelli 등, 2010). 원시림(primary forest)은 이차림(secondary forest)과 플랜테이션에 비해 교란과 기후변화 같은 환경변화에 대한 복원력이 더 높은 경향이 있다(Thompson 등, 2009). 그러나 산림도 극한기후에 취약하고(Nepstad 등, 2007), 모델을 통해 예측된 지구온난화에도 취약하다(Vergara and Scholz, 2011). 따라서 기후변화 완화와 적응에서 산림생태계의 역할은 기후변화의 속도와 규모 그리고 생태학적 전환 정점의 교차를 피할 수 있는지 여부에 좌우될 것이다.

8.2.3. 대응 양상에서 가치와 인식의 역할

가치와 인식은 기후변화 극한 현상에 대한 이행에 막대한 영향을 주며, 지속가능한 개발에도 상당한 영향을 줄 수 있다. 재해 위험 커뮤니티는 경제적 합리성과 도덕적 의무에 대한 고려를 포함해 한정된 자원을 투자할지 여부에 대한 결정하는 데 몇 가지 관점을 사용해 왔다(Sen, 2000). 가치판단은 문제 설정, 해법, 개발 결정, 결과 평가에 포함되고, 따라서 가치판단은 명확하고 가시적이게 하는 것이 중요하다. 가치는 무엇이 바람직한지 또는 더 나은지를 묘사하며, 물질 및 비물질 세계의 주관적인 무형 차원을 표현하는 데 사용될 수 있다(O'Brien and Wolf, 2010). 가치는 변화와 인과관계에 대한 인식을 포함해 세계관과 신념에 밀접하게 연결되어 있다(Rohan, 2000; Leiserowitz, 2006; Weber, 2010). 가치는 이행, 판단, 선택, 자세, 평가, 논박, 권고, 합리화, 원인규명에 정보를 주고 또한 그것들에 의해 형성된다(Rokeach, 1979). 그러나 가치가 언제나 분명하게 특정 행동으로 옮겨지는 것은 아니다(Leiserowitz 등, 2005). 충돌하는 가치를 인정하고 조정하기 위해서는 그것들을 의사결정에 포함시키고 사회 및 전문가 영역에서 의사소통 통로를 찾을 필요성이 있다(Rosenberg, 2007; Vogel 등, 2007; Oswald Spring and Brauch, 2011).

극한 현상으로 인한 손실은 인명손실이나 기반시설 피해, 경제적 비용 같은

객관적이고 측정 가능한 영향 이상의 영향을 줄 수 있다. 그것들은 장소나 커뮤니티의 양식, 정체성 또는 문화 같은 사회자본의 요소들의 손실을 포함해 개인, 커뮤니티, 집단에게 중요한 것들의 손실로 이어질 수 있다. 이것은 오랫동안 재해 위험 커뮤니티에서 관측되었고(Hewitt, 1997; Mustafa, 2005) 보다 최근 들어서는 기후변화 커뮤니티(O'Brien, 2009; Adger 등, 2010; Pelling, 2010a)에서도 관측되었다. 가치에 기반한 접근법은 사회경제시스템이 구성요소들의 혁신, 야망, 가치 및 선호도 변화에 의해 연속적으로 진화한다고 인정한다(Simmie and Martin, 2010; Hedlund-de Witt, 2011). 이 접근법은 '누구의 가치가 중요한가'라는 윤리적 물음뿐 아니라 '누가 결정하는가'라는 중요한 정치적 물음도 제기한다. 이 물음들은 재해 위험(Blaikie 등, 1994; Wisner, 2003; Wisner 등, 2004)과 기후변화(Adger, 2004; Hunt and Taylor, 2009; Adger 등, 2010; O'Brien and Wolf, 2010)에 관하여 제기되었고, 정책과 결정의 시간적 결과의 복잡성을 포함해, 기후변화와 재해 위험의 상호작용을 고려할 때 중요하다(Pelling, 2003).

현재의 비용편익분석(CBA) 모델의 기초를 이루는 확률적 위험평가는 빈곤한 가구와 커뮤니티가 입는 재해 피해의 상당 부분을 설명해주는 보다 폭넓은 결과를 거의 고려하지 않는다(UNISDR, 2004, 2009; Marulanda 등, 2010).

이러한 것으로는 빈곤 및 불평등 증가(Hallegatte, 2006; de la Fuente 등, 2009), 건강에의 영향(Murray and Lopez, 1996; Grubb 등, 1999; Viscusi and Aldy, 2003), 문화 자산과 역사적 건물의 손실(ICOMOS, 1998), 환경 영향 등이 있으며 이것들은 금전적인 측면에서 측정하기가 어려운 경우가 많다. 특정 접근법으로 CBA의 분배 효과를 설명할 수는 있으나(예: 분배-가중 비용편익분석(distributional-weight CBA), Harberger(1978) 참고; 기초수요 비용편익분석(basic-needs CBA), Harberger(1984) 참고; 또는 소득에 비선형적으로 비례하는 개인복지의 합계로서 구축된 사회복지 기능), 그러한 접근법 중에 대체로 동의된 것은 없다. 다른 유형의 가치평가는 비서구권에 사는 사람들의 집단기억과 정체성에 연관된 '도덕 경제(moral economy)' 같은 제도적 요소를 강조한다(Rist, 2000; Hughes, 2001; Trawick, 2001; Scott, 2003).

위험관리 우선순위를 정하려는 시도는 두 가지 중요한 철학적 가치 프레임인 인권 접근법과 공리주의 접근법에 지배되어 왔다. 인권에 기반한 접근법(Wisner, 2003; Gardiner, 2010)은 회피 가능한 위험과 특정 손실을 줄일 도덕적 의무를 강조한다. 이 의무는 1948년 UN 인권선언(UN Universal Declaration of Human Rights)에서 인정되었는데 제3조는 "인간의 생명, 자유, 안전"에 대한 권리를 규정하고, 제25조는 "실직, 질병, 신체장애, 배우자와의 사별, 또는 노령 또는 자신의 통제능력을 넘어선 환경에서의 생계수단 부재 등의 경우에 건강과 안녕에 적당한 생활표준"을 보호한다."

인도주의적 커뮤니티, 보다 넓은 의미로 시민사회는 이러한 염원을 다루는 데 있어 상당한 진척을 이루었고(Kent, 2001), 이에 대한 가장 좋은 예는 스피어 표준(Sphere standards)일 것이다. 이러한 표준은 피난처 관리, 구제 및 복구 보조금 수혜와 분배 등 재해후 이행의 공평성을 요하는 우수한 인도주의적 관행에 대한 자주적 가이드라인을 제공한다(Sphere, 2004). 위험관리의 윤리와 형평성도 적응 분야에서 Rawl의 정의 이론을 적용해 탐구되었다(Rawls, 1971; Paavola, 2005; Paavola and Adger 2006; Paavola 등, 2006; Grasso, 2009, 2010). 이러한 관점으로부터 설령 절대적 수혜자 수가 한정될지라도 최고취약층의 위험저감에 우선순위가 주어진다.

인도주의적 관점이 가장 소외된, 또는 경제적으로 빈곤한 이들에 초점을 맞추는 것과는 달리, 공리주의 접근법은 사람 간의 복지 비교가 가능하다고 가정하고, 국민의 복지를 요약하는 사회복지 기능을 구축할 수 있다고 가정한다(Pigou, 1920). 그러한 기능이 존재한다는 가정 하에, 이를 최대화했을 경우 공공투자의 경제적 이익이 비용을 초과하는 지점을 식별할 수 있게 된다. 위험저감 투자의 경제적 이익 계산결과는 다양하지만 종종 유의미한 것으로 간주된다(Ghesquiere 등, 2006; World Bank 2010a; UNISDR, 2011). 그러나 재해비용과 위험저감 투자이익의 복잡성을 설명하기는 극히 어렵다(Pelling 등, 2002; Hallegatte and Przyluski, 2010). 여기에서 중요한 점은 가치 프레임이 극한기후 및 기상에 대한 대응의 유형에 상당히 영향을 줄 수 있다는 점이다.

8.2.4. 기술의 선택, 가용성 및 접근

기술의 선택은 극한기후 및 극한기상 현상에 상대적인 위험저감과 위험강화, 두 가지 모두에 기여할 수 있다. 7.4.3절에서 고찰했듯이, 기술은 기후변화 적응과 재해 위험저감에서 두드러지게 주목받는다. 하나의 사회-기술 상태에서 다른 사회기술 상태로의 연속적 혁신은 기후변화 위험에 대한 많은 대응양상을 좌우한다. 극한기후에 대한 대응에서 기술의 선택, 가용성 및 접근성의 역할에 대한 평가는 다양한 개발 맥락 내에서 고려되어야 하는 수 많은 기술들과 얽혀 있다. 그러나 대부분의 경우, 위험저감과 위험생성 간의 균형에 대한 문제가 제기된다. '기술'은 정보통신기술, 도로와 기반시설, 식량과 생산기술, 에너지 시스템 등 다양한 분야를 아우르는 광의적 개념이다. 기술 선택은 재해 위험을 완화시킬 수 있을 뿐 아니라 위험을 크게 증가시키고 적응문제를 추가할 수도 있다(Jonkman 등, 2010). 예를 들어, 현대의 일부 에너지 시스템과 중앙 커뮤니케이션 시스템은 폭풍 피해에 취약할 수 있는 물리적 구조에 의존하고 있다. 상대적으로 중앙 집권화 된 첨단기술 시스템은 불안정하므로 정상적인 조건에서는 효율을 제공하지만 비상 시에는 연쇄적인 효과를 받는다고 주장되었다(Lovins and Lovins, 1982).

대부분의 경우 기술은 극한기후와 재해 위험에 대한 대응의 중요한 일부로 간주된다. 예를 들어, 교량이나 건물 같은 기반시설 또는 언덕이나 하천의 운하 같은 자연 시스템을 더 높은 수준의 압력을 견뎌내도록 '견고'하게 만들 방법을 비롯해, 물리적 기반시설에 주목한다(UNFCCC, 2006; Larsen 등, 2007; CCSP, 2008). 또 다른 초점은 가능한 압력과 취약성을 모니터 하는 기술, 비상 시 인구 및 응답자들과 소통하는 기술, 가능한 위협과 만일의 사태에 대하여 정보를 보급하기 위한 기술 응용 등 정보 수집과 보급을 지원하는 기술에 있다. 하지만 그러한 기술에 대한 접근은 일부 개발도상국에서는 제한적일 수 있다. 홍수와 가뭄 대비에 사용될 수 있는 여러 개월의 예보를 제공하기 위해 최근 몇 십년간 수많은 기후모델의 결과에 기초한 계절 기후의 예측 수준이 향상되었다(Stern and Easterling, 1999). 현대의 기술발전은 예를 들어, 식량생산 신기술 등을 통해 궁극적으로 재해 위험저감 약속을 지킬 수 있는 다양한 혁신적 개념들을 탐구하고 있다. 하지만 생태, 윤리 및 인간 건강과의 관련성은 아직 거의 밝혀지지 않았다(Altieri and Rosset, 1999).

FAQ 8.1 | 극한기후의 해법으로 기술을 더욱 강조하는 이유는 무엇인가?

극한기후에 대한 대응에 있어 기술은 필수적인 요소이다. 적어도 부분적으로는 기술선택과 사용이 종종 그 문제의 일부이기 때문이다. 조기경보시스템 강화는 기술이 재해 위험관리에서 중요한 역할을 할 수 있는 경우의 일례이다. 이 예는 '경성(hard)' (엔지니어링) 및 '연성(soft)' (사회행정) 기술을 고려하는 것이 얼마나 중요한지를 보여준다. 위험 식별을 둘러싼 경성기술이 크게 발전하였고, 이러한 발전 덕에 무수한 인명을 살릴 수 있었다. 제도 개혁 및 통신망의 연성기술을 통한 경고 전달은 크게 발전하지 못했다. 경성 및 연성기술 시스템은 서로 다른 문화, 환경, 거버넌스 유형에 대응해야 한다. 가장 기본적으로, 기술은 확실히 연구개발 선택의 산물이고, 이 선택은 특정한 가치, 이해관계 및 우선순위를 반영한다. 기술의 성공적 이전은 지역의 필요, 능력 및 발전목표에 민감하다. 기술의 결과는 의도치 않게 부적응에 기여할 수 있다. 예를 들어, 일부 현대적 농업기술은 국지적 생물다양성을 감소시키고 미래의 적응을 제약한다. 기술은 적절하고 접근 가능한 경우에만 중요하다. 기술 개발과 사용은 극한기후에 대한 취약성을 완화와 적응을 통해 저감하는 데 필요하지만 올바른 방식으로 이용되는 올바른 기술일 필요가 있다. 따라서 시·공간적으로 기술의 사회적, 경제적, 환경적 결과를 더 많이 되돌아볼 필요가 있다. 많은 경우에서, 극한기후에 대한 대응은 오로지 기술적 대응에만 초점을 맞추기 보다는 사회적 취약성을 다룸으로써 향상될 수 있다.

어디에서 재해 위험이 발생하고, 언제 위험저감이 일어나는지가 두 가지 다른 시간 규모에서의 기술적인 대안과 그것들의 이익, 비용, 잠재력, 한계에 주목한다. 단기적으로 고려할 기술은 현존하는 기술 또는 상대적으로 신속히 수정할 수 있는 기술들이다. 장기적으로는, 필요가 확인되는 경우, 신기술 개발 가능성을 고려할 수 있다(Wilbanks, 2010). 일부 상황에서는 단기 위험 및 취약성을 저감하도록 실행된 기술이 극한 현상이나 진행 중인 추세에 대한 미래의 취약성을 증가시킬 수 있다. 예를 들어, 관개는 적고 가변적인 강수패턴에 대한 농부들의 취약성을 감소시켰다. 그러나 관개용수가 재생 불가능한 수원(예: 미국의 오갈랄라 고원(Ogallala-High Plains)의 대수층)을 이용하는 경우, 예측 가능한 미래 관개기회 감소는 취약성과 흉작 증가위험이 커진다는 것을 의미할 것이다(AAG, 2003; Harrington, 2005).

비슷한 예로, 큰 댐은 가뭄을 완화시키고 전기를 생산할 수 있지만 댐이 들어서느라 생기는 사회적 및 생태학적 변위의 비용은 수용 불가능한 수준일 수 있다(Baghel and Nusser, 2010). 더욱이 댐이 미래 기후변화에 순응하도록 건설되지 않는 한, 역사적 경험으로부터의 일탈을 무시하는 안도감을 북돋움으로써 사회에 새로운 위험을 가할 수 있다(Wilbanks and Kates, 2010). 메콩강 유역에서 수방을 위해 지어진 제방, 댐, 배수로 및 우회로는 위험부담 행동에 영향을 주기 때문에 장기적 위험에 있어서 예상 밖의 결과를 가져온다(Lebel 등, 2009). 미국에서는 현재 설계수명을 초과한 댐들의 하류쪽 범람원 지역에 과거에 지어진 건물들이 큰 문제가 되고 있다. 현재 수만 개의 댐들이 위험 잠재력이 높은 것으로 간주된다(McCool, 2005; FEMA, 2009; ASCE, 2010).

물리적 기반시설에 대한 투자는 그 영향력이 오래 지속되는데, 이는 물리적 기반시설이 대개 30-40년 이상의 수명을 지니기 때문이다. 도시의 주택, 교통, 또는 용수 및 위생 기반시설의 점진적 근대화는 그 시설에 대한 특정 계획이 없을 경우 수십년이 소요되기도 한다. 그것들이 적응적이기보다는 부적응적이면 그 결과는 심각할 수 있다. 이것은 보다 광범위한 해법을 촉진할 수 있는 기술의 재평가를 제안한다. 예를 들어, 가까운 곳뿐 아니라 더 먼 곳의 필요를 해결할 수 있는 작은 댐들을 여러 개 건설한다든가, 자연재해 발생 시 대규모 발전기나 송전선이 소실되는 경우. 또는 일본에서처럼 발전소가 자연재해로 영향 받은 후에 2차적 재해를 일으키는 경우에 자연재해의 2차적 영향에 대한 노출을 줄일 수 있는 지역 발전설비(초소형 태양열, 풍력, 수력 또는 지열 발전을 이용할 것)를 광범위하게 배치하는 등의 방안을 재검토해 볼 수 있다. 더 분포되고 덜 최대화하는 개발비전의 목표는 태국의 '자급자족 경제(Sufficiency Economy)' 접근법에 잘 표현되어 있다. 이것은 지역 발전을 지역적, 국가적, 국제적 부의 창출에 기여한 정도에 비추어 판단한다(UNDP, 2007a).

기술 선택, 가용성 및 접근은 기술발전만이 아닌 그 이상의 것들에 좌우된다. 기술, 그리고 기술을 사용하는 데 필요한 기량, 기술을 배치하는 데 적절한 제도적 접근법이 효과적으로 제공자에게서 사용자에게로 이전('기술이전') 되지 않는 한, 아무리 유망한 기술옵션이더라도 그 효과는 최소화 된다(7.4.3절 참고). 장벽과 잠재력을 형성하는 다양한 상황을 중심으로 과학과 기술을 지속가능한 개발에 사용하는 데 있어 도전적 문제점들이 상당한 관심을 받아왔다(예: Nelson and Winter, 1982; Patel and Pavit, 1995; NRC, 1999; ICSU, 2002; Kristjanson 등, 2009). 지적재산권 관련 장애물을 극복할 수 있다면, 점점 증가 중인 정보기술 혁명의 힘이 기술이전(지역지식과 연결된)을 잠재력 있는 방식으로 가속할 수 있을 것이다(Wilbanks and Wilbanks, 2010).

8.2.5. 의사결정에서 절충: 다중적 범위 및 압력원 다루기

지속가능한 개발은 어떤 것을 위해 다른 것을 희생함 없이 다양한 사회경제적, 환경적 목표를 달성할 방도를 찾는다. 그 결과로 적응, 재해 위험관리, 지속가능성 간의 관계는 매우 정치적이다. 다중 목표의 성공적인 조정은 "누가 통제하는가, 누가 의제를 설정하는가, 누가 자원을 할당하는가, 누가 분쟁을

중재하는가, 누가 게임의 규칙을 정하는가 같은 질문에 대한 해답에 놓여 있다" (Wilbanks, 1994, p. 544). 이것은 정부부처 사이의 것이든 부문, 정책 분야들 사이의 것이든 이해관계 충돌이 있음을 인정하고 해결해야 한다는 것을 의미하며, 의사결정에서 절충이 없는 간단한 만능해법은 있을 수 없다는 것을 시사한다(Brock and Carpenter, 2007).

위험관리 상황은 매우 광범위하기 때문에 기후변화 또는 위험관리에 대한 단일 또는 최적의 적응방법은 없다. 예를 들어, 위험관리 결정은 파괴적이기는 하지만 아마도 '극한적'이지는 않을 빈번한 현상에 대한 점진적 대응 쪽을 지향할 수 있다. 다중 목표들 사이의 절충은 애매한 경우가 많다. 예를 들어, 빈도가 높은 현상에 초점을 맞추고 방호의 이행을 취하는 것이 더 규모가 크고 더 빈도가 적은 극한 현상에 대한 취약성 증가를 초래할 수도 있다(Burby, 2006). 이것이 고정적인 물리적 기반시설에 투자하는 데 있어서의 문제 중 하나이다. 더 규모가 크고 덜 빈번한 현상들의 위험에 대한 시야(risk visibility)를 유지하고 대비할 수 있게 하는 보다 빈번하고 영향이 더 적은 현상들에 의해 조기경보시스템을 비롯한 사회적 투자와 위험 의식이 강화될 수 있다(사례 연구 9.2.11과 9.2.14 참고). Pielke Jr. 등(2007)도 취약성은 여러 압력을 통해 생기기 때문에, 식별 가능한 인위적 위험에만 집중함으로써 적응정책을 협소한 위험 틀 안에 두는 것은 공공정책을 왜곡할 수 있다고 경고한다.

가장 두드러진 예로써 재해 발생 후의 복구 시에는 전달속도에 대한 요구와 결과의 지속가능성 사이에 갈등이 자주 발생한다. 대응 및 복구 자금은 시간 제한이 있는 경향이 있어서 종종 지불시기로부터 12개월 내에 지출해야 하는 경우가 많다. 이 압력은 여러 기관이 제한적으로 조율되며 함께 일함으로써 심화된다. 시간 압박과 기관들 간의 경쟁은 중앙식 의사결정을 촉진시키고 구매 및 프로젝트 관리의 하도급을 현지 이외의 상업 행동주체에게 주는 것을 촉진하는 경향이 있다. 이 두 결과는 시간을 절약해 주지만 지방 사람을 의사결정과 현상으로부터의 학습에 포함시킬 기회를 놓치고, 결국 그러한 복구는 지방의 문화적 경제적 우선순위를 지원하지 못할 위험에 처한다(Berke 등, 1993; Pearce, 2003). 또한 지역 행동주체나 간혹 지속 불가능하거나 부적응적일 수 있는 그들의 관점을 낭만적으로 해석하지 않는 것도 중요하고, 지역의 요구가 모든 지역 행동주체를 대변하는 것으로 여기지 않는 것도 중요하다. 성공적, 참여적인 복구 계획은 지방 능력과 리더십을 구축하고 커뮤니티를 결속시키고 과학적 외부 행동주체들과의 정보교환 메커니즘을 제공하는 것으로 나타났다(Lyons 등, 2010). 참여적 또는 커뮤니티 기반의 복구의 일부로서, 명쾌한 갈등해결 전략의 중요성은 널리 인정된다.

절충은 경제발전과 위험관리 사이의 갈등을 통해서도 발생할 수 있다(Kahl, 2003, 2006). 위험 다발 지역(예: 아시아의 해안지역)에서 현재의 개발추세는 그 지역들이 생산한 사회경제적 이익에 의해 주도되며, 대부분의 이익이 민간 투자자나 정부의 세수를 통해 발생한다. 예를 들어, 아시아에서 수출 주도형 경제성장은 운송 시간 및 비용을 줄이기 위해 대규모 항구 근처에서 생산하는 것을 선호한다. 결국, 위험 증가는 위험이 있는 지역의 발전의 사회경제적 이익과 균형을 맞추어야 한다. 위험지역에서 추가적 건설은 선험적으로 수용 불가능하지는 않지만 다른 이익에 의해 정당화 되어야 하고, 때로는 다른 위험저감을 위한 이행들(예: 조기경보 및 대피, 건축규정 강화, 특정 홍수방호)에 의해 보완되어야 한다. 그리하면 금전적으로 이익을 보는 사람들이(근로자 복원력을 강화하기 위해) 공정한 임금과 재해에 강한 주택부터 조기경보, 대비, 복구에 대한 지원까지 다양한 위험저감 메커니즘을 통해 위험을 상쇄할 가능성이 생긴다. 일부 사업에서는 기업의 사회적 책임이라는 의제를 통해 그러한 접근법이 고려되었다(Twigg, 2001).

극한기후의 기간과 규모와 관련한 기후변화/개발 절충은 생태적 또는 역사적으로 중요한 지역에서 변화를 요하는 위험저감 기반시설의 필요성과 직결된다. 예를 들어, 역사적 중심지에서 추가적 보호(예: 제방과 방파제)를 고려할 경우, 미관적 및 문화적 요소뿐 아니라 건축비용까지 고려해야 할 것이다. 문화 유적지나 생태적 완전성을 보호하기 위한 기존 계획 및 설계 표준은 적응의 필요사항들과 균형을 맞출 필요가 있다(Hallegatte 등, 2011a). 문화자산과 생태 자산의 가치를 평가하기 어렵다는 것은 비용편익분석이 그러한 유형의 문제에 접근할 최고의 도구가 아니라는 것을 의미한다. 다중기준 의사결정 도구들(Birkmann, 2006)은 참여적 요소를 포함하고 결정의 정치적, 윤리적, 철학적 측면을 인정할 수 있는 도구들인데 이러한 도구들도 유용할 수 있다(Mercer 등, 2008). 그러나 새로운 극한기후의 규모는 중요한 문제이다. 기후변화가 보통 수준이 아니라 상대적으로 심각하면, 중요 지역의 보존에 대한 초점이 증가할 가능성이 있고 비용도 그러할 것이다.

절충을 일으키는 또 다른 상황적 문제는 기후변화 극한 현상의 영향이 여러 범위에 미친다는 사실이다. 문제는 그러한 여러 범위를 서로 경쟁하게 하기 보다는 여러 범위를 다루는 강점을 결합할 방도를 찾는 것이다(Wilbanks, 2007, 2009). 지역적 범위는 참여, 융통성, 혁신을 보장하는 상향식 이행을 취할 잠재력을 제공한다. 동시에, 상향식 이니셔티브를 개발하기 위한 노력은 정보 부재, 자원 부족, 대규모 추진력에 대한 인식 부족 문에 종종 제한된다(AAG, 2003). 보다 큰 범위는 자원 동원과 비용 공유를 보장하는 하향식 이행을 취할 잠재력을 제공한다. 그러한 종류의 자산을 여러 범위에서 통합한다는 것은 종종 극한 현상에 대한 복원력을 위해 필수적이지만, 실제로 통합은 누가 결정하고, 누가 지불하고, 누가 이익을 보는가의 차이에 의해, 그리고 심각한 무지와 오해를 종종 반영하는 스칼라 효과에 대한 인식에 의해 심각하게 저해된다(Wilbanks, 2007). 최근에는 지속가능한 개발을 촉진하기 위한 공통적인 범위의 혁신적인 공동관리 구조에 대한 요구가 많아졌다(예: Bressers and Rosenbaum, 2003; Cash 등, 2006; Campbell 등, 2010).

서로를 더욱 보완하고 강화하도록 서로 다른 범위에서의 이행을 통합할 수 있는 방법에는 어떤 것이 있을까? 상향식 중재(국제 규모에서 기부자의 개발과 재해 대응 및 복구 기금마련부터 새로운 적응기금 메커니즘과 국가적 프로그래밍까지) 중 상당수는 재원과 기타 자원에 대한 접근에 관료적 조건을 부여함으로써 지역적 이행을 의도치 않게 만류시킬 수도 있다(Christoplos 등, 2009). 하향식 지속가능성 이니셔티브는 결과가 지속가능성에 입증 가능한 기여를 하는지 여부와 같은 결과 척도보다는 파트너 선정 및 정당사유에 대한 기준(종종 '추가성(additionality)' 같은 속성의 상대적으로 자세한 정량분석에 기초한) 같은 투입 척도에 얽매일 수 있다(척도에 관해서는 NRC(2005) 참고).

절충과 갈등을 개방적이고 효율적이면서 투명하게 관리하기 위해서는 제도적 및 법적 장치가 극히 중요하다. 국가적 적응을 위한 법률을 조사한 기존 문헌은 포괄적이지는 않지만 조사된 국가들만 보자면 국가 수준의 조율에 중요

한 제도적 메커니즘과 법률 체계의 많은 것들이 결여되어 있다(Richardson 등, 2009). 베트남, 라오스, 중국이 그러하였다(Lin, 2009). 남태평양 지역 국가들에서는 기후변화 위험에 대한 높은 노출에 관하여 적응을 지원할 법률 체계가 아직 마련되지 않았고, 피지, 파푸아뉴기니, 서부 사모아만이 국가적 기후변화 규제 체계를 갖고 있다(Kwa, 2009). 국가적 법률을 시행해 지원하지 않는다면 지역적 재해저감 및 기후변화 적응 계획을 달성하기는 복잡할 수 있다(La Trobe and Davis, 2005; Pelling and Holloway, 2006; 6.4절 참고). 지역적 리더십이 확실한 곳에서는 법률이 없어도 유용한 계획이 가능하다. Ethekwini Municipality(남아프리카공화국 더반(Durban) 시의 지역정부)가 그러한 경우인데, 이 도시는 지역 수준의 적응 계획을 안내할 국가적 정책 또는 정책 기틀 없이 조기에 강력히 적응에 초점을 맞춰 도시 기후 보호 프로그램(Municipal Climate Protection Programme)을 개발하였다(Roberts, 2008, 2010).

절충 문제를 둘러싼 한 가지 방도는 다중 목표를 확인하고 상호 공동이익에 주목시키기 위해 전략개발과 이행계획에 폭넓게 참여시켜 다중 목표를 '하나로 묶는(bundle)' 것이다. 이러한 의미에서, 개발계획의 경로와 결과는 미래의 사회적 능력 및 재해 위험관리를 형성할 범위를 갖고 있다. 다중 목표를 달성할 정책과 이행에는 이해관계자 참여, 참여적 거버넌스 구조(IRGC, 2009), 능력 구축, 그리고 적응 조직(출발점으로 사용할 연구와 실무를 반영하는 상당한 지식기반이 있는 민간 및 공공 기관 포함)이 있다(NRC, 2008). 다중위험에 대한 위험관리 접근법은 농촌 및 도시에서 복잡하고 복합적인 위험들을 저감할 기회를 제공한다.

8.3. 극한 현상에 대한 장/단기적 대응의 통합

재해관리, 기후변화 적응, 개발 간의 연관성을 고려할 때 시간 범위는 중요한 역할을 한다. 재해관리는 전통적인 비상대응 및 구조대책 외에도 취약성 저감을 점점 더 강조한다. 이를 위해서는 각기 다른 빈도와 재현기간을 가진 위험들의 근본적인 노출 및 민감도를 다루어야 한다. 2장에서 고찰하였듯이, 재해 위험관리와 기후변화 적응은 점점 더 취약성 저감에 집중하고 있다(Sperling and Szekely, 2005).

단기에 초점을 맞춘 대응과 장기 적응에 필요한 대응 사이의 다중범위(시간적 및 공간적) 상호작용은 재해 위험저감, 기후변화 적응, 개발 사이에 시너지와 모순(contradiction) 두 가지 모두를 창출할 수 있다. 이 절에서는 단기 적응과 장기 적응 사이의 시너지와 절충에 관한 문헌들을 평가한다. 첫째, 오늘날의 대응이 미래의 안녕에 어떤 의미를 갖는지를 고려한다. 그리고 단기 목표와 장기 목표의 조율을 가로막는 장벽을 평가한다. 그 다음에는, 장기적 관점에 통합하는 것을 다룰 수단으로서 사회생태시스템의 복원력에 관한 연구들에서 나온 통찰을 고려한다.

8.3.1. 현 세대의 대응과 미래의 안녕 간의 관계

재해 위험과 기후변화에 대한 현재의 대응은 장기적으로 인간의 안전과 안녕에 긍정적, 부정적 영향을 줄 수 있다. 긍정적인 영향으로는 복원력 증가; 능력 구축; 위험관리와 복원력 계획에 광범위하게 참여함으로써 얻게 되는 폭넓은 사회적 이익; 다중위험에 대한 계획의 가치 등이 있다(5.4절과 6.5절 참고). 부정적 영향으로는 미래 세대의 안녕을 고려하지 않은 경우에 지속가능성에 대한 위협; 미래 이익의 경제적 할인에 관련된 문제; 다른 시스템이나 부문과의 상호작용 효과를 고려하지 않아도 한 시스템 또는 부문에 최적인 대응의 '사일로 효과(silo effects)'; 누가 이익을 보고 누가 지불하는가에 관한 형평성 문제; 현재의 위험관리 문제에 대한 적응적 해법이 그 문제가 해결되었다는 확신을 구축해 사람들로 하여금 조건이 바뀌어 현재의 적응이 부적당해질 수도 있을 가능성에 대하여 생각하지 못하게 하는 '제방 효과(levee effect)' 등이 있다(Burby, 2006; Burby 등, 2006).

'대응(coping)'과 '적응(adaptation)'이라는 용어는 변화하는 기후 및 환경 조건에 적응하기 위한 전략을 반영한다. 선택된 정책들의 경우, 대응과 적응은 사회가 자연과 관련되고 자연이 사회와 관련될 수 있는 방식으로의 변경을 지향하고 달성할 수 있는 행동 형태를 의미한다(Stehr and von Storch, 2005). 2.4절에서 고찰했듯이, 대응에 대한 이행은 특정 현상의 영향을 완화하기 위해, 또는 그 현상으로 인한 대가를 감수하기 위해 노력할 때 취하는 이행이다. 대응을 위한 이행은 보통 재해영향이 드러날 때 나타나는데 재해영향은 재해 현상 후에 예를 들어, 일자리를 잃거나 트라우마에 시달리는 경우에, 한동안 계속될 수 있다. 대응전략은 위험의 즉각적 영향을 완화시키는 데 도움이 될 수 있지만, 중장기적으로 취약성을 증가시킬 수도 있다(Swift, 1989; Davies, 1993; Sperling 등, 2008). 대응과 적응의 시간 틀이 다르기 때문에 위험관리에 까다로울 수 있다. 단기 대응과 대응전략에 초점을 맞추면 장기적으로 적응의 범위가 제한될 수 있다. 예를 들어, 가뭄이 들면 농부들이 자녀를 학교에 보내지 않거나 사람들이 의학적 치료를 받는 것을 지체할 수 있는데 이것은 당장은 생존에 이로울 수 있지만 종합적으로 보면 장기적 적응에 이용 가능한 인적자원이 감소하는 것이다(Norris, 2005; Alderman 등, 2006; Santos, 2007; Sperling 등, 2008).

선진국은 물론 개발도상국에서도, 기후변화는 장기적인 문제로 간주되며 다른 문제들, 이를테면 경제성장, 식량안보, 물 공급(Bradley 등, 2006), 위생, 교육, 의료 같은 문제들은 보다 즉각적인 관심을 요한다(Klein 등, 2005; Adly and Ahmed, 2009; Kameri-Mbote and Kindiki, 2009)는 인식 때문에 현재에 대응하는 데 더욱 집중하게 된다. 특히 가난한 농촌의 경우, 단기적 대응은 장기적 위험을 증가시키는 절충일 수 있다(UNISDR, 2009; Brauch and Oswald Spring, 2011). 반면에 적응은 흔히 미래의 손실에 대한 잠재적 위험을 최소화하는 데 초점을 맞춘다(Oliver-Smith, 2007). 적응의 이러한 '장기적(long term)' 틀은 예를 들어, 해안 위험을 피하기 위한 거주지 이전이 사회 자본과 지역 생계를 약화시킬 때는 단기적 대응과 적응능력을 위축시킬 수 있어 가구의 대응과 적응능력을 제한할 수 있다(Hunter, 2005). 도시의 대응과 적응에 직접적 관련이 없는 슬럼가 이전에 관한 문헌과 경험은 풍부하다(Gilbert and Ward, 1984; Davidson 등, 1993; Viratkapan and Perera, 2006). 단기 위험과 장기 위험을 다루는 것 사이의 절충을 다룰 때는 정황이 중요하고, 잘 통치되는 시스템에서조차도 정치적 편의 때문에 규제 절차는 단기적으로 유리한 방식으로 왜곡된다(Platt, 1999).

재해는 자산을 파괴하고 저축을 바닥나게 할 수도 있으며, 가구들을 '빈곤의 덫', 즉, 생산성이 감소해 가구들이 저축과 자산을 복구할 수 없는 상

황에 빠뜨릴 수 있다(Zimmerman and Carter, 2003; Carter 등, 2007; Dercon and Outes, 2009; López, 2009; van den Berg, 2010). Chambers(2006)는 일련의 현상이 끔찍한 영향, 취약성 및 위험의 소용돌이를 낳는 과정을 처음으로 인정하고 그것을 재해, 위험 및 취약성의 래칫 효과라고 묘사하였다. 이러한 미시적 수준에서 빈곤의 덫은 자연재해의 건강 및 사회적 영향에 의해서도 생길 수 있다. 재해는 심리적 건강(Norris, 2005)에, 그리고 학교교육 감소와 인지능력 감소로 인해 아동발달에도 장기적 영향을 줄 수 있다(Alderman 등, 2006; Santos, 2007; Bartlett, 2008).

재해 손실이 광범위한 경우, 미시적 수준에서 빈곤의 덫은 지역 수준으로 확대될 수 있다. 재해의 영향을 받은 그러한 빈곤 지역은 완전히 회복을 할 수가 없어 능력이 감소되고 취약성이 높아져 향후에 재해가 발생할 가능성도 높아진다. 극한 현상의 발생 사이에 복구할 충분히 시간이 없으면, 빈곤한 지역은 자원을 기반시설과 장비의 축적보다는 수리와 교체에 쏟아부으면서 반복적인 재발 상태를 초래할 수 있다. 자본 축적과 기반시설 발전을 가로막는 이러한 장애물은 재해 관련 영구적 저개발을 초래할 수 있다(Hallegatte 등, 2007; Hallegatte and Dumas, 2008). 이것은 피해 지역에 대한 투자 또는 유자격 근로자를 지역에서 떠나게 만드는 감소된 서비스에 대한 투자를 감소시키는 위험 인식의 변화 같은 다른 장기적 메커니즘에 의해서도 증폭될 수 있다. 이러한 효과는 Benson and Clay(2004)에 의해 고찰되었고, Noy(2009)와 Hochrainer(2009)에 의해 연구되었다. 이들은 자연재해는 특히 직접적 손실이 클 때는 경제 성장과 발전에 부정적 영향을 준다고 밝혔다. 이 부정적 영향은 재해를 입은 국가가 1인당 GDP가 적고, 제도가 약하며, 무역기회가 적고, 문맹률이 높고, 정부지출 수준이 낮을수록 그리고 외국의 원조와 송금액이 작을수록 더 큰 것으로 나타났다. Hallegatte 등(2007)과 Hallegatte and Dumas(2008)이 축소형 경제모델을 사용해 그러한 효과를 연구한 바에 의하면, 자연 재해가 평균 GDP에 끼치는 영향은 복구능력이 충분히 큰 경우에는 0에 가깝고 복구능력이 매우 제한된 경우에는 매우 크며, 저개발 국가들에서 특히 그러할 수 있다. 그러나 증가하는 기후 관련 위험에 대한 사람들의 자발적이고 조직적인 대응이 되먹임 되어 장기적 능력과 옵션에 영향을 주는 방식에는 불확실성이 많다. 이주는 관련된 사람들에게는 트라우마일 수 있는데 이주자의 자녀들에게는 인생 기회의 강화로 이어져 장기적 능력을 키울 수도 있고, 어쩌면 사람들이 위험에 노출된 지역에서 다른 곳으로 이사 가는 것에도 기여할 수 있다(IOM, 2007, 2009a,b; Ahmed, 2009; Oswald Spring, 2009b; UNDP, 2009).

커뮤니티에 기반한 지역수준의 재해 위험저감 경험에 대한 방대한 문헌들은 적어도 빈발하는 위험 현상의 맥락에서는 단기 대응에서 장기 대응으로 전환하기 위한 옵션을 보여준다(Lavell, 2009; UNISDR, 2009; Maskrey, 2011). 그러한 접근법들 중 상당수는 커뮤니티 참여에 기초하고 있으며, 재해 대비와 비상사태 관리능력 위주에서 생계의 취약성, 생태계 감소, 사회보호의 부재, 불안전한 주택, 거버넌스의 개선, 기타 근본적인 위험요인 쪽으로 점진적으로 전환하였다(Bohle, 2009). 기존 위험을 관리하는 것은 손실을 포함할 테지만, 근본적인 위험 동인을 다루는 것은 극한기후에 대한 미래 위험의 저감에 기여할 것이다.

8.3.2. 장기 목표와 단기 목표의 조화를 방해하는 장벽

문헌에는 장기적 기후변화 적응 전략으로서 재해 위험저감을 지지하는 강력한 증거가 있지만, 단기 목표와 장기 목표를 조화시키는 데는 수많은 장벽이 있다. 빈곤 국가들은 자연 위험에 매우 취약하지만 재정적 이유로 또는 거버넌스의 능력이나 기술의 부재로 인해 그 취약성을 줄일 수 있는 대책을 실시하지 못한다. 최근에 국가들이 UNISDR 효고 행동 계획 달성도를 자체평가한 바에 의하면, 일부 최빈국들은 심지어 비상사태 관리문제를 다룰 인적, 제도적, 기술적, 재정적 능력도 부족하다(UNISDR, 2009). 위험저감 능력과 조건을 측정하는 최근에 개발된 한 지수에 의하면, 거버넌스가 약한 중저소득 국가들은 일부 예외는 있지만 대체로 취약성의 근본적인 동인을 다루는 데 큰 어려움을 겪는다. 그 지수의 바닥을 차지하는 국가들 예를 들어, 아이티, 차드, 아프가니스탄은 갈등이나 정치적 불안정도 겪고 있는 중이다(UNISDR, 2011). 단기 목표와 장기 목표를 조화시키는 데 방해되는 또 하나의 장애물은 기술 접근기회와 기반시설 유지관리이다. 용수의 재사용 기술의 도입이 그 한 예이다. 이 기술은 몇 세기 전에 개발되었는데, 많은 개발도상국에 보급될 수 있다면 가뭄관리가 크게 향상될 수 있을 것이다(Metcalf & Eddy, 2005).

자금과 기술은 효율적인 재해 위험저감 및 적응 전략을 이행하기에 충분치 않다. 실제로, 자원의 차이는 지역 간 노출 및 취약성 차이를 설명하지 못한다(Nicholls 등, 2008). 거버넌스 능력과, 재해 위험저감, 기후변화 적응, 빈곤저감을 위한 제도적 장치와 법적 장치 사이의 시너지 불충분 또는 부재는 이 문제에서 자원부족만큼이나 큰 부분을 차지한다. 세계 여러 지역에서 위험관리의 차이가 보여주듯이 제도적 법적 환경과 정치적 의지가 중요하다(Pelling and Holloway, 2006). 많은 나라들이 저마다의 제도적 구조로 재해 위험관리 및 기후변화 적응 대책을 감독한다(1.1.3절 참고). 두 접근법의 역사적 진화가 이것을 설명해준다.

재해 위험관리는 인도주의적 지원 노력에서 기원하였고 국지적 특정 대응 대책에서 예방적 대책으로 진화하였는데 예방적 대책은 위험을 인간 또는 경제 손실 측면에서 재해로 전환시키는 취약성의 방대한 환경적 측면과 사회경제적 측면을 다룬다. 국가 내에서 재해 위험관리 노력은 종종 민방위 기관에 의해 조율되는 반면에, 기후변화 적응대책은 흔히 환경부처에서 개발된다. 기후변화 대응은 애초에는 과학적 연구의 발전이 국제정책 토론 및 기틀로 이어진 하향식 과정에 가까웠다. 각기 다른 제도적 구조는 초기 조율 문제를 의미할 수 있지만, 취약성 저감에 초점이 수렴하고 있는 것은 재해 및 기후 위험을 개발 맥락 내에서 보다 포괄적으로 관리할 기회를 의미한다(Sperling and Szekely, 2005). 공공행정 문화가 국가정부와 지방정부 사이의 창조적 파트너십과 커뮤니티 권한 강화 쪽으로 변하자 일부 사례에서는 극적으로 비용이 감소된 것으로 나타났다(Dodman 등, 2008).

위에서 언급한 장벽 외에도, 개인과 집단이 비교적 단기간을 중시하고 저확률, 고영향의 현상을 무시하는 경향도 있다. 아래 연구들은 사람들이 불확실성 아래서 결정을 내리는 방식을 형성하는 심리적 장벽과 경제적 장벽을 고찰한다.

- 위험의 과소평가: 사람들이 위험을 인지할 때 조차도 실제 현상이 발생할 가능성을 과소평가 한다(Smith and McCarty, 2006). 이러한 편향은 전문가 간 이견이 있는 경우 그리고 불확실성이 있는 경우 자연적 변동성에 의해 증폭될 수 있다(Pielke Jr. 등, 2008). Magat 등(1987), Camerer, Kunreuther(1989), Hogarth, Kunreuther(1995)는 사람들이 결정을 내릴 때 확률 정보를 구하지 않는다는 상당한 경험적 증거를 제공한다.
- 예산 제약: 적응대책에 투자하는 것에 관련된 초기비용(upfront cost)이 큰 경우, 사람들은 위험저감이라는 형태로 잠재적 장기적 이익보다는 흔히 단기 재무적 목표에 초점을 맞춘다(Kunreuther 등, 1978; Thaler, 1999).
- 절충의 어려움: 또한 사람들은 그러한 대책들의 비용과 이익 사이의 절충에 익숙하지 않다. 그러한 절충에서는 대책의 초기비용을 장기적 손실감소라는 형태의 할인된 예상 이익과 비교해야 한다(Slovic, 1987).
- 지연: 사람들은 애매한 선택 사이에서 선택을 미루곤 한다(Tversky and Shafir, 1992; Trope and Liberman, 2003).
- 사마리아인의 딜레마(Samaritan's dilemma): 위험저감 인센티브가 없을 경우 재해 후 지원을 받을 것이라는 예상은 자립 노력을 약화시킬 수 있다(Burby 등, 1991).
- 정치인의 딜레마(Politician's dilemma): 위험이 드물 때 위험저감 공적투자에서 이익까지 시간이 지체되고 성공적 위험저감이 정치적으로 가시적이지 않으면 아무런 행동을 하지 않는 '나의 재임 시에는 안 한다'는 태도가 강해질 수 있다(Michel-Kerjan, 2008).

서부 및 동부 아프리카에서의 연구에 의하면, 농촌 커뮤니티는 그들의 지역에 영향을 주는 외부의 힘을 과소평가 하고 그들 자체의 대응능력을 과대평가 하는 경향이 있다(Enfors 등, 2008; Tschakert 등, 2010). 외부 동인을 오판하는 이유는 사람들이 그 동인에 대한 스스로의 통제력이 약하다고 느끼고 무기력부터 부정까지 다양한 반응을 하게 되는 것이라고 설명할 수 있다. 단기적 목표와 장기적 목표를 조화시키기 어렵게 만드는 또 하나의 문제는 장기적 기후와 그에 상응하는 위험을 예측하는 데 있어서의 문제들에서 기인한다(3.2.3절 참고). 그러한 문제의 예를 보여주는 것이 1970년대 플로리다의 인구증가이다. 그것은 허리케인 활동이 적은 기간에 일어났고 더 많은 인구를 극한기후 및 기상에 관련된 위험에 노출시킬 수 있다. 계획부터 이행까지 소요시간이 긴 중요한 공학적인 프로젝트들은 기후변화 미래를 고려하는 데 어려움이 있기 때문에 역사적 위험을 고려하여 계획되어 왔다(Pielke Jr. 등, 2008). 자연적 위험을 관리하고 기후변화에 적응하기 위해서는 자연적 위험이 이후 몇 십년 동안 어떻게 변할지를 예측해야 하지만 기후변화 및 자연적 변동성에 대한 불확실성이 그러한 예측의 중요한 장애물이다(Reeder 등, 2009).

대체로 기후변화는 더디게 시작되고 다세대에 걸친 문제로 간주된다. 따라서 개인, 정부, 사업체가 적응 대책에 투자하는 속도도 느릴 수 밖에 없다. 남아시아에서 수행된 연구에 의하면, 과거의 개발이 장기적 복원력보다 단기적 이익을 우선시한 지역에서는 가뭄과 지하수 고갈 때문에 농업 생산성이 쇠퇴하고, 도시 부채가 증가하고, 가구들이 빈곤에 빠져들고 있으며 특히 여성들은 은연 중에 영향을 받아 결과적으로 영양결핍을 겪고 있다(Moench 등, 2003; Moench and Dixit, 2007). 따라서 재해 위험관리와 기후변화 적응 사이의 시너지를 실현하는 데는 단기 관점과 장기 관점의 연계가 극히 중요해 보인다.

8.3.3. 복원력 촉진을 위한 장/단기적 이행의 연계

앞 절에서는 재해 위험관리와 기후변화 적응이 상호간에 서로를 지원하도록 단기 목표와 장기 목표를 연계하는 것의 중요성이 강조되었다. 범위들 간 상호작용(cross-scale interactions)을 강조하는 시스템 접근법(systems approach)은 재해 위험관리와 기후변화 적응 사이의 시너지를 실현할 방법에 대한 중요한 통찰을 제공할 수 있다. 복원력은 기본적으로 시스템, 커뮤니티 또는 개인이 혼란과 기습적인 사건에 얼마나 대처할 수 있는지와 관련된 개념이며, 기후변화와 재해의 맥락에서 지속가능한 미래에 대한 당대 사고방식의 틀을 형성해 나가고 있다(Folke, 2006; Walker and Salt, 2006; Brand and Jax, 2007; Bahadur 등, 2010). 복원력 개념은 다음과 같은 연구들에서 나온 개념과 융합되어 개발되었다: 생태계 안전성(예: Holling, 1973; Gunderson, 2009), 견고한 기반시설 공학(예: Tierney and Bruneau, 2007), 행동 과학(Norris, 2010), 심리학(예: Lee 등, 2009), 재해 위험저감(예: Cutter 등, 2008), 위험 취약성(Moser, 2009), 도시 및 농촌 개발(예: Simmie and Martin, 2010). 이 보고서에서 복원력은 시스템이 외부 교란을 예상하고 대처하고 대응하고 회복될 능력을 말한다(1.1.2.1절과 1.3.2절 참고). 복원력 관점은 인간-환경 시스템의 역학과 인간-환경 시스템이 다양한 교란에 대응하는 방식을 이해하기 위한 접근법으로 활용될 수 있다(Carpenter 등, 2001; Walker 등, 2004).

'복원지향적 사고(Resilience thinking)'(Walker and Salt, 2006)는 기후변화와 다른 변화들 사이의 상호작용을 이해하고, 대응전략 수정 시 단기목표와 장기목표 사이의 절충을 조화시키고 평가하는 데 유용한 틀을 제공할 수 있다. 복원력에 초점을 맞춘 접근법은 변화를 관리하고 변화를 사회시스템 및 기타 시스템의 본질적 일부로 간주하고 '뜻밖의 것을 예상'할 필요성을 강조한다. 복원지향적 사고는 기존 엔지니어링 시스템들이 역점을 둔, 안정하다고 간주된 시스템에서 외부 충격을 통제하고 흡수할 능력을 넘어선다(Folke, 2006). 사회생태시스템(사람들과 그들이 의존하는 생태계 사이의 상호작용으로서 검사된)의 경우, 복원력은 다음 3가지의 특성을 수반한다. 시스템이 변화를 겪고도 동일한 구조와 기능을 유지할 수 있는 변화의 양; 시스템이 재편성될 수 있는 정도; 시스템이 학습 및 적응 능력을 구축할 수 있는 정도(Folke, 2006). 또한 복원력은 위험 또는 교란에 대처할 능력, 불확실성과 미래 변화를 다룰 능력, 적응, 대응, 학습 및 혁신할 능력, 리더십 능력을 개발할 능력으로 표현되는 인력과 연관된 역학적 과정으로도 간주될 수 있다(Bohle 등, 2009; Obrist 등, 2010).

복원지향적 접근법은 극한 현상을 이겨내는 데 중요한 다음 4가지에 기여한다. 첫째, 관련 사회생태시스템의 위험을 평가할 전체론적 틀을 제공하는 데 기여하고 둘째, 위험 또는 교란에 대처할 능력에 중점을 두는 데 기여하며, 셋째, 불확실성과 미래 변화에 대처할 옵션을 탐구하는 것을 돕는 데 기여하고, 넷째, 전향적 대응을 만들어낼 수 있는 인자들을 식별하는 데 기여한다(Berkes, 2007; Obrist 등, 2010). 복원력 개념은 재해 위험저감 및 적응 문제를 안내하는 원칙으로서 이미 적용되고 있고, 선진국과 개발도상국의 기후변화 대응을 조사하는 데도 적용되고 있다(예: Cutter 등, 2008). Eakin and Webbe(2008)은 복원력 틀을 사용해서, 개인 적응과 집단 적응 간 상호작용은 더 넓은 시스템 지속가능성과 관련될 수 있음을 보여준다. Goldstein(2009)은 기습적인 사건 대처에 대한 소통계획 접근법을 강화하는 데

복원력 개념을 사용한다. 기후변화와 기상 극한 현상에 대한 조직적 적응을 탐구하기 위해 복원력 틀을 사용한 Linnenluecke and Griffiths(2010)는 조직은 변화하는 극한 현상에 대응해 여러 능력과 대응 접근법을 개발할 필요가 있을 수 있다고 주장한다. Nelson 등(2007)은 복원지향적 사고가 어떻게 기후변화 적응에 대한 분석을 강화할 수 있는지를 보여주었다. 적응의 이행은 의도된 수혜자에게 영향을 줄 뿐 아니라 다른 지역과 시간에도 영향을 주므로 적응은 변화의 경로 의존적 궤적의 일부이다. 복원력은 점진적 적응과 시스템 혁신 사이의 차이도 고려한다. 이것은 적응의 범위를 넓히고 기관들에게 여지를 제공할 수 있다(Nelson 등, 2007). 복원지향적 접근법은 시스템 전체의 관련성에 대한 통찰을 제공할 수 있기 때문에, 협상 및 의사결정 과정을 강조하는 기후변화 대응에 대한 행위자 위주의 분석을 보완한다고 볼 수 있다. Adger 등(2011)은 시스템 복원력의 성격을 고려하지 않은 채 특정 위험에 대처하면 장기적 복원력을 잠재적으로 약화시키는 대응이 될 수 있음을 보여준다.

복원력과 거버넌스에 관한 최근의 연구는 복원력의 핵심 결정인자로서, 행동주체들 사이의 과학 소통과 의사결정 시 포괄성의 깊이에 초점을 맞추어 왔다. 이러한 접근법을 뒷받침하여, 포괄적인 거버넌스는 더 나은 융통성을 촉진시키고 권력 분산에서 오는 추가적 이익을 제공한다고 주장된다. 부정적인 측면으로는, 참여가 클 수록 기득권의 이해관계에 의해 장악하고 왜곡할 수도 있는 제도적 장치는 느슨해질 수 있다(Adger 등, 2005; Plummer and Armitage, 2007). 논쟁(그리고 제도적 장치의 현존하는 중요성)의 균형을 위해서는 적응과 적응적 관리를 통한 복원력 의제를 형성할 때 지역, 일반인, 다양한 이해관계자들의 요구를 포함시키는 데 더욱 주의할 필요가 있다(Nelson 등, 2007). 단기적으로 안정을 제공하지만 장기적으로 복원력을 감소시키는 하향식 명령 및 통제 접근법(top-down command-and-control approach)과 보다 융통적이고 적응적인 형태의 위험관리 사이에 올바른 균형을 이루는 일은 극한기후와 예상되는 재해의 위험 및 영향 증가의 조건 아래서 재해 위험관리가 기후변화 적응에 야기하는 핵심적인 실천적 도전과제이다(Sperling and Szekely, 2005).

복원지향적 사고에 비판이 없지는 않다(Nelson, 2009; Pelling, 2010a). 단점은 시스템 접근법에서 인력을 경시한다는 것과, 변화를 설명하는 힘에 대한 분석을 포함시키기 어렵다는 점이다. 이 단점들은 결합해서 융통성보다는 안정성을 효과적으로 촉진시킨다. 즉, 현상태를 유지시키고 그리하여 적응적 관리, 사회적 학습, 또는 포괄적 의사결정을 지원하기보다는 특정 이해관계에 기여한다. 원하는 시스템 상태의 복원력 강화에서 한 가지 문제는 단일 압력원에 대한 대응이 그보다 큰, 상호 연결된 사회생태시스템에(이를테면 시스템이 교란 또는 충격을 흡수할 능력, 현재 및 미래 변화에 적응할 능력, 새로운 종류나 방향의 변화를 학습하고 창출할 능력 등) 어떻게 영향을 주는가를 식별하는 것이다. 한 압력원에 대한 대응은 현재와 미래에서 여타 압력원을 다룰 능력을 의도치 않게 약화시킬 수 있다. 예를 들어, 동부 잉글랜드의 해안 마을들은 해수면 상승에 의해 악화된 해안침식을 경험하고 있는데, 생계와 집을 보호하기 위해 즉각적인 침식을 막을 자체 이행을 취하고 있으며 그리하여 해안의 침전물과 침식률에 영향을 주고 있다(Milligan 등, 2009). 해안을 보호하는 그러한 이행은 단기적으로 효과적이다. 하지만 현상유지를 위한 이러한 투자는 장기적으로 보면, 다른 적응에 사용할 자본자원을 감소시켜 미래의 해수면 상승에 대한 적응능력을 감소시킬 수 있다. 따라서, 시스템 복원력의 성격을 고려하지 않은 채 특정 위험에 대처하는 것은 장기적 복원력을 잠재적으로 약화시키는 대응이 될 수 있다. 복원력 관리가 점점 더 강조되고 있기는 하지만(Walker 등, 2002; Lebel 등, 2006), 복원력만으로는 기관을 강화하고 복잡한 원동력에 대한 이해에서 혁신적 이행으로 나아갈 방법을 충분히 조명하지 못할 수 있다.

8.4. 자원에의 접근, 형평성 및 지속가능한 개발과의 관련성

앞 절에서는 극한기후에 대한 단기 대응과 장기 대응 사이의 연관성을 평가하였다. 이 절에서는 이 연관성을 더욱 심도있게 고찰한다. 기후변화 적응, 재해 위험관리, 완화 사이의 관계, 그리고 형평성, 자원접근, 환경 및 생태계 보호, 관련 개발과정에 관련된 문제들을 탐구한다. 그리고 재해 위험과 불균등한 사회경제 발전의 근본적인 과정 및 환경 부당성 간의 관계를 결정하는 데 있어서 거버넌스의 중요성을 고찰한다(Maskrey, 1994; Sacoby 등, 2010). 이 절에서는 능력과 형평성, 재해 및 재해관리 정책에서 생기는 승자와 패자, 그리고 인간의 안전 강화를 비롯한 개발목표에 기여할 기회 등에 관련된 문제를 고찰한다.

8.4.1. 능력과 자원: 가용성과 한계

위험을 관리하고 변화에 적응할 능력은 국가, 지역, 커뮤니티, 가구들 사이에서도 고르지 않게 분포한다(Hewitt, 1983; Wisner 등, 2004; Beck, 2007). 이러한 능력들이 재해 위험관리와 기후변화 적응에 어떻게 기여하는가에 관한 문헌은 경제적, 재정적, 사회적, 문화적, 인적, 자연적 자본의 역할과 제도적인 내용을 강조한다(1.4절과 2.4절 참고). 빈곤층이 재해로 영향을 입으면 한정된 자원이 신속히 재해 복구에 투입된다. 이러한 관행은 장기적으로 빈곤한 가구의 자본을 감소시키고 재해위험에 대한 노출과 취약성을 증가시켜 이들 가구의 지속가능성을 해치게 된다. 이러한 감소의 악순환 속에서, 가구는 먼저 저축을 소비하고, 그래도 압력이 계속되면 가족에게 학교 같은 비생산적 활동을 중단시키고, 맨 마지막에는 생산성 자산을 내다 파는 경향이 있다. 가구들이 붕괴되기 시작할 때 개인들은 어쩔 수 없이 이주하거나 매춘산업 같은 문화적으로 부적절하거나 위험하거나 불법적인 생계 활동에 나서게 될 수 있다(Mgbako and Smith, 2010; Ferris, 2011). 이 빈곤 및 취약성 덫은 재해 발생 이전 수준의 안녕으로의 회복이 점점 더 어려워진다는 것을 의미한다(Burton 등, 1993; Adger, 1996, Wisner 등, 2004; Chambers, 2006).

아동, 노령자, 여성은 극한기후 및 기상 현상에 더욱 취약하다. 아동의 취약성과 아동의 기후변화 및 재해 대응능력은 Box 8-2에서 고찰한다(또한 5.5.1절과 사례 연구 9.2.14 참고). 노령자들, 특히 인구가 급속히 고령화되고 있는 OECD 국가들에서는 점점 더 많은 노령자들이 앞으로 몇 십년 안에 기후변화 영향에 노출될 것이다. 2050년까지 OECD 국가들에서 60세 이상 인구는 1/3이 될 것이고 지구 전체로는 인구의 1/5이 될 것이다(UN, 2002). 노령자들은 기타 사회적 및 환경적 위험에 대한 취약성을 증가시키는(그리하여 종합 취약성을 심화시키는) 특징: 건강의 퇴보, 개인의 생활방식, 사회적 고립, 빈곤, 의료 및 사회적 기반시설에 대한 접근 불충분에 의해

Box 8-2 | 기후변화 속에서 아동, 극한 현상 및 형평성

아동과 극한 현상 간의 관계는 두 가지 주요 관점을 통해 다루어져 왔다.

1. 차등적 영향과 취약성

(Penrose and Takaki(2006)에 따르면 연간 6,650만 명의 아동이 재해로 피해를 입는다고 추정한다. 아동에 대한 재해 영향에 관한 연구는 장단기 신체 및 심리 건강 영향에 초점을 맞춘다(Norris 등, 2002; Bunyavanich 등, 2003; del Ninno and Lindberg, 2005; Balaban, 2006; Waterson, 2006; Bartlett, 2008). 부분적으로 이 영향에 대한 취약성은 아동의 신체 및 정신 상태가 덜 발달되어 있어 재해 시에 궁핍과 압력에 대처할 능력도 차등적이기 때문이다(Cutter, 1995; Bartlett, 2008; Peek, 2008).

대부분의 문헌은 기후적 압력과 극한 현상으로 인한 아동의 높은 사망률과 이환율을 언급한다(Cutter, 1995; Bunyavanich 등, 2003; Telford 등, 2006; Waterson, 2006; Bartlett, 2008; Costello 등, 2009). 이것은 특히 영양실조, 설사, 말라리아 같은 기후에 민감한 건강결과가 이미 흔하고 대응능력이 가장 낮은 개발도상국에서 극심하다(Haines 등, 2006). 하지만 미국에서 수행된 연구에 의하면, 재해로 인한 아동 사망률은 상대적으로 낮으며 위험 유형별로 연령군 간 사망률 차이가 상당하다(Zahran 등, 2008).

다음 페이지에 계속 →

기후변화 관련 위험에 추가로 취약해진다(OECD, 2006). 성별은 취약성에 여러 방식으로 영향을 준다. 방글라데시에서 1991년 사이클론 때 여성 사망자 수는 남성 사망자 수보다 5배 많았다(UNDP, 2007b). 홍수로 인한 여성 사망자 수가 지나치게 많은 것에서는 문화적 인자와 생리학적 인자도 언급된다. 성별 불평등은 여성 가장 가구로 확장되어 피부양 자녀 또는 노령자의 취약성을 심화시킨다(Cannon, 2002; UNISDR, 2008; Oxfam, 2010). 불평등은 그 외에도 많은 중요한 단면이 있다: 인종, 계급, 종교단체, 신체장애, 이 모든 것들이 개인과 가구의 취약성을 약화시키는 데 기여하고 성별 효과와 연령 효과를 교차시킨다. 이러한 특성을 통한 취약성의 사회적 구축은 취약성이 시간이 지남에 따라 변하는 방식을 강조한다. 즉, 이 경우에는 잠재적으로 복합적인 영향을 주는 기후변화에 따라 진화하는 경제 순환과 정치적·문화적 추이에 영향받는 가구 구조와 서비스 접근성의 변화와 함께한다(Leichenko and O'Brien, 2008).

또한 연구들에 의하면, 여성가장 가구는 어려운 시기에 남성가장 가구들보다 식량과 현금을 더 자주 빌린다. 관련된 가구는 수확 직후에 식량이나 현금을 갚아야 할 것이므로 이러한 대응전략은 위험한 전략으로 간주되며, 그들은 그 시절을 버티고 재해 발생에 대비하기 위한 식량이나 현금이 부족해 더욱 취약해진다(Young and Jaspars, 1995). 이러한 전략에서 가구들은 한 계절에서 다음 계절까지 빈곤 주기를 계속 겪게 될 수 있다. 문헌에 의하면, 이 결과는 여성들이 자원, 토지, 공공 및 민간 서비스에 대한 접근이 불평등한 것과 연관이 있다(Agarwal, 1991; Thomas-Slayter 등, 1995; Nemarundwe, 2003; Njuki 등, 2008). 하지만 여성은 흔히 사회자본의 과반수 보유자이고 사회적 움직임과 지역적 집단행동의 중심 역할을 하여 가구 및 지역 위험저감과 잠재적으로 혁신적인 복원력에 중요한 메커니즘을 제공한다. 여기서 중요한 것이 지역 은행집단과 미소금융 집단이다. 그들 중 일부는 소액보험까지 다룬다. 남아시아에서 재해 위험저감과 대응을 위한 미소금융을 검토한 Chakrabarti and Bhatt(2006)는 광범위한 사회적 네트워크를 기반으로 하고 공식적 금융서비스 부문에 연결된 이니셔티브를 비롯해 다수의 이니셔티브를 확인하였다.

비과학적 지식이 공식적 의사결정에 그다지 쉽게 반영되지 않는 상황에서는 인구통계적 및 사회학적 다양성도 잘 반영되지 않는다. 적응전략을 수립할 때는 전통지식을 비롯해 문화가 중요하다고 인정된다(Heyd and Brooks, 2009; ISET, 2010). 그러한 지식을 도시 및 농촌에서 참여적이고 커뮤니티를 기반으로 하는 재해 위험관리(Bruner 등, 2001; Fearnside, 2001; Pelling, 2007; Mercer 등, 2008)와 과학 지식과 현지 지식을 한데 모으려는 참여적 지리정보시스템 같은 도구들(Tran 등, 2009)을 통해 확인하고 재해 위험관리에 결합하려는 오랜 전통이 있다. 개발 계획과 재해 이후 회복은 지역의 생계와 빈곤층보다는 전략적 경제 부문과 기반시설을 우선시 하는 경향이 있었다(Maskrey, 1989, 1996). 이것은 복구에서 개발로의 이행을 계획할 때 미래를 위해 지역 능력을 구축하고 지역 비전을 포함시킬 기회, 즉 장기적 지속가능성을 증가시킬 수 있는 기회의 손실을 의미한다(Christoplos, 2006).

8.4.2. 지방, 국가 및 국제적 승자와 패자

기후 관련 재해가 언제나 예방 가능한 것은 아니지만 위험에 처한 사람들의 특징과, 사회제도, 경제 및 물리적 자산의 대대로 내려온 개발경로를 비롯해 거버넌스의 주요 구조로 측정한, 손실 범위와 손실의 사회적 및 지리적 분포는 상당한 차이가 있다(Oliver Smith, 1994). 그러나 재해로 이익을 보는 사

볼리비아, 인도네시아, 멕시코, 모잠비크, 네팔, 필리핀, 베트남에서 최근에 수행된 연구들은 인간개발과 장기적 경제발전에서 초등교육의 중요성을 감안할 때 극히 중요한 문제인, 광범위한(저영향/고빈도) 재해가 아동의 교육, 건강, 그리고 서비스(예: 물, 위생) 접근에 어떻게 부정적으로 영향을 주는가에 대하여 증거를 제공한다. 볼리비아에서 광범위 재해의 발생률이 가장 높은 지역들에서는 초등교육 수료의 성별 격차가 넓어졌고, 유치원 등록률이 감소했고, 중퇴율이 증가했다. 이와 동등한 네팔 내 지역에서는 초등학교 입학률이 감소했고 베트남 내 지역에서는 초등교육 총 재학생 수가 감소했다. 광범위한 재해로 볼리비아에서는 5세 이하 아동들의 설사 발생률이 증가했고, 네팔에서는 3세 이하 영양실조 아동의 비율이 증가했고, 베트남에서는 영아 사망률이 증가했고, 서부 모잠비크에서는 저체중 신생아 수가 증가했다. 또한 이 연구는 멕시코와 베트남에서 물과 위생에 대한 접근 측면에서 부정적 영향의 증거도 발견하였다(UNISDR, 2011).

이 연구들은 재해 도중과 재해 후에 아동보호를 위한 자원이 필요함을 뒷받침 한다(Last, 1994; Jabry, 2003; Bartlett, 2008; Lauten and Lietz, 2008; Weissbecker 등, 2008). 이에는 특히 이주 과정에서의 학대로부터 보호하고, 사회적 안전망으로 가정문제나 생계문제로 인한 학교중퇴를 방지하고, 심리적 신체적 건강문제에 대처하는 것 등이 포함된다(Norris 등, 2002; Keenan 등, 2004; Evans and Oehler-Stinnett, 2006; Waterson, 2006; Bartlett, 2008; Davies 등, 2008; Lauten and Lietz, 2008; Peek, 2008).

2. 아동 기구(Children's Agency)와 자원 접근

아동은 보호가 필요한 취약한 희생자라기 보다는 기후변화 맥락에서 극한 현상을 차단하는 데 중요한 역할을 한다(Tanner, 2010). 오늘날 극한 현상을 예방, 대비, 대응, 적응하기 위한 아동 중심의 접근법들에 점차 주목하고 있다(Peek, 2008; Tanner, 2010).

교육과 학교에서는 흔히 재해대비 및 기후변화 프로그램이 중심이 되지만(Wisner, 2006; Bangay and Blum, 2010), 최근 연구들은 아동 중심의 프로그램을 통해 지원되는 재해 위험저감 또는 적응에 직접적으로 참여할 아동의 잠재능력을 강조한다(Back 등, 2009; Tanner 등, 2009). 이 강조는 아동 고유의 위험 인식 과정과 위험소통 과정, 그리고 재해현상 발생 전, 도중, 이후에 변화의 대리인으로서 행동할 능력을 인정하는 것이다(Peek, 2008; Back 등, 2009; Tanner, 2010의 사례 연구 참고). 이러한 사례는 가구와 커뮤니티 범위에서 위험행동을 줄일 능력을 보여주고 있으며, 위험과 취약성의 다양한 결정인자들을 변화시킬 성인과 외부 정책 행동주체를 동원할 능력도 보여준다(Mitchell 등, 2008; Tanner 등, 2009).

람들도 있다. 조직이나 개인들이 복구 또는 대응(West and Lenze, 1994; Hallegatte, 2008b)에서 자재, 장비, 서비스를 공급하여 경제적 이익을 얻을 수 있다. 이것들은 흔히 지역적 희소성과 인플레 압력에 의해(Benson and Clay, 2004) 또는 조달과정 부실관리의 결과로(Klein, 2007) 생긴 할증가격으로 공급된다. 재해에 영향을 받지 않은 지역도 경제적 이익을 볼 수 있다. 예를 들어, 카리브해 지역이 허리케인에 강타당하자 해외 관광객들은 다른 지역으로 발길을 돌렸다(Pelling and Uitto, 2001). 정치적 행동주체들도 심지어 과거의 정치적 결정이 재해 위험 생성에 기여했을 때조차도, 강력한 재해 후 리더십을 발휘하여 이익을 볼 수 있다(Olson and Gawronski, 2003; Le Billon and Waizenegger, 2007; Gaillard 등, 2008). 세계의 여러 지역과 다양한 경제부문 및 사회범주에서 매우 불평등한 영향을 주는 기후변화에 대해서도 똑같이 말할 수 있다(Adger 등, 2003; O'Brien 등, 2004; Tol 등, 2004). 덜 직접적이기는 하지만, 기업농과 벌목의 팽창 같은 정책과 과정에서 이익을 본 사람들도 다른 사람들에게 취약성과 재해를 낳은 결정으로부터 이익을 본 사람들이라고 할 수 있다. 그러한 비용과 이익(편익)은 흔히 지리적, 시간적으로 분리되어 있어 분배 형평성 차원의 노력이 중요해진다. 예를 들어, 1만 명 이상이 사망하고 85억 US$의 피해가 발생했던 허리케인 미치(Mitch)의 경우, 벌채와 급속한 도시성장은 외지의 투기세력을 비롯해 그러한 개발에서 이익을 본 사람들과 더불어 종종 재해 관련 손실의 핵심 원인으로 꼽힌다(Alves, 2002; Pielke Jr. 등, 2003),

기후변화와 각각의 위험에 관련된 승자와 패자를 분석하려면 구별이 필요하다. 거의 모든 상황에서, 사회의 한 쪽이 승리로 여기는 것이 다른 쪽에게는 손실로 보일 수 있다. 극한기후에 대한 가능한 대응책을 조사할 때는 영향이 다른 지역, 부문, 인구의 기득권과 매우 상이한 방식으로 상호작용한다는 것을 인정하는 것이 필수적이다. 사실상 모든 경우에서 문제는 이것이다. 누구에게 이로운가? 이러한 이행이 전체적으로 사회에 이롭다고 말하는 사람은 누구인가? 패자에게는 어떤 보상이 제공되는가? 특히, 어떤 사람들이 정치적 권력과 영향력이 적은 사회계층의 의견을 듣고 있는가?

개별 현상은 승자와 패자 각각에 대한 요약으로 평가할 수 있지만, 진행형 과정인 기후변화에는 최종점이 없다. 시간이 지나면서 승자와 패자의 분포가 달라질 수 있다. 예를 들어, 기온 또는 강수 변화의 긍정적 영향을 경험한 다음에 부정적 영향을 경험하는 지역들이 그렇다. 특정 장소가 극한 현상으로부터 또는 극한기후와 다른 추진력들의 복합으로부터 승자 또는 패자를 낳는지 여부는 인식에도 좌우된다. 인식은 회복과정에 의해 형성될 수 있지

만 우선시되는 가치에 의해 크게 영향 받는다(Quarantelli, 1984, 1995; O'Brien, 2009; O'Brien and Wolf, 2010). 극한기후 및 극한기상 현상으로부터, 또한 재해 위험저감이나 기후변화 대응을 지향하는 정책의 결과로부터 생기는 승자와 패자를 고려할 때는 승자와 패자에 대한 주관적 이해를 인정하는 것이 아주 중요하다.

많은 요소들이 개인, 집단, 또는 사회의 지배적 가치, 인식, 정보접근에 좌우된다. 어떤 사람들은 승자와 패자를 생태 변화나 경제 발전의 자연스럽고 불가피한 결과로 간주하지만, 어떤 사람들은 승자와 패자는 불평등한 정책과 사회조건에 의해서 의도적으로 만들어진다고 주장하기도 한다(O'Brien and Leichenko, 2003; Wisner, 2003). 승자와 패자에 대한 담론 뒤에는 책임과 손실보상이라는 문제가 도사린다. 즉, 어떤 인구 또는 지역이 기후변화에(적어도 부분적으로) 원인이 있는 극한 현상으로 인해 심각한 손실을 경험한다면, 이것은 과실 여부를 규정할 수 있는가? 위험노출 지역을 설정하여 지역의 환경변화를 초래한 사람, 그러한 주거지를 촉진 또는 허락한 사람, 또는 지역적 위험 또는 전지구적 환경변화를 완화하지 못한 사람에게 책임이 있는가? 형평성, 정의, 보상의 문제가 기후변화 적응에서 부상 중이지만 지역적 범위를 넘어선 재해 위험 생산에 대한 책임 문제는 다뤄진 바가 거의 없다(Kent, 2001; Mitchell, 2001; Wisner, 2001; O'Brien 등, 2010b). 책임을 할당하기 위한 노력은 다양한 범위에서 정부와 법원의 문제로서 부상할 것으로 보인다.

8.4.3. 인간의 안전에 대한 잠재적 관련성

극한기후 및 극한기상 현상의 변화는 인간의 안전을 위협하는데 재해 위험관리와 기후변화 적응은 인간의 안전을 높이면서 재해도 방지할 수 있는 전략을 의미한다. 인간의 안전은 인권 옹호, 인간의 기본 욕구 충족, 사회 및 환경 취약성 저감이라는 문제를 다룬다(UNDP, 1994; Sen, 2003; Boggardi and Brauch, 2005; Brauch 2005a,b, 2009; Fuentes and Brauch, 2009). 인간의 안전은 의사결정에서 형평성, 윤리 및 반영(reflexivity)과, 기후변화의 동인(O'Brien 등, 2010b) 및 지역 영향(Pelling, 2010a)에 대한 중요한 질의와 논쟁을 강조한다. 인간의 안전은 환경, 사회, 인권에 대한 위협에 대응할 개인 및 커뮤니티의 능력을 통해 실현된다(GECHS, 2000; Barnett 등, 2010). 다수의 연구들이 기후변화와 인간의 안전 간의 관계를 평가하였고 그 관계가 복잡하며 상황에 따라 다르다는 것을 입증하였다(Barnett, 2003; Barnett and Adger, 2007; Brauch 등, 2008, 2009, 2011; Buhaug 등, 2008; O'Brien 등, 2010a). 가장 가능성이 높은 인간의 안전에 대한 기후변화의 위협은 건강, 식량, 물 또는 토양 조건의 손상을 통해 느껴지는 영향이다(Oswald Spring, 2009a, 2011 b).

기후변화와 관련된 가장 널리 고찰된 인도주의 및 인간의 안전의 문제는 기후변화에 관련된 생물물리적 또는 생태적 교란으로 인해 이주나 난폭한 갈등이 증가할 가능성이다(Reuveny, 2007; O'Brien 등, 2008; Raleigh 등, 2008; Warner 등, 2010). 오래 전 상황뿐 아니라 현재 상황에서도 이주 조건이 재해를 뒤따랐다는 징후가 있다(Le Roy Ladurie, 1971; Kinzig 등, 2006; Peeples 등, 2006). 이주는 도시 빈곤가구가 극한 상황(예: 20세기 미국 더스트보울(Dustbowl) 기간과 사헬 가뭄의 경우처럼 오랜 가뭄)에 대처할 뿐 아니라 소득 다각화 및 증대 수단으로서(Harrington 등, 2009; Oswald Spring, 2011a; Scheffran, 2011) 취할 수 있는 핵심적인 대응 메커니즘이다. 인구이동이 위험저감을 위해 열어주는 기회는 부유국에서 빈곤국으로의 국제 송금흐름에서 보인다. 이것은 2007년에 3,180억 US$를 초과한 것으로 추정되며 그 중 2,400억 US$가 개발도상국에 들어갔다(World Bank, 2008).

극한 현상 관련 재해로 사람들은 종종 어쩔 수 없이 이주해야 하고 덜 가난한 사람들은 자발적으로 이주하기도 한다. 기후위험과 이주 사이의 관계는 복잡하고, 이주에 영향을 주는 인자는 다양하다(UNDP, 2009) 그럼에도 최근 연구에 의하면, 기후변화에 관련된 환경 악영향은 더 많은 사람들의 이주를 촉발시킬 잠재력이 있다(Kolmannskog, 2008; Feng 등, 2010). 연구들에 의하면, 대부분의 이주는 국내 이주일 것이라고 한다. 사람들은 재해 이후에 생활을 복구하기 위해 귀환하는 경향이 있기 때문에 극한기후가 개발도상국에서 발생하는 경우에도 순전히 외국이주만 일어나지는 않을 것이다. 장기적 환경변화가 영구적 이주를 더 많이 야기할 수 있지만 그러한 이주 역시 국내 이주일 것이다(Piguet, 2008; UNDP, 2009). 보다 부정적으로, 어쩔 수 없는 토지의 포기는 문화와 정체성에 영향을 받은 이주자들에게는 스트레스가 된다(Mortreux and Barnett, 2009; Brauch and Oswald Spring, 2011). 이주에 의해 촉발되는 사회적 재배치는 전통적인 농촌 제도와 재해 극복 기제의 붕괴를 초래한다. 예를 들어, 중앙아시아와 서아시아에서의 전통적인 커뮤니티 기반 물 관리 위원회의 와해를 들 수 있다(Birkenholtz, 2008). 남성들이 이주함에 따라 여성가장 가구가 증가함으로써 지역의 집단 대응 및 적응 능력도 제한될 수 있다(Oswald Spring, 1991, 2009a).

관심의 초점은 주로 대규모 재해에 관련된 인구 이동에 맞춰졌다. 파키스탄의 2010년 홍수는 현재까지 약 6백만 명의 수재민을 남겼다. 인도의 2008년 홍수 때는 대략 6백만 명이 삶의 터전을 잃었으며, 허리케인 카트리나 때는 미국의 50만 명 이상이 이주하였다. 사이클론 나르기스(Cyclone Nargis) 때는 미얀마와 남아시아에서 80만 명이 삶의 터전을 잃었다. 그러나 더 작고 빈번한 현상들의 복합적인 효과도 이주에 기여할 수 있다. 홍수 같은 위험은 상대적으로 사망자는 적게 발생하지만 많은 주택을 파괴하여 상당한 이주를 유발한다. 콜롬비아에서 1970년과 2009년 사이에 발행된 재해손실 보고서 24건은 10명 미만의 사망자를 냈지만, 주택을 500채 이상 파괴한 홍수들을 자세히 보고하였다. 종합적으로 약 26,500채의 주택이 파괴되었고 13만 명 이상이 이주한 것으로 잠정 추산되었다. 인도의 오리사(Orissa) 주에서는 265회의 홍수에서 비록 사망자는 적지만 주택이 50만 채 이상 파괴되었다. 그러한 광범위한 재해는 국제 여론과 인도주의 지원을 끌어들이는 대형 재해에서 생긴 이주자들보다 19%의 대체로 덜 눈에 띄는 이주자를 추가로 발생시키는 것으로 추정된다(UNISDR, 2011).

발전을 강화할 기회에도 불구하고 재해대응은 인권을 보호 또는 확대하기 보다는 기본 필요를 충족시키는 데 더 유능하다. 인도주의적 의무(humanitarian imperative)를 지원하는 정치적 중립성은 인도주의 행동가가 인권을 촉진하기 위한 명시적인 행동을 취하기 어렵게 만든다. 이러한 식으로, 재해 대응과 복구는 오직 부분적으로만 인간의 안전에 대한 강화를 주장할 수 있다(Pelling and Dill, 2009). 인도주의 행동가와 개발 행동가 사이의 경계에서 일하기, 새로운 파트너십, 정부의 투자, 유의미한 지역 참여 등은 모두 이 문제를 해결하기 위한 방도로서 부상 중인 것들이다. 성공사례 중 하나인 인도

네시아 아체(Aceh)에서 인도양 쓰나미 후에 진행된 복구 과정은 정치권의 평화구축 노력을 통해 국제 인도주의 운동이 촉진시킨 정부와 지방 정치단체 간 협력을 통해 지역적으로 권리를 증가시켰고, 무력충돌을 억제하였고, 경제회복 계획을 제공하였다(Le Billon and Waizenegger, 2007; Gaillard 등, 2008; Törnquist 등, 2010).

기후변화로 인해 생긴 새롭고 유례 없는 인간의 안전의 위협에 대한 대응은 기존 지정학과 전략 지정학은 더 이상 쓸모 없어져 버렸는지에 대하여 의문을 제기한다(Dalby, 2009). 과거의 지정학적이고 전략적인 도구들의 개념, 전략, 정책, 척도뿐 아니라 기후변화 대응을 지배하는 단기적 이해관계는 점점 더 의문시되는 반면에, 유례 없는 재해가 발생할 잠재력은 안보에 대한 기후변화의 관련성을 고려하게 만들었다(UNSC, 2007; EU, 2008; UNGA, 2009; UNSG, 2009). 관심사의 범위는 인도주의적 지원의 필요성 증가부터 환경으로 인한 이주, 인간 또는 먹이사슬의 신종 질병, 자원에 대한 국가 간 또는 지자체 간 갈등의 잠재력, 잘잘못을 따지려는 노력과 더불어 기후와 관련한 압력과 기타 압력으로 인한 정치/정부 불안정 잠재력까지 다양하다(Ahmed 2009; Brauch and Oswald Spring, 2011).

일반적으로 기후변화는 세계에서 가장 기후변동이 심한 지역들에서 불안정성의 위협 승수(threat multiplier) 역할을 한다고 간주된다(CNA Corporation, 2007). 가장 안정된 정부형태(polity)에서도, 장기적 복원력을 추구하는 적응 계획은 재해 직후에 정치적 불안정에 직면한다(Drury and Olson, 1998; Olson, 2000; UNDP, 2004; Pelling and Dill, 2009). 국경을 접한 국가들에서 또는 갈등지역 내에서 발생한 재해는 조기타결의 여지를 제공할 수 있지만, 근본적인 정치적 사회적 조건을 해결하지 않는 한 효과는 보통 오래 가지 않는다(Kelman and Koukis, 2000; Kelman, 2003). 안보에 관하여 재해와 기후변화에서 새로운 관심사는 상대적으로 저확률, 고영향의 미래를 위한 계획에 관한 국제법(Ammer 등, 2010)과 보안 정책(Campbell 등, 2007)으로부터 교훈을 주었다. 스트레스가 있는 동안에 정부형태는 재해 위험관리를 위한 군사화(militarization)와 권위주의(authoritarianism) 쪽으로 나아가기 쉽지만(Albala-Bertrand, 1993), 지속가능한 발전 및 인간 안보의 목표를 장기적으로 달성할 수 있는, 포괄적 거버넌스 같은 대안이 있다(Olson and Gawronski, 2003; Brauch, 2009; Pelling and Dill, 2009; Bauer, 2011).

8.4.4. 관련된 국제목표 달성과의 관련성

재해 위험저감과 기후변화 적응을 다루거나 다루지 못하면 특히 개발에 관련된 국제 목표의 성공에 영향이 미칠 수 있다. 연달아 다수의 보고서들이 새천년 개발 목표(Millennium Development Goals, MDGs)를 탈선시킬 기후변화의 잠재력에 대하여 언급한다. 2003년에 아시아 개발 은행과 여타 개발 조직 9개는 기후변화가 새천년 개발목표의 달성도에 영향을 줄 수 있으며, 특히 2015년 이후에는 달성도를 제약할 수 있다고 최초로 보고하였고, 개발 부문들에서 기후위험관리가 중요하다고 강조하였다. 영국 국제개발부(UK Department for International Development) (DFID, 2004, 2006)와 UNDP(2004)는 새천년 개발목표의 각각이 어떤 식으로 성공을 재해 위험의 일부 측면에 의존하는지를 보여준다. 새천년 개발목표에 대한 재해 영향은 직접적이자 간접적이다. 예를 들어, 새천년 개발목표 1(극한 빈곤 및 기아 근절)은 빈곤한 사람들과 덜 빈곤한 사람들(재해손실의 결과로 빈곤에 빠지거나 서서히 빈곤에 빠질 수 있는 사람들)의 생산 자산(productive assets)과 재생 자산(reproductive assets)이 받는 피해에 의해 직접적 영향을 받고, 부정적 거시경제 영향에 의해 간접적 영향을 받는다. 2007년 UN 개발보고서(2007 UN Human Development Report)는 기후 변화가 2015년 이후에는 개발에 제동을 걸 잠재력이 있으므로 빈곤층을 보호할 강화된 적응이 필요하다고 보고하였다.

UNISDR 효고 행동 계획 2005-2015: 재해에 대한 국가와 커뮤니티의 복원력 구축(Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters) (HFA)은 기후 변동성과 기후 변화는 재해 위험에 중요하게 기여하며, 재해관리 노력과 기후변화 적응 노력을 더 잘 연계하기 위한 강한 지원을 포함한다고 명시적으로 인정한다(Sperling and Szekely, 2005; 7.3.1절 참고). 효고 행동 계획에서 이행의 우선순위는 복원력을 구성요로서 명백히 포함시키는 데 있어 선견지명이 있었던 것으로 증명되었다. 우선순위 3은 "모든 수준에서 안전 및 복원력 문화를 구축하기 위한 지식, 혁신, 교육"을 요구한다. 이것은 국가적 및 지역적 복원력 구축을 위해 제도적 능력과 인적 능력에 투자하는 것을 지원할 국제 행동주체들에게 강한 정당성을 제공하고, 착수하기 위해 새로운 국제협정을 추가하지 않아도 된다는 정당성을 제공한다. 그러한 이행을 위한 틀은 예를 들어, 공동 국가 평가(Common Country Assessments), 유엔 개발 원조 체계(United Nations Development Assistance Frameworks), 국가 적응 이행 계획(National Adaptation Plans of Action) 및 빈곤 저감 전략(Poverty Reduction Strategies)에 존재하지만 현재까지 진척도는 미미하다(DFID, 2004). 기후변화와 재해 위험관리를 통합해 2015년 이후의 새천년 개발목표와 동등한 것으로 만들어야 한다는 주장도 있다(Tribe and Lafon, 2009; Gostin 등, 2011).

8.5. 재해 위험관리, 기후변화 적응, 온실가스 저감 사이의 상호작용

8.5.1. 복원력에 대한 한계로써의 기준값과 전환 정점

최근 문헌들은 기후변화가 기후조건과 사회경제적 조건을 상당히 바꾸어 놓을 수 있는 시스템 수준의 대규모 체제전환을 촉발시킬 수 있다고 보고한다(MEA, 2005; Lenton 등, 2008; Hallegatte 등, 2010; 3.1.7절 참고). 잠재적 시스템 변화의 예로는 아마존 우림의 잎마름병(dieback), 그린란드 빙상의 쇠퇴, 인도 여름 몬순의 변화 등이 있다(Lenton 등, 2008). 그보다 작은 범위에서도, 기후변화는 담수의 부영양화(Carpenter, 2003), 산호초와 같은 조류가 우세한 곳으로의 변화(Hughes 등, 2003), 사바나 지역의 관목 잠식(Midgley and Bond, 2001) 같은 환경 체제전환 사례들을 악화시키고 있다. 사회시스템과 생태시스템에서 그러한 변화의 돌발성과 지속성은 되돌리기가 거의 불가능할 수 있으므로 궁극적으로 인간의 안녕에 상당한 영향을 끼칠 수 있다(Scheffer 등, 2001; MEA, 2005; Scheffer, 2009). 기준값이나 전환 정점을 넘어선다는 체제전환이라는 개념은 기후의 기준값에 대한 고찰(3.1.1절 참고)과 생태계시스템과 사회생태 시스템의 점진적이고 선형적이고 예측 가능한 변화에 대한 전통적 사고와 대비되며, 여러 가지 미래가 기준값의 교차에 의해 결정될 수 있음을 강조한다(Levin, 1998; Gunderson and Holling, 2002). 사회경제시스템에 대한 유사한 고찰은 경제활동에서의 확률 한계를 갑작스런 붕괴와 체제변화를 일으킬 수 있는 기준값으로써 여겨왔다(Schlenker and Roberts, 2006; OECD, 2007).

전환 정점(tipping point), 즉 시스템이 한 상태에서 다른 상태로 전환되는 지점을 비유한 이것은 재해현상에도 적용될 수 있다. 재해 자체는 커뮤니티의 대응능력을 능가하는, 기준값을 넘어서는 현상이다(예: Blaikie 등, 1994; Sperling 등, 2008). 재해는 허리케인 영향으로 산사태가 시작될 때나 서로 다른 재해가 장기적으로 연쇄 영향을 일으킬 때처럼 재해의 영향으로 시스템의 대응능력이 파괴될 때에는 2차 위험으로 이어질 수 있다(Biggs 등, 2011). 중앙 아메리카에서 1997/1998년 엘니뇨-남방진동 현상이 발생했던 동안 가뭄과 화재로 인한 손실은 1998년에 허리케인 Mitch가 발생한 동안에 산사태와 홍수를 증가시켰다(Villagran de Leon, 2011). 재해 영향이 사회 전반에 퍼지면 재해 영향은 사회적 기준값을 넘어설 수 있다. 재해 대응은 초기 재해영향의 피해자 지원만큼 그러한 손실을 억제하는 것과 관련 있다.

빈곤층의 생활과 건강은 당장 위험에 처해 있지만, 기반시설, 경제적 자산, 물리적 자산을 보호할 대책을 취하는 사회 속의 사람들의 생활과 건강은 상대적으로 덜 위험하다. 그러나 위험이 예상 한계를 초과하고 특정 위험관리 영역에서 새롭거나 뜻밖의 위험일 때(Beniston, 2004; Schar 등, 2004; Salagnac, 2007), 또는 시장과 기타 충격의 여파로 인해 취약성이 증가했거나 복원력이 감소했을 때는 임계치가 초과될 수 있다(Wisner, 2003).

예를 들어, 2010년에 서부 러시아는 130년 전 체계적인 기상자료의 기록을 시작한 이래 가장 더운 여름을 겪었다. 2010년 초반에 비가 내리지 않은 데다 7월 기온이 장기간 평균 기온보다 거의 8℃ 높아서 논, 산림, 이탄지가 바짝 말라 붙어 산불위험도 높아졌다. 산불이 발생한 동안과 발생한 후에 러시아의 사망률은 18% 증가했다. 극한 열과 연기로 인한 오염으로 8월 한 달만 해도 2009년 8월보다 41,300명 더 사망했다. 사회 및 경제적 변화는 산불이 가하는 위험을 크게 증가시켰다. 전통적인 농업 생계는 쇠퇴하였고 그에 따라 외지로 이주하는 사람들이 생기고 주변산림의 관리가 부실해졌으며, 국가적 관리의 분권화와 민간부문에 의한 개발 증가로 더욱 악화되었다(UNISDR, 2011).

기존 시스템의 극한점으로써 기준값의 비선형성과 중요성이 인정되면서 기후 과학자들은 영향 확률밀도 함수의 '꼬리(tail)'에 더욱 주목하게 되었다(Weitzman, 2009). 이것은 재해 연구 커뮤니티와는 대조적이다. 재해 연구 커뮤니티는 주요 극한 현상에 초점을 맞춘 후에 현재는 소규모 또는 국지적 재해의 중요성과 연쇄 현상을 이루는 2차 재해의 중요성을 인정하고 있다(UNDP, 2004; UNISDR, 2009). 두 가지 논점 모두 재해영향과 발전 간의 상호작용을 포괄적으로 이해하는 데 있어 중요하다.

자연계와 인간 시스템에서 전환 정점은 변화의 수준과 속도가 보통인 기후변화보다는 상대적으로 심각하거나 급속한 기후변화에서 일어날 가능성이 더 높다(Wilbanks 등, 2007). 이러한 이유로 기후변화 완화가 성공적이지 못할수록 적응과 재해 위험관리에는 더 큰 문제가 생긴다. 적응은 위험 및 취약성의 점진적 변화를 고려할 필요가 있을 뿐 아니라 기준값을 넘어서는 범 시스템적 변화가 있을 가능성도 고려해야 한다. 임계치 초과에 연관된 비선형적 변화는 심각한 교란을 방지할 적응능력을 초과할 수 있다. 이러한 종류의 생태계 변화와 사회적 영향의 예로는 도시용수와 농업용수를 공급해주고 있는 빙하의 소실(Orlove, 2009), 기후변화가 토착문화의 지속가능성을 위한 전통적 생계에 끼치는 효과(Turner and Clifton, 2009), 산성화 되는 대양과 어업 생계에서 산호초의 폭넓은 소실(Reaser 등, 2000), 농업, 어업, 관광 같은 중요한 경제활동의 확률 한계 등이 있다. 사회경제시스템이 이미 압력을 받고 있는 경우(예: 많은 나라의 어업에서), 지속가능성 임계치가 더 쉽게 초과될 수 있다. 잠재적 임계치 또는 전환 정점에 대한 대응은 예를 들어, 임박한 시스템 붕괴를 조기에 경보하기 위한 모니터링 시스템을 통해서(Biggs 등, 2009; Scheffer 등, 2009), 뿐만 아니라 전환 정점을 피할 목적으로(Virgoe, 2002; Kiehl, 2006) 지구 공학과 연관된 위험의 균형을 연구하는 이니셔티브를 통해(Royal Society, 2009) 의사결정자가 이용할 수 있는 정보를 향상시키려는 노력을 포함한다.

8.5.2. 적응, 저감, 재해 위험관리 상호작용

미래에 적응 및 재해 위험저감 이행이 어느 정도로 필요할 것인가는 기후변화 완화 이행을 어느 정도로 얼마나 신속히 취할 수 있는가, 그리고 개발 맥락에서 그 결과가 얼마나 빨리 나타나는가에 좌우될 수 있다. 이 절에서는 완화, 재해 위험저감, 적응이 도시 및 농촌 정황에서 개발과 상호작용하는 방식을 평가한다.

기후변화 완화 및 적응은 교통 관련 에너지 소비량을 줄이고 홍수에 대한 노출을 제한하기 위한 토지이용 계획, 또는 난방에너지 소비량을 줄이고 열파 내성을 강화하기 위한 건축규정 등과 같이 시너지를 줄 수 있다(McEvoy 등, 2006). 기후변화 완화와 적응 간의 관계, 그리고 두 목적을 동시에 다루는 접근법들의 가능성을 탐구하는 문헌들이 발표되고 있다(Wilbanks and Sathaye, 2007; Hallegatte, 2009; Bizikova 등, 2010; Wilbanks, 2010; Yohe and Leichenko, 2010). 이 절에서는 상호작용의 범위를 확대하여 재해 위험관리도 범위에 포함시킨다. 이것은 다중위험에 대한 상황을 고려하기 위해 위험 모델링(UNDP, 2004; UNISDR, 2009, 2011)과 계획의 통합을 추구해온 재해관리 커뮤니티의 경험에 기반한다. 이로부터 얻은 중요한 교훈은 피상적 통합을 지양한다는 것은 단지 위험의 표면적 표현을 다루는 것이 아니라 위험에 대한 노출과 취약성의 공유된 근본원인을 찾아내 다룬다는 것을 의미한다는 것이다(Wisner, 2011). 필요한 적응의 정도는 착수된 기후변화 완화노력에 따라 다를 것이고, 기후변화 수준이 지구물리 시스템이거나 사회경제시스템이든 시스템 기준값을 초과한다면 그러한 요건들은 엄청나게 증가할 수도 있다.

기후변화 완화와 적응을 개발 상황에 실용적으로 통합하기는 비용과 편익의 차등적 분포 때문에 복잡하다(예: 완화의 편익은 전지구 전체에 분배되고 누적된다; 재해 위험관리처럼 적응 편익은 종종 국지적으로 측정하는 것이 더 쉽다). 이 세 정책영역의 연구와 정책담론은 영역별로 제각각이며, 기술적으로 무관한 분야에서는 흔히 구성요소와 의사결정자도 제각각이다(Wilbanks 등, 2007). 많은 경우에, 전체 범위의 문제와 옵션에 초점을 맞

추는(시너지를 추구하고 갈등을 피하는) 문제는 특정 장소, 즉 국가적 또는 국제적 완화 의제를 준수하는 것이 지역적 이행의 타당성을 제공하게 되는 지자체와 작은 지역들에서의 기후변화 대응 및 발전 목표를 고찰할 때 생길 가능성이 가장 높다(Wilbanks, 2003). 다음 소절들은 도시 및 농촌의 상황을 일례로 소개한다.

8.5.2.1. 도시

점점 도시화되는 세계에서, 기후변화 맥락에서 전 세계의 지속가능성은 지속가능하고 기후 복원력이 있는 도시의 창출에 달렸다. 도시 공간 형태는 에너지 소비량, 배출 패턴, 재해 위험관리에 중요하고(Desplat 등, 2009), 주민들이 사는 곳과 사는 방식, 그리고 사용하는 교통수단에 영향을 준다. 도시계획은 일상적 발전과정의 일부로서 기후변화 완화, 적응, 재해 위험저감을 추구하기 위해 사용될 수 있는 도구 중 하나이다(Newman and Kenworthy, 1989; Bento 등, 2005; Handy 등, 2005; Ewing and Rong, 2008; Grazi 등, 2008; Brownstone and Golob, 2009; Glaeser and Kahn, 2010). 도시 형태도 대체로 취약성, 대응, 적응능력을 형성하는 공간적 사회적 불평등에 영향을 준다(Pelling, 2003; Gusdorf 등, 2008; Leichenko and Solecki, 2008). 대부분의 개발도상국 도시에서 도시계획의 역사적 실패는 환경과 사회에 엄청난 영향을 주었다(UN-HABITAT, 2009; World Bank, 2010a). 도시 열파 위험관리에서 탈탄소 에너지(decarbonized energy)의 이용 없이 개인의 에어컨 사용이 증가하는 경우처럼 도시 계획이 포괄적이지 않은 부유한 국가에서 시너지적인 위험 저감보다는 적응의 실패가 발생할 수 있다(Lindley 등, 2006). 더 밀집된 도시에서는 온실가스 배출이 저감될 수 있으나 열파에 대한 취약성이 증가한다(Hamin and Gurran, 2009). 그러나 도시형태는 온실가스 배출과 취약성에 영향을 주므로(McEvoy 등, 2006), 계획과 이행에서도 시너지의 여지가 있을 수 있다. 예를 들어, 자동차 사용을 관리하면 온실가스 배출 감소뿐 아니라 미립자로 이루어진 오염물질의 감소에도 기여할 수 있고 도시열파의 건강영향도 감소시킬 수 있다(Dennekamp and Carey, 2010).

그러나 아직은 특히 가장 소외되고 취약한 사람들을 위해, 도시화에 의해 제공되는 시너지적 계획의 기회가 실현되고 있다는 증거는 한정적이다. 보다 일반적으로 말해서 도시화는 환경문제를 심화시킨다. 국가가 도시화될수록, 경제자산 손실에 관련된 위험은 기반시설, 생산적 자산, 사회적 자산의 급속 성장을 통해 증가하는 경향이 있는 반면에 사망률 위험은 감소하는 경향이 있다(Birkmann, 2006). 도시는 성장하면서 주변 농촌환경도 바꾸므로 결과적으로 상당한 위험을 낳을 수 있고 그 위험에 도시인들도 노출된다. 예를 들어, 내륙지역의 도로가 포장될수록 폭우 때 유출수가 증가하고 홍수위험이 크게 높아진다(Mitchell, 1999; Pelling, 1999). 해안도시에서 맹그로브가 파괴될수록 폭풍해일 위험이 증가할 수 있다(Hardoy 등, 2001). 마찬가지로, 도시지역 내에서(종종 도시계획의 범위 밖이지만), 임시 거주지의 팽창은 산사태 및 홍수 위험에 대한 지역인구의 노출을 증가시킬 수 있다(Satterthwaite, 1997; UNDP, 2004). 전지구 위험 모델들에 의하면, 도시 위험의 팽창은 주로 노출이 급속히 증가하기 때문이며, 이 노출 급속증가는 적어도 급속성장 중인 중저소득 국가들에서는 취약성 저감능력의 향상(예: 건축표준과 토지이용계획을 제정 및 적용함으로써 향상) 속도를 능가한다(UNISDR, 2009, 2011). 그 결과, 위험은 점점 더 도시화되고 있다(Mitchell, 1999; Pelling, 2003; Leichenko and O'Brien, 2008). 그렇지만 선진국과 개발도상국 사이에 엄청난 차이가 있다. 대부분의 선진국(그리고 중소득 국가의 상당수 도시들에서도, 예를 들어, 보고타, 멕시코시티와 같은 도시)에는 노출증가를 관리할 수 있는 위험저감 능력이 존재한다. 이와는 달리, 개발도상국(그리고 특히 도시인구의 상당수가 무계획 거주지에서 사는 최빈국들)에서는 그러한 능력이 크게 제약되고 반면에 인구증가로 노출은 증가한다. 재정적 기술적 제약은 위험관리에 중요하지만, 부의 차이만으로는 위험저감에 대한 투자의 차이가 설명되지 않는다. 위험저감 투자는 위험의식과 정치적 선택에도 좌우된다(예: Satterthwaite, 1998; Hardoy 등, 2001; Hanson 등, 2011).

도시계획은 시너지의 수단일 수 있지만 유의미한 효과를 기대하기까지는 다소 시간이 걸린다. 계획 상의 시너지를 위해서는 기후가 수십 년간 어떻게 변할지에 대한 예측, 그 정보의 불확실성, 도시 시스템의 취약성, 사회적 행위자들의 능력을 고려하면서 미래 기후변화를 예측해야 한다. 아시아 도시들의 기후변화 복원력 네트워크(Asian Cities Climate Change Resilience Network)는 도시계획 준비를 외부 전문가나 국가기관에 의존하기 보다는 도시 수준의 행동주체로 하여금 도시계획을 평가하도록 촉진하는 것이 필수적이라고 보고하였다(Tyler 등, 2010). 구축된 형태는 관성과 비가역성이 강하기 때문에 변경하기가 어렵다. 저밀도 도시가 존재할 때 그것을 고밀도 도시로 혁신시키는 과정은 시간이 오래 걸리고 비용이 많이 드는 어려운 과정이다(Gusdorf 등, 2008). 이것은 현재 취해진 이행들에 기초해 미래의 도시 형태가 결정될 것이고 현재의 추세로 보아 인구밀도가 낮고 자동차에 의존하는 형태의 교외 거주지가 급속하게 팽창하며 세계에서 가장 급성장 중인 도시들에서 중요하다(Solecki and Leichenko, 2006).

일부 연구들은 기후변화 적응 및 완화의 이 측면들을 조사하기 시작했다(Newman 등, 1996). 또한, 도시들이 대규모 혁신이기에 돌입할 기회도 있다. 인도의 델리, 뭄바이 및 기타 도시들이 그러한데, 이 도시들에서는 민간자본이 저소득 인근도시들을 상업지구와 중소득 및 고소득 주택지역으로 재개발하고 있다. 여기서는 도시 및 건물 설계에서 시장 수익성과 사회정의에 대한 기존 요구와 더불어 재해 위험저감, 기후변화 적응, 완화를 촉진시킬 여지는 희박하다. 또한 저소득 가구들의 주택 및 생활 조건을 개선할 목적으로 대규모 슬럼/임시 거주지를 업그레이드 하는 프로그램들도 증가 중이다(Boonyabancha, 2005; Satterthwaite, 2010).

재해 복구는 시너지 효과를 도모할 수 있는 개발계획의 기회도 창출한다. 예를 들어, 2005년에 허리케인 카트리나가 강타한 루이지애나주의 뉴올리언스는 그린빌딩 위원회(Green Building Council)의 '친환경 설계 리더십(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)' 표준에 따라 복구되었다(USGBC, 2010). 비슷한 예로, 2007년 5월에 토네이도를 맞아 사실상 파괴되었던 캔자스주 그린스버그에도 LEED 표준이 적용되었다(Harrington, 2010). 8.2.5절에서 소개한 속도와 지속가능성 간의 절충처럼, 그린스버그의 이행들도 도시 복구 속도를 둔화시켜 단기적으로 커뮤니티와 이와 관련된 복원력의 측면들을 약화시켰으나 장기적으로는 '녹색' 커뮤니티 모델을 만들고자 하였다.

요컨대 도시개발 계획 및 실무에 시너지를 구축할 기회가 다수 존재함에도 불구하고 실질적인 성공사례는 많지 않다. 시너지 부재의 한 예로 방글라데시의 다카(Dhaka) 중심부의 도시화가 있다. 이 홍수다발 지역에는 홍수 조절에 중요한 자연 수계와 배수로가 최근까지도 존재했다. 다카 수도권 개발 계획(Dhaka Metropolitan Development Plan)은 이 지역의 상당부분의 개발을 제한하였지만 이 계획에도 불구하고 민간 및 공공 프로젝트가 줄기차게 들어섰다. 저류조와 배수로의 파괴는 홍수위험을 증가시키고 배수되는 습지에 건축된 건물은 지진 후에 액상화의 새로운 위험을 야기한다(UNISDR, 2011).

8.5.2.2. 농촌

농촌지역은 기후변화 완화의 1차 대상이다. 농촌지역은 재해 위험관리와 보다 최근 들어 기후변화 적응에 대한 상당한 경험을 보유하고 있다(UNDP, 2007b). 그럼에도 도시지역의 경우처럼, 기후변화 완화, 적응, 재해 위험관리를 고려하는 시너지적 개발 프로젝트 및 정책에 대한 경험적 증거가 한정되어 있다. 그러나 기후변화 완화와 적응 또는 위험관리가 통합의 여지를 보여준 몇몇 중요한 기회들이 혼농임업에서 탐구되고 있다(Verchot 등, 2007).

시너지의 여지는 당대의 개발 압력 맥락 안에서 볼 필요가 있다(Goklany, 2007). 특히 소규모 농장은 기회가 있는 경우에 비농장 활동으로 다각화 해야 한다는 압박이 강하지만, 경제활동으로 이어지기 위해서는 강력한 지원이 필요하다(Roshetko 등, 2007). 기후변화는 예를 들어, 염수 유입과 해안 홍수 때문에 이미 전통적 농업이 밀려나고 대신에 염수에 강한 작물을 채택하거나 농업에서 수경재배로 전환하고 있는 해안 저지대에서 이용 가능한 선택의 범위에 영향을 준다(Adger, 2000). 도시지역의 규모와 영향력이 팽창되었지만, 빈곤층의 대다수는 계속 농촌지역, 특히 아프리카의 여러 나라들의 농촌지역에 살고 있으며, 가장 자원이 부족하고 능력이 부족한 인구집단에 속한다(UNDP, 2009). 시장과 소통 네트워크에서 단절될 수 있는 인구들의 경우, 위험의 빈도나 심각도가 아주 조금만 증가해도 지역생계 기반이 무너질 수 있다. 그래도 최근에 소통기술이 발달하여 그 격차는 줄어들 수 있다(Aker and Mbiti, 2010). 정치 및 경제 시스템이 식량분배와 시장기능을 교란하는 곳에서는 식량 불안에 대한 취약성이 높아진다(Misselhorn, 2005).

농촌 인구 또는 경제의 팽창과 자연자본 사이에서도 까다로운 선택을 해야 한다. 지역의 자연자산은 지역 능력을 구축하려는 지역 행동주체에 의해서가 아니라 자원을 뽑아낼 뿐 지역에 개발이익을 거의 누적하지 않는 행위자들에 의해서 자주 착취된다. 자연자원 이용 통제이행의 균형과 시행은 현재의 능력강화를 잠재적으로 억제하기도 하고 농촌 생계와 생태계서비스의 장기적 지속가능성을 보장하는 중요한 메커니즘이기도 하다(Chouvy and Laniel, 2007). 비농업 소득은 많은 농촌 가구들에서 총 소득의 상당한 부분을 차지하고 있으며, 기상 및 기후 관련 충격에 대한 복원력을 증가시킬 수 있다(Brklacich 등, 1997; Smithers and Smit, 1997; Wandel and Smit, 2000). 이러한 이전과 국지적 농촌 위험 간의 관계, 그리고 그것들이 얼마나 완화의 여지를 제공할 수 있는가는 문헌에서 완전히 조사되지 않았다.

도시 지역은 다각적(가구) 생산과 에너지 절약을 통해 완화의 기회를 제공하는 반면에, 농촌 지역은 수력발전부터 태양열 농업, 풍력 농업, 바이오연료 작물, 그리고 특히 산림과 REDD+ 프로젝트에 관련된 탄소흡수 기능까지 저탄소 또는 무탄소 에너지 생산의 요람이다. 이러한 투자들은 수문학에 영향을 줄 수 있는 토지이용과 토지피복의 변화를 통해 또는 경제적 효과와 생계영향을 통해 재해 위험에 상당한 국지적 영향을 줄 수 있다. 소규모 수력발전/홍수 또는 물 보전 댐을 통해 시너지를 얻을 여지가 있으며, 혹자는 이러한 접근법의 결합은 특히 사하라 사막 이남 아프리카의 취약한 농촌지역에서 에너지와 물 요구를 충족시키는 변형된 개발정책의 일부라고까지 주장하기도 한다(Foster and Bricefio-Garmendia, 2011). 일부 영향은 국지적이지 않고 그 이상일 수도 있다. 바이오연료 생산이 농촌 생계와 세계 식량안보에 끼친 최근 영향은 농촌시스템과 도시시스템에서 취약성의 상호의존성을 보여주며, 이러한 종류의 혁신에서 영향이 빠르게 확산될 수 있고 세계시장을 통해 증폭될 수 있는 경우에는 관리가 필요하다는 것을 암시한다(Dufey, 2006; de Fraiture 등, 2008). 무역과 자원(물, 식량, 폐기물, 에너지)의 이동 과정에서 투자, 송금, 이주, 물질이동의 흐름은 농촌과 도시의 경제와 사회를, 그리고 지역과 세계를 긴밀하게 연결하므로 한쪽의 지속가능성은 다른 쪽의 지속가능성에 영향을 준다. 농촌과 도시에는 서로 공통된 여러 가지 압력원이 존재하므로 재해 위험관리와 적응의 수단으로서 위험의 근본적인 동인을 평가하고 기후변화 완화를 촉진하는 것이 중요하다.

8.6. 미래 극한기후에 대한 전향적, 장기적 복원력을 위한 옵션

앞서 설명한 다양한 문제들을 고려하면, 기존 계획도구들과 그것들이 사용되는 방식, 그것들을 사용하는 사람, 그리고 그것들이 시간이 지나면서 상호작용 또는 변화하는 방식을 평가하는 것이 중요하다. 지속가능하고 복원력 있는 개발 경로를 추구하기 위해서는 과학에 기초하고 지식으로 추진되며 이질성 및 범위 문제를 다룰 수 있는 통합된 원대한 정책이 필요하다. 극한기후 및 기상 현상의 영향과 대응은 국지적이기 때문에 이질성과 범위를 다루는 문제는 특히 까다롭다. 그러한 대응은 지역, 국가 및 전지구적 범위의 이행을 통해 지원되고 실시될 필요가 있다.

이 절에서는 먼저 미래를 위한 계획의 문제들을 고찰하고, 그러한 문제를 다루는 데 유용한 도구와 실무에 관련된 문헌을 평가한다. 앞에서 고찰했듯이, 지속가능하고 복원력 있는 미래를 달성하기 위해서는 점진적, 혁신적 변화 모두가 필요하다. 문헌 평가에 기초해 마지막 절에서는 그러한 변화에 적응적 관리, 학습, 혁신, 리더십의 조합이 필요할 수 있는 이유를 고찰한다.

8.6.1. 미래를 위한 계획 수립

재해 위험관리와 기후변화에 대한 적응은 근본적으로 사람들(개인과 집단)의 열망을 미래에 대한 관점과 결합하는 과정인 불확실한 미래를 위해 계획하는 것이다(Stevenson, 2008). 미래를 위한 계획 수립은 중대한 이해관계가 걸리고 가치들이 분쟁하고 결정이 시급한 경우에는 까다롭다. 그러한 인자들은 종종 개발 비전들 사이에서 긴장을 유발한다. 일반적으로 의사결정자들(가구, 지역 또는 국가 정부, 국제기관 등)은 부분적으로 과거에 비추어서(예: 가까운 장래에 대한 전망은 종종 최근의 극한 현상 경험에서 도출됨), 또 부분적으로 미래는 어떻게 다를지 예상하여(공식적 또는 비공식적 예측,

시나리오, 비전의 설정 과정 또는 과정을 사용해서) 미래를 예상한다(Miller, 2007). 미래를 한층 더 예상할수록 필히 더 큰 불확실성이 따른다. 이러한 불확실성을 다루는 가장 흔한 접근법은 초반에 실제 변화방향과 비교할 수 있는 미래에 대한 여러 비전(정량적 시나리오 또는 서술적 과정)을 개발하는 것이다(Boulanger 등, 2006a,b; Moss 등, 2010). 시나리오 개발은 자연과학(Nakicenovic 등, 2000; Lobell 등, 2008)과 사회과학(Wack, 1985; Davis, 1998; Robinson, 2003; Galer, 2004; Kahane, 2004; Rosegrant 등, 2011)에서 이미 인정된 연구도구이다. 시나리오는 여러 공간 범위(지구, 국가, 지역)와 시간 범위(수년에서 수십 년, 또는 수세기)에 기초할 수 있다. 재해 위험관리와 기후변화 적응의 통합에서 문제는 재해 위험 전망을 더 큰 시간범위로 확장하면서 적어도 지역 내지 준국가 범위까지 다룰 수 있는 기후자료를 생성하는 것이다(Gaffin 등, 2004; Theobald, 2005; Bengtsson 등, 2006; van Vuuren 등, 2006; Grubler 등, 2007; Moss 등, 2010; Hallegatte 등, 2011a).

시나리오 개발은 전통적으로 순차적 방식으로 수행되어 왔다(Moss 등, 2010). 예를 들어, 기후변화 시나리오 개발의 첫 단계는 대체로 온실가스 배출의 주요 결정인자(예: 인구변화, 도시화 등)에 대한 구조적 전망을 포함하였다. 그것들을 사용해 배출량으로부터 농도와 복사강제력이 추정되었고 영향 연구에 사용될 수 있는 기후 전망이 생산되었다. 기후 시나리오를 재해 위험관리와 기후변화 적응에 사용할 때의 어려운 점 하나는 지역기후의 특성을 포함해 극한기후 및 극한기상 현상에 관련된 불확실성이었다(3.2.3절). 미래의 사회경제적 변화(인구통계, 국민들의 선호, 기술)도 매우 불확실하고, 따라서 시나리오는 적응전략을 설계하고 절충을 분석하기 위해 다양한 미래를 고려해야 한다(예: Hall, 2007; Lempert, 2007; Lempert and Collins, 2007; WGBU, 2008; Dessai 등, 2009a,b; Hallegatte, 2009). 대안적 접근법들은 먼저 복사강제력 시나리오에 초점을 맞춘 후에 그러한 궤도에 영향을 줄 수 있는 경제적, 기술적, 인구, 정책 및 제도적 인자들을 분석한다(Moss 등, 2010). 강력한 의사결정(예: Groves and Lempert, 2007; Lempert and Collins, 2007; Groves 등, 2008); 정보격차 분석(Hine and Hall, 2010); 또는 공동이익 추구, 후회없는 전략, 융통성, 가역성(예: Fankhauser 등, 1999; Goodess 등, 2007; Hallegatte, 2009)에 기초하는 다른 접근법들도 있다.

시나리오 개발에는 상당한 기후, 사회, 환경, 경제 자료가 필요한데 이것들의 가용성과 접근성이 모든 국가에서 균등하지는 않다. 정성적 시나리오는 전문가 판단(예: 델파이)에 기초해 또는 컨설팅을 통해 설계된 과정에 기초해서 생산될 수 있다. 그러한 시나리오는 종종 미래에 대한 여러 비전을 보여주는 다양한 사고방식 또는 세계관을 반영한다.

변화하는 극한기후 및 기상에 적응하기 위해 어려운 선택이 점점 더 필요해질 수 있다. 예를 들어, 많은 곳에서, 가용수량 감소 시나리오에 대한 적응은 기존 농업생산을 유지할 충분한 관개를 제공하기 위해 물 기반시설에 대한 투자를 늘리거나, 물을 덜 소비하는 작물로 농업생산을 전환하는 것을 포함할 수 있다(Rosenzweig 등, 2004; ONERC, 2009; Gao and Hu, 2011). 템즈강 유역의 미래 홍수위험에 대한 적응을 고려해 영국환경청(UK Environment Agency) (2009)은 홍수관리에 3가지 기간 동안의 4가지 시나리오를 적용하였다. 폭넓은 컨설팅을 통해, 외부 댐의 건설이 정당해질 수 있고 특히 시간 경과로 경제 및 기후변화 조건이 변하므로 2070년까지는 현재의 기반시설을 개선하는 것이 바람직한 전략으로 판단되었다.

다양한 옵션 중 선택된 것들에 대한 평가는 해당 지역에 대한 이해관계자들의 향후 견해와, 정치적 과정을 통해 정보에 입각한 적응 결정에 달렸다. 사회 불확실성과 환경 불확실성을 명쾌하게 인정하는 한 시나리오 접근법에서는 기후변화에 관련된 미래 위험을 관리할 유연한 적응경로들을 확인한다(Yohe and Leichenko, 2010). 위험관리 원칙들에 기초해(이것은 불확실성이 큰 상황에서 사회나 개인의 안녕을 개선하기 위하여 다각화와 위험분산 메커니즘의 중요성을 강조한다), 이 접근법을 사용해 사회를 용인 가능한 위험수준 이하로 유지하기 위한 일련의 적응전략을 찾을 수 있다. 정책입안자, 이해관계자, 전문가 집단이 설계하고 이행하는 이 전략들은 시간이 지나면서 기후변화 지식과 관련 기후위험 진전을 진화시킬 것으로 예상된다. 이것을 뒷받침 하는 유연한 적응 또는 적응적 관리 접근법도 사회를 용인 가능한 위험수준 이하로 유지하기 위해서 기후변화 완화가 필요할 것임을 인정하면서 적응과 기후변화 완화의 연계를 강조한다(Yohe and Leichenko, 2010).

예측 시나리오와 위험관리 접근법과는 달리, 탐구적 규범적 접근법은 바람직한 대체 미래를 표현하는 시나리오를 개발하는 데 사용될 수 있다. 이것은 특히 지속가능성의 경우, 가장 가능성 높은 미래가 가장 바람직한 미래가 아닐 수도 있는 경우(Robinson, 2003), 그리고 많은 사람들이 빈곤, 불평등, 부조리는 지속가능한 개발과 양립 불가능하다고 생각하는 경우에 특히 중요하다(Redclift 1987, 1992; St. Clair, 2010). 이러한 종류의 지속가능한 미래에 도달하기 위해 상당한 혁신이 필요한 경로는 재구성 기법(backcasting technique)에 의해 뒷받침 될 수 있다. 재구성 과정에서는 원하는 결과를 달성할 가능성과 결과달성의 영향을 탐구하는 규범적 시나리오를 개발한다(Robinson, 2003; Carlsson-Kanyama 등, 2008). 재구성에서는 그러한 조건을 달성하는 데 필요할 정책적 대책을 중심으로, 바람직한 미래를 달성할 방법에 관심을 둔다. 지방 이해관계자들이 지속가능한 개발 관련 비전 활동에 관여하는 참여적 재구성도 결정을 형성하고 결정을 내리는 데 참여할 기회를 제공한다. 비전수립이 반복되는 경우, 그것도 시민들의 신념, 가치관, 선호를 기초로 재해 위험관리 적응적 전략을 구성하는 개발 및 학습 과정을 추적할 가능성을 제공한다(Robinson, 2003). 기후변화와 그것의 원인 및 결과를 포함해 태도와 핵심 신념의 변화는 느리게 진행된다(Volkery and Ribeiro, 2009).

미래 계획에 예방적 차원의 추가는 다중적이고 동적인 불확실성 속에서 혁신적 이행을 추구하는 데 아주 중요하다. 예방적 이행 학습에 관한 문헌은 이것이 어떤 모습인지에 대한 경험을 약간 제공한다(Stevenson, 2002; Kelleher, 2005). 의사결정과 정책의 틀 설정 및 협상은 이해관계자들이 수 차례 참여하면서 여러 가지 미래가 수반할 수 있는 것들의 의미를 탐구하고, 불가피한 절충과 승자와 패자를 되짚어보고, 새로운 문제에 창조적으로 적응하기 위한 확신을 구축하는 과정을 통해 포괄적으로 상황을 반영할 수 있다(Inayatullah, 2006). 이러한 종류의 학습은 위험에 처한 사람들의 기술, 지식, 비전을 강조하고, 심지어 가장 취약한 사람들에게서 나오는 리더십도 지원하는 것을 목적으로 한다. 조직 수준에서 개발된 과정(Biggs 등, 2007), 주인의식을 창출하기 위한 내러티브(Frittaion 등, 2010), 안전하고 반복적인 학습 공간 제공(Kesby, 2005)을 연결하는 지역적 및 전자구적 시나리오의 결합은 학습을 강화할 수 있다.

시나리오, 전망, 예측은 모두 계획 수립에 유용하고 중요한 입력 자료이지만, 실제 계획 수립과 의사결정은 여러 이해관계자와 행위자들이 관련된 복잡한 사회정치적인 과정이다. 불확실성, 기습성, 극한 현상, 전환 정점에 대해 탐구하는 시나리오 구축 및 내러티브 창작에 의해 많은 진척이 이루어졌지만, 비전 수립에서 계획, 정책입안, 이행으로의 이전은 여전히 이해가 부족한 상태다(Lempert, 2007). 불확실성, 서로 다른 스칼라에 대한 니즈, 사용자들의 훈련 부족은 매우 과학적인 시나리오조차도 널리 이해되지 못하게 방해할 수 있다(Gawith 등, 2009). 시나리오 구축 경험은 그것이 기후변화 인식 제고에 유용하다는 것을 강조한다(Gawith 등, 2009). 그러나 공적 논쟁에서 정책입안과 이행으로 나아가기 위해 유용한 시나리오를 구축하기 위해서는 절차적 안정성, 신뢰를 구축하는 영구적이고 유연한 제도 및 거버넌스 구조, 그리고 새로운 통찰을 효과적이고 공평한 위험관리에 이용하는 경험이 필요하다(Volkery and Ribeiro, 2009).

복잡성과 불확실성을 수용하는 적응적 학습 능력을 개발하는 데는 선택을 지원하고 다중 가치와 야심을 수용할 수 있는 탐구적이고 창의적인 미래 비전이 필요하다(Miller, 2007). 재해 위험관리와 기후변화 적응 그리고 이 둘 사이의 시너지는 지속가능하고 복원력 있는 미래를 위한 계획에 기여할 수 있지만 그러기 위해서는 고려되는 미래의 다양성 확대, 바람직한 미래의 규명, 그것들에 일치하는 장단기 가치와 이행의 규명이 필요하다.

8.6.2. 접근법, 도구 및 통합 관행

앞서 고찰하였듯이, 내러티브 과정(Tschakert and Dietrich, 2010)과 모의(Nicholls 등, 2007)는 가능한 미래를 예측하고 토론하는 데 도움이 될 수 있다. 이 절에서는 의사결정자와 기획자들이 극한기후 및 기상 현상의 맥락에서 미래 계획을 수립하는 데 도움이 되는 도구를 고찰한다. 기후변화에 대한 복원력을 강화한 과거 경험에는 특정 의사결정 지원 도구와 그 도구를 사용해 결정을 내리는 거버넌스 및 제조 정황을 포함한다(OECD, 2009b; Burch 등, 2010; Whitehead 등, 2010). 도구로는 정보를 수집, 모니터링, 분석 및 평가하고; 위협을 모의 실험하고; 가능한 영향을 전망하고; 대응에 따른 영향을 탐구하는 것이 포함된다. 효과적인 접근법은 극한기후의 잠재적 압력에 대한 이해, 영향받은 사회적 및 물리적 시스템의 전환 정점, 적응적 대응을 위해 적시에 변화를 추적하고 새로운 위협을 식별하기 위한 모니터링 시스템을 결합한다. 이것은 참여적 숙고를 포함해 정량적, 정성적 데이터와 데이터 분석을 할 수 있는 방법이 필요하기 때문에 쉽지 않다(NRC, 2010).

의사결정자에게 재해정보 제공 능력을 향상시키기 위한 제도적 혁신은 재해 위험 정보를 관리 및 보급할 국가적 또는 지역적 장치의 마련(von Hesse 등, 2008; Corfee-Morlot 등, 2011)과 국가의 기상, 지리, 해양, 기타 부처에 분산된 기능들의 통합을 포함한다. 세계기상기구와 파트너 조직들은 전지구 기후서비스 체제(Global Framework for Climate Services)의 수립을 제안하였다. 이것은 과학적 기후정보와 계획, 정책 및 실무 예측을 개발하고 통합함으로써 전세계가 기후변동성에 더 잘 적응하고 변화하도록 돕기 위한 합동 노력이다(WCC-3, 2009). 포괄적 위험평가를 위한 새로운 오픈소스 도구들은 여러 범위와 여러 기관의 정보를 취합하는 방법이 되고 있다(OECD, 2009b). 점점 더 많은 국가들이 지역 수준의 재해 손실 및 영향을 체계적으로 기록하고 있으며(DesInventar, 2010), 그러한 정보를 사용해 공적투자 결정(Comunidad Andina, 2007, 2009; von Hesse 등, 2008)과 국가 계획을 안내하는 메커니즘을 개발하고 있다. 그러나 아직은 그러한 도구와 제도적 접근법이 특히 여러 범위에 걸친 위험관리 전략개발 및 의사결정에 통합적으로 이용된 경험은 제한적이며, 그러한 이용에 대한 평가도 매우 제한적이다.

8.6.2.1. 분석과 모델링 도구의 개선

환경 및 기후 정책을 설계하는 데는 다양한 도구가 사용될 수 있다. 그중에서 특히 통합 환경-에너지-경제 모델들은 인구통계, 기술, 경제 추세를 고려해 장기 전망자료를 생산한다(예: Edenhofer 등, 2006; Clarke and Weyant, 2009). 이 모델들은 다양한 정책의 결과 평가에 사용될 수 있다. 그러나 그러한 모델들은 대부분 특정 극한기후나 재해를 해결하지 못하는 시간 및 공간 범위를 갖고 있다(Hallegatte 등, 2007). 공간 해상도가 더 높은 수치 모델(예: 입출력 모델, 계산 가능한 일반 평형 모델)은 재해결과를 평가할 수 있으므로 재해 위험관리 이행의 비용과 편익을 비교할 수 있다(Rose 등, 1997; Gordon 등, 1998; Okuyama, 2004; Rose and Liao, 2005; Tsuchiya 등, 2007; Hallegatte, 2008b). 특히 재해대응 비용과 재해예방 비용을 비교할 수 있다. 재해는 경제 측면에서 측정하기 어려운 무형 영향을 주기 때문에(예: 인명손실, 생태계 손실, 문화유산 손실, 분배 영향), 정량적 모델이 필요하지만 바람직한 정책과 재해 위험관리 이행을 결정하기에는 충분치 않다. 모델에 통합되거나 다른 형태의 분석에 사용되든 비용편익분석은 비용과 편익을 비교하는데 유용하다. 그러나 무형의 것들이 중요한 역할을 하고 그 가치를 평가할 방법을 결정할 수 없는 경우에는 다른 의사결정 도구와 접근법이 필요하다. 다중기준 의사결정(Multi-criteria decisionmaking) (Birkmann, 2006), 건실한 의사결정(robust decisionmaking) (Lempert 2007; Lempert and Collins, 2007), 이전관리 접근법(transition management approaches) (예: Kemp 등, 2007; Loorbach, 2010), 집단-프로세스 분석-심의 접근법(group-process analytic-deliberative approaches) (Mercer 등, 2008) 등이 그러한 대안적 의사결정 방법들의 예이다.

또한 정책의 성패를 측정할 지표도 필요하다. 예를 들어, 기후변화 적응정책은 종종 적응능력 강화를 목표로 한다. 정책의 효과와 결과는 흔히 GDP 같은 고전적 경제지표로 측정한다. 그러한 지표의 한계는 잘 알려져 있으며, 최근 보고서들에도 잘 요약되어 있다(예: CMEPSP, 2009; OECD, 2009a). 복원력 있고 지속가능한 미래를 향한 진척을 측정하기 위해서는 주식, 기타 자본(자연자본, 인적자본, 사회자본), 분배 문제, 복지적인 인자(건강, 교육 등) 같은 추가 요소들을 포함시킬 필요가 있다. 많은 대체 지표들이 제안되었지만 만장일치된 것은 없다. 그러한 대체지표의 예로는 인간 개발 지수(Human Development Index), 참 진보 지표(Genuine Progress Indicator), 지속가능 경제복지 지수(Index of Sustainable Economic Welfare), 생태 발자국(Ecological Footprint), 정규화 GDP(normalized GDP) 및 다양한 취약성 및 적응능력 지표들이 있다(Costanza, 2000; Yohe and Tol, 2002; Lawn, 2003; Costanza 등, 2004; Eriksen and Kelly, 2006; Jones and Klenow, 2010).

8.6.2.2. 제도적 접근법

가장 성공적인 재해 위험관리 및 적응 노력은 지역정부 이외에 지역 리더와 이해관계자들 간의 파트너십 개발을 촉진시킨 요소들을 포함한다(Bicknell 등, 2009; Pelling and Wisner, 2009; Gero 등, 2011). 이러한 것들은 지역의 강점과 우선순위가 재해 위험관리에서 표면으로 나설 수 있게 하며, 커뮤니티(지방정부를 포함)는 자원과 전략적 범위가 제한되어 있고 단독으로는 위험의 기저동인을 다룰 수 없다는 것을 인정한다(Bhattamishra and Barrett, 2010). 지역의 프로그램은 점차 재해 대비 및 대응 강화 쪽에서 지역 위험수준 및 취약성 저감 쪽으로 초점을 옮기고 있다(예: 비탈 안정화, 홍수관리대책, 배수로 개선 등을 통해) (Lavell, 2009; UNISDR, 2009; Reyos, 2010). 지속가능한 지역 규모에서의 프로세스가 부상한 경우의 대부분은 국가정부가 책임과 자원을 지방에 이양한 경우 그리고 콜롬비아의 Manizales 같은 도시들처럼 지방정부가 시민들에 대하여 더 책임을 지는 경우들이다(Velásquez, 1998, 2005). 방글라데시와 쿠바에서, 굳건한 지방조직을 기반으로 하고 열대저기압으로 인한 사망률을 극적으로 낮춘 재해대비 및 대응의 성공은 국가수준의 지속적 지원에 힘입은 것이었다(Haque and Blair, 1992; Bern 등, 1993; Ahmed 등, 1999; Chowdhury, 2002; Kossin 등, 2007; Elsner 등, 2008; Karim and Mimura, 2008; Knutson 등, 2010; World Bank, 2010b). 사회기금 같은 메커니즘을 통해 지방정부, 국가정부, 국제기관의 지원을 받는 커뮤니티 주도적 접근법의 사례가 증가하고 있다(Bhattamishra and Barrett, 2010).

보험, 재보험, 보험풀, 대재해 채권(catastrophe bond), 소액보험 등과 같은 위험 이전 장치들은 경제적 위험을 한 쪽에서 다른 쪽으로 전환시켜 보험료 같은 납입금의 댓가로 보상을 제공한다(사후 효과) (5.6.3, 6.5.3, 7.4절, 사례 연구 9.2.13 참고). 또한 그러한 메커니즘은 가구, 국가, 지역 수준의 취약성을 줄이고 경제적 복원력을 증가시키기 때문에 위험 예기와 저감에도 도움이 될 수 있다(Linnerooth-Bayer 등, 2005). 일례로, 그러한 보험으로 말라위의 가뭄피해 농부들은 고수확 및 고위험 작물의 개량 종자를 구할 수 있었고 그리하여 소득증대와 고수익 기술 채택 면에서 한 단계 도약할 수 있었다(World Bank, 2005; Hazell and Hess, 2010). 그러나 그러한 제도는 특히, 저소득 국가와 많은 중소득 국가들에서는 포괄적 위험평가, 필요 데이터, 법률 체계, 필수 기반시설 등의 부재를 비롯해 여전히 장애물이 많고, 그러한 제도가 효과적일 수 있는지 판정하기 위해 더 많은 경험이 필요할 것이다(Linnerooth-Bayer and Mechler, 2007; Cummins and Mahul, 2009; Mahul and Stutley, 2010).

재해 위험관리와 적응은 위험별 대응전략과 더불어 일반 적응능력 강화를 통해서도 다룰 수 있다(IFRC, 2010). 이 능력에는 새로운 지식의 심의와 적용에 필요한 정보, 기술 및 자원에의 접근, 그리고 포괄적 의사결정을 지원할 제도가 포함된다. 이것들은 지속가능성과 복원력의 초석이다. 불확실성 때문에 의사결정자는 위험별 위험저감 이행을 위한 자금을 투입하기 어려울 수도 있지만, 그러한 장벽이 복원력 있고 지속가능한 사회의 일반 토대에 투자를 못하게 하지는 않는다. 중요한 것은, 그러한 토대로부터 지역 행동주체들은 장단기적으로 위험을 어떻게 관리할지에 대하여 더욱 정보에 입각한 선택을 할 수도 있다. 예를 들어, 슬럼 주민들로 형성된 연맹은 점점 더 적극적으로 그들 거주지 내 재해 위험을 식별하여 조처하였고 그것을 보다 효과적이고 광범위하게 만들기 위해 지방정부와의 파트너십을 추구하였다(IFRC, 2010).

시스템 및 구조의 변화는 다양한 당사자들의 권리와 책임을 기술하는 사회적 계약에 대하여 새로운 사고방식이 필요할 수 있다. 기술적 문제에 적합한 사회계약은 적응문제를 다루기에는 한정적이고 불충분할 수 있다(Heifetz, 2010). Pelling and Dill(2009)은 재해가 발생할 때 사회계약이 시험되는 방식과, 재해가 어떻게 사회적 혁신의 여지를 제공하거나 재해 발생 전 궤적에 기초한 혁신적 경로를 촉진할 수 있는가를 설명한다. O'Brien 등(2009)은 복원지향적 사고가 어떻게 기후변화 속에서 사회계약에 대한 새로운 논쟁에 기여하고, 사회집단과 생태계들의 절충 그리고 타인과 후세대를 향한 권리와 책임에 주목하게 하는가를 고찰한다.

8.6.2.3. 다중 목표 달성을 위한 혁신적 전략과 이행

극한기후 및 극한기상 현상이 향후 수십 년간 큰 폭으로 증가한다면, 기후변화 적응과 재해 위험저감은 시스템과 제도의 점진적 변화뿐 아니라 혁신적 변화도 요할 가능성이 높다. 혁신은 근본적인 정성적 변화, 또는 전망이나 초기 조건의 변화에 관련된 구성분 내지 구조의 변화라고 정의할 수 있다(Box 8-1). 혁신은 종종 패러다임의 변화를 수반하며, 인식과 의미의 전환, 기저규범과 가치의 변화, 사회적 네트워크와 상호작용 패턴의 재구성, 권력구조의 변화, 새로운 제도적 장치와 규제 틀의 도입을 포함할 수 있다(Folke 등, 2009, 2010; Pahl-Wostl, 2009; Smith and Stirling, 2010).

혁신적 정책과 대책은 재해 위험을 줄이고 기후변화에 적응할 전략으로서 의도적으로 적용될 수도 있지만 많은 경우에 그러한 전략은 '초점현상(focusing event)'라고 불리기도 하는 극한 현상에 의해 촉발된다(Birkland, 1996). 그러나 극한 현상이 어떤 변화를 일으키는가에 대한 여부는 불명확하다. 정책변화 과정은 미묘하고 복잡하며 학습과정과 연결되어 있기 때문이다(Birkland, 2006). 체계적 학습과정과 작은 재해 간의 관계를 탐구한 Voss and Wagner(2010)는 학습실패가 미래 재해의 가장 흔한 전제조건임을 깨달았다. 그러나 학습에는 많은 차원이 있고(예: 인지적 학습, 규범적 학습, 관계적 학습; Huitema 등, 2010), 학습은 혁신적 변화를 시작하는 데 필요조건이기는 해도 충분조건은 아닐 수 있다.

의도적 변화와 변화관리의 과정에 대한 이해는 극한기후 및 극한기상 현상에 대한 사회적 대응에 대한 통찰을 제공한다. 사업과 조직의 성공적인 변화관리 접근법은 정의된 일련의 단계에 초점을 맞춘다(Harvard Business Essentials, 2003). 예를 들어, Kotter(1996)는 변화를 촉진하는 8단계를 소개하였는데, 이는 다음과 같다: (1) 긴박감 조성; (2) 선도팀과의 협력; (3) 변화 비전과 전략 개발; (4) 이해와 동의를 얻기 위한 소통 개시; (5) 타인에게 권한을 부여한 뒤 행동 촉구; (6) 단기적 성과 도출; (7) 속도 유지; (8) 새로운 문화 창출. 또한 Kotter(1995)는 너무 심한 무사안일을 허용하는 것, 충분히 강력한 지도 연합세력을 만들지 못하는 것, 건전한 비전의 힘을 과소평가하는 것 등 변화를 이끌 때 범하는 8가지 오류도 소개하였다. 많은 변화 이니셔티브는 불확실성과 불균형을 낳고 파괴적이거나 방향감각이 없는 것으로 간주된다는 것을 인정하는 것도 중요하다(Heifetz 등, 2009). 더욱이 변화로 인해 잃을 기득권이 더 많을 때는 쉽게 혁신을 선택하지 않는다(Christensen, 1997).

FAQ 8.2 | 혁신적 변화는 바람직한가, 만약 그렇다면 누가 주도할 것인가?

혁신이 그 자체로 언제나 바람직한 것은 아니다. 혁신은 개인, 문화, 제도, 시스템의 변화를 수반하는 복잡한 과정이다. 혁신은 익숙한 것의 상실을 의미할 수 있고 그래서 불균형과 불확실의 조짐을 야기할 수 있다. 일부 경우에서, 시스템이나 과정의 성질, 형태, 또는 외관의 큰 변화는 일부 집단의 가치와 선호도에 불일치할 수 있다. 따라서 혁신은 어떤 이들에게는 위협으로 인식되고 어떤 이들에게는 이롭게 느껴질 수 있고, 여러 범위에서 실제 또는 느낌상 승자와 패자가 구분될 잠재력으로 인해 사회적 불안 또는 긴장감이 조성된다. 이것이 바람직한지 여부와 무관하게, 혁신은 현재 글로벌화, 사회발전, 기술발전, 환경변화의 영향으로 유례없는 속도와 범위로 일어나고 있다는 것을 인정하는 것이 중요하다. 기후변화 자체는 극한기후 변화를 통해 생태계와 사회에 광범위한 영향을 끼칠 시스템 규모의 혁신을 의미한다. 기후변화와 재해 위험 변화에 대한 대응은 점진적일 수도 있고 혁신적일 수 있다. 혁신적 대응이 언제나 급진적이거나 대단한 파급력을 지니는 것은 아니다. 때때로 그것은 그저 가정을 질문하거나 새로운 관점에서 문제를 고찰하는 것에서 그치기도 한다. 혁신적 대응이 언제나 가능하지는 않지만 학습을 통해, 특히 현재의 사고방식과 재해 위험관리 및 기후변화 적응 접근법의 맹점을 탐구하는 반사 학습(reflexive learning)을 통해 촉진될 수 있다. 그러나 위험과 장벽이 있기 때문에 혁신은 리더십도 필요하다. 지위와 권한을 가진 권위자의 리더십뿐 아니라 현재의 이행을 가치와 연결시킬 수 있고 지속가능하고 복원력 있는 미래를 위한 집단 비전을 가진 개인과 집단의 리더십도 필요하다. 점진적 적응과 혁신적 적응 간의 균형을 고려하면 범위의 중요성은 시들해진다. 첫째, 지역적으로 위험에 처한 사람들이 더 열성적인 참여를 통해 리더십 능력을 강화하고 위험관리를 위한 적응적 실험에 착수할 수 있는 기회 때문이고; 둘째, 한 시스템이나 부문(예: 행정, 사회 또는 기술 시스템 또는 부문)의 혁신, 점진적 변화, 또는 안정성이 다른 시스템이나 범위에서 적응을 유발 또는 제한할 잠재력 때문이다. 그러므로 적응적 재해 위험관리를 관리하는 데는 범위 및 부문간 소통이 중요한 도구가 된다.

8.5.2절에서 고찰했듯이, 극한기후 및 극한기상 현상뿐 아니라 대응에서도 승자와 패자가 존재한다. 그 결과, 근본적인 변화는 흔히 가장 많은 영향을 받는 사람들의 저항을 받는다(Kotter, 1996; Kegan and Lahey, 2009). 사람들, 집단, 정부로 하여금 결과적인 불균형을 잘 관리하도록 하는 것이 성공적 혁신에 필수적인 것으로 보인다.

변화와 혁신에 대한 최근 접근법들의 상당수는 학습하는 조직과, 개인과 집단의 의식구조 또는 심성 모형을 바꾸는 것의 중요성에 초점을 맞춘다(Senge, 1990; Heifetz 등, 2009; Kegan and Lahey, 2009; Scharmer, 2009). 이러한 혁신적 변화에 관한 문헌들은 기존의 조직 및 제도 구조와 문화 규범에 기초한 관리를 통해 다룰 수 있는 기술적 문제들과 가정, 신념, 우선순위, 충성의 변화를 포함해 자세의 변화를 요하는 적응적 변화를 구분한다(Heifetz 등, 2009; Kegan and Lahey, 2009). 재해 위험관리와 기후변화 적응을 기술적 문제로 대하는 것은 기술 향상, 제도 개혁, 또는 이주 인구관리에만 초점을 맞추지만, 적응적 문제로 보는 것은 가치와 행동(예: 인간의 안전을 촉진하는 가치 대 건강과 생계를 뒷받침하는 정책이나 행동), 신념(예: 재해는 불가피하다는 또는 적응은 자동으로 일어난다는 신념), 경쟁하는 약속(예: 보조금 의존을 유지하거나 사회계층을 보존한다는 약속) 사이의 간극 쪽으로 관심을 돌린다. 대부분의 문제는 기술적 요소와 적응적 요소 둘 다 갖고 있지만 적응적 문제를 오직 기술적 문제로만 대하는 것은 성공적 결과를 한정시킨다(Kotter, 1996; Kegan and Lahey, 2009). 사회를 개방과 적응 경로 쪽으로 움직이는 혁신적 변화는 자세의 변화뿐 아니라 시스템과 구조의 변화에도 좌우된다. 사회생태시스템 사례 연구를 보면 시스템 혁신에는 세 단계가 있다. 첫 단계에서는 변화에 대비하거나 시스템을 변화에 대비시킨다. 둘째 단계는 실제 위기든 인지된 위기이든지 간에 갑작스런 위기를 변화의 기회로 사용하여 전환을 탐색한다. 셋째 단계에서는 새 시스템의 복원력을 구축한다(Olsson 등, 2004; Chapin 등, 2010). 전통적인 관리 접근법은 불확실성 저감을 강조하면서 불확실성을 줄이면 시스템이 예측 가능하고 통제 가능해질 것이라 기대한다. 그러나 기후변화의 경우, 기후변수와 극한 현상에 대한 미래 전망은 불확실성을 포함할 것이다(3.2.3절 참고). 결과적으로, 크고 비가역적인 불확실성 속에서 적응적이고 강력한 관리 접근법이 필요하다.

8.6.3. 혁신적 변화 촉진

금 세기 내에 기온이 4℃ 상승하는 것과 같이 급속하고 심각한 기후변화에 관련된 극한기후와 기상에 적응하는 것은, 혁신적 정책과 사회변화가 없이는 어려울 것이다. 전향적 정책을 통해 선택되지 않으면, 강제 혁신 및 위기가 발생할 수 있다(New 등, 2011). 혁신적 적응은 궤적이 선형 궤적과 쉽게 식별 가능한 개별 전략과 결과를 가진 유한한 프로젝트를 강조하던 것에서(Schipper, 2007) 적응적 관리, 학습, 혁신, 리더십을 포함하는 접근법으로 전환하는 것을 뜻한다. 이러한 적응의 측면이 지속적인 사회문화적 및 제도적 학습과 정에 포함되었다는 상황이 증가하는 추세이다. 이것은 위험에 대한 학습, 대응 방안 평가, 방안에 대한 실험과 수정, 정보 교환, 가역적이고 조정 가능한 전략을 사용하여 공공 가치에 기반한 절충을 강조하는 적응 프로젝트에서 관찰될 수 있다(McGray 등, 2007; Leary 등, 2008; Hallegatte, 2009; Hallegatte 등, 2011b).

혁신적 적응은 수많은 인자들에 의해 가능해질 수 있다. 그러한 인자 가운

데 일부는 취약성에 대한 관심을 촉진시키는 주요 현상 같은 외부 동인이나, 주요 변화를 고려하게 하는 기타 압력원의 존재에서 발생한다. 이해 가능하고 사회적으로 용인 가능한 옵션의 가용성, 이행을 위한 자원에의 접근, 인센티브의 존재 같은 협조적인 사회적 배경도 중요할 수 있다. 그 밖에도 효과적인 제도와 조직에 관련된 많은 인자들이 있으며 아래 절들에서 고찰한다.

8.6.3.1. 적응적 관리

일반적으로 적응적 관리는 이행된 전략의 결과로부터 체계적으로 학습하고 외부 인자들의 변화를 전향적으로 고려하여 관리 정책 및 실무를 개선하기 위한 구조적 과정이라고 정의할 수 있다(Pahl-Wostl 등, 2007; Pahl-Wostl, 2009; 6.6.2절 참고). 적응적 관리의 원칙은 보다 과정 위주의 재해 위험관리 접근법에 기여할 수 있고, 이미 불확실한 조건 하에서 지속가능한 자연자원 관리를 촉진하는 데서 성공하였다(Medema 등, 2008). 적응적 관리는 엄격한 의제와 실무에 갇히지 않은 적응적 조직과 관련 있으며, 그래서 새로운 정보, 새로운 문제, 새로운 운영방식을 고려할 수 있다(Berkhout 등, 2006; Pelling 등, 2007). 환경, 경제 및 사회의 조건과 변화를 모니터할 수 있고 정책 전환과 리더십 변화에 대응할 수 있고 혁신적 중재의 기회를 이용할 수 있는 조직은 특히 장기적이고 상대적으로 확률이 낮은 현상에 대한 복원력에서 핵심이다. 가장 적응을 잘 할 것으로 보이는 사회시스템은 조직의 공식적 역할에 학습, 실험, 소통 그리고 신뢰성 있고 신속하며 수혜자에게 책임을 져야 하는 재해대응을 위한 비공식 사회적 여지를 결합할 수 있다(Pelling 등, 2007).

적응적 관리는 지역적 실험에서 실패할 수 있는 지식으로부터 평판리스크(reputational risk)를 인지하는 조직들에게는 하나의 도전으로 간주된다(Fernandez-Gimenez 등, 2008). 이러한 접근법이 잘 통하는 경우에는 불확실한 미래에 직면하는 정책환경의 기본 자원이자 삶의 질과 시장 경쟁력에도 이로운 이해관계자들 사이의 신뢰구축을 포함하는 특정 관리목표를 뛰어넘는 결과가 나왔다(Fernandez-Gimenez 등, 2008). 실험이 잘못될 때는 혁신의 촉진을 우려하는 국가와 지방의 행동주체들 사이의 관계를 재검토할 필요가 있다. 실험과 혁신에 투자하려면 생산적이지 않거나 비용효율적이지 않을 수 있는, 또는 단기적이지 않거나 기존 위험조건 하에 있지 않는 프로젝트에 인내심을 발휘할 필요가 있다. 그러나 일단 위험조건이 뜻밖의 비선형적 방향으로 변하면 사회를 적응에 적합하게 만들어주는 것은 결과의 다양성이다.

8.6.3.2. 학습

적응은 동적인 개념이므로, 먼 미래의 적응을 목표로 하기보다 현재의 복원력 구축과 적응능력 강화를 위하여 반복적인 과정으로의 학습이 필요하다(1.4.2절 참고). 사회적이고 집단적인 학습은 합동 문제해결, 권력공유, 반복 성찰을 위한 지원을 포함한다(Berkes, 2009). 완화 정책에 대한 대응전략 설계에서 새로운 정보 고려의 필요성이 언급되어 왔다(Ha Duong 등, 1997; Ambrosi 등, 2003). 적응적 관리는 점진적이고 반복적인 실천을 통한 학습(learning-by-doing) 과정이다. 이를 통해 참가자들은 시스템 변화를 이해하고 행동에 참여하고 마침내 변화와 이행을 되새겨 본다. 실험적 학습(Kolb, 1984)과 혁신적 학습(Mezirow, 1995)을 비롯한 학습이론에서 나온 교훈은 구체적인 학습주기로 실천을 통한 학습의 중요성, 문제해결 행동, 학습활동에 관련된 의미와 가치의 재해석을 강조한다.

학습은 불확실성과 극한 현상을 수용하며 살기 위한 핵심 요소이며, 경쟁하는 세계관, 지식체계, 가치를 고려하고 혁신과 창조적 적응을 촉진시키는 학습과 실험에 적합한 종류의 사회적/제도적 여지를 구축함으로써 촉진된다(Thomas and Twyman, 2005; Armitage 등, 2008; Moser, 2009; Pettengell, 2010). 다양한 이해관계자를 포함하는 대화와 참여적 취약성 평가를 위해 공통 플랫폼을 촉진하는 것이 그러한 예이다(ISET, 2010). 돌발적인 변화는 기존 기술과 기억을 능가할 수 있다는 것도 알아야 한다(Batterbury, 2008). 적응 프로젝트는 새로운 정보, 기법 또는 조건이 나타날 때 다중 위험과 압력원에 노출된 사람들 사이에서 조정을 함으로써 실시간으로 적응능력을 촉진하고 불확실성을 관리하는 것이 특정 영향을 대상으로 하고 특정 미래 기후정보에 의존하는 보다 협소하게 설계된 계획 접근법보다 효과적이라는 것이 입증되었다(McGray 등, 2007; Pettengell, 2010). 인도주의 부문에서는 제도화된 학습과정이 리더십 혁신에 기여해 왔다(Box 8-3).

Box 8-3 | 인도주의 부문에서 제도화된 연구와 학습

인도주의 부문의 중요한 속성 중 하나는 학습할 준비가 되어 있다는 것이다. 연구와 학습은 인도주의적 행동의 책임성과 성능을 위한 적극적 학습 네트워크(Active Learning Network for Accountability and Performance in Humanitarian Action)가 착수한 것과 같은 수행과 실무에 대한 범부문 검토를 비롯해 여러 수준에서 수행된다. 연구와 학습은 조직의 내부적 필요(예: 적십자와 적신월사) 또는 개별 현상의 결과(예: 인도양 쓰나미 이후에 인도주의 부문 실무에 관한 랜드마크 보고서) (Telford 등, 2006)에 관해서도 수행된다. 조직은 방법, 소구대상(target audiences), 참고기준이 달라 부문들 간의 학습은 어렵지만(Amin and Goldstein, 2008) 그것들은 모두 실용적이고 절차적인 변화를 가져왔다. 실무 분야에서 적극적 실험은 전향적 학습 측면에서 덜 발달되었다(Corbacioglu and Kapucu, 2006). 이해관계가 크고, 신속한 행동 때문에 전통적으로 실천학습(learning-while-doing) 실험을 수행하기 어려웠던 인도주의 부문에서는 적극적인 실험이 어렵다. 실험이 보다 관측 가능한 경우, 예를 들어, 재해예방과 위험저감 또는 복구 활동에서는, 문서화에 상당한 격차가 있어 조직들 사이에 학습결과의 이전이 더디었다. 계층적 거버넌스 모델은 협력의 부재를 촉진시켰고 인도주의 부문과 개발 부문 내에서 기관 간 경쟁을 낳았다. 그것이 부분적으로는 부문간 경험보다 조직 내 경험공유에 기초한 학습이 많은 이유이다(Kapucu, 2009). 그러나 기후변화에 관련된 그리고 글로벌 불평등 및 도시화의 증가 같은 다른 개발 동향에 의해 심화된 범위 증가와 위험 다양성은 부문들 간에 생산적 혁신과 혁신의 기반이 되는 연구 및 실험을 더욱 소통하도록 기부자에게 압력을 가한다.

행동연구와 학습은 복원지향적 사고를 강력히 보완한다. 실험행동의 성공과 실패에 대한 숙고, 학습주기 사이에 지식 전달, 그리고 새로운 종류의 행동으로 이어질 그 다음 번 학습루프를 통해 반복적 또는 주기적 학습을 하는 데 초점을 맞춘다(List, 2006; Ramos, 2006). 1.4.2절에서 설명된 학습 프로세스를 참고하면, 비판적 고찰(critical reflection)은 삼원학습에 아주 중요하다. 비판적 고찰은 이원학습에도, 또는 무엇이 효과가 있고 그것이 왜 사유와 행동의 전환에 중요한가의 질문에서도 핵심이다(Kolb and Fry, 1975; Argyris and Schon, 1978; Keen 등, 2005). 이 반복학습 과정에서는 고찰할 시간을 주는 것이 중요하다. 그것은 끝없이 변하는 조건 아래서 이론과 전략의 개발 및 시험에 필요한 여유를 제공하기 때문이다. 그러한 학습과정을 통해서 개별 및 집단 권한부여가 등장할 수 있고 부분적으로는 혁신을 촉발하도록 확장될 수 있다(Kesby, 2005).

8.6.3.3. 혁신

지속가능성과 복원력 쪽을 지향하는 사회의 혁신은 점진적이고 급진적인 사회적 혁신과 기술적 혁신 둘 다 필요하다. 혁신은 지식, 인지, 소통, 또는 지능에 관련된 비물질적 변화를 의미할 수도 있고 또는 각종 물질자원을 의미할 수도 있다. 실무나 기술에서 약간의 조절이 지속가능성을 향한 혁신적 단계가 되는 경우도 있고, 반면에 더 급진적인 혁신이 필요한 경우도 있다. 혁신에 관한 문헌 중 일부는 점점 더 글로벌화 되어 가는 경제 상황에서 회사들의 경제적 경쟁력을 보장하는 데 초점을 맞추고(Fleysand and Jakobsen, 2010), 어떤 문헌들은 환경과 기업 경쟁력 간의 관계에 집중한다(Mol and Sonnenfeld, 2000). 그 외에도, 사회를 보다 지속가능한 방향으로 혁신시킬 필요성에 자극되어 지난 15년 동안 등장한 혁신에 관한 사회과학 문헌들도 상당하다. 최근 문헌들은 다층적 관점(Multi Level Perspective: MLP) 같은 기술과 혁신 위주 이전을 이해하고 관리하기 위한 새로운 개념과 프레임들을 소개하였다(Rip and Kemp, 1998; Geels, 2002; Geels and Schot, 2007; Markard and Truffer, 2008). 진화론과 기술의 사회학을 접목하면서 MLP는 주요 혁신적 변화를 틈새(niches), 체제(regimes), 제반환경(landscape)의 세 수준에서 일어나는 상호관련 과정의 산물이라고 개념화한다. 이 모델은 사회기술 체제에서 혁신의 점진적 성격을 강조한다. 이전, 즉 하나의 안정된 사회기술 체제에서 다른 체제로의 전환은 제반환경의 압력을 통해 체제가 불안정해질 때 일어나고, 이것은 틈새혁신에 돌파기회를 제공한다.

이 연구분야에서는 사회기술 시스템의 혁신 및 혁신과, 교통, 에너지공급, 농업, 주택 등 안정된 시스템으로부터 지속가능한 대체 시스템으로의 이전을 촉진할 잠재력을 매우 중시한다(Geels, 2002; Hoogma 등, 2002; Smith 등, 2005; Raven 등, 2010). 이 시스템혁신 문헌은 대규모 장기적 사회기술 혁신의 등장과 역할을 분석한다(Kemp 등, 1998).

Box 8-4 | 물 관리에서 혁신과 혁신

많은 지역에서 기후변화의 영향은 홍수와 가뭄에 대한 노출 증가를 통해 주로 물 시스템과 연관된다(Lehner 등, 2006; Smith and Barchiesi, 2009; 2.5절 참고). 물을 토지와 토지이용계획의 핵심 구조적 요소 또는 처리원칙으로서 고려하기 위해서는 당국, 전문가, 이해집단, 대중 간의 기술, 통합 시스템 사고, 매력과 상호영향 측면의 사고방식, 또는 상호동의가 필요하다. 가장 두드러진 변화 중 하나는 네덜란드 정부가 일반관리와 홍수관리에서 물 관리에 대한 급진적인 사고방식의 변화를 요청한 것에서 볼 수 있다. 그 결과로 '하천을 위한 공간(Room for the River)' 정책을 통해 시작된 정책 흐름은 다른 분야의 정부정책에도 크게 영향을 주었다. 현재는 물 관리와 공간계획의 통합이 더욱 강조되고 있으며, 자연적 홍수관리에 토지가 이는 토지이용 실제의 개편과 통합적 경관 계획으로의 점진적인 이행으로 물이 자연적 자연적·구조적 요소로 인식될 수 있도록 요구한다. 제공하는 조절기능이 매우 중시되고 있다. 이것은 토지이용 관행의 수정을 요하고, 물은 자연적 구조적 요소로 인정하는 통합적 토지관리 쪽으로의 점진적 이동을 반영한다. 지대가 낮은 해안간척지와 기타 수문학적으로 불리한 지점에 건축하려는 계획에 대한 사회적 논쟁과, 수상도시에 관한 새로운 발상은 공공측과 민간측이 지속가능한 풍경과 물 관리에 사회적 참여를 상당히 하고 있음을 암시한다. 그러나 그러한 혁신적인 발상이 정책으로 채택되었더라도 사회적 저항이 상당하기 때문에 이행까지는 시간이 걸린다(Walsink, 2006).

기술변화에 직접적으로 좌우되지는 않지만, 기술혁신과 사회혁신은 서로 밀접한 관계가 있으며, 사회적 관행, 제도, 문화적 가치, 지식체계 및 기술의 변화를 전혀 수반하지 않는다(Rohracher, 2008). Box 8-4는 물 관리에서의 그러한 혁신을 설명하고 있다. 이 연구의 핵심 통찰은 사회적 기술적 변화는 기술과 사회 간의 상호 공동발전 과정이라는 것이다(Kemp, 1994; Hoogma 등, 2002; Rohracher, 2008). 역사 시대 동안, 소위 기술혁신으로 새로운 사회기술 시스템이 등장해 옛 것을 대체해 왔고, 그러한 이전의 중요한 특징은 새로운 시스템과 안정되고 지배적인 사회기술 간에 상호작용과 갈등이 일어나고 강성 행동주체들은 평소대로 사업을 방어한다는 것이다(Kemp, 1994; Perez, 2002).

8.6.3.4. 리더십

리더십은 초기 과정에서 재해 위험관리와 기후변화 적응에 중요하며, 또한 이를 장기간 지속시키는 데 아주 중요할 수 있다(Moser and Ekstrom, 2010). 리더십은 방향과 동기부여를 제공하면서 변화를 이끌 수 있고, 따라

서 제도에 의한 리더 홍보는 적응능력의 중요한 요소로 간주된다(Gupta 등, 2010). 하지만 리더십을 어떻게 창출하고 가능케 할지에 대한 지식은 여전히 부족하다. 리더십과 리더는 규칙, 자원, 조직문화를 포함하는 제도적 상황과 무관하게 발전하지 않는다(Kingdon, 1995).

혁신을 촉진시키는 리더는 특정 이슈나 문제에 관련된 폭넓은 기술적, 사회적, 정치적 관점을 이해하고 소통할 능력이 있다. 또한 의미를 재설정하고 제약을 극복하고 정보를 합성하고 지식을 행동으로 혁신시키는 새로운 세력을 만들어낼 수 있다(Folke 등, 2009). 리더십은 사람들, 집단, 조직 또는 정부가 지위, 재산, 안전, 충성, 역량, 사랑하는 사람 등의 손실 같은 혁신적 변화를 통해 경험할 수 있는 각종 손실을 진단한다(Heifetz, 2010). 리더는 개인들과 집단들이 각자의 커뮤니티에서 '적응적인 일'을 기동할 이행을 취하도록 돕고 그리하여 선택과 변화의 시기에 그들과 다른 사람들이 위험을 관리하고 대체적 발전경로를 만들거나, 사람들을 고용하고 지도하여 변화하는 세계에서 번영할 수 있도록 돕는다(Heifetz, 2010).

8.7. 복원력 있고 지속가능한 미래를 위한 재해 위험관리와 기후변화 적응 간의 시너지

이 장에 소개된 평가들에 기초해, 재해 위험관리와 기후변화 적응 사이에는 사회적, 경제적, 환경적 지속가능성과 복원력 있는 미래에 기여할 수 있는 무수한 잠재적 시너지가 있다는 것이 분명해진다. 그러나 그것을 달성할 유일한 접근법이나 프레임 또는 경로는 없다. 현재 다양한 사회 및 환경 조건 아래서 다양한 극한 현상에 대응하면 불확실한 상황에서 미래의 복원력에 기여할 수 있다. 그럼에도 일부 중요한 기여인자들이 이 장에서 확인되고 고찰되었으며 많은 문헌에서 확인된다(예: Lemos 등, 2007; Tompkins 등, 2008; Pelling, 2010a; Wisner, 2011). 두드러지는 중요한 인자 8가지는 다음과 같다.

1) 단기 목표와 장기 목표를 조화시킬 능력
2) 다중위험 및 다중적 압력원의 맥락에서 위험의 다양한 표현을 조화시키려는 의지
3) 재해 위험저감과 기후변화 적응을 다른 사회 및 경제 정책 과정에 통합
4) 혁신적, 반사적, 혁신적 리더십(모든 수준에서)
5) 적응적, 반응적이고 책임감 있는 거버넌스
6) 지역 및 부문들 간에 융통성, 혁신, 학습의 지원
7) 취약성의 근본원인을 규명하고 다룰 능력
8) 위험과 불확실성을 관리하고 위험에 기반한 사고방식을 촉진하려는 장기적 약속

기후변화 적응과 재해 위험저감에서 얻은 교훈은 적응적 관리, 예방적 학습, 혁신을 통해 불확실성을 관리하면 더 유연하고 동적이고 효율적인 정보흐름과 적응계획이 나올 수 있고 혁신의 이행을 취할 여지가 생긴다는 것을 보여준다. 당대의 재해연구들에서 취약성 저감은 복원력 있고 지속가능한 미래를 위해 가장 중요한 전제조건으로 확인되었다. 연구들에서 일관되게 확인되는 점은, 장기적인 지속가능성을 위해서, 재해 위험관리는 빈곤을 만들어 지속시키고 자원접근을 제약하는 취약성과 구조적 불

FAQ 8.3 | 지속가능하고 복원력 있는 미래로 나아가기 위해 취할 수 있는 현실적인 이행은 무엇인가?

재해현상으로 인한 교란은 종종 발전의 실패를 드러낸다. 또한 복구와 재해 위험저감을 통해 발전을 재고할 기회도 제공한다. 현실적인 이행은 인권, 양성평등 및 환경 완전성의 강화를 비롯해 개발 관계에서 나타난 위험의 근본원인과, 특히 지역 수준에서 가장 흔히 토지권, 재산권, 중요 서비스와 기본 필요(사회안전망과 보험)에 대한 접근, 투명한 의사결정을 확대할 필요성으로 표현되는 근접원인(proximate cause)을 둘 다 다룰 수 있다. 위험에 처한 사람도 위험을 관리하는 사람도 이행을 취할 수 있게 권한을 주는 방식으로 위험과 취약성의 동인을 규명하는 것이 핵심이다. 이를 위한 가장 좋은 방법은 위험 지도 또는 위험관리 계획을 세울 때 지역지식과 과학지식을 결합하는 것이다. 지역능력과 결합해 지역지식을 더 많이 사용할수록 통합 위험 의사결정에서 지속 불가능한 개발 관계를 단절할 강화된 책임성이 시작될 수 있다.

기후변동성 및 극한 현상과 함께 오는 불확실성은 거버넌스 계층 내부와 부문간, 세대 간에도 더 나은 조율과 책임성에 대하여 그리고 개발에서 동식물에 대하여 논쟁을 강화시킨다. 지역, 국가, 국제 행동주체들은 환경변화 그리고 환경변화와 인간개발 추세와의 관계에 대한 의문에 서로 다른 전략과 도구를 사용한다. 다양한 특정적 현실 대책을 제공하지만, 위험관리에 대한 지역적 접근법과 국가적 접근법은 강력하고 책임질 수 있는 리더십을 보유하고, 계획된 적응적 위험관리 접근법의 일부로서 도구개발의 혁신을 위한 체계적 실험과 지원에 의해 강화될 때에 적응과 복원력의 융통성 요구를 더 잘 충족시킬 수 있다. 국제 행동주체들은 실험, 혁신, 융통성을 지원할 제도적 틀을 제공함으로써 도움을 줄 수 있다. 이것은 단기 이익을 촉진하는 인센티브에서 장기적 지속가능성과 융통성을 촉진하는 인센티브 쪽으로 발전을 옮기는 국가 전략과 지역 전략의 일부일 수 있다.

평등의 근본원인을 다루는 구조개혁과 결합될 때 가장 강력하다는 것이다(Hewitt, 1983; Wisner 등, 2004; Lemos 등, 2007; Collins, 2009; Pelling, 2010b).

가능성 있고 바람직한 미래와 의사결정 옵션을 결합하면 적응적 위험관리는 물론 반복적 변화 과정에도 필수인 지식생산이 촉진된다. 불확실한 요소들과 그것들의 잠재적 영향(예: 강우량 변화와 변동성)에 초점을 맞추고 현재 적응 능력을 제한하는 요인들(예: 소외, 자원접근 결여, 정보격차)를 규명하면 가장 타당하고 적절하고 공평한 자원 전략, 정책 및 외부 중재를 확인하기 위해 지역적 상황(자산 포트폴리오, 위험 분산 및 관리)을 기후적 상황(추세, 가능한 미래, 불확실성)에 통합시키는 더 강력한 의사결정이 가능해진다(Pettengell, 2010). 공간을 만들고 다양한 요구를 인정한다는 것은 미래의 혼란과 충격을 예견하고 대비하기 위하여, 지식으로 인정되는 것을 재설정하고, 불확실성을 다루며, 서술적 상상력을 키우고, 이미 경험한 변화에 직면해서 기관 및 전략적 적응 대응을 명확히 한다는 것을 의미한다(Tschakert and Dietrich, 2010).

저확률, 고영향의 현상과, 노출과 취약성이 높고 적응능력이 낮은 상황 아래서 미래를 너무나 불리하게 표현하는 잠재적으로 파국적인 전환 정점을 예견하는 것에 관해서는 여전히 문제가 존재한다(Volkery and Ribeiro, 2009). 현실적으로, 통합이 지속가능하고 복원력 있는 미래를 촉진하도록 시너지를 실현하기에는 격차와 장벽이 많다. 예를 들어, 현재 지역적 위험관리 실무와 국가적 제도, 법률, 정책 및 계획 사이의 단절을 극복하는 것이 취약성 저감을 위한 단기 목표와 장기 목표 조율의 핵심으로 간주될 수 있다. 능력이 있는 경우에도, 보다 중요한, 거버넌스의 학습모드로 전환하기 위한 노력이 필요할 수 있다(Corbacioglu and Kapucu, 2006). 취약성은 물론 타당하고 공평한 이행을 기대하면 적응과 위험관리의 한계가 드러날 수 있고 그리하여 혁신의 잠재적 필요성이 제기될 수 있다. 혁신적 변화는 개발과 위험 미래를 형성하는 가치와 우선순위, 승자와 패자, 절충의 균형에 대한 질문을 촉발하므로, 언제 어디서 누구에게 이롭게 혁신적 변화를 촉진시킬 것인가의 문제는 본질적으로 규범적이고 정치적이다. 혁신은 윤리 차원과 거버넌스 차원에 관련된 이해가 없으면 근접할 수 없다. 또한 평상시의 많은 측면을 지원하는 점진적 변화도 윤리측면과 규범측면을 내포하고 있다. 현재의 재해위험관리 실무와 정책이 여전히 개발 계획 및 정책 과정의 외부에, 정책세계에서 오래 알려지고 여전히 존재하는 '재해 군도(disasters archipelago)'에 거주하고 있는 것은 이 규범적 위치를 완전히 드러내고 문제제기 하는 데 실패했기 때문일 것이다.

재해는 종종 긴급적인 이행을 요하며, 이는 의사결정을 위한 일상적 과정이 중단되는 시기를 의미한다. 비상사태와 재해구조에 대응하는 데 유용한 접근법이기는 해도 그러한 하향식 명령통제 방식은 재해 위험저감에는 그다지 효과가 없으며, 통합 적응적 위험관리에도 그러할 가능성이 높다. 그러한 시스템에서는 가정에서든(여성, 아동, 노인에 대한 정보가 인지되지 않을 수 있음), 커뮤니티 안에서든(사회집단들의 분열이 학습을 저해할 수 있음), 또는 국가 내에서든(소외된 집단의 의견이 무시되고 사회적 분열과 정치권력이 개발 및 적응 의제에 영향을 줄 수 있음), 의사결정 과정에서 제외되는 위험에 매우 취약하다(Pelling, 2003, 2007; Cutter, 2006; Mercer 등, 2008).

재해기간은 가장 극심한 영향을 받은 사람들의 미래를 위한 발전 비전과 열망이 인정되지 않는 기간이다. 이것은 재해 위험저감과 그것을 매일의 발전 계획에 통합하는 데 있어 지역 참여의 품질과 포괄성이 폭넓게 제한되는 것을 반영한다. 그 대신에, 인도주의적 의무, 기간이 한정된 복구 예산, 신중한 행동 보다는 신속한 이행에 대한 이해 가능한 바람은 국제사회 기구와 인도주의적 비정부 조직, 정부 기관, 지역 구호조직들이 자신들의 고유 가치와 비전을, 최선의 의도이지만 너무나 자주 강요한다는 것을 의미한다. 또한 어떤 사람들이나 집단은 단기적인 정치적 또는 경제적 이해관계에 기초해 개혁이나 규제에 거부권을 행사하거나 로비를 함으로써 지속가능한 결정을 방해한다는 것도 인정해야 한다(Klein, 2007). 그래서 사회에서 권력의 분배 그리고 현재 누가 의사결정을 통해 미래를 형성할 책임이나 권리를 가졌는가는 중요하며, 국제, 국가, 지역 행동주체들의 역할을 포함한다. 국제 인도주의 커뮤니티 내에서, 스피어 표준(Sphere Standards)과 인도주의 책임성 파트너십(Humanitarian Accountability Partnership) 같은 노력들은 이러한 문제를 다루기 위한 이행들이다.

재해 위험저감의 이행과 기후변화 대응은 다른 사회적 목표들과의 절충과, 미래에 대한 여러 가치와 비전에 관련된 충돌을 수반한다. 다중 원칙, 상이한 세계관, 대조적인 사회관계 구성방식을 결합한 혁신적이고 성공적인 해법을 Verweij 등(2006)은 '짜임새가 부족한 해법(clumsy solutions)'이라고 묘사하였다. 그러한 해법은 모든 관점을 청취하고 반응하며 경쟁 관점들 사이에서 상호작용의 품질이 창조적 대안을 촉진하는 그러한 제도에 의존한다. 개발윤리와 관련한 문헌에 기초해, St. Clair(2010)은 갈등과 광범위한 논쟁이 발생할 때는 종종 대안이 무성하게 나오고, 사람들의 혁신과 대응하고 적응하며 복원력을 구축할 능력을 이용해 많은 잠재적 행동 기회가 만들어질 수 있다고 말한다. Pelling(2010a)은 과도적 또는 혁신적 적응을 위한 사회적 학습의 중요성을 강조하고, 그것은 높은 수준의 신뢰, 학습 및 혁신 과정에서 실패 가능성을 실험하고 수용할 의지, 가치의 투명성, 시민사회의 적극적 참여가 필요하다고 지적한다. Tschakert and Dietrich(2010, p. 17)은 그러한 학습과정에 전념하는 것이 대안보다 낫다고 주장한다. "충격에 의한 학습은 권한을 주는 길도 윤리적으로 방어가 가능한 길도 아니기 때문이다." 재해를 통해 실현된, 위험과 취약성의 결합은 개인과 사회에게 대응과 적응을 강요한다. 기후변화와 지속적인 개발은 더 많은 사람들과 자산을 위험상태에 놓는다. 재해 위험관리에서 사망률 저감 조기경보 이행을 통해 주목할 만한 진척이 이루어졌으나, 기저 취약성이 여전히 높고(재해로 인한 피해자 수 및 경제손실의 증가로 보아), 인구통계 및 경제발전 추세는 계속해서 이해관계를 키우고 선택을 선사한다. 위험은 부인되거나 직면될 수 있고, 적응은 강요되거나 선택될 수 있다.

그러므로 극한기후 및 극한기상 현상에 관련된 재해 위험의 저감은 각 계층의 형평성, 권리 및 참여 문제를 다루는 정치적 선택의 문제이다.

참고문헌

본장에인용된, 일반인이쉽게열람하기어려운비-저널문헌의디지털라이브러리는 IPCC 검토및초고과정의일부로서취합되었고, IPCC 사무국또는 IPCC 실무그룹 II 웹사이트를통해접근할수있다.

AAG, 2003: Global Change and Local Places: Estimating, Understanding, and Reducing Greenhouse Gases. Association of American Geographers, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 290 pp.

Adger, W.N., 1996: Approaches to Vulnerability to Climate Change. CSERGE Working Paper #GEC 96-05, University of East Anglia, Norwich, UK, 66 pp.

Adger, W.N., 2000: Social and ecological resilience: are they related? Progress in Human Geography, 24(3), 347-364.

Adger, W.N., 2003: Social capital, collective action, and adaptation to climate change. Economic Geography, 79(4), 387-404.

Adger, W.N., 2004: The right to keep cold. Environment and Planning A, 36(10), 1711-1715.

Adger, W.N., S. Huq, K. Brown, D. Conway, and M. Hulme, 2003: Adaptation to climate change in the developing world. Progress in Development Studies, 3(3), 179-195.

Adger, W.N., T.P. Hughes, C. Folke, S.R. Carpenter, and J. Rockstrom, 2005: Socialecological resilience to coastal disasters. Science, 309, 1036-1039.

Adger, W.N., S. Agrawala, M.M.Q. Mirza, C. Conde, K.O'Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit, and K. Takahashi, 2007: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 717-743.

Adger, W.N., J. Barnett, and H. Ellemor, 2010: Unique and valued places. In: Climate Change Science and Policy [Schneider, S. H., A. Rosencranz, M. Mastrandrea, and K. Kuntz-Duriseti (eds.)]. Island Press, Washington, DC, pp. 131-138.

Adger, W.N., K. Brown, D. Nelson, F. Berkes, H. Eakin, C. Folke, K. Galvin, L. Gunderson, M. Goulden, K.O'Brien, J. Ruitenbeek, and E. Tompkins, 2011: Resilience implications of policy responses to climate change. WIRES Climate Change, doi:10.1002/WCC.133.

Adly, E. and T. Ahmed, 2009: Water and food security in the river Nile basin: Perspectives of the government and NGOs in Egypt. In: Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts [Brauch, H.G., N.C. Behera, P. Kameri-Mbote, J. Grin, U. Oswald Spring, B. Chourou, C. Mesjasz, and H. Krummenacher (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 645-654.

Agarwal, B., 1991: Social security and the family: Coping with seasonality and calamity in rural India. In: Social Security in Developing Countries [Ahmad, E., J. Dreze, J. Hills, and A. Sen (eds.)]. Clarendon Press, Oxford, UK, pp. 171-244.

Agrawala, S. (ed.), 2005: Bridge over Troubled Waters: Linking Climate Change and Development. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 153 pp.

Ahmed, A.U., M. Alam, and A.A. Rahman, 1999: Adaptation to climate change in Bangladesh: future outlook. In: Vulnerability and Adaptation to Climate Change for Bangladesh [Huq, S., M. Asaduzzaman, Z. Karim, and F. Mahtab (eds.)]. J. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 125-143.

Ahmed, I., 2009: Environmental refugees and environmental distressed migration as a security challenge for India and Bangladesh. In: Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, J. Grin, C. Mesjasz, P. Kameri-Mbote, N. Chadha Behera, B. Chourou, and H. Krummenacher (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 295-308.

Ahrens, J. and P.M. Rudolph, 2006: The importance of governance in risk reduction and disaster management. Journal of Contingencies and Crisis Management, 14(4), 207-220.

Aker, J.C. and I.M. Mbiti, 2010: Mobile phones and economic development in Africa. The Journal of Economic Perspectives, 24(3), 207-232.

Albala-Bertrand, J.M., 1993: The Political Economy of Large Natural Disasters with Special Reference to Developing Countries. Clarendon Press, Oxford, UK, 259 pp.

Alderman, H., J. Hodditnott, and B. Kinsey, 2006: Long-term consequences of early childhood malnutrition. Oxford Economic Papers, 58(3), 450-474.

Altieri, M.A. and P. Rosset, 1999: Ten reasons why biotechnology will not ensure food security, protect the environment, and reduce poverty in the developing world. AgBioForum, 2(3/4), 155-162.

Alves, D., 2002: An analysis of the geographical patterns of deforestation in Brazilian Amazonia in the 1991–1996 period. In: Patterns and Processes of Land Use and Forest Change in the Amazon [Wood, C. and R. Porro (eds.)]. University of Florida Press, Gainesville, Florida, pp. 95-105.

Ambrosi, P., J.-C. Hourcade, S. Hallegatte, P. Lecocq, P. Dumas, and M. Ha Duong, 2003: Optimal control models and elicitation of attitudes towards climate damages. Environmental Modeling and Assessment, 8(3), 133-147.

Amin, S. and M. Goldstein (eds.), 2008: Data against Natural Disasters: Establishing Effective Systems for Relief, Recovery and Reconstruction. World Bank, Washington, DC, 342 pp.

Ammer, M., M. Nowak, L. Stadlmayr, and G. Hafner, 2010: Legal Status and Legal Treatment of Environmental Refugees. Federal Environment Ministry, Dessau-Roßlau, Germany, 16 pp.

Argyris, C. and D. Schon, 1978: Organizational Learning: A Theory of Action Perspective. Addison Wesley, Reading, MA.

Armitage, D., 2005: Adaptive capacity and community-based natural resource management. Environmental Management, 35(6), 703-715.

Armitage, D., M. Marschke, and R. Plummer, 2008: Adaptive co-management and the paradox of learning. Global Environmental Change, 18(1), 86-98.

ASCE, 2010: Report Card for America's Infrastructure: Dams. American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

Back, E., C. Cameron, and T.M. Tanner, 2009: Children and Disaster Risk Reduction: Taking Stock and Moving Forward. Children in a changing climate report, Institute of Development Studies, Brighton, UK, 44 pp.

Baghel, R. and M. Nusser, 2010: Discussing large dams in Asia after the World Commission on Dams: is a political ecology approach the way forward. Water Alternatives, 3(2), 231-248.

Bahadur, A.V., M. Ibrahim, and T. Tanner, 2010: The Resilience Renaissance? Unpacking of Resilience for Tackling Climate Change and Disasters. Strengthening Climate Resilience Discussion Paper, 1, Institute of Development Studies, Brighton, UK ,43 pp.

Balaban, V., 2006: Psychological assessment of children in disasters and emergencies. Disasters, 30(2), 178-198.

Bangay, C. and N. Blum, 2010: Education responses to climate change and quality: two parts of the same agenda? International Journal of Educational Development, 30(4), 359-368.

Barnett, J., 2003: Security and climate change. Global Environmental Change, 13(1), 7-17.

Barnett, J. and W.N. Adger, 2007: Climate change, human security and violent conflict. Political Geography, 26(6), 639-655.

Barnett, J. and S. O'Neill, 2010: Maladaptation. Global Environmental Change, 20, 211-213.

Barnett, J., R. Matthew, and K.O'Brien, 2010: Global environmental change and human security: An introduction. In: Global Environmental Change and Human Security [Matthew, R.A., B. McDonald, J. Barnett, and K.O'Brien (eds.)]. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 3-32.

Bartlett, S., 2008: After the tsunami in Cooks Nagar: The challenges of participatory rebuilding. Children, Youth and Environments, 18(1), 470-484.

Batterbury, S., 2008: Anthropology and global warming: the need for environmental engagement. Australian Journal of Anthropology, 19(1), 62-68.

Bauer, S., 2011: Stormy weather: International security in the shadow of climate change. In: Coping with Global Environmental Change, Disaster and Security [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 719-734.

Beck, U., 2007: World at Risk. Polity, Cambridge, UK, 269 pp.

Beckman, M., 2011: Converging and conflicting interests in adaptation to env. change in Central Vietnam. Climate and Development, 3(1), 32-41.

Bengtsson, M., Y. Shen, and T. Oki, 2006: A SRES-based gridded global population dataset for 1990–2100. Population and Environment, 28(2), 113-131.

Beniston, M., 2004: The 2003 heat wave in Europe: a shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. Geophysical Research Letters, 31(2), L02202.

Benson, C. and E. Clay, 2004: Understanding the Economic and Financial Impact of Natural Disasters. International Bank for Reconstruction and Development, Disaster Risk Management Series 4, World Bank, Washington, DC, 134 pp.

Bento, A.M., M.L. Cropper, A.M. Mobarak, and K. Vinha, 2005: The effects of urban spatial structure on travel demand in the United States. Review of Economics and Statistics, 87(3), 466-478.

Berke, P.R., J. Kartez, and D. Wenger, 1993: Recovery after disaster: achieving sustainable development, mitigation and equity. Disasters, 17(2), 93-109.

Berkes, F., 2007: Understanding uncertainty and reducing vulnerability: Lessons from resilience thinking. Natural Hazards, 41(2), 283-295.

Berkes, F., 2009: Evolution of co-management: role of knowledge generation, bridging organizations and social learning. Journal of Environmental Management, 90(5), 1692-1702.

Berkes, F., J. Colding, and C. Folke (eds.), 2003: Navigating Social-ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 398 pp.

Berkes, F., T.P. Hughes, R.S. Stenech, J.A. Wilson, D.R. Bellwood, B. Crona, C. Folke, L.H. Gunderson, H.M. Leslie, J. Norberg, M. Nystrom, P. Olsson, H. Osterblom, M. Scheffer, and B. Worm, 2006: Globalization, roving bandits, and marine resources. Science, 311(5767), 1557-1558.

Berkhout, F., J. Hertin, and D.M. Gann, 2006: Learning to adapt: Organisational adaptation to climate change impacts. Climatic Change, 78(1), 135-156. Bern, C., J. Sniezek, G.M. Mathbor, M.S. Siddiqi, C. Ronsmans, A.M. Chowdhury, A.E. Chowdhury, K. Islam, M. Bennish, E. Noji, and R.I. Glass, 1993: Risk factors for mortality in the Bangladesh Cyclone 1991. Bulletin of the World Health Organization, 71(1), 73-78.

Bhattamishra, R. and C.B. Barrett, 2010: Community-based risk management arrangements: A review. World Development, 38(7), 923-932.

Bicknell, J., D. Dodman, and D. Satterthwaite (eds.), 2009: Adapting Cities to Climate Change: Understanding and Addressing the Development Challenges. Earthscan Publications, London, p. 384.

Biggs, D., R. Biggs, V. Dakos, R.J. Scholes, and M.L. Schoon, 2011: One crisis after another: Are we entering an era of concatenated global shocks? Ecology and Society, 16(2), 27.

Biggs, R., C. Raudsepp-Hearne, C. Atkinson-Palombo, E. Bohensky, E. Boyd, G. Cundill, H. Fox, S. Ingram, K. Kok, S. Spehar, M. Tengo, D. Timmer, and M. Zurek, 2007: Linking futures across scales: a dialog on multiscale scenarios. Ecology and Society, 12(1), 17.

Biggs, R., S.R. Carpenter, and W.A. Brock, 2009: Turning back from the brink: detecting an impending regime shift in time to avert it. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(3), 826-831.

Birkenholtz, T., 2008: Irrigated landscapes, produced scarcity and adaptive social institutions in Rajasthan, India. Annals of the Association of American Geographers, 99(1), 118-137.

Birkland, T.A., 1996: Natural disasters as focusing events: Policy communities and political response. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 14(2), 221-243.

Birkland, T.A., 2006: Lessons of Disaster: Policy Change after Catastrophic Events. Georgetown University Press, Washington, DC, 224 pp.

Birkmann, J., (ed.), 2006: Measuring Vulnerability to Natural Hazard: Towards Disaster Resilient Societies. UNU Press, Tokyo, Japan, 400 pp.

Bizikova, L., S. Burch, S. Cohen, and J. Robinson, 2010: Linking sustainable development with climate change adaptation and mitigation. In: Climate Change, Ethics and Human Security [O'Brien, K., A. St. Clair, and B. Kristoffersen (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 157-179.

Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis and B. Wisner, 1994: At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disaster. 1st ed. Routledge, London, UK, 286 pp.

Bogardi, J. and H.G. Brauch, 2005: Global environmental change: A chal lenge for human security – Defining and conceptualizing the environmental dimension of human security. In: UNEO – Towards an International Environmental Organisation - Approaches to a Sustainable Reform of Global Environmental Governance [Rechkemmer, A. (ed.)]. Nomos, Baden-Baden, Germany, pp. 85-109.

Bohle, H.G., 2009: Sustainable livelihood security. Evolution and application. In: Facing Global Environ mental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Con cepts [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, J. Grin, C. Mesjasz, P. Kameri-Mbote, N. Chadha Behera, B. Chourou, and H. Krummenacher (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 521-528.

Bohle, H.G., B. Etzold, and M. Keck, 2009: Resilience as agency. IHDP Update, 2, 8-13.

Boonyabancha, S., 2005: Baan Mankong; going to scale with 'slum' and squatter upgrading in Thailand. Environment and Urbanization, 2(2), 309-329.

Boulanger, J.-P., F. Martinez, and E.C. Segura, 2006a: Projection of future climate change conditions using IPCC simulations, neural networks and Bayesian statistics. Part 1. Temperature mean state and seasonal cycle in South America. Climate Dynamics, 27, 233-259.

Boulanger, J.-P., F. Martinez, and E.C. Segura, 2006b: Projection of future climate change conditions using IPCC simulations, neural networks and Bayesian statistics. Part 2. Precipitation mean state and seasonal cycle in South America. Climate Dynamics, 28, 255-271.

Bradley, R.S., M. Vuille, H. Diaz, and W. Vergara, 2006: Threats to water supplies in the tropical Andes. Science, 312, 1755-1756.

Brand, F.S. and K. Jax, 2007: Focusing the meaning(s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. Ecology and Society, 12(1), 23.

Brauch, H.G., 2005a: Environment and Human Security. Towards Freedom from Hazard Impact. InterSecTions No. 2, United Nations University–Institute for Environment and Human Security, Bonn, Germany, 60 pp.

Brauch, H.G., 2005b: Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks in Environmental and Human Security. Source No. 1, United Nations University–Institute for Environment and Human Security, Bonn, Germany, 100 pp.

Brauch, H.G., 2009: 서론: facing global environmental change and sectorialization of security. In: Facing Global Environ mental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, J. Grin, C. Mesjasz, P. Kameri-Mbote, N. Chadha Behera, B. Chourou, and H. Krummenacher (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 21-42.

Brauch, H.G. and U. Oswald Spring, 2011: 서론: coping with global environmental change in the anthropocene. In: Coping with Global Environmental Change, Disaster and Security [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Berlin, Springer, Germany, pp. 31-60.

Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Dunay, N. Chadha Behera, B. Chourou, P. Kameri-Mbote, and P.H. Liotta (eds.), 2008: Globalization and Environmental Challenges: Reconceptualizing Security in the 21 st Century. Springer, Berlin, Germany, 1148 pp.

Brauch, H.G., U. Oswald Spring, J. Grin, C. Mesjasz, P. Kameri-Mbote, N. Chadha Behera, B. Chourou, and H.Krummenacher (eds.), 2009: Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts. Springer, Berlin, Germany, 1588 pp.

Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.), 2011: Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security – Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks. Springer, Berlin, Germany, 1815 pp.

Bressers, H.T.A. and W.A. Rosenbaum (eds), 2003: Achieving Sustainable Development: the Challenge of Governance Across Social Scales. Praeger Publishers, Westport, CT.

Brklacich, M., D. McNabb, C. Bryant, and J. Dumanski, 1997: Adaptability of agriculture systems to global climate change: A Renfrew county, Ontario, Canada pilot study. In: Agricultural Restructuring and Sustainability: A Geographical Perspective [Ilbery, B., Q. Chiotti, and T. Rickard (eds.)]. CABI, Wallingford, UK, pp. 351-364.

Brock, W.A. and S.R. Carpenter, 2007: Panaceas and diversification of environmental policy. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(39), 15206-15211. Brown, K., 2011: Sustainable adaptation: an oxymoron? Climate and Development, 3(1), 21-31.

Brownstone, D. and T.F. Golob, 2009: The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption. Journal of Urban Economics, 65(1), 91-98.

Bruner, A.G., R.E. Gullison, R.E. Rice, and G.A.B. da Fonseca, 2001: Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. Science, 291, 125-128.

Buhaug, H., N.P. Gleditsch, and O.M. Theisen, 2008: Implications of Climate Change for Armed Conflict. World Bank, Washington DC, 52 pp.

Bunyavanich, S., C.P. Landrigan, A.J. McMichael, and P.R. Epstein, 2003: The impact of climate change on child health. Ambulatory Pediatrics, 3(1),44-52.

Burby, R.J., 2006: Hurricane Katrina and the paradoxes of government disaster policy: bringing about wise governmental decisions for hazardous areas. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604(1), 171-191.

Burby, R.J., B.A. Cigler, S.P. French, E.J. Kaiser, J. Kartez, D. Roenigk, D. Weist, and D. Whittington, 1991: Sharing Environmental Risks: How to Control Governments' Losses in Natural Disasters. Westview, Boulder, CO, 280 pp.

Burby, R.J., A.C. Nelson, D. Parker, and J. Handmer, 2001: Urban containment policy and exposure to natural hazards: is there a connection? Journal of Environmental Planning and Management, 44(4), 475-490.

Burby, R.J., A.C. Nelson, and T.W. Sanchez, 2006: The problem of containment and the promise of planning. In: Rebuilding Urban Places After Disaster, Lessons from Hurricane Katrina [Birch, E.L. and S.M. Wachter (eds.)]. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, PA, pp. 47-65.

Burch, S., S.R.J. Sheppard, A. Shaw, and O. Flanders, 2010: Planning for climate change in a flood-prone community: municipal barriers to policy action and the use of visualizations as decision-support tools. Journal of Flood Risk Management, 3(2), 126-139.

Burton, I., R.W. Kates, and G.F. White: 1993: The Environment as Hazard. 2nd ed. Guildford Press, London, UK, 290 pp.

Camerer, C. and H. Kunreuther, 1989: Decision processes for low probability events: policy implications. Journal of Policy Analysis and Management, 8(4), 565-592.

Campbell, B.M., J.A. Sayer, and B. Walker, 2010: Navigating trade-offs: working for conservation and development outcomes. Ecology and Society, 15(2), 16.

Campbell, K.M., J. Gulledge, J.R. McNeill, J. Podesta, P. Ogden, L. Fuerth, R.J. Woolsey, A.T.J. Lennon, J. Smith, R. Weitz, and D. Mix, 2007: The Age of Consequences: The Foreign Policy and National Security Implications of Global Climate Change. Center for Strategic and International Studies, Washington, DC, 124 pp.

Cannon, T., 2002: Gender and climate hazards in Bangladesh. Gender and Development, 10(2), 45-50.

Cardona, O., 1999: Environmental management and disaster prevention: Two related topics. In: Cities at Risk: Environmental Degradation, Urban Risks and Disaster in Latin America [Fernandez, M.A. (ed.)]. La Red/USAID, Quito, Ecuador, pp. 79-102.

Carlsson-Kanyama, A., K.H. Dreborg, H.C. Moll, and D. Padovan, 2008: Participative backcasting: a tool for involving stakeholders in local sustainability planning. Futures, 40(1), 34-46.

Carpenter, S.R., 2003: Regime Shifts in Lake Ecosystems: Pattern and Variation. Excellence in Ecology Series, 15, Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany.

Carpenter, S.R., B.H. Walker, J.M. Anderies, and N. Abel, 2001: From metaphor to measurement: resilience of what to what? Ecosystems, 4(8), 765-781.

Carter, M., P.D. Little, T. Mogues, and W. Negatu, 2007: Poverty traps and natural disasters in Ethiopia and Honduras. World Development, 35(5), 835-856.

Cash, D.W., W. Adger, F. Berkes, P. Garden, L. Lebel, P. Olsson, L. Pritchard, and O. Young, 2006: Scale and cross-scale dynamics: governance and information in a multilevel world. Ecology and Society, 11(2), 8.

Cavallo, E. and I. Noy, 2009: The Economics of Natural Disasters: A Survey. IDB Working Paper Series 124, Inter-American Development Bank, Washington, DC, 50 pp.

CCSP, 2008: Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands [Karl, T.R., G.A. Meehl, C.D. Miller, S.J. Hassol, A.M. Waple, and W.L. Murray (eds.)]. A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Department of Commerce, NOAA National Climatic Data Center, Washington, DC, 164 pp.

Chakrabarti, P.G.D. and M.R. Bhatt (eds.), 2006: Micro-finance and Disaster Risk Reduction. Knowledge World, New Delhi, India.

Chambers, R., 2006: Vulnerability, coping and policy. IDS Bulletin, 37(4), 33-40.

Chapin III, F.S., S.R. Carpenter, G.P. Kofinas, C. Folke, N. Abel, W.C. Clark, P. Olsson, D.M. Stafford Smith, B.H. Walker, O.R. Young, F. Berkes, R. Biggs, J.M. Grove, R.L. Naylor, E. Pinkerton, W. Steffen, and F.J. Swanson, 2010: Ecosystem stewardship: sustainability strategies for a rapidly changing planet. Trends in Ecology and Evolution, 25(4), 241-249.

Chouvy, P.-A. and L.R. Laniel, 2007: Agricultural drug economies: cause or alternative to intra-state conflicts? Crime, Law, Social Change, 48, 133-150.

Chowdhury, K.M.M.H., 2002: Cyclone preparedness and management in Bangladesh. In: Improvement of Early Warning System and Responses in Bangladesh Towards Total Disaster Risk Management Approach. Bangladesh Public Administration Training Centre, Dhaka, Bangladesh, pp. 97-106.

Christensen, C. M., 1997: The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. Harvard Business School Press, Boston, MA, 256 pp.

Christoplos, I., 2006: Links between Relief, Rehabilitation and Development in the Tsunami Response. Tsunami Evaluation Coalition, London, UK, 102 pp.

Christoplos, I., S. Anderson, M. Arnold, V. Galaz, M. Hedger, R.J.T. Klein, and K. Le Goulven, 2009: The Human Dimension of Climate Adaptation: The Importance of Local and Institutional Issues. Commission on Climate Change and Development, Edita Sverige AB, Stockholm, Sweden, 38 pp.

Clarke, L. and J. Weyant, 2009: Introduction to the EMF 22 special issue on climate change control scenarios. Energy Economics, 31(2), 63.

CMEPSP, 2009: Report of the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress, France, 292 pp.

CNA Corporation, 2007: National Security and the Threat of Climate Change. CAN Corporation, Alexandria, VA, 63 pp.

Cohen, S., D. Demeritt, J. Robinson, and D. Rothman, 1998: Climate change and sustainable development: towards dialogue. Global Environmental Change, 8(4), 341-371.

Collins, A.E., 2009: Disaster and Development. Routledge Perspectives on Development, Routledge, London, UK.

Comunidad Andina, 2007: Agenda Ambiental Andina 2006–2010 (Andean Environmental Agenda 2006–2010). Secretary General, San Isidro, Peru, 12 pp.

Comunidad Andina, 2009: Articulando la gestion del riesgo y la adaptacion al cambio climatico en el sector agropecuario (Articulating risk assessment and adaptation to climate change in agriculture and livestock). Secretary General, San Isidro, Peru, 128 pp.

Conde, J.E., 2001: The Orinoco River Delta Venezuela. In: Coastal Marine Ecosystems of Latin America [Seeliger, U. and B. Kjerfve (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 61-70.

Corbacioglu, S. and N. Kapucu, 2006: Organisational learning and self adaptation in dynamic disaster environments. Disasters, 30(2), 212-233.

Corfee-Morlot, J., I. Cochran, P.-J. Teasdale, and S. Hallegatte, 2011: Multilevel governance and deliberative practice to support local climate action. Climatic Change, 104(1), 169-197.

Costanza, R., 2000: The dynamics of the ecological footprint concept. Ecological Economics, 32, 341-345.

Costanza, R., J. Erickson, K. Fligger, A. Adams, C. Adams, G. Altschuler, S. Balter, B. Fisher, J. Hike, J. Kelly, T. Kerr, M. McCauley, K. Montone, M. Rauch, K. Schmiedeskamp, D. Saxton, L. Sparacino, W. Tusinski, and L. Williams, 2004: Estimates of the Genuine Progress Indicator (GPI) for Vermont, Chittenden County and Burlington, from 1950 to 2000. Ecological Economics, 51(1-2), 139-155.

Costello, A., M. Abbas, A. Allen, S. Ball, S. Bell, R. Bellamy, S. Friel, N. Groce, A. Johnson, M. Kett, M. Lee, C. Levy, M. Maslin, D. McCoy, B. McGuire, H. Montgomery, D. Napier, C. Pagel, J. Patel, J. Antonio, P. de Oliveira, N. Redclift, H. Rees, D. Rogger, J. Scott, J. Stephenson, J. Twigg, J. Wolff, and C. Patterson, 2009: Managing the health effects of climate change. The Lancet, 373, 1693-1733.

Cummins, J.D. and O. Mahul, 2009: Catastrophe Risk Financing in Developing Countries: Principles for Public Intervention. World Bank, Washington, DC, 268 pp.

Cutter, S.L., 1995: The forgotten casualties: women, children, and environmental change. Global Environmental Change, 5(3), 181-194.

Cutter, S.L., 2006: Hazards, Vulnerability and Environmental Justice. Earthscan, London, UK, 418 pp.

Cutter, S.L., L. Barnes, M. Berry, C. Burton, E. Evans, E. Tate, and J. Webb, 2008: A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Global Environmental Change, 18(4), 598-606.

Dalby, S., 2009: Security and Environmental Change. Polity, Cambridge, UK, 199 pp.

Davidson, F., M. Zaaijer, M. Peltenburg, and M. Rodell, 1993. Relocation and Resettlement Manual: A Guide to Managing and Planning Relocation. Institute for Housing and Urban Development Studies, Rotterdam, The Netherlands, 69 pp.

Davies, M., B. Guenther, J. Leavy, T. Mitchell, and T.M. Tanner, 2008: Adaptive social protection: synergies for poverty reduction. IDS Bulletin, 39(4), 105-112.

Davies, S., 1993: Are coping strategies a cop-out? IDS Bulletin, 24(4), 60-72.

Davis, G., 1998: Creating Scenarios for Your Company's Future. The 1998 Conference on Corporate Environmental, Health, and Safety Excellence, Bringing Sustainable Development Down to Earth, New York, USA, 5 pp.

Davis, M., 2001: Late Victorian Holocausts. El Nino Famines and the Making of the Third World. Verso, London, UK, 464 pp.

de Fraiture, C., M. Giordano, and Y. Liao, 2008: Biofuels and implications for agricultural water use: blue impacts of green energy. Water Policy, 10(S1), 67-81.

de la Fuente, A., A. Revi, F. Lopez-Calva, J. Serje, F. Ramirez, C. Rosales, A. Velásquez, and S. Dercan, 2009: Deconstructing disaster: Risk patterns and poverty trends at the local level. In: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, pp. 59-85.

del Ninno, C. and M. Lindberg, 2005: Treading water: the long-term impact of the 1998 flood on nutrition in Bangladesh. Economics and Human Biology, 3(1), 67-96.

Dennekamp, M. and M. Carey, 2010: Air quality and chronic disease: why action on climate change is also good for health. New South Wales Public Health Bulletin, 21(6), 115-121.

Dercon, S. and I. Outes, 2009: Income Dynamics in Rural India: Testing for Poverty Traps and Multiple Equilibria. Background paper for the U.N.-World Bank Assessment on the Economics of Disaster Risk Reduction, Washington, DC, 40 pp.

DesInventar, 2010: online.desinventar.org/desinventar/.

Desplat, J., J-L. Salagnac, R. Kounkou, A. Lemonsu, M. Colombert, M. Lauffenburger, and V. Masson, 2009: Multidisciplinary study of the impacts of climate change on the scale of Paris. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan, June 2009, 5 pp.

Dessai, S., M. Hulme, R. Lempert, and R. Pielke, Jr., 2009a: Climate prediction: a limit to adaptation? In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, W.N., I. Lorenzoni, and K.L. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 64-78.

Dessai, S., M. Hulme, R. Lempert, and R. Pielke, Jr., 2009b: Do we need better predictions to adapt to a changing climate? Eos, 90(13), 111-112.

DFID, 2004: Disaster Risk Reduction: a Development Concern. Department for International Development, London, UK, 74 pp.

DFID, 2006: Eliminating World Poverty: Making Governance Work for the Poor. A White Paper on International Development, Department for International Development, London, UK, 132 pp.

Dodman, D., J. Hardoy, and D. Satterthwaite, 2008: Urban Development and Intensive and Extensive Risk. Contribution to the Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (2009), International Institute for Environment and Development, London, UK, 67 pp.

Drury, A.C. and R.S. Olson, 1998: Disasters and political unrest: an empirical investigation. Journal of Contingencies and Crisis Management, 6(3), 153-161.

Dufey, A., 2006: Biofuels Production, Trade and Sustainable Development: Emerging Issues. Sustainable Markets Discussion Paper 2, International Institute for Environment and Development, London, UK, 62 pp.

Eakin, H. and M. Webbe, 2008: Linking local vulnerability to system sustainability in a resilience framework: Two cases from Latin America. Climatic Change, 93, 355-377.

ECA, 2009: Shaping Climate-Resilient Development: A Framework for Decision-Making. A report of the Economics of Climate Adaptation Working Group. ClimateWorks Foundation, Global Environment Facility, European Commission, McKinsey and Company, The Rockefeller Foundation, Standard Chartered Bank, and Swiss Re, 164 pp.

Edenhofer, O., K. Lessmann, C. Kemfert, M. Grubb, and J. Kohler, 2006: Induced technological change: exploring its implications for the economics of atmospheric stabilization: synthesis report from innovation modeling comparison project. The Energy Journal, 27(S1), 57-107.

Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, and C. von Stechow (eds.), 2011: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1544 pp.

Elmqvist, T., C. Folker, M. Nystrom, G. Peterson, J. Bengtsson, B. Walker, and J. Norberg, 2003: Response diversity, ecosystem change, and resilience. Frontiers in Ecology and the Environment, 1(9), 488-494.

Elsner, J.B., J.P. Kossin, and T.H. Jagger, 2008: The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. Nature, 455, 92-95.

Enfors, E. I., L.J. Gordon, G.D. Peterson, and D. Bossio, 2008: Making investments in dryland development work: participatory scenario planning in the Makanya catchment, Tanzania. Ecology and Society, 13(2), 42.

Eriksen, S. and K. Brown, 2011: Sustainable adaptation to climate change. Climate and Development, 3(1), 3-6.

Eriksen, S.H. and P.M. Kelly, 2006: Developing credible vulnerability indicators for climate adaptation policy assessment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(4), 495-524.

Eriksen, S. and K.O'Brien, 2007: Vulnerability, poverty and the need for sustainable adaptation measures. Climate Policy, 7(4), 337-352.

Eriksen, S., P. Aldunce, C.S. Bahinipati, R. Martins, J.I. Molefe, C. Nhemachena, K.O'Brien, F. Olorunfemi, J. Park, L. Sygna, and K. Ulsrud, 2011: When not every response to climate change is a good one: identifying principles for sustainable adaptation. Climate and Development, 3(1), 7-20.

EU, 2008: Climate Change and International Security. Paper from the High Representative and the European Commission to the European Council, European Commission, Brussels, Belgium, 11 pp.

Evans, L. and J. Oehler-Stinnett, 2006: Children and natural disasters: a primer for school psychologists. School Psychology International, 27(1), 33-55.

Ewing, R. and F. Rong, 2008: The impact of urban form on US residential energy use. Housing Policy Debate, 19(1), 1-30.

Fankhauser, S., J.B. Smith, and R.S.J. Tol, 1999: Weathering climate change: some simple rules to guide adaptation decisions. Ecological Economics, 30(1), 67-78.

Farber, D., 2007: Basic compensation for victims of climate change. University of Pennsylvania Law Review, 155(6), 1605-1656.

Fargione, J.E., T.R. Cooper, D.J. Flaspohler, J. Hill, C. Lehman, T. McCoy, S. Mcleod, E.J. Nelson, K.S. Oberhauser, and D. Tilman, 2009: Bioenergy and wildlife: threats and opportunities for grassland conservation. BioScience, 59(9), 767-777.

Fearnside, P.M., 2001: Status of South American natural ecosystems. In: Encyclopedia of Biodiversity [Levin, S.A. (ed.)]. Academic Press, San Diego, CA, pp. 345-359.

FEMA, 2009: Dam Safety in the United States: A Progress Report on the National Dam Safety Program Fiscal Years 2006 and 2007. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 60 pp.

Feng, S., A.B. Krueger, and M. Oppenheimer, 2010: Linkages among climate change, crop yields and Mexico-US cross-border migration. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(32), 14257-14262.

Fernandez-Gimenez, M.E., H.L. Ballard, and V.E. Sturtevant, 2008: Adaptive management and social learning in collaborative and community-based monitoring: a study of five community-based forestry organizations in the western USA. Ecology and Society, 13(2), 4.

Ferris, E., 2011: Protecting Civilians in Disasters and Conflicts. Brookings Policy Brief 182, Brookings Institute, Washington, DC, 4 pp.

Fløysand, A. and S.-E. Jakobsen, 2010: The complexity of innovation: A relational turn. Progress in Human Geography, 35(1), 328-344.

Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coel, G.C. Daily, H.K. Gibbs, T. Helkowski, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N. Ramankutty, and P.K. Snyder, 2005: Global consequences of land use. Science, 309, 570-574.

Folke, C., 2006: Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. Global Environmental Change, 16(3), 253-267.

Folke, C., S. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Elmqvist, L. Gunderson, and C.S. Holling, 2004: Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 35, 557-581.

Folke, C., F.S. Chapin III, and P. Olsson, 2009: Transformations in ecosystem stewardship. In: Principles of Ecosystem Stewardship: Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World [Chapin III, F.S., G.P. Kofinas, and C. Folke (eds.)]. Springer, New York, NY, pp. 103-125.

Folke, C., S.R. Carpenter, B.H. Walker, M. Scheffer, F.S. Chapin III, and J. Rockstrom, 2010: Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. Ecology and Society, 15(4), 20.

Ford, J.D. and L.B. Ford (eds.), 2011: Climate Change Adaptation in Developed Nations: From Theory to Practice. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 295 pp.

Foster, V. and C. Briceno-Garmendia (eds.), 2011: Africa's Infrastructure. A Time for Transformation. World Bank and French Development Agency, Washington, DC, 44 pp.

Frittaion, C., P.N. Duinker, and J. Grant, 2010: Suspending disbelief: Influencing engagement in scenarios of forest futures. Technological Forecasting and Social Change, 78(3), 421-436.

Fuentes, C.J. and H.G. Brauch, 2009: The human security network: A global North-South coalition. In: Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, J. Grin, C. Mesjasz, P. Kameri-Mbote, N. Chadha Behera, B. Chourou, and H. Krummenacher (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 991-1001.

Gachathi, F. and S. Eriksen, 2011: Gums and resins: the potential for supporting sustainable adaptation in Kenya's drylands. Climate and Development, 3(1), 59-70.

Gaffin, S, X. Xing, and G. Yetman, 2004: Downscaling and geospatial gridding of socioeconomic projections from the IPCC special report on emissions scenarios (SRES). Global Environmental Change, 14, 105-123.

Gaillard, J.C., E. Clave, and I. Kelman, 2008: Wave of peace? Tsunami disaster diplomacy in Aceh, Indonesia. Geoforum, 39(1), 511-526.

Galer, G., 2004: Preparing the ground? Scenarios and political change in South Africa. Development, 47(4), 26-34.

Gao, Z. and Y. Hu, 2011: Coping with population growth, climate change, water scarcity and growing food demand in China in the 21st century. In: Coping with Global Environmental Change, Disaster and Security [Brauch, H.G., U, Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)] Springer, Berlin, Germany, pp. 957-968.

Gardiner, S. 2010: Climate change: a global test for contemporary political institutions and theories. In: Climate Change, Ethics and Human Security [O'Brien, K., A. Lera St. Clair, and B. Kristoffersen (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 131-153.

Garg, A., R.C. Dhiman, S. Bhattacharya, and P.R. Shukla, 2009: Development, malaria and adaptation to climate change: A case study from India. Environmental Management Journal, 43(5), 779-789.

Gawith, M., R. Street, R. Westaway, and A. Steynor, 2009: Application of the UKCIP02 climate change scenarios: reflections and lessons learnt. Global Environmental Change, 19(1), 113-121.

GECHS, 2000: Science Plan: Global Environmental Change and Human Security Project. IHDP Report 11, International Human Dimensions Programme, Bonn, Germany, 60 pp.

Geels, F.W., 2002: Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. Research Policy, 31(8/9), 1257-1274.

Geels, F.W. and J. W. Schot, 2007: Typology of sociotechnical transition pathways. Research Policy, 36(3), 399-417.

Gero, A., K. Meheux, and D. Dominey-Howes, 2011: Integrating community based disaster risk reduction and climate change adaptation: examples from the Pacific. Natural Hazards and Earth Systems Science, 11, 101-113.

Ghesquiere, F., L. Jamin, and O. Mahul, 2006: Earthquake Vulnerability Reduction Program in Colombia: A Probabilistic Cost-Benefit Analysis. Policy Research Working Paper 3939, World Bank, Washington, DC, 22 pp.

Gilbert, A. and P. Ward, 1984: Community participation in upgrading irregular settlements: the community response. World Development, 12(9), 913-922.

Glaeser, E.L. and M.E. Kahn, 2010: The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. Journal of Urban Economics, 67(3), 404-418.

Goklany, I.M., 2007: Integrated strategies to reduce vulnerability and advance adaptation, mitigation, and sustainable development. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(5), 755-786.

Goldstein, B.E., 2009: Resilience to surprises through communicative planning. Ecology and Society, 14(2), 33.

Goodess, C.M., J.W. Hall, M. Best, R. Betts, L. Cabantous, P.D. Jones, C.G. Kilsby, A. Pearman, and C.J. Wallace, 2007: Climate scenarios and decision making under uncertainty. Built Environment, 33(1), 10-30.

Gordon, P., H. Richardson, and B. Davis, 1998: Transport related impacts of the Northridge earthquake. Journal of Transportation and Statistics, 1, 21-36.

Gostin, L.O., E.A. Friedman, G.Ooms, T. Gebauer, N. Gupta, D. Sridhar, W. Chenguang, J-A. Røttingen, and D. Sanders, 2011: The joint action and learning initiative: towards a global agreement on national and global responsibilities for health. PLoS Medicine, 8(5), e1001031.

Grasso, M., 2009: An ethical approach to climate adaptation finance. Global Environmental Change, 20(1), 74-81.

Grasso, M., 2010: Justice in Funding Adaptation Under the International Climate Change Regime. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 184 pp.

Grazi, F., J.C.J.M. van den Bergh, and J. N van Ommeren, 2008: An empirical analysis of urban form, transport, and global warming. The Energy Journal, 29(4), 97-122.

Groves, D.G. and R.J. Lempert, 2007: A new analytic method for finding policyrelevant scenarios. Global Environmental Change, 17(1), 73-85.

Groves, D.G., D. Knopman, R.J. Lempert, S.H. Berry, and L. Wainfan, 2008: Presenting Uncertainty about Climate Change to Water-Resource Managers. A Summary of Workshops with the Inland Empire Utilities Agency. Technical Reports 505, Rand Corporation, Santa Monica, CA, 100 pp.

Grubb, M., C. Vrolijk, and D. Brack, 1999: The Kyoto Protocol: A Guide and Assessment. Royal Institute of International Affairs and Earthscan, London, UK, 342 pp.

Grübler, A., B. O'Neill, K.Riahi, V. Chirkov, A. Goujon, P. Kolp, I. Prommer, S. Scherbov, and E. Slentoe, 2007: Regional, national, and spatially explicit scenarios of demographic and economic change based on SRES. Technological Forecasting and Social Change, 74(7), 980-1029.

Gunderson, L., 2009: Comparing Ecological and Human Community Resilience. CARRI Research Paper 5, Community and Regional Resilience Initiative, National Security Directorate, Oak Ridge, TN, 35 pp.

Gunderson, L.H. and C.S. Holling (eds.), 2002: Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems. Island Press, Washington, DC, 450 pp.

Guojie, C., 2003: Ecological reconstruction of the upper reaches of the Yangtze River. In: Natural Disasters and Development in a Globalizing World [Pelling, M. (ed.)]. Routledge, London, UK, pp. 214-230.

Gupta, J., C. Termeer, J. Klostermann, S. Meijerink, M. van den Brink, P. Jong, S. Nootboom, and E. Mbergsma, 2010: The adaptive capacity wheel: a method to assess the inherent characteristics of institutions to enable the adaptive capacity of society. Environmental Science and Policy, 13(6), 459-471.

Gusdorf, F., S. Hallegatte, and A. Lahellec, 2008: Time and space matter: how urban transitions create inequality. Global Environment Change, 18(4), 708-719.

Ha Duong, M., M.J. Grubb, and J.-C. Hourcade, 1997: Influence of socioeconomic inertia and uncertainty on optimal CO2-emission abatement. Nature, 390, 270-274.

Haines, A., R.S. Kovats, D. Campbell-Lendrum, and C. Corvalan, 2006: Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health. Public Health, 120, 585-596.

Hall, J.W., 2007: Probabilistic climate scenarios may misrepresent uncertainty and lead to bad adaptation decisions. Hydrological Processes, 21(8), 1127-1129.

Hallegatte, S., 2006: A Cost-Benefit Analysis of the New Orleans Flood Protection System. Regulatory Analysis 2, American Enterprise Institute–Brookings Joint Center, Washington, DC, 18 pp.

Hallegatte, S., 2008a: An adaptive regional input-output model and its application to the assessment of the economic cost of Katrina. Risk Analysis, 28(3), 779-799.

Hallegatte, S., 2008b: A Note on Including Climate Change Adaptation in an International Scheme. Idees pour le Debat 18, Institut du Developpement Durable et des Relations Internationals, Paris, France, 15 pp.

Hallegatte, S., 2009: Strategies to adapt to an uncertain climate change. Global Environmental Change, 19(2), 240-247.

Hallegatte, S. and P. Dumas, 2008: Can natural disasters have positive consequences? Investigating the role of embodied technical change. Ecological Economics, 68(3), 777-786.

Hallegatte, S. and V. Przyluski, 2010: The Economics of Natural Disasters: Concepts and Methods. Policy Research Working Paper 5507, World Bank, Washington, DC, 29 pp.

Hallegatte, S., J.-C. Hourcade, and P. Dumas, 2007: Why economic dynamics matter in assessing climate change damages: illustration on extreme events. Ecological Economics, 62(2), 330-340.

Hallegatte, S., P. Dumas, and J.-C. Hourcade, 2010: A Note on the Economic Cost of Climate Change and the Rationale to Limit it Below 2°C. Background Paper to the 2010 World Development Report, Policy Research Working Paper 5179, World Bank, Washington, DC, 19 pp.

Hallegatte, S., F. Henriet, and J. Corfee-Morlot, 2011a: The economics of climate change impacts and policy benefits at city scale: A conceptual framework. Climatic Change, 104(1), 51-87.

Hallegatte, S., F. Lecocq, and C. De Perthuis, 2011b: Designing Climate Change Adaptation Policies: An Economic Framework. Policy Research Working Paper 5568, World Bank, Washington, DC, 41 pp.

Hamin, E.M. and N. Gurran, 2009: Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the U.S. and Australia. Habitat International, 33(3), 238-245.

Handy, S., X. Cao, and P. Mokhtarian, 2005: Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 10(6), 427-444.

Hanson, S., R. Nicholls, N. Ranger, S. Hallegatte, J. Corfee-Morlot, C. Herweijer, and J. Chateau, 2011: A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. Climatic Change, 104(1), 89-111.

Haque, C.E. and D. Blair, 1992: Vulnerability to tropical cyclones: evidence from the April 1991 cyclone in coastal Bangladesh. Disasters, 16(3), 217-229.

Harberger, A.C., 1978: On the use of distributional weights in social cost benefit analysis. Journal of Political Economy, 86(2), 87-120.

Harberger, A.C., 1984: Basic needs versus distributional weights in social costbenefit analysis. Economic Development and Cultural Change, 32(3), 455-474.

Hardoy, J.E., D. Mitlin, and D. Satterthwaite, 2001: Environmental Problems in an Urbanizing World. Earthscan, London, UK.

Harrington, L.M.B., 2005: Vulnerability and sustainability concerns for the US High Plains. In: Rural Change and Sustainability: Agriculture, the Environment and Communities [Essex, S.J., A.W. Gilg, R.B. Yarwood, J. Smithers, and R. Wilson (eds.)]. CABI, Wallingford, UK, pp. 169-184.

Harrington, L.M.B., 2010: The U.S. Great Plains, change, and place development. In: The Next Rural Economies: Constructing Rural Place in Global Economies [Halseth, G., S. Markey, and D. Bruce (eds.)]. CABI, Wallingford, UK, pp. 32-44.

Harrington, L.M.B., M. Lu, and J.A. Harrington, Jr., 2009: Fossil water and agriculture in southwestern Kansas. In: Sustainable Communities on a Sustainable Planet: The Human-Environment Regional Observatory Project [Yarnal, B., C. Polsky, and J. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 269-291.

Harvard Business Essentials, 2003: Managing Change and Transition. Harvard Business School Press, Boston, MA.

Harvey, D., 2010: The Enigma of Capital: And the Crisis of Capitalism. Profile, London, UK.

Hazell, P. and U. Hess, 2010: Drought insurance for agricultural development and food security in dryland areas. Food Security, 2(4), 395-405.

Hedlund-de Witt, A., 2011: The rising culture and worldview of contemporary spirituality: A sociological study of potentials and pitfalls for sustainable development. Ecological Economics, 70, 1057-1065.

Hedrén, J. and B.O. Linner, 2009: Utopian thought and the politics of sustainable development. Futures, 41(4), 210-219.

Heifetz, R., 2010: Leadership. In: Political and Civic Leadership: A Reference Handbook [Couto, R.A. (ed.)]. Sage Publications, London, UK, pp. 12-23.

Heifetz, R., A. Grashow, and M. Linsky, 2009: The Practice of Adaptive Leadership: Tools and Tactics for Changing Your Organization and the World. Harvard Business Press, Boston, MA.

Hewitt, K. (ed.), 1983: Interpretations of Calamity. Allen and Unwin, London, UK, 304 pp.

Hewitt, K., 1997: Regions of Risk: Geographical Introduction to Disasters. Longman, London, UK, 389 pp.

Heyd, T. and N. Brooks, 2009: Exploring cultural dimensions of adaptation to climate change. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, W.N., I. Lorenzoni, and K.O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 269-282.

Hine, D. and J.W. Hall, 2010: Information gap analysis of flood model uncertainties and regional frequency analysis. Water Resources Research, 46, W01514.

Hochrainer, S., 2009: Assessing Macroeconomic Impacts of Natural Disasters: Are There Any? Policy Research Working Paper 4968, World Bank, Washington, DC, 43 pp.

Hogarth, R. and H. Kunreuther, 1995: Decision making under ignorance: arguing with yourself. Journal of Risk and Uncertainty, 10(1), 15-36.

Holling, C.S., 1973: Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4, 1-23.

Hoogma, R., R. Kemp, J. Schot, and B. Truffer, 2002: Experimenting for Sustainable Transport: The Approach of Strategic Niche Management. Routledge, London, New York.

Hopwood, B., M. Mellor, and G.O'Brien, 2005: Sustainable development: mapping different approaches. Sustainable Development, 13(1), 38-52.

Hughes, D., 2001: Cadastral politics: The making of community-based resource management in Zimbabwe and Mozambique. Development and Change, 32(4), 741-768.

Hughes, T., A.H. Baird, D.R. Bellwood, M. Card, S.R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J.B.C. Jackson, J. Kleypas, J.M. Lough, P. Marshall, M. Nystro, S.R. Palumbi, J.M. Pandolfi, B. Rosen, and J. Roughgarden, 2003: Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. Science, 301, 929-933.

Huitema, D., C. Cornelisse, and B. Ottow. 2010. Is the jury still out? Toward greater insight in policy learning in participatory decision processes – the case of Dutch citizens' juries on water management in the Rhine Basin. Ecology and Society, 15(1), 16.

Hunt, A. and T. Taylor, 2009: Values and cost-benefit analysis: economic efficiency criteria in adaptation. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, W.N., I. Lorenzoni, and K.L. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 197-211.

Hunter, L.M., 2005: Migration and environmental hazards. Population and Environment, 26(4), 273-302.

ICOMOS, 1998: Report on Economics of Conservation: An Appraisal of Theories, Principles and Methods. International Economics Committee, International Council on Monuments and Sites, Paris, France, 123 pp.

ICSU, 2002: Science and Technology for Sustainable Development. Consensus Report and Background Document, Mexico City Synthesis Conference, May 2002. ICSU Series on Science for Sustainable Development 9, International Council for Science, Paris, France, 37 pp.

IFRC, 2002: World Disasters Report: Focus on Reducing Risk. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Eurospan, London, UK, 239 pp.

IFRC, 2005: World Disasters Report: Focus on Information in Disasters. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Eurospan, London, UK, 246 pp.

IFRC, 2010: World Disasters Report 2010: Focus on Urban Risk. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland, 220 pp.

Inayatullah, S., 2006: Anticipatory action learning: Theory and practice. Futures, 38(6), 656-666.

IOM, 2007: Discussion Note: Migration and the Environment. MC/ING/288, 94th Session, International Organization for Migration, Geneva, Switzerland, 9 pp.

I**OM,** 2009a: Migration, Climate Change and the Environment. IOM Policy Brief, International Organization for Migration, Geneva, Switzerland, 9 pp.

IOM, 2009b: Compendium of IOM's Activities on Migration, Climate Change and the Envi ronment. International Organization for Migration, Geneva, Switzerland, 311 pp.

IRGC, 2009: Risk Governance Deficits: An Analysis and an Illustration of the Most Common Deficits in Risk Governance. International Risk Governance Council, Geneva, Switzerland, 92 pp.

ISET, 2010: The Shared Learning Dialogue: Building Stakeholder Capacity and Engagement for Resilience Action. Climate Resilience in Concept and Practice, Working Paper 1, Institute for Social and Environmental Transition, Boulder, CO, 29 pp.

Jabry, A. (ed.), 2003: Children in Disasters: After the Cameras Have Gone. Plan UK, London, UK, 68 pp.

Jackson, T., 2009: Prosperity without Growth: Economics for a Finite Planet. Earthscan, London, UK, 278 pp.

Jaramillo, C.R.H., 2009: Do Natural Disasters have Long-Term Effects on Growth? Manuscript, Universidad de los Andes, Bogota, Colombia, 44 pp.

Jones, C. and P. Klenow, 2010: Beyond GDP? Welfare across Countries and Time. NBER Working Paper No. 16352, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, 52 pp.

Jonkman, S.N., A. Lentz, and J.K. Vrijling, 2010: A general approach for the estimation of loss of life due to natural and technological disasters. Reliability Engineering and System Safety, 95(11), 1123-1133.

Kahane, A., 2004: Colombia: speaking up. Development, 47(4), 95-98.

Kahl, C.H., 2003: The political ecology of violence: lessons for the Mediterranean. In: Security and Environment in the Mediterranean. Conceptualising Security and Environmental Conflicts [Brauch, H.G., P.H. Liotta, A. Marquina, P.F. Rogers, and M. El-Sayed Selim (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 465-476.

Kahl, C.H., 2006: States, Scarcity and Civil Strife in the Developing World. Princeton University Press, Princeton, NJ, 352 pp.

Kameri-Mbote, P. and K. Kindiki, 2009: Water and food security in the Nile River Basin: perspectives of governments and NGOs of upstream countries. In: Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, J. Grin, C. Mesjasz, P. Kameri-Mbote, N. Chadha Behera, B. Chourou, and H. Krummenacher (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 655-664.

Kapucu, N., 2009: Interorganizational coordination in complex environments of disasters: the evolution of intergovernmental disaster response systems. Journal of Homeland Security and Emergency Management, 6(1), 47.

Karim, M.F. and N. Mimura, 2008: Impacts of climate change and sea level rise on cyclonic storm surge floods in Bangladesh. Global Environmental Change, 18(3), 490-500.

Keen, M., V.A. Brown, and R. Dyball, 2005: Social Learning in Environmental Management: Towards a Sustainable Future. Earthscan, London, UK, 270 pp.

Keenan, H.T., S.W. Marshall, M.A. Nocera, and D.K. Runyan, 2004: Increased incidence of inflicted traumatic brain injury in children after a natural disaster. American Journal of Preventive Medicine, 26(3), 189-193.

Kegan, R. and L.L. Lahey, 2009: Immunity to Change: How to Overcome It and Unlock the Potential in Yourself and Your Organization. Harvard Business Press, Boston, 341 pp.

Kelleher, A., 2005: A personal philosophy of anticipatory action-learning. Journal of Future Studies, 10(1), 85-90.

Kelman, I., 2003: Beyond disaster, beyond diplomacy. In: Natural Disasters and Development in a Globalizing World [Pelling, M. (ed.)]. Routledge, London, UK, pp. 110-123.

Kelman, I. and T. Koukis, 2000: Disaster diplomacy. Cambridge Review of International Affairs, 14(1), 214-294.

Kemp, R., 1994: Technology and the transition to environmental sustainability. The problems of technological regime shifts. Futures, 26(10), 1023-1046.

Kemp, R., J. Schot, and R. Hoogma, 1998: Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. Technology Analysis & Strategic Management, 10(2), 175-195.

Kemp, R., D. Loorbach, and R. Rotmans, 2007: Transition management as a model to manage processes of co-evolution towards sustainable development. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 14(1), 78-91.

Kent, G., 2001: The human right to disaster mitigation and relief. Environmental Hazards, 3(3-4), 137-138.

Kesby, M., 2005: Retheorizing empowerment-through-participation as a performance in space: beyond tyranny to transformation. Signs: Journal of Women in Culture and Society, 30(4), 2037-2065.

Kiehl, J.T., 2006: Geoengineering climate change: Treating the symptom over the cause? Climatic Change, 77(3-4), 227-228.

Kingdon, J.W., 1995: Agendas, Alternatives and Public Policies. 2nd ed. HarperCollins, New York, NY, 273 pp.

Kinzig, A.P., P. Ryan, M. Etienne, H. Allison, T. Elmqvist, and B.H. Walker, 2006: Resilience and regime shifts: assessing cascading effects. Ecology and Society, 11(1), 20.

Klein, N., 2007: The Shock Doctrine: The Rise of Disaster Capitalism. Penguin, London, UK, 701 pp.

Klein, R.J.T., E.L.F. Schipper, and S. Dessai, 2005: Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. Environmental Science & Policy, 8(6), 579-588.

Klein, R.J.T., S.E.H. Eriksen, L.O. Næss, A. Hammill, T.M. Tanner, C. Robledo, and K.L. O'Brien, 2007: Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance. Climatic Change, 84(1), 23-44.

Knutson, T.R., J.L. McBride, J. Chan, K. Emanuel, G. Holland, C. Landsea, I. Held, J.P. Kossin, A.K. Srivastava, and M. Sugi, 2010: Tropical cyclones and climate change. Nature Geoscience, 3, 157-163.

Kolb, D.A., 1984: Experiential Learning. Englewood Cliffs, Prentice Hall, NJ, 256 pp.

Kolb, D.A. and R. Fry, 1975: Toward an applied theory of experiential learning. In: Theories of Group Process [Cooper, C. (ed.)]. John Wiley, London, UK, pp. 33-57.

Kolmannskog, V., 2008: Future Floods of Refugees: A Comment on Climate Change, Conflict and Forced Migration. Report by the Norwegian Refugee Council, Oslo, Norway, 44 pp.

Kossin, J.P., K.R. Knapp, D.J. Vimont, R.J. Murnane, and B.A. Harper, 2007: A globally consistent reanalysis of hurricane variability and trends. Geophysical Research Letters, 34, L04815.

Kotter, J.P., 1995: Leading change: Why transformation efforts fail. Harvard Business Review OnPoint, March-April, 1-10.

Kotter, J.P., 1996: Leading Change. Harvard Business School Press, Boston, MA, 200 pp.

Kovats, S., D. Campbell-Lendrum, and F. Matthies, 2005: Climate change and human health: estimating avoidable deaths and disease. Risk Analysis, 25(6), 1409-1418.

Kristjanson, P., R.S. Reid, N. Dickson, W.C. Clark, D. Romney, R. Puskur, S. MacMillan, and D. Grace, 2009: International agricultural research knowledge with action for sustainable development. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(13), 5047-5052.

Kunreuther, H., R. Ginsberg, L. Miller, P. Sagi, P. Slovic, B. Borkan, and N. Katz, 1978: Disaster Insurance Protection: Public Policy Lessons. John Wiley and Sons, New York, NY.

Kwa, E., 2009: Climate change and indigenous peoples in the South Pacific: the need for regional and local strategies. In: Climate Law and Developing Countries: Legal and Policy Challenges for the World Economy [Richardson, B.J., Y. le Bouthillier, H. McLeod-Kilmurray, and S. Wood (eds.)]. Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 102-124.

La Trobe, S. and I. Davis, 2005: Mainstreaming Disaster Risk Reduction: A Tool for Development Organizations. Tearfund, London, 20 pp.

Lacambra, C. and K. Zahedi, 2011: Climate change, natural hazards and coastal ecosystems in Latin-America: A framework for analysis. In: Coping with Global Environmental Change, Disaster and Security [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 585-602.

Larsen, P., S. Goldsmith, O. Smith, M. Wilson, K. Strzepek, P. Chinowsky, and B. Saylor, 2007: Estimating Future Costs for Alaska Public Infrastructure at Risk from Climate Change. Institute of Social and Economic Research, University of Alaska, Anchorage, AK, 108 pp.

Last, M., 1994: Putting children first. Disasters, 18(3), 192-202.

Lauten, A.W. and K. Lietz, 2008: A look at the standards gap: comparing child protection responses in the aftermath of hurricane Katrina and the Indian Ocean tsunami. Children, Youth and Environments, 18(1), 158-201.

Lavell, A., 1999: Desastres en America Latina: Avences Teoricos y Practicos: 1990-1999. Anuario Social y Politico de America Latina y el Caribe, FLACSO-Nueva Sociedad, Caracas, Venezuela, 34 pp.

Lavell, A., 2009: Unpacking Climate Change Adaptation and Disaster Management: Searching for the Links and Differences: A Conceptual and Epistemological Critique and Proposal. FLACSO, Caracas, Venezuela.

Lawn, P., 2003: A theoretical foundation to support the Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW), Genuine Progress Indicator (GPI), and other related indexes. Ecological Economics, 44, 105-118.

Le Billon, P. and A. Waizenegger, 2007: Peace in the wake of disaster? Secessionist conflicts and the 2004 Indian Ocean tsunami. Transactions of the Institute of British Geographers, 32(3), 411-427.

Le Roy Ladurie, E., 1971: Times of Feast, Times of Famine: A History of Climate Since the Year 1000. Doubleday, New York, NY.

Leary, N., J. Adequwon, V. Barros, I. Burton, J. Kukarni, and R. Lasco (eds.), 2008: Climate Change and Adaptation. Earthscan, London, UK.

Lebel, L., J.M. Anderies, B. Campbell, C. Folke, S. Hatfield-Dodds, T.P. Hughes, and J. Wilson, 2006: Governance and the capacity to manage resilience in regional social-ecological systems. Ecology and Society, 11(1), 19.

Lebel, L., B.T. Sinh, P. Garden, S. Seng, L.A. Tuan, and D. Van Truc, 2009: The promise of flood protection: dykes and dams, drains and diversions. In: Contested Waterscapes in the Mekong Region: Hydropower, Livelihoods and Governance [Molle, F., T. Foran, and M. Kakonen (eds.)]. Earthscan Publications, London, UK, pp. 283-306.

Lee, E.K.O., C. Shen, and T.V. Tran, 2009: Coping with Hurricane Katrina: psychological distress and resilience among African Americans evacuees. Journal of Black Psychology, 35(1), 5-23.

Lehner, B., P. Doll, J. Alcamo, T. Henrichs, and F. Kaspar, 2006: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis. Climatic Change, 75(3), 273-299.

Leichenko, R.M. and K.L. O'Brien, 2008: Environmental Change and Globalization: Double Exposures. Oxford University Press, New York, NY, 192 pp.

Leichenko, R. and W. Solecki, 2008: Consumption, inequity, and environmental justice: the making of new metropolitan landscapes in developing countries. Society and Natural Resources, 21(7), 611-624.

Leiserowitz, A., 2006: Climate change risk perception and policy preferences: the role of affect, imagery, and values. Climatic Change, 77(1-2), 45-72.

Leiserowitz, A.A., R.W. Kates, and T.M. Parris. 2005: Do global attitudes and behaviors support sustainable development? Environment, 47(9), 22-38.

Leiserowitz, A.A., R. Kates, and T. M. Parris. 2006: Sustainability values, attitudes, and behaviors: A review of multinational and global trends. Annual Review of Environment and Resources, 31, 413-444.

Lemos, M.C., E. Boyd, E.L. Tompkins, H. Osbahr, and D. Liverman, 2007: Developing adaptation and adapting development. Ecology and Society, 12(2), 26.

Lempert, R., 2007: Can scenarios help policymakers be both bold and careful? In: Blindside: How to Anticipate Forcing Events and Wild Cards in Global Politics [Fukuyama, F. (ed.)]. Brookings Institution Press, Washington, DC, pp. 109-179.

Lempert, R.J. and M.T. Collins, 2007: Managing the risk of uncertain thresholds responses: comparison of robust, optimum, and precautionary approaches. Risk Analysis, 27(4), 1009-1026.

Lenton, T.M., H. Held, E. Kriegler, J.W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf, and H.J. Schellnhuber, 2008: Tipping elements in the Earth's climate system. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(6), 1786-1793.

Levin, S.A., 1998: Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems. Ecosystems, 1(5), 431-436.

Lin, J., 2009: Supporting adaptation in developing countries at the national and global levels. In: Climate Law and Developing Countries: Legal and Policy Challenges for the World Economy [Richardson, B.J., Y. le Bouthillier, H. McLeod-Kilmurray, and S. Wood (eds.)]. Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 127-150.

Lindley, S., D. McEvoy, and J. Handley, 2006: Adaptation and mitigation in urban areas: synergies and conflicts. Municipal Engineer, 159(4), 185-191.

Linnenluecke, M. and A. Griffiths, 2010: Beyond adaptation: resilience for business in light of climate change and weather extremes. Business & Society, 49(3), 477-511.

Linnerooth-Bayer, J. and R. Mechler, 2007: Disaster safety nets for developing countries: extending public-private partnerships. Environmental Hazards, 7(1), 54-61.

Linnerooth-Bayer, J., R. Mechler, and G. Pflug, 2005: Refocusing Disaster Aid. Science, 309(5737), 1044-1046.

List, D., 2006: Action Research cycles for multiple futures perspectives. Futures, 38(6), 673-684.

Loayza, N., E. Olaberria, J.Rigolini, and L. Christiansen, 2009: Natural Disasters and Growth – Going Beyond the Averages. World Bank Policy Research Working Paper 4980, World Bank, Washington, DC, 42 pp.

Lobell, D.B., M.B. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W.P. Falcon, and R.L. Naylor, 2008: Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. Science, 319(5863), 607-610.

Locatelli, B., V. Evans, A. Wardell, A. Andrade, and R. Vignola, 2010: Forests and Climate Change in Latin America Linking Adaptation and Mitigation in Projects and Policies. CIFOR Infobrief No. 31, Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, 8 pp.

Loorbach, D., 2010: Transition management for sustainable development: a prescriptive, complexity-based governance framework. Governance, 23(1), 161-183.

Loorbach, D., R. van der Brugge, and M. Taanman, 2008: Governance in the energy transition: practice of transition management in the Netherlands. International Journal of Environmental Technology and Management, 9(2/3), 294-315.

López, R., 2009: Natural Disasters and the Dynamics of Intangible Assets. Policy Research Working Paper 4874, Background paper for the UN–World Bank Assessment on the Economics of Disaster Risk Reduction, World Bank,Washington, DC, 79 pp.

Lovins, A. and H. Lovins, 1982: Brittle Power: Energy Strategy for National Security. Brick House, Andover, MA, 486 pp.

Lyons, M., T. Schilderman, and C. Boano (eds.), 2010: Building Back Better: Delivering People-Centred Reconstruction at Scale. Practical Action Publishing, Rugby, UK, 380 pp.

Magat, W., K.W. Viscusi, and J. Huber, 1987: Risk-dollar tradeoffs, risk perceptions, and consumer behaviour. In: Learning About Risk [Viscusi, W. and W. Magat (eds.)]. Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 83-97.

Mahul, O. and C.J. Stutley, 2010: Government Support to Agricultural Insurance: Challenges and Options for Developing Countries. World Bank, Washington, DC, 19 pp.

Markard, J, and B. Truffer, 2008: Technological innovation systems and the multi-level perspective: towards an integrated framework. Research Policy, 37(4), 596-615.

Marulanda, M.C., O.D. Cardona, and A.H. Barbat, 2010: Revealing the socioeconomic impact of small disasters in Colombia using the DesInventar database. Disasters, 34(2), 552-570.

Maskrey, A., 1989: Disaster Mitigation: A Community Based Approach. Oxfam, Oxford, UK, 114 pp.

Maskrey, A., 1994: Comunidad y desastres en America Latina: Estrategias de Intervencion. In: Viviendo en Riesgo: Comunidades vulnerables y prevencion de desastres en America Latina [Lavell, A. (ed.)]. Red de Estudios Sociales en Prevencion de Desastres en America Latina, Bogota, Colombia, pp. 14-38.

Maskrey, A. (ed.), 1996: Terremotos en el tropico humedo:La gestion de los desastres del Alto Mayo, Peru (1990-1991), Limon, Costa Rica (1991) y Atrato Medio, Colombia (1992). LA RED, Tercer Mundo, Bogota, Colombia, 256 pp.

Maskrey, A., 2011: Revisiting community-based disaster risk management. Environmental Hazards, 10(1), 42-52.

McCool, D., 2005: The river commons: a new era in U.S. water policy. Texas Law Review, 83(7), 1903-1927.

McEvoy, D., S. Lindley, and J. Handley, 2006: Adaptation and mitigation in urban areas: synergies and conflict. Municipal Engineer, 159(4), 185-191.

McGray, H., A. Hammill, R. Bradley, E.L. Schipper, and J.-E. Parry, 2007: Weathering the Storm: Options for Framing Adaptation and Development. World Resources Institute, Washington, DC, 57 pp.

MEA, 2005: Ecosystems and Human Well-being A Framework for Assessment. Millennium Ecosystem Assessment Series, Island Press, Wash ington, DC, 266 pp.

Meadowcroft, J., 1997: Planning for sustainable development: insights from the literatures of political science. European Journal of Political Research, 31(4), 427-454.

Medema, W., B.S. McIntosh, and P.J. Jeffrey, 2008: From premise to practice: a critical assessment of integrated water resources management and adaptive management approaches in the water sector. Ecology and Society, 13(2), 29.

Mercer, J., I. Kelman, K. Lloyd, and S. Suchet-Pearson, 2008: Reflections on use of participatory research for disaster risk reduction. Area, 40(2), 172-183.

Metcalf & Eddy, 2005: Water Reuse: Issues, Technologies and Applications. Mcgraw-Hill, New York, NY, 1570 pp.

Mezirow, J., 1995: Transformation theory in adult learning. In: In Defense of the Life World [Welton, M.R. (ed.)]. State University of New York Press, Albany, NY, pp. 39-70.

Mgbako, C. and L.A. Smith, 2010: Sex work and human rights in Africa. Fordham International Law Journal, 33(4), 1178-1220.

Michel-Kerjan, E., 2008: Disasters and public policy: Can market lessons help address government failures? In: Proceedings of the 99th National Tax Association Conference, Boston, MA, 16-18 Nov. 2006, 15 pp.

Midgley, J. J. and W. J. Bond, 2001: A synthesis of the demography of African acacias. Journal of Tropical Ecology, 17(6), 871-886.

Miller, R., 2007: Futures literacy: A hybrid strategic scenario method. Futures, 39(4), 341-362.

Milligan, J., T. O'Riordan, S.A. Nicholson-Cole, and A.R. Watkinson, 2009: Nature conservation for future sustainable shorelines: lessons from seeking to involve the public. Land Use Policy, 26(2), 203-213.

Misselhorn, A.A., 2005: What drives food insecurity in southern Africa? A metaanalysis of household economy studies. Global Environmental Change A, 15(1), 33-43.

Mitchell, J.K., 1999: Crucibles of Hazard: Mega-Cities and Disasters in Transition. UNU Press, New York, NY, 535 pp.

Mitchell, J.K., 2001: Policy forum: human rights to disaster assistance and mitigation. Environmental Hazards, 3(3-4), 123-124.

Mitchell, T., K. Haynes, N. Hall, W. Choong, and K.Oven, 2008: The role of children and youth in communicating disaster risk. Children, Youth and Environments, 18(1), 254-279.

Moench, M. and A. Dixit, 2007: Working with the Winds of Change: Toward Strategies for Responding to the Risks Associated with Climate Change and other Hazards. Institute for Social and Environmental Transition, Kathmandu, Nepal, 296 pp.

Moench, M., A. Dixit, S. Janakarajan, M.S. Rathore, and S. Mudrakartha, 2003: The Fluid Mosaic: Water Governance in the Context of Variability, Uncertainty and Change. Institute for Social and Environmental Transition, Boulder, CO, 71 pp.

Mol, A.P.J. and D.A. Sonnenfeld (eds.), 2000: Ecological Modernization around the World. Frank Cass Publishers, Portland, OR, 312 pp.

Montgomery, S., M. Lucotte, and I. Rheault, 2000: Temporal and spatial influences of flooding on dissolved mercury in boreal reservoirs. The Science of the Total Environment, 260(1-3), 147-157.

Moreno, A. and O.D. Cardona, 2011: Efectos de los desastres naturales sobre el crecimiento, el desempleo, la inflacion y la distribucion del ingreso: Una evaluacion de los casos de Colombia y Mexico. Background Paper prepared for the 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 30 pp.

Mortreux, C. and J. Barnett, 2009: Climate change, migration and adaptation in Funafuti, Tuvalu. Global Environmental Change, 19(1), 105-112.

Moser, S., 2009: Now more than ever: The need for more socially relevant research on vulnerability and adaptation to climate change. Applied Geography, 30(4), 464-474.

Moser, S. and J.A. Ekstrom, 2010: A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(51), 22026-22031.

Moss, R.H., J.A. Edmonds, K.A. Hibbard, M.R. Manning, S.K. Rose, D.P. van Vuuren, T.R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G.A. Meehl, J.F.B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S.J. Smith, R.J. Stouffer, A.M. Thomson, J.P. Weyant and T.J. Wilbanks, 2010: A new paradigm for the next generation of climate change scenarios. Nature, 463, 747-756.

Murray, C. and A. Lopez (eds.), 1996: The Global Burden of Disease. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1022 pp.

Mustafa, D., 2005: The production of an urban hazardscape in Pakistan: modernity, vulnerability and the range of choice. The Annals of the Association of American Geographers, 95(3), 566-586.

Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grubler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Riahi, A. Roehrl, H-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, and Z. Dadi, 2000: Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 599 pp.

Nelson, D.R., 2009: Conclusions: transforming the world. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, W.N., I. Lorenzoni, and K.L. O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 491-500.

Nelson, D.R., W.N. Adger, and K. Brown, 2007: Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework. Annual Review of Environment and Resources, 32, 395-419.

Nelson, R. and S. Winter, 1982: An Evolutionary Theory of Economic Change. Harvard University Press, Cambridge, MA, 454 pp.

Nemarundwe, N., 2003: Negotiating Resource Access; Institutional Arrangement for Woodlands and Water Use in Southern Zimbabwe. Doctoral Thesis, University of Uppsala, Sweden, 279 pp.

Nepstad, D.C., I.M. Tohver, D. Ray, P. Moutinho, and G. Cardinot, 2007: Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. Ecology, 88(9), 2259-2269.

New, M., D. Liverman, H. Schroeder, and K. Anderson, 2011: Four degrees and beyond: the potential for a global temperature increase of four degrees and its implications. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 369, 6-19.

Newman, P. and J.R. Kenworthy, 1989: Cities and Automobile Dependence: A Sourcebook. Gower Publishing Company, Farnham, UK, 388 pp.

Newman, P.W.G., B. Birrell, D. Holmes, C. Mathers, P. Newton, G.Oakley, A. O'Connor, B. Walker, A. Spessa, and D. Tait, 1996: Human settlements. In: Australian State of the Environment Report [Beeton, R.J.S., K.I> Buckley, G.J. Jones, D. Morgan, R.E. Reichelt, and D. Trewin (eds.)]. Department of Environment, Sport and Territories, Canberra, pp. 7-18.

Nicholls, R., A. Watkinson, M. Mokrech, S. Hanson, J. Richards, J. Wright, S. Jude, S. Nicholson-Cole, M. Walkden, J. Hall, R. Dawson, P. Stansby, G.K. Jacoub, M. Rounsvell, C. Fontaine, L. Acosta, J. Lowe, J. Wolf, J. Leake, and M. Dickson, 2007: Integrated coastal simulation to support shoreline management planning. In: Proceedings of the 42nd Flood and Coastal Management Conference, York, UK, 3-5 July 2007, 11 pp.

Nicholls, R.J., S. Hanson, C. Herweijer, N. Patmore, S. Hallegatte, J. Chateau, and R. Muir-Wood, 2008: Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes: Exposure Estimates. Environment Working Papers 1, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 61 pp.

Njuki, J.M., M.T. Mapila, S. Zingore, and R. Delve, 2008: The dynamics of social capital in influencing use of soil management options in the Chinyanja Triangle of southern Africa. Ecology and Society, 13(2), 9.

Nobre, C.A., P. Sellers, and J. Shukla, 1991: Amazonian deforestation model and regional climate change. Journal of Climate, 4, 957-988.

Nobre, C.A., E.D. Assad, and M.D. Oyama, 2005: Mudanca ambiental no Brasil: o impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazonia e na agricultura. Scientific American Brasil, Special Issue: A Terra na Estufa, 70-75.

Norris, F.H., 2005: Range, Magnitude, and Duration of the Effects of Disasters on Mental Health: Review Update 2005. Dartmouth Medical School and National Center for PTSD, Hanover, NH, 23 pp.

Norris, F., 2010: Behavioral Science Perspectives on Resilience. CARRI Research Paper 10, Community and Regional Resilience Institute, Oak Ridge, TN, 50 pp.

Norris, F.H., M. J. Friedman, P.J. Watson, C.M. Byrne, E. Diaz, and K. Kaniasty, 2002: 60,000 disaster victims speak: Part I. An empirical review of the empirical literature, 1981-2001. Psychiatry, 65(3), 207-239.

Noy, I., 2009: The macroeconomic consequences of disasters. Journal of Development Economics, 88(2), 221-231.

Noy, I. and A. Nualsri, 2007: What do Exogenous Shocks Tell Us about Growth Theories? Working Paper 07-28, University of Hawaii at Manoa, Department of Economics, Manoa, HI, 31 pp.

Noy, I. and T.B. Vu, 2010: The economics of natural disasters in a developing country: The case of Vietnam. Journal of Asian Economics, 21(4), 345-354.

NRC, 1999: Our Common Journey: A Transition Towards Sustainability. National Research Council, National Academies Press, Washington, DC, 384 pp.

NRC, 2005: Thinking Strategically: The Appropriate Use of Metrics for the Climate Change Science Program. National Research Council, National Academies Press, Washington, DC, 162 pp.

NRC, 2008: Disaster Risk Management in an Age of Climate Change. A Summary of the April 3, 2008 Workshop of the Disasters Roundtable [Anderson, W.A. (ed.)], National Research Council, National Academies Press, Washington, DC, 18 pp.

NRC, 2010: Adapting to the Impacts of Climate Change. Panel on Adapting to Impacts of Climate Change, National Research Council, National Academies Press, Washington, DC, 292 pp.

O'Brien, G., P. O'Keefe, J. Rose, and B. Wisner, 2006: Climate change and disaster management. Disasters, 30(1), 64-80.

O'Brien, K., 2009: Do values subjectively define the limits to climate change adaptation? In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, W.N., I. Lorenzoni, and K.O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 164-180.

O'Brien, K. and R. Leichenko, 2003: Winners and losers in the context of global change. Annals of the Association of American Geographers, 93(1), 89-103.

O'Brien, K. and J. Wolf. 2010: A values-based approach to vulnerability and adaptation to climate change. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1(2), 232-242.

O'Brien, K.L., R. Leichenko, U. Kelkar, H. Venema, G. Aandahl, H. Tompkins, A. Javed, S. Bhadwal, S. Barg, L. Nygaard, and J. West, 2004: Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. Global Environmental Change, 14(4), 303-313.

O'Brien, K. L., S. Eriksen, L. Sygna, and L.O. Næss, 2006: Questioning complacency: climate change impacts, vulnerability, and adaptation in Norway. Ambio, 35(2), 50-56.

O'Brien, K., L. Sygna, R. Leichenko, W.N. Adger, J. Barnett, T. Mitchell, L. Schipper, T. Tanner, C. Vogel, and C. Mortreux, 2008: Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation and Human Security. A Commissioned Report for the Norwegian Ministry of Foreign Affairs, GECHS Report 2008:3, University of Oslo, Oslo, Norway, 76 pp.

O'Brien, K., B. Hayward, and F. Berkes, 2009: Rethinking social contracts: building resilience in a changing climate. Ecology and Society, 14(2), 12.

O'Brien, K., A. St Clair, and B. Kristoffersen (eds.), 2010a: Climate Change, Ethics and Human Security. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 246 pp.

O'Brien, K., A. St Clair, and B. Kristoffersen, 2010b: The framing of climate change: Why it matters. In: Climate Change, Ethics and Human Security [O'Brien, K., A. St Clair, and B. Kristoffersen (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 3-22.

Obrist, B., C. Pfeiffer, and R. Henley, 2010: Multi-layered social resilience: a new approach in mitigation research. Progress in Development Studies, 10(4), 283-293.

OECD, 2006: Declaration On Integrating Climate Change Adaptation into Development Cooperation. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 7 pp.

OECD, 2007: Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management [Agrawala, S. (ed.)]. Organisation for Econonomic Co-operation and Development, Paris, France.

OECD, 2009a: Measuring and Fostering the Progress of Societies. Document prepared for OECD Meeting of the Council at Ministerial Level, 27-28 May 2010. C/MIN(2010)13, 12 May 2010, Organisation for Econonomic Co-operation and Development, Paris, France, 17 pp.

OECD, 2009b: Innovation in Country Risk Management. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 47 pp.

Okuyama, Y., 2004: Modeling spatial economic impacts of an earthquake: Inputoutput approaches. Disaster Prevention and Management, 13(4), 297-306.

Oliver-Smith, A., 1994: Peru's five hundred year earthquake: vulnerability in historical context. In: Disasters, Development and Environment [Varley, A. (ed.)]. John Wiley and Sons, London, UK, pp. 31-48.

Oliver-Smith, A., 2007: Communities after catastrophes: reconstructing the material, reconstituting the social. In: Community Building in the Twenty First Century [Hyland, S.E. (ed.)]. School of American Research Press, Santa Fe, NM, pp. 49-75.

Olson, R.S., 2000: Toward a politics of disaster losses, values, agendas, and blame. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 18(2), 265-287.

Olson, R.S. and V. Gawronski, 2003: Disasters as 'critical junctures' Managua, Nicaragua 1972 and Mexico City 1985. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, 21(1), 5-35.

Olsson, P., C. Folke, and T. Hahn, 2004: Social–ecological transformation for ecosystem management: the development of adaptive co-management of a wetland landscape in southern Sweden. Ecology and Society, 9(4), 2.

ONERC, 2009: Climate Change: Costs of Impacts and Lines of Adaptation. Report to the Prime Minister and Parliament, Observatoire National sur les Effets du Rechauffement Climatique, Paris, France, 136 pp.

Orlove, B., 2009: Glacier retreat: reviewing the limits of human adaptation to climate change. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 51(3), 22-34.

Oswald Spring, U., 1991: Estrategias de Supervivencia en la Ciudad de Mexico. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Cuernavaca, Mexico, 219 pp.

Oswald Spring, U., 2009a: A HUGE gender security approach: towards human, gender and environmental security. In: Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, J. Grin, C. Mesjasz, P. Kameri-Mbote, N. Chadha Behera, B. Chourou, and H. Krummenacher (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp.1165-1190.

Oswald Spring, U., 2009b: Food as a new human and livelihood security challenge. In: Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, J. Grin, C. Mesjasz, P. Kameri-Mbote, N. Chadha Behera, B. Chourou, and H. Krummenacher (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 471-500.

Oswald Spring, U., 2011a: Environmentally-forced migration in rural areas: security risks and threats in Mexico. In: Climate Change, Human Security and Violent Conflict: Challenges for Societal Stability [Scheffran, J., M. Brzoska, H.G. Brauch, P.M. Link, and J. Schilling (eds.)]. Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace 8, Springer, Heidelberg, Germany (in press).

Oswald Spring, U. (ed.), 2011b: Retos de la Investigacion del Agua en Mexico. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autonoma de Mexico / Scientific Network on Water – National Council on Science and

Technology, Cuernavaca, Mexico.

Oswald Spring, U. and H.G. Brauch, 2011: Coping with global environmental change – sustainability revolution and sustainable peace. In: Coping with Global Environmental Change, Disaster and Security [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 1487-1504.

Owuor, B., W. Mauta, and S. Eriksen, 2011: Strengthening sustainable adaptation: examining interactions between pastoral and agropastoral groups in dryland Kenya. Climate and Development, 3(1), 42-58.

Oxfam, 2010: Gender, Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation, A Learning Companion. Oxfam GB, Oxford, UK, 15 pp.

Paavola, J., 2005: Seeking justice: international environmental governance and climate change. Globalizations, 2(3), 309-322.

Paavola, J. and W.N. Adger, 2006: Fair adaptation to climate change. Ecological Economics, 56(1), 594-609.

Paavola, J., W.N. Adger, and S. Huq, 2006: Multifaceted justice in adaptation to climate change. In: Fairness in Adaptation to Climate Change [Adger, W.N., J. Paavola, S. Huq, and M.J. Mace (eds.)]. MIT Press, Cambridge, MA, 263-277.

Pahl-Wostl, C., 2009: A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. Global Environmental Change, 19(3), 354-365.

Pahl-Wostl, C., M. Craps, A. Dewulf, E. Mostert, D. Tabara, and T.Taillieu, 2007: Social learning and water resources management. Ecology and Society, 12(2), 5.

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof and Co-authors, 2007: Technical summary. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 23-78.

Patel, P. and K. Pavit, 1995: Patterns of technological activity: their measurement and interpretation. In: Handbook of Economics of Innovation and Technological Change [Stoneman, P. (ed.)]. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, pp. 14-51.

Pearce, L., 2003: Disaster management and community planning, and public participation: how to achieve sustainable hazard mitigation. Natural Hazards, 28(2-3), 211-228.

Peek, L., 2008: Children and disasters: understanding vulnerability, developing capacities and promoting resilience – an introduction. Children, Youth and Environments, 18(1), 1-29.

Peeples, M.A., C.M. Barton, and S. Schmich, 2006: Resilience lost: intersecting land use and landscape dynamics in the prehistoric southwestern United States. Ecology and Society, 11(2), 22.

Pelling, M., 1999: The political ecology of flood hazard in urban Guyana. Geoforum, 30, 249-261.

Pelling, M., 2003: Vulnerability of Cities, Natural Disasters and Social Resilience. Earthscan, London, UK, 212 pp.

Pelling, M., 2007: Learning from others: scope and challenges for participatory disaster risk assessment. Disasters, 31(4), 373-385.

Pelling, M., 2010a: Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation. Taylor and Francis, London, UK, 224 pp.

Pelling, M., 2010b: Systematisation Review of Urban Disaster Risk Reduction Projects in the Caribbean Region. Oxfam, Oxford, UK, 90 pp.

Pelling, M. and K. Dill, 2009: Disaster politics: tipping points for change in the adaptation of socio-political regimes. Progress in Human Geography, 34(1), 21-37.

Pelling, M. and A. Holloway, 2006: Legislation for Mainstreaming Disaster Risk Reduction. Tearfund, London, UK, 36 pp.

Pelling, M. and D. Manuel-Navarrete, 2011: From resilience to transformation: the adaptive cycle in two Mexican urban centers. Ecology and Society, 16(2), 11.

Pelling, M. and J.I. Uitto, 2001: Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change. Environmental Hazards: Global Environmental Change B, 3(2), 49-62.

Pelling, M. and B. Wisner (eds.), 2009: Disaster Risk Reduction: Cases from Urban Africa. Earthscan, London, UK.

Pelling, M., A. Ozerdem, and S. Barakat, 2002: The macro-economic impact of disasters. Progress in Development Studies, 2(4), 283-305.

Pelling, M., C. High, J. Dearing, and D. Smith, 2007: Shadow spaces for social learning: a relational understanding of adaptive capacity to climate change within organizations. Environment and Planning A, 40(4), 867-884.

Penrose, A. and M. Takaki, 2006: Children's rights in emergencies and disasters. The Lancet, 367, 698-699.

Perez, C., 2002: Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. Edward Elgar, Cheltenham, UK, 198 pp.

Peterson, G., 2009: Ecological limits of adaptation to climate change. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, W.N., I. Lorenzoni, and K.O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 25-41.

Peterson, G., G.A. De Leo, J.J. Hellmann, M.A. Janssen, A. Kinzig, J.R. Malcolm, K.L. O'Brien, S.E. Pope, D.S. Rothman, E. Shevliakova, and R.R.T Tinch, 1997: Uncertainty, climate change, and adaptive management. Conservation Ecology, 1(2), 4.

Pettengell, C., 2010: Climate Change Adaptation: Enabling People Living in Poverty to Adapt. Oxfam International Research Report, Oxfam, Oxford, UK, 48 pp.

Pielke, Jr., R., J. Rubiera, C. Landsea, M. Fernandez, and R. Klein, 2003: Hurricane vulnerability in Latin America and the Caribbean: Normalized damage and loss potentials. Natural Hazards Review, 4(3), 101-114.

Pielke, Jr., R., G. Prins, S. Rayner, and D. Sarewitz, 2007: Climate change 2007: lifting the taboo on adaptation. Nature, 445, 597-598.

Pielke, Jr., R.A., J. Gratz, C.W. Landsea, D. Collins, M. Saunders, and R. Musulin, 2008: Normalized hurricane damages in the United States: 1900-2005. Natural Hazards Review, 9(1), 29-42.

Pigou, A.C., 1920: The Economics of Welfare. Macmillan, London, UK, 976 pp.

Piguet, E., 2008: Climate Change and Forced Migration. Research Paper No 153, Evaluation and Policy Analysis Unit, UN High Commissioner for Refugees, Geneva, Switzerland, 15 pp.

Platt, R.H., 1999: Disasters and Democracy: the Politics of Extreme Natural Events. Island Press, Washington, DC, 320 pp.

Plummer, R. and D.R. Armitage, 2007: Charting the new territory of adaptive comanagement: a Delphi study. Ecology and Society, 12(2), 10.

Quarantelli, E.L., 1984: Perceptions and reactions to emergency warnings of sudden hazards. Ekistics, 309,511-515.

Quarantelli, E.L., 1995: What is a Disaster? Routledge, London, UK, 312 pp.

Raddatz, C., 2007: Are external shocks responsible for the instability of output in low-income countries? Journal of Development Economics, 84(1), 155-187.

Raleigh, C., L. Jordan, and I. Salehyan, 2008: Assessing the Impact of Climate Change on Migration and Conflict. World Bank, Washington DC, 57 pp.

Ramos, J.M., 2006: Dimensions in the confluences of futures studies and action research. Futures, 38(6), 642-655.

Raven, R.P.J.M., S. van den Bosch, and R. Weterings, 2010: Transitions and strategic niche management: towards a competence kit for practitioners. International Journal of Technology Management, 51(1), 57-74.

Rawls, J., 1971: A Theory of Justice. Harvard University Press, Cambridge, MA, 607 pp.

Reaser, J.K., R. Pomerance, and P.O. Thomas, 2000: Coral bleaching and global climate change: scientific findings and policy recommendations. Conservation Biology, 14(5), 1500-1511.

Redclift, M., 1987: Sustainable Development: Exploring the Contradictions. Methuen, London, UK, 221 pp.

Redclift, M., 1992: The meaning of sustainable development. Geoforum, 25(3), 395-403.

Reeder, T., J. Wicks, L. Lovell, and O. Tarrant, 2009: Protecting London from tidal flooding: limits to engineering adaptation. In: Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance [Adger, W.N., I. Lorenzoni, and K.O'Brien (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 54-78.

Reid, H., 2006: Climatic change and biodiversity in Europe. Conservation and Society, 4(1), 84-101.

Repetto, R., 2008: The Climate Crisis and the Adaptation Myth. Working Paper 13, Yale School of Forestry and Environmental Studies, New Haven, CT, 24 pp.

Reuveny, R., 2007: Climate change induced migration and violent conflict. Political Geography, 26(6), 656-673.

Reyos, J., 2010: Community-driven Disaster Intervention: Experiences of the Homeless People's Federation in the Philippines. Homeless Peoples Federation Philippines, Philippines Action for Community-led Shelter Initiatives, and International Institute for Environment and Development, Manila, Philippines and London, UK, 70 pp.

Richardson, B.J., Y. Le Bouthillier, H. McLeod-Kilmurray, and S. Wood (eds.), 2009: Climate Law and Developing Countries: Legal and Policy Challenges for the World Economy. Edward Elgar, Cheltenham, UK, 448 pp.

Rip, A. and R. Kemp, 1998: Technological change. In: Human Choice and Climate Change [Rayner, S. and L. Malone (eds.)]. Batelle Press, Washington, DC, pp. 327-399.

Rist, S., 2000: Linking ethics and market – Campesino economic strategies in the Bolivian Andes. Mountain Research and Development, 20(4), 310-315.

Roberts, D., 2008: Thinking globally, acting locally – institutionalizing climate change at the local government level in Durban, South Africa. Environment and Urbanization, 20(2), 521-537.

Roberts, D., 2010: Prioritizing climate change adaptation and local level resilience in Durban, South Africa. Environment and Urbanization, 22(2), 397-413.

Robinson, J., 2003: Future subjunctive: backcasting as social learning. Futures, 35(8), 839-856.

Rodriguez-Oreggia, E., A. de la Fuente, R. de la Torre, H. Moreno, and C. Rodriguez, 2009: The Impact of Natural Disasters on Human Development and Poverty at the Municipal Level in Mexico. CID Working Paper 43, Center for International Development at Harvard University, Cambridge, MA, 35 pp.

Rohan, M.J., 2000: A rose by any name? The values construct. Personal and Social Psychology Review, 4(3), 255-277.

Rohracher, H., 2008: Energy systems in transition: contributions from social sciences. International Journal of Environmental Technology and Management, 9(2-3), 144-161.

Rokeach, M., (ed.), 1979: Understanding Human Values: Individual and Societal. The Free Press, New York, NY, 322 pp.

Rose, A. and S.-Y. Liao, 2005: Modeling regional economic resilience to disasters: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions. Journal of Regional Science, 45(1), 75-112.

Rose, A., J. Benavides, S.E. Chang, P. Szczesniak, and D. Lim, 1997: The regional economic impact of an earthquake: Direct and indirect effects of electricity lifeline disruptions. Journal of Regional Science, 37(3), 437-458.

Rosegrant, M.W., T. Zhu, S. Msangi, and T. Sulser, 2011: Global scenarios for biofuels: impacts and implications. Applied Economic Perspectives and Policy, 30(3), 595-505.

Rosenberg, S.W. (ed.), 2007: Deliberation, Participation and Democracy: Can the People Govern? Palgrave Macmillan, New York, NY, 322 pp.

Rosenzweig, C., K.M. Strzepek, D.C. Major, A. Iglesias, D.N. Yates, A. McCluskey, and D. Hillel, 2004: Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies. Global Environmental Change, 14(4), 345-360.

Roshetko, J.M., R.D. Lasco, and M.S.D. Angeles, 2007: Smallholder agroforestry systems for carbon storage. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12, 219-242.

Royal Society, 2009: Geoengineering The Climate: Science, Governance and Uncertainty. The Royal Society, London, UK, 98 pp.

Sacoby, M., R.R. Wilson, J. Lesley, and E. Williams, 2010: Climate change, environmental justice, and vulnerability: an exploratory spatial analysis. Environmental Justice, 3(1), 13-19.

Salagnac, J.-L., 2007: Lessons from the 2003 heat wave: a French perspective. Building Research and Information, 35(4), 450-457.

Santos, I., 2007: Disentangling the Effects of Natural Disasters on Children: 2001 Earthquakes in El Salvador. Doctoral Dissertation, Kennedy School of Government, Harvard University, Cambridge, MA.

Satterthwaite, D., 1997: Sustainable cities or cities that contribute to sustainable development? Urban Studies, 34(10), 1167-1691.

Satterthwaite, D., 1998: Meeting the challenge of urban disasters. In: World Disasters Report 1998. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 9-19.

Satterthwaite, D. (ed.), 2007: The Transition to a Predominantly Urban World and its Underpinnings. International Institute for Environment and Development, London, UK, 91 pp.

Satterthwaite, D., 2010: Slum upgrading. Economic and Political Weekly, 45(10), 12-16.

Schär, C., P.L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C.Haberli, M.A. Liniger, and C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, 427, 332-336.

Scharmer, C.O., 2009: Theory U: Leading from the Future as it Emerges. The Society for Organizational Learning, Cambridge, MA, 533 pp.

Scheffer, M., 2009. Critical Transitions in Nature and Society. Princeton University Press, Princeton, NJ, 400 pp.

Scheffer, M., S.R. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke, and B. Walker, 2001: Catastrophic shifts in ecosystems. Nature, 413, 591-596.

Scheffer, M., J. Bascompte, W.A. Brock, V. Brovkin, S.R. Carpenter, V. Dakos, H. Held, E.H. van Nes, M. Rietkerk, and G. Sugihara, 2009: Early-warning signals for critical transitions. Nature, 461, 53-59.

Scheffran, J., 2011: Security risks of climate change: vulnerabilities, threats, conflicts and strategies. In: Coping with Global Environmental Change, Disaster and Security [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 735-756.

Schipper, E.L.F., 2007: Climate Change Adaptation and Development: Exploring the Linkages. Working Paper 107, Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich, UK, 20 pp.

Schipper, L., 2009: Meeting at the crossroads? Exploring the linkages between climate change adaptation and disaster risk reduction. Climate and Development, 1(1), 16-30.

Schipper, L. and M. Pelling, 2006: Disaster risk, climate change and international development: scope and challenges for integration. Disasters, 30(1), 19-38.

Schlenker, W. and M.J. Roberts, 2006: Nonlinear effects of weather on corn yields. Review of Agricultural Economics, 28(3), 391-398.

Scholze, M., W. Knorr, N.W. Arnell, and I.C. Prentice, 2005: A climate change risk analysis for world ecosystems. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103, 13116-13120.

Schumacher, I. and E. Strobl, 2008: Economic Development and Losses due to Natural Disasters: The Role of Risk. Cahiers 2008-32, Departement d'Economie, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France, 39 pp.

SCBD, 2010: Global Biodiversity Outlook 3. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.

Scott, J.C., 2003: The Moral Economy of the Peasant: Rebellion and Subsistence in Southeast Asia. Yale University Press, New Haven, CT, 246 pp.

Sen, A, 2000: Un Nouveau Modele Economique. Developpement, Justice, Liberte. Editions Odile Jacob, Paris, France, 356 pp.

Sen, A, 2003: Human security now. Soka Gakkai International Quarterly, 33, 1-7.

Senge, P.M., 1990: The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization. Currency/Doubleday, New York, NY, p. 445.

Silvestri, S. and F. Kershaw (eds.), 2010: Framing the flow: Innovative Approaches toUnderstand, Protect and Value Ecosystem Services across Linked Habitats. United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK, 66 pp.

Simmie, J. and R. Martin. 2010: The economic resilience of regions: towards an evolutionary approach. Economy and Society, 3(1), 27-43.

Skidmore, M. and H. Toya, 2002: Do natural disasters promote long-run growth? Economic Inquiry, 40(4), 664-687.

Slovic, P., 1987: Perception of risk. Science, 236, 280-285.

Smith, A. and A. Stirling, 2010: The politics of social–ecological resilience and sustainable sociotechnical transitions. Ecology and Society, 15(1), 11.

Smith, A., A. Stirling, and F. Berkhout, 2005: The governance of sustainable sociotech-

nical transitions: a quasi-evolutionary model. Research Policy, 34(10), 1491-1510.

Smith, D.M. and S. Barchiesi, 2009: Environment as Infrastructure: Resilience to Climate Change impacts on Water through Investments in Nature. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland, 13 pp.

Smith, S.K. and C. McCarty, 2006: Florida's 2004 Hurricane Season: Demographic Response and Recovery. Bureau of Economic and Business Research, University of Florida, Gainesville, FL, 40 pp.

Smithers, J. and B. Smit, 1997: Agricultural system response to environmental stress. In: Agricultural Restructuring and Sustainability: A Geographical Perspective [Ilbery, B., Q. Chiotti, and T. Rickard (eds.)]. CABI, Wallingford, UK, pp. 167-183.

Solecki, W. and R. Leichenko, 2006: Urbanization and the metropolitan environment: lessons from New York and Shanghai. Environment, 48(4), 8-23.

Sperling, F. and F. Szekely, 2005: Disaster Risk Management in Changing Climate. Discussion Paper prepared for the World Conference on Disaster Risk Reduction on behalf of the Vulnerability and Adaptation Resource Group (VARG). Reprint with Addendum on Conference Outcomes, VARG, Washington, DC, 45 pp.

Sperling, F., C. Valdivia, R. Quiroz, R. Valdivia, L. Angulo, A. Seimon, and I. Noble, 2008: Transitioning to Climate Resilient Development: Perspectives from Communities in Peru. World Bank Environment Department Papers 115, World Bank, Washington, DC, 103 pp.

Sphere, 2004: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response. The Sphere Project, Belmont Press Ltd., Northampton, UK, 402 pp.

St. Clair, A., 2010: Global poverty: towards the responsibility to protect. In: Climate Change, Ethics and Human Security [O'Brien, K., A. St. Clair, and B. Kristoffersen (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 180-198.

Stafford Smith, M., L. Horrocks, A. Harvey, and C. Hamilton, 2011: Rethinking adaptation for a 4°C world. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 369, 196-216.

Stehr, N. and H. Von Storch, 2005: Introduction to papers on mitigation and adaptation strategies for climate change: protecting nature from society or protecting society from nature? Environmental Science Policy, 8(6), 537-540.

Stern, P. and W. Easterling (eds.), 1999: Making Use of Seasonal Climate Forecasts. National Academies Press, Washington, DC, 175 pp.

Stevenson, T., 2002: Anticipatory action learning: conversations about the future. Futures, 34(5), 417- 425.

Stevenson, T., 2008: Enacting the vision for sustainable development. Futures, 41(4), 246-252.

Strobl, E., 2011: The economic growth impact of hurricanes: evidence from US coastal counties. The Review of Economics and Statistics, 93(2), 575-589.

Swart, R., J. Robinson, and S. Cohen, 2003: Climate change and sustainable development: expanding the options. Climate Policy, 391, 810-849.

Swift, J., 1989: Why are rural people vulnerable to famine? IDS Bulletin, 20(2), 8-15.

Tanner, T.M., 2010: Shifting the narrative: child-led responses to climate change and disasters in El Salvador and the Philippines. Children and Society, 24(4), 339-351.

Tanner, T.M., M. Garcia, J. Lazcano, F. Molina, G. Molina, G. Rodriguez, B. Tribunalo, and F. Seballos, 2009: Children's participation in community-based disaster risk reduction and adaptation to climate change. Participatory Learning and Action, 60, 54-64.

Telford, J., J. Cosgrave, and R. Houghton, 2006: Joint Evaluation of the International Response to the Indian Ocean Tsunami: Synthesis Report. Tsunami Evaluation Coalition, London, UK, 178 pp.

Thaler, R., 1999: Mental accounting matters. Journal of Behavioral Decision Making, 12, 183-206.

Theobald, D., 2005: Landscape patterns of exurban growth in the USA from 1980 to 2020. Ecology and Society, 10(1), 32.

Thomas, D.S.G. and C. Twyman, 2005: Equity and justice in climate change adaptation amongst natural-resource dependent societies. Global Environmental Change Part A, 15(2), 115-124.

Thomas-Slayter, B., R. Polestico, A.L. Esser, O. Taylor, and E. Mutua, 1995: A Manual for Socio-Economic and Gender Analysis: Responding to the Development Challenge. Clark ECOGEN Publication, Worcester, MA, 278 pp.

Thompson, I., B. Mackey, S. McNulty, and A. Mosseler, 2009: Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A Synthesis of the Biodiversity/Resilience/Stability Relationship in Forest Ecosystems. Technical Series no. 43, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada, 67 pp.

Tierney, K. and M. Bruneau, 2007: Conceptualizing and measuring resilience: A key to disaster loss reduction. TR News 250, May-June, 14-17.

Tol, R. and G. Yohe, 2007: The weakest link hypothesis for adaptive capacity: An empirical test. Global Environmental Change, 17(2), 218-227.

Tol, R.S.J., T.E. Downing, O.J. Kuik, and J.B. Smith: 2004. Distributional aspects of climate change impacts. Global Environmental Change, 14(3), 259-272.

Tompkins, E.L., M.C. Lemos, and E. Boyd, 2008: A less disastrous disaster: Managing response to climate-driven hazards in the Cayman Islands and NE Brazil. Global Environmental Change, 18(4), 736-745.

Törnquist, O., S.A. Prasetyo, and T. Birks (eds.), 2010: Aceh: The Role of Democracy for Peace and Reconstruction. PCD Press Indonesia, Jogjakarta, Indonesia, 431 pp.

Tran, P., R. Shaw, G. Chantry, and J. Norton, 2009: GIS and local knowledge in disaster management: a case study of flood risk mapping in Viet Nam. Disasters, 33(1), 152-169.

Trawick, P., 2001: The moral economy of water: equity and antiquity in the Andean commons. American Anthropologist, 103(2), 361-379.

Tribe, M. and A. Lafon, 2009: After 2015: Promoting Pro-Poor Policy after the MDGS: The Plenary Presentations and Discussion. Report on the EADI – DSA – IDS–ActionAid – DIFID High Level Policy Forum, June 2009, 17 pp.

Trope, Y. and N. Liberman, 2003: Temporal construal. Psychological Review, 110(3), 403-421.

Tschakert, P. and K.A. Dietrich, 2010: Anticipatory learning for climate change adaptation and resilience. Ecology and Society, 15(2), 11.

Tschakert, P., R. Sagoe, G. Darko, and S.N. Codjoe, 2010: Floods in the Sahel: an analysis of anomalies, memory, and anticipatory learning. Climatic Change, 103(3-4), 471-502.

Tsuchiya, S., H. Tatano, and N. Okada, 2007: Economic loss assessment due to railroad and highway disruptions. Economic Systems Research, 19(2), 147–162.

Turner, N.J. and H. Clifton, 2009: It's so different today: climate change and indigenous lifeways in British Columbia. Global Environmental Change, 19(2), 180-190.

Tversky, A. and E. Shafir, 1992: Choice under conflict: the dynamics of deferred decision. Psychological Science, 3(6), 358-361.

Twigg, J., 2001: Corporate Social Responsibility and Disaster Reduction: A Global Overview. Benfield Greig Hazard Research Centre, University College London, UK, 84 pp.

Tyler, S., S.O. Reed, K. Macclune, and S. Chopde, 2010: Planning for Urban Climate Resilience: Framework and Examples from the Asian Cities Climate Change Resilience Network (ACCCRN). Climate Resilience in Concept and Practice Working Paper Series 3, Institute for Social and Environmental Transition, Boulder, CO, 168 pp.

UK Environment Agency, 2009: The Thames estuary is changing. In: Managing Flood Risk through London and the Thames Estuary. TE2100 Plan Consultation Document, Environment Agency, London, UK, pp. 20-23.

Ulsrud, K., L. Sygna, and K.L. O'Brien, 2008: More than Rain, Identifying Sustainable Pathways for Climate Adaptation and Poverty Reduction. Report prepared for the Development Fund, Oslo, Norway, 68 pp.

UN, 2002: World Population Ageing 1950 – 2050. Executive Summary. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York, NY.

UN-HABITAT, 2009: Planning Sustainable Cities: Global Report on Human Settlements 2009. Earthscan Publications Ltd., London, UK, 306 pp.

UNDP, 1994: Human Development Report 1994: New Dimensions of Human Security. United Nations Development Programme, Oxford University Press, New York, NY.

UNDP, 2004: Reducing Disaster Risk: A Chal lenge for Development. United Nations Development Programme, Oxford University Press, New York, NY, 161 pp.

UNDP, 2007a: Thailand Human Development Report 2007: Sufficiency Economy and Human Development. United Nations Development Programme, Bangkok, Thailand, 152 pp.

UNDP, 2007b: Human Development Report 2007/2008: Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World. United Nations Development Programme, Palgrave Macmillan, New York, NY, 399 pp.

UNDP, 2009: Human Development Report 2009: Overcoming Barriers: Human Mobility and Development. United Nations Development Programme, Oxford University Press, Oxford, UK.

UNFCCC, 2006: Technologies for Adaptation to Climate Change. Adaptation, Technology and Science Programme of the United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat, Bonn, Germany, 40 pp.

UNGA, 2009: General Assembly, Expressing Deep Concern, Invites Major United Nations Organs: to Intensify Efforts in Addressing Security Implications of Climate Change. GA/10830, 3 June 2009, United Nations General Assembly, New York, NY.

UNISDR, 2004: Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat, Geneva, Switzerland, 429 pp.

UNISDR, 2008: Gender Perspectives: Integrating Disaster Risk Reduction into Climate Change Adaptation. Good practices and Lessons Learned. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 87 pp.

UNISDR, 2009: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat, Geneva, Switzerland, 207 pp.

UNISDR, 2011: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNSC, 2007: Security Council Holds First-Ever Debate on Impact of Climate Change on Peace, Security, Hearing over 50 Speakers. UN Security Council, 5663rd Meeting, 17 April 2007. UN Security Council, New York, NY.

UNSG, 2009: Climate Change and its Possible Security Implications. Report of the Secretary-General. United Nations, New York, NY.

USGBC, 2010: USGBC Celebrates Five Years of Green Building, Economic & Educational Progress in New Orleans. Press Release, US Green Building Council, Washington, DC.

van den Berg, M., 2010: Household income strategies and natural disasters: dynamic livelihoods in rural Nicaragua. Ecological Economics, 69(3), 592-602.

van Vuuren, D.P., P.L. Lucas, and H. Hilderink, 2006: Downscaling drivers of global environmental change scenarios: enabling use of the IPCC-SRES scenarios at the national and grid level. Global Environmental Change, 17(1), 114-130.

Velásquez, L.S., 1998: Agenda 21: A form of joint environmental management in Manizales, Colombia. Environment and Urbanization, 10(2), 9-36.

Velásquez, L.S., 2005: The bioplan: decreasing poverty in Manizales, Colombia, through shared environmental management. In: Reducing Poverty and Sustaining the Environment [Bass, S., H. Reid, D. Satterthwaite, and P. Steele (eds.)]. Earthscan Publications, London, UK, pp. 44-72.

Verchot, L.V., M. van Noordijk, S. Kandji, T. Tomich, C. Ong, A. Albrecht, J. Mackensen, C. Bantilan, K.V. Anupama, and C. Palm, 2007: Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(5), 901-918.

Vergara, W. and S.M. Scholz (eds.), 2011: Assessment of the Risk of Amazon Dieback. World Bank, Washington, DC, 99 pp.

Verweij, M., M. Douglas, R. Ellis, C. Engel, F. Hendriks, S. Lohmann, S. Ney, S. Rayner, and M. Thompson, 2006: Clumsy solutions for a complex world: the case of climate change. Public Administration, 84(4), 817-843.

Villagrán de León, J.C., 2011: Risks in Central America: bringing them under control. In: Coping with Global Environmental Change, Disaster and Security [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Springer, Berlin, Germany, pp. 1147-1158.

Viratkapan, V. and R. Perera, 2006: Slum relocation projects in Bangkok: what has contributed to their success or failure? Habitat International, 30(1), 157-174.

Virgoe, J., 2002: International governance of a possible geoengineering intervention to combat climate change. Climatic Change, 95(1-2), 103-119.

Viscusi, W.K. and J. Aldy, 2003: The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. Journal of Risk and Uncertainty, 27(1), 5-76.

Vogel, C., S.C. Moser, R.E. Kasperson, and G. Dabelko. 2007: Linking vulnerability, adaptation, and resilience science to practice: pathways, players, and partnerships. Global Environmental Change, 17(3-4), 349-364.

Volkery, A. and T. Ribeiro, 2009: Scenario planning in public policy: understanding use, impacts and the role of institutional context factors. Technological Forecasting and Social Change, 76(9), 1198-1207.

von Hesse, M., J. Kamiche, and C. de la Torre, 2008: Contribucion Tematica de America Latina al Informe Bienal de Evaluacion Mundial Sobre la Reduccion de Riesgo 2009. Contribution to the GTC-UNDP Background Paper prepared for the 2009 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 131 pp.

Voss, M. and K. Wagner, 2010: Learning from (small) disasters. Natural Hazards, 55, 657-669.

Wack, P., 1985: 시나리오: shooting the rapids. Harvard Business Review, 63(6), 139-150.

Walker, B. and D. Salt, 2006: Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World. Island Press, Washington, DC, 176 pp.

Walker, B., S. Carpenter, J. Anderies, N. Abel, G.S. Cumming, M. Janssen, L. Lebel, J. Norberg, G.D. Peterson, and R. Pritchard, 2002: Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. Conservation Ecology, 6(1), 14.

Walker, B., C.S. Holling, S.R. Carpenter, and A. Kinzig, 2004: Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. Ecology and Society, 9(2), 5.

Wandel, J. and B. Smit, 2000: Agricultural risk management in light of climate variability and change. In: Agricultural and Environmental Sustainability in the New Countryside [Millward, H., K. Beesley, B. Ilbery, and L. Harrington (eds.)]. Hignell Printing Limited, Winnipeg, Canada, pp. 30-39.

Warner, K., M. Hamza, A. Oliver-Smith, F. Renaud, and A. Julca, 2010: Climate change, environmental degradation and migration. Natural Hazards, 55(3), 689-715.

Waterson, T., 2006: Climate change – the greatest crisis for children? Journal of Tropical Pediatrics, 52(6), 383-385.

WCC-3, 2009: Global Framework for Climate Services. Background paper prepared by WMO secretariat, World Climate Conference 3, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 6 pp.

WCED, 1987: Our Common Future. World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford, UK.

Weber, E.U., 2010: What shapes perceptions of climate change? Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1(3), 332-342.

Weissbecker, I., S.E. Sephton, M.B. Martin, and D.M. Simpson, 2008: Psychological and physiological correlates of stress in children exposed to disaster: review of current research and recommendations for intervention. Children, Youth and Environments, 18(1), 30-70.

Weitzman, M.L., 2009: On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change. Review of Economics and Statistics, 91(1), 1-19.

West, C.T. and D.G. Lenze, 1994: Modeling the regional impact of natural disasters and recovery: a general framework and an application to hurricane Andrew. International Regional Science Review, 17(2), 121-150.

WGBU, 2008: Climate Change as a Security Risk. German Advisory Council on Climate Change (WGBU), Earthscan, London, UK, 271 pp.

Whitehead, J., R. Bacon, G.Carbone, K. Dow, J. Thigpen, and D. Tufford, 2010: Using climate extension to assist coastal decision-makers with climate adaptation. In: 22nd International Conference of the Coastal Society, Shifting Shorelines: Adapting to the Future, Wilmington, NC, 13-16 June 2010.

Wilbanks, T.J., 1994: "Sustainable development" in geographic context. Annals of the Association of American Geographers, 84(4), 541-557.

Wilbanks, T., 2003: Integrating climate change and sustainable development in a place-based context. Climate Policy, 3(1), 147-154.

Wilbanks, T., 2007: Scale and sustainability. Climate Policy, 7(4), 278-287.

Wilbanks, T., 2009: How Geographic Scale Matters in Seeking Community Resilience. CARRI Research Report 7, Community and Resilience Research Institute, Oak Ridge, TN, 28 pp.

Wilbanks, T., 2010: Research and development priorities for climate change mitiga-

tion and adaptation. In: Dealing with Climate Change: Setting a Global Agenda for Mitigation and Adaptation [Pachauri, R. (ed.)]. The Energy and Resources Institute, New Delhi, India, pp. 77-99.

Wilbanks, T. and R. Kates, 2010: Beyond adapting to climate change: embedding adaptation in responses to multiple threats and stresses. Annals of the Association of American Geographers, 100(4), 719-728.

Wilbanks, T. and J. Sathaye, 2007: Integrating mitigation and adaptation as responses to climate change: a synthesis. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(5), 957-962.

Wilbanks, J. and T. Wilbanks, 2010: Science, open communication, and sustainable development. Sustainability, 2(4), 993-1015.

Wilbanks, T., P. Leiby, R. Perlack, J.T. Ensminger, and S.B. Wright, 2007: Toward an integrated analysis of mitigation and adaptation: Some preliminary findings. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(5), 713-725.

Wisner, B., 2001: Disasters: what the United Nations and its world can do. Environmental Hazards, 3(3-4), 125-127.

Wisner, B., 2003: Changes in capitalism and global shifts in the distribution of hazard and vulnerability. In: Natural Disasters and Development in a Globalizing World [Pelling, M. (ed.)]. Routledge, London, UK, pp. 43-56.

Wisner, B., 2006: Let Our Children Teach Us! A Review of the Role of Education and Knowledge in Disaster Risk Reduction. Books for Change, Bangalore, India, 148 pp.

Wisner, B., 2011: Are we there yet? Reflections on integrated disaster risk management after ten years. Journal of Integrated Disaster Risk Management, 1(1), doi:10.5595/idrim.2011.0015.

Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon, and I. Davis, 2004: At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disaster. 2nd ed. Routledge, London, UK, 472 pp.

Wolf, J., 2011: Climate change adaptation as a social process. In: Climate Change Adaptation in Developed Nations: From Theory to Practice [Ford, J. and L. Ford Berrang (eds.)]. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 21-32.

Wolsink, M., 2006: River basin approach and integrated water management: Governance pitfalls for the Dutch Space-Water-Adjustment Management Principle. Geoforum, 37(4), 473-487.

Woodward, G. (ed.), 2010: Advances in Ecological Research 42: Ecological Networks. Academic Press, London, UK, 454 pp.

World Bank, 2005: Managing Agricultural Production Risk. World Bank, Washington, DC, 129 pp.

World Bank, 2008: World Development Report 2009: Reshaping Economic Geography. World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2010a: Natural Hazards, Unnatural Disasters, The Economics of Effective Prevention. World Bank and United Nations, Washington, DC, 254 pp.

World Bank, 2010b: Vulnerability of Bangladesh to Cyclones in a Changing Climate. Potential Damages and Adaptation Cost. Policy Research Working Paper 5280. World Bank, Washington, DC, 54 pp.

WWF, 2010: Living Planet Report. World Wide Fund for Nature, Gland, Switzerland, 119 pp.

Yohe, G. and R. Leichenko, 2010: Adopting a risk-based approach. Annals of the New York Academy of Sciences, 1196(1), 29-40.

Yohe, G. and R.S.J. Tol, 2002: Indicators for social and economic coping capacity – moving toward a working definition of adaptive capacity. Global Environmental Change, 12, 25-40.

Yohe, G.W., R.D. Lasco, Q.K. Ahmad, N.W. Arnell, S.J. Cohen, C. Hope, A.C. Janetos, and R.T. Perez, 2007: Perspectives on climate change and sustainability. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 811-841.

Young, H. and S. Jaspars, 1995: Nutrition Matters. People Food and Famine.Intermediate Technology Publications, London, UK, 151 pp.

Zahran, S., L. Peek, and S.D. Brody, 2008: Youth mortality by forces of nature. Children, Youth and Environments, 18(1), 371-388.

Zimmerman, F.J. and M.R. Carter, 2003: Asset smoothing, consumption smoothing and the reproduction of inequality under risk and subsistence constraints. Journal of Development Economics, 71(2), 233-260.

9

사례 연구

총괄 대표저자

Virginia Murray (영국), Gordon McBean (캐나다), Mihir Bhatt (인도)

대표저자:

Sergey Borsch (러시아), Tae Sung Cheong (대한민국), Wadid Fawzy Erian (이집트), Silvia Llosa (페루), Farrokh Nadim (노르웨이), Mario Nunez (아르헨티나), Ravsal Oyun (몽골), Avelino G. Suarez (쿠바)

감수 편집자:

John Hay (뉴질랜드), Mai Trong Nhuan (베트남), Jose Moreno (스페인)

기여저자:

Peter Berry (캐나다), Harriet Caldin (영국), Diarmid Campbell-Lendrum (영국/WHO), Catriona Carmichael (영국), Anita Cooper (영국), Cherif Diop (세네갈), Justin Ginnetti (미국), Delphine Grynzspan (프랑스), Clare Heaviside (영국), Jeremy Hess (미국), James Kossin (미국), Paul Kovacs (캐나다), Sari Kovats (영국), Irene Kreis (네덜란드), Reza Lahidji (프랑스), Joanne Linnerooth-Bayer (미국), Felipe Lucio (모잠비크), Simon Mason (미국), Sabrina McCormick (미국), Reinhard Mechler (독일), Bettina Menne (독일 / WHO), Soojeong Myeong (대한민국), Arona Ngari (쿡제도), Neville Nicholls (오스트레일리아), Ursula Oswald Spring (멕시코), Pascal Peduzzi (스위스), Rosa Perez (필리핀), Caroline Rodgers (캐나다), Hannah Rowlatt (영국), Sohel Saikat (영국), Sonia Seneviratne (스위스), Addis Taye (영국), Richard Thornton (오스트레일리아), Sotiris Vardoulakis (영국), Koko Warner (독일), Irina Zodrow (스위스 / UNISDR)

본 장을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

Murray, V, G. McBean, M. Bhatt, S. Borsch, IS. Cheong, W.F. Erian, S. Llosa, F. Nadim, M. Nunez, R. Oyun, and A.G. Suarez, 2012: Case studies. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 487-542.

목 차

본문 요약 **457**

9.1. 서론 **458**

9.2. 사례 연구 **458**

9.2.1. 2003, 2006년의 유럽 열파 458
9.2.2. 더위와 산불로 인한 재해에 대한 대응 463
9.2.3. 가뭄의 악영향 관리 465
9.2.4. 최근 몽골에서 발생한 조드(dzud) 467
9.2.5. 열대저기압: 커뮤니티의 이행을 위한 정책 및 대응 제도 469
9.2.6. 홍수의 악영향 관리 471
9.2.7. 위협적인 전염병: 콜레라 사례 474
9.2.8. 해안 대도시: 뭄바이 사례 476
9.2.9. 군소 도서국가: 적응 과제 478
9.2.10. 한랭기후변화의 취약성: 캐나다 북부 479
9.2.11. 조기경보시스템: 피해를 완화하기 위한 적응 482
9.2.12. 재해 위험 저감 및 적응의 다층적 거버넌스를 위한 효과적인 법률 484
9.2.13. 위험 이전: 개발도상국의 재해 위험 관리 및 기후변화 적응에서 보험의 역할 487
9.2.14. 재해 위험 저감 및 대응을 위한 교육, 훈련, 대중인식의 개선 계획 490

9.3. 사례 연구를 통해 파악된 교훈의 요약 **493**

참고문헌 **494**

본문 요약

사례 연구는 인명 손실 및 피해의 맥락에서 대응전략의 효율성과 예방수단을 제시하며 재해 위험 저감 및 기후변화 적응의 성공적인 교훈을 파악하는데 주안점을 둔다. 사례 연구는 이전 장의 정보와 일관성을 유지하며 그러한 정보를 보완하는 한편 정책결정자를 위한 요약보고서(Summary for Policymakers)와 효고 행동 계획 우선순위(Hyogo Framework for Action Priorities)의 핵심 메시지를 제시하기 위해 선정되었다.

사례 연구는 극한 현상, 취약 지역, 방법론적 접근의 유형 별로 구분되었다. 극한 현상과 관련하여 두 가지 사례 연구에서는 유럽과 오스트레일리아의 수분 부족 현상을 동반한 극한기온과 그것이 건강 등에 미치는 영향을 다룬다. 다음 사례 연구는 시리아에서의 가뭄과 몽골의 혹한건조 상태인 조드(dzud)를 다룬다. 이후 커뮤니티의 이행 측면에서 방글라데시, 미얀마, 중앙아메리카의 열대저기압과 모잠비크의 홍수를 논의한다. 극한기후 현상의 마지막 사례 연구는 짐바브웨의 콜레라를 사례로 들며, 위협적인 전염병에 대해 다룬다.

사례 연구는 기후변화가 사람과 사회, 기반시설에 심각한 영향을 미치는 취약 지역을 반영하여 선정되었다. 뭄바이는 해안 대도시의 예시로서 제시되고, 마셜제도는 적응과 관련해 특별한 과제에 직면한 군도의 예시이다. 캐나다 북부는 한랭기후에 대한 인프라가 취약한 지역의 예시이다.

재해 위험 저감(Disaster Risk Reduction: DRR) 및 기후변화 적응(Climate Change Adaptation: CCA)에 대한 네 가지 방법론 또는 접근법이 제시되고 있다. 조기경보시스템, 효과적인 법률 제정, 개발도상국의 위험 이전 그리고 교육, 훈련, 인식 개선은 입증된 접근법이다. 사례 연구는 현재 재해 위험 관리(Disaster Risk Management: DRM)와 CCA의 정책 및 수단이 극한기상 및 기후 현상을 피하거나 그러한 현상에 완벽하게 대비 또는 대응하는 데 충분하지 않다는 점을 보여주지만, 이들 사례는 그 경과를 보여준다.

사례 연구에서 공통적으로 제시되는 것은 사건 발생 전 위험에 관한 정보, 즉, 조기 경보의 필요성이다. 조기경보시스템은 인명 및 자산 손실을 줄여준다. 극한기후 현상에 관한 사례 연구(열파, 산불, 가뭄, 조드, 열대저기압, 홍수, 전염병)들에 의하면, 이러한 조기경보시스템은 극한 현상의 영향을 줄여주는 핵심 요소다. 일부 사례 연구에서 국제협력 및 예측에 대한 투자를 개선할 필요성이 예측되었다. 한편 사례 연구 전반에 걸쳐 지역(특히 개발도상국을 중심으로) 및 지방의 조기경보시스템이 크게 강조되었다.

또한 극한 현상에 대한 대응이 아니라 DRR 계획, 전략, 적응 도구에 기반한 예방에 투자하는 것이 더 효과적이라는 인식이 사례 연구 전반에 걸쳐 공통으로 나타났다. 위험 및 취약성 감소 수단에 대한 투자 증대뿐 아니라 대응 및 복구 역량 개발의 이점도 사례 연구를 통해 제시되었다. 극한 현상에 대한 계획의 구체적인 사례에는 가뭄 대비, 도시열파에 대한 계획, 해안 지역의 열대저기압 DRM 전략 및 계획 등이 포함된다. 그러나 군소 도서국가에 관한 사례 연구에서 보는 바와 같이, DRR 계획접근법은 여전히 재해 구조 및 복구보다 관심이 적다.

반복되어 발생하는 주제는 건강과 생활에 미치는 영향을 분명히 이해하기 위한 지식 및 정보에 대한 투자 가치이다. 이러한 지식 및 정보에는 열대저기압, 홍수, 가뭄, 열파, 기타 극한 현상을 위한 관측 및 모니터링 시스템이 포함된다. 모든 사례 연구에서, 위험을 이해하고 미래 위협에 대한 적절한 대응 전략을 보장하기 위한 정보의 필요성이 지적되었다. 연구는 자연, 사회, 건강, 공학 및 그 적용의 통합을 포함해 우리의 지식을 개선하는 역할을 하고 있다. 사례 연구들을 통해 과거 기후 현상을 평가하고 미래에 고려할 수 있는 교훈을 파악했다. DRR 및 DRM을 통한 대비는 기후변화에 적응하는데 도움이 될 수 있다. 이러한 사례 연구들은 극한 기후로 인한 피해를 줄이기 위해 고려될 수 있는 수단의 사례를 제시한다. 지식 증대 및 경보 시스템, 적응기술, 도구 및 예방 수단 등에 대한 투자는 현재로서는 비용을 발생시키지만 미래에 비용을 줄이고 생명을 구하는 역할을 할 것이다.

9.1. 서론

이 장에서 이용된 사례 연구들은 극한기후 및 기후관련 현상에 의한 위험에 대한 이해를 높이는 한편, 과거 사건에 대한 대응으로부터의 교훈과 모범사례를 제시한다. 1장에서부터 8장의 정보는 특별보고서 전체의 필요성을 반영한 특정 사례들을 제시하기 위한 토대를 제공했다. 선택된 사례 연구들은 재해 위험 저감에서부터 재해 위험 관리, 기후변화 적응에 이르기까지 중요한 이슈들을 다루고 있다. 이러한 사례 연구들은 극한 현상, 취약지역, 방법론적 접근법의 유형별로 분류되어 있다.

극한 현상 사례와 관련하여, 처음의 두 가지 사례 연구는 수분 부족 현상을 동반한 극한기온을 다룬다: 2003년과 2006년의 유럽 열파와 오스트레일리아에서 발생한 열파와 산불에 의한 재해에 대한 대응. 세 번째 사례 연구는 시리아 가뭄에 초점을 맞춰 가뭄의 부정적인 영향을 다룬다. 1999–2002년과 2009–2010년 몽골에서 발생한 두 건의 조드(dzud)를 통해 가뭄과 혹한이 결합된 사례를 살펴본다. 또한 방글라데시, 미얀마, 중앙아메리카의 열대저기압을 통해 공동체의 정책과 대응이 어떻게 다른 결과로 이어지는가를 살펴본다. 다음 사례 연구는 2000년과 2007년 모잠비크에서 발생한 홍수를 다룬다. 극한 현상과 관련된 마지막 사례 연구는 짐바브웨의 콜레라를 통해 위협적인 전염병에 대해 다룬다.

사례 연구는 기후변화가 사람과 사회, 기반시설에 심각한 영향을 미치는 취약 지역을 반영하여 선정되었다. 해안대도시와 그 위험을 제시하기 위해 뭄바이의 사례가 이용되었다. 군소 도서국가들은 적응과 관련해 특별한 과제에 직면해 있다. 이러한 대표적인 예로서 마셜제도가 사례 연구로 선정되었다. 취약지역에 관한 마지막 사례 연구는 캐나다 북부 지역의 한랭 기후의 취약성(특히 기반시설)을 다룬다.

본 장은 극한 현상 및 취약지역의 사례에 이어 DRR과 CCA에 대한 네 가지 방법론 또는 접근법을 제시한다. 조기경보시스템은 대응 측면에서 영향을 줄일 수 있는 기회를 제공한다. 다원적 거버넌스를 위한 효과적인 법률제정은 영향을 줄이기 위한 또 다른 방법이다. 위험 이전에 관한 사례 연구는 개발도상국의 보험 및 기타 수단의 역할을 다룬다. 마지막 사례 연구는 교육, 훈련, 대중 인식 개선을 다룬다. 선정된 사례는 정보의 토대를 제공하고 미래 DRR과 CCA를 위해 필요한 자원의 지표로 이용된다. 또한 이를 통해 모범관행과 교훈을 얻을 수 있다.

사례 연구들은 다른 장들 전반에 걸쳐 공통 요소들을 연결시켜 준다. 각 사례 연구는 일관성을 유지하고 있어 접근법의 비교가 가능하다. 서론에 이어 사건 또는 취약지역, 방법론에 대한 배경 지식이 제공된다. 이어서 사건 또는 취약성, 전략에 대한 설명이 제시된다. 이후 개입에 관한 논의와 결과가 이어진다. 각 사례 연구는 논의를 통해 얻은 교훈을 포함한다. 이러한 사례 연구들은 정책결정자를 위한 요약보고서(Summary for Policymakers)와 효고 행동 계획 우선순위(Hyogo Framework for Action Priorities)의 핵심 메시지와 관련이 있다(표 9-1).

사례 연구들은 건강 관리(Keen and Packwood, 1995; McWhinney, 2001), 사회과학(Flyvbjerg, 2004), 공학, 교육 (Verschuren, 2003)을 비롯한 여러 분야를 폭넓게 반영하고 있다. 또한 2007 실무그룹 II 보고서를 비롯한 이전 IPCC 평가보고서에서도 이용되었다(Parry 등, 2007). 사례 연구는 혁신사례 또는 모범사례를 제시한다. 경험에 의한 구체적인 문제나 이슈는 체계적으로 문서화하고 이러한 문제를 해결하기 위한 조치를 취할 수 있다. 사례 연구는 우리의 이해를 검증하고 재평가 및 학습하는 기회를 제공한다. (i) 사례 연구들은 재해 위험 및 재해상황의 복잡성을 제시한다. (ii) 사례 연구들은 광범위한 독자를 대상으로 한다. (iii) 사례 연구는 기후 적응을 위한 DRR 및 DRM에 관한 교훈을 얻기 위한 목적으로 이용돼야 한다(Grynszpan 등, 2011). 다양한 프로젝트를 통한 사례 연구들로부터, 몇 가지 교훈이 도출되었다(Kulling 등, 2010). 재해 위험에 관한 통합연구 프로젝트(Project of the Integrated Research on Disaster Risk)(ICSU, 2008)) 프로그램인 재해에 관한 포렌식 조사(Forensic Investigation of Disaster)(Burton, 2011; FORIN, 2011)는 미래 정책 분석 및 평가를 위한 토대를 제공하기 위한 목적으로 미래 사례 연구 조사를 위한 방법론과 템플릿을 개발했다. FORIN 템플릿은 다음의 요소로 구성된다: (a) 중요 원인 분석 (b) 메타분석 (c) 종단면 분석 (d) 재해 시나리오.

본 장에서는 여러 분야의 다양한 문헌들에서 일부 사례 연구를 발췌, 제시하였다. 결과적으로 재해의 과학, 사회, 건강, 경제 측면을 조사하는 통합적인 접근법이 이용되었으며 필요한 경우 다양한 시공간 차원이 포함되었다. 이러한 사례 연구들이 제공하는 구체적인 통찰은 현재의 재해 대응 관행을 평가하는 데 유용하다.

이 장은 기후 현상과 관련하여 여러 영역에서 경험하는 영향을 다룬다. 단일 기후 현상은 지방, 지역, 국가, 국제 차원의 영향을 생산할 수 있다. 이러한 영향은 기후 현상 자체 또는 기후 현상에 대한 대응의 결과이거나 식량생산 및 자원 감소와 같은 간접적인 영향의 결과일 수 있다. 공간 차원 외에도 이 장은 기후 현상 관련 영향과 대응 모두에 있어서 다양한 시간 차원을 다룬다. 그러나 이러한 영향을 경험하는 방식은 다시 사회, 건강, 경제 요소의 영향을 받는다. 재해 영향을 완화하고 사후 영향에 대처하는 사회 복원력과 경제적 능력은 관련 공동체에 큰 영향을 미친다(UNISDR, 2008a). 자원과 전문지식, 장비, 기반시설이 부족한 개발도상국이 특히 위험에 취약한 것으로 나타났다(5장 참고). 선진국의 경우 기술과 금융, 제도적 지원이 뒷받침되어 예방수단을 비롯한 적응계획 및/또는 효과적인 대응이 가능하다(Gagnon-Lebrun and Agrawala, 2006). 그러나 2003년 유럽 열파나 허리케인 카트리나와 같이 엄청난 영향을 미치는 사건에 대해선 여전히 위험에 노출되어 있다. 이 장에서 가장 중요하게 강조하는 것은 단순히 한 가지 문제가 아니라 재해의 복잡성을 해결하기 위한 솔루션이다. 이 장의 교훈은 기후변화에 대한 적응 전략을 개발할 수 있는 경험의 사례를 제공한다.

9.2. 사례 연구

9.2.1. 2003, 2006년의 유럽 열파

다음 페이지에 계속 →

표 9-1 | 사례 연구(9.2.1–9.2.14)와 정책결정자를 위한 요약보고서(Summary for Policymakers) 간의 연관성을 제시하는 표. 이는 강한 연관성을 나타내고, 사례 연구와 효고 행동 계획 우선순위 영역(Hyogo Framework for Action Priority Areas) 간의 연관성도 나타나고 있다.

핵심 메시지		9.2.1 열파	9.2.2 폭염과 산불	9.2.3 가뭄	9.2.4 조드	9.2.5 열대 저기압	9.2.6 홍수	9.2.7 전염병	9.2.8 대도시	9.2.9 SIDS	9.2.10 환경기후	9.2.11 EWS	9.2.12 입법	9.2.13 위험 이전(Risk transfer)	9.2.14 교육
A. 맥락	노출 및 취약성이 재해 위험의 주요 결정요인이다.	●		●		●	●		●						
	기후변화가 극한기상 및 기후현상의 빈도, 강도, 공간적 범위, 지속기간, 시기의 변화를 유발하고 악화시킬 가능성과 기후현상을 발생시킬 수 있다.	●	●		●										
B. 노출, 취약성, 기후현상, 영향, 재해손실 관찰	노출과 취약성은 동적이고, 시간과 공간 차원 전반에 걸쳐 다양하게 나타나며, 사회, 지리적 위치, 인구통계적 성격, 문화, 제도, 거버넌스, 환경요소 등의 요인에 의존적이다.														
	거주 패턴, 도시화, 사회경제적 상태의 변화 모두 극한기후에 대한 노출 및 취약성 경향에 영향을 미쳤다.														
C. 재해 위험관리와 기후변화 적응 극한기후에 대한 과거 경험	노출 및 취약성 경향은 재해 위험 변화의 주요 동인이다.	●		●											
	불평등은 지방 대응 및 적응 능력에 영향을 미칠 뿐 아니라 지방 차원에서부터 국가 차원에 이르기까지 재해 위험 관리 및 적응 문제를 제기한다.					●									
	재해 위험 저감 수단이 존재하지 않거나 적절하지 않을 때 인도적 구호가 요구된다.			●	●		●	●	●	●					
	재해 발생 후 복구 및 재건은 기상 및 기후 관련 재해 위험을 줄이고 적응 능력을 향상시킬 수 있는 기회를 제공한다														
	지방, 국가, 지역, 전지구 차원의 위험 공유 및 이전 메커니즘은 극한기후에 대한 회복력을 향상시킬 수 있다.		●												
	적응 및 재해 위험 관리 전략과 정책의 설계 및 실행을 통해 단기적인 위험을 줄일 수 있다는 점에서 노출 및 취약성의 시간 공간적 역학에 대한 관심이 특히 중요하다. 그러나 이러한 관심은 장기적인 측면의 노출과 취약성을 중대시킬 수 있다.		●												
	재해 위험 관리와 기후변화 적응 간의 긴밀한 통합과 함께 지방, 국가 하부, 국가, 국제 차원의 개발 정책 및 관행 간의 통합이 전 차원에 걸쳐 이익을 제공할 수 있다.														
D. 미래 극한 기후현상, 재해손실	모형들로부터 21세기 말까지 극한 기온의 상당한 온난화가 전망된다.	●	●												
	21세기 전세계 많은 지역에서 호우 빈도 또는 강도 강수에서 호우가 차지하는 비중이 증가할 가능성이 있다.														
	강수 감소 및/또는 증산 증가로 인해, 일부 계절 및 지역에서 21세기에 가뭄이 강화될 것이라는 데 대한 신뢰수준은 보통이다.			●											

표 9-1 | (계속)

핵심 메시지		9.2.1 열파	9.2.2 폭염과 산불	9.2.3 가뭄	9.2.4 조드	9.2.5 열대 저기압	9.2.6 홍수	9.2.7 전염병	9.2.8 대도시	9.2.9 SIDS	9.2.10 한랭기후	9.2.11 EWS	9.2.12 입법	9.2.13 위험 이전(Risk transfer)	9.2.14 교육
E. 극한기후 및 재해의 변화 관리	현재의 기후와 일련의 미래 기후변화 시나리오 아래서 이익을 제공하는 대책, 소위 낮은 후회(low-regret) 대책은 노출, 취약성 및 극한기후의 예상 추세를 다루기 위한 시작점이다. 이들은 현재의 이익뿐 아니라 미래에 예상되는 변화를 해결하기 위한 트대를 제공할 잠재력이 있다.														
	효과적인 위험관리는 및 이전을 위한 조치와 사건 및 재해에 대응하기 위한 조치와 관련이 있다. 이는 한 가지 유형의 조치에만 초점을 맞추는 것과 다르다.								●				●		
	다중 위험 관리 접근법은 복잡하고 복합적인 위험을 줄일 수 있는 기회를 제공한다.		●									●	●	●	
	지방 차원의 지식과 과학 및 기술 지식 간의 통합은 재해 위험 저감 및 기후변화 적응의 개선으로 이어질 수 있다.			●	●		●				●				
	효과적인 적응 및 재해 위험 관리를 위해선, 위험과 관련해 적시에 적절한 커뮤니케이션이 중요하다.		●									●			
효고 행동 계획 – 우선순위 행동	**1:** 실행을 뒷받침할 제도와 함께, 재해 위험 저감을 국가 및 지방 정책의 우선 순위로 선정				●										
	2: 재해 위험을 파악, 평가, 감독하고 조기경보를 강화한다.	●	●				●								
	3: 지식, 혁신, 교육을 통해 모든 차원에서 안전한 문화 및 회복력을 구축한다.														
	4: 기본적인 위험요소를 감소시킨다.			●											
	5: 모든 차원에서 효과적인 대응을 위한 재해 예방을 강화한다.				●	●			●	●		●			●

9.2.1.1. 서론

극한 열은 전세계 온대 지역에서 대중 건강을 위협하는 요소이다. 최근 북아메리카와 아시아, 아프리카, 오스트레일리아, 유럽에서 극한 열 현상이 관찰되고 있다. 앞으로 대부분의 육지 지역에서 열파를 비롯한 온난기의 길이, 빈도, 강도가 계속 증가할 가능성이 높다(3.3.1절). 다른 유형의 위험과 마찬가지로, 극한 열은 위협적인 결과를 초래할 수 있다(특히 취약한 인구층에서). 극한 열의 위험은 위험의 심각성과 인구의 노출 및 취약성 간의 함수 관계에 있다. 취약성 수준이 낮다면 극한 열 현상을 극한 영향을 유발하는 현상으로 분류할 필요가 없다. 이런 점에서 위험 노출 및 인구 취약성에 기여하는 요소를 고려하는 것이 중요하다. 최근 문헌은 위험 노출을 증가시키거나 줄일 수 있는 여러 가지 요소들을 파악하였다. 열파 및 공공보건의 개입에 관한 과거 경험에 의하면 노출 및 취약성 모두를 줄일 수 있는 다양한 변수들을 조정함으로써 극한 열 현상의 영향을 제한할 수 있다. 2003년과 2006년 유럽 열파를 비교한 이 사례 연구는 재해 위험 관리 및 기후변화 적응의 발전을 보여준다.

9.2.1.2. 배경/맥락

전세계 온대 지역에서 극한 열은 대중 건강을 위협하는 요소이다(Kovats and Hajat, 2008). 열 관련 극한 현상이 사망률을 높이는 것으로 추정되기 때문이다(Peng 등, 2010).

최근 들어 북아메리카(Hawkins-Bell and Rankin, 1994; Klinenberg, 2002)와 아시아(Kumar, 1998; Kalsi and Pareek, 2001; Srivastava 등, 2007), 아프리카(NASA, 2008), 오스트레일리아(DSE, 2008b), 유럽(Robine 등, 2008; Founda and Giannakopoulos, 2009)에서 극한 열 현상이 관찰되고 있다. 온대지역 이외 지역에서도 극한 열 현상이 발생할 수도 있지만 이와 관련한 연구는 아직 활발하지 않다.

다른 유형의 위험과 마찬가지로, 극한 열 현상은 노출 및 특정 유형의 취약성을 증대시킨다는 점에서 위협적인 결과를 초래할 수 있다. 그러나 중요한 것은 기후변화와 관련된 극한 열 현상의 영향을 줄이기 위해선 추가적인 이행이 필요할 것이라는 점이다. 이러한 이행들은 많은 자원을 필요로 하며 기후변화를 악화시킬 수 있다.

9.2.1.2.1. 열파에 대한 취약성

생리학적 측면: 여러 가지 요소가 열 관련 질병 및 사망에 대한 취약성에 영향을 미친다. 이러한 취약성과 관련된 대부분의 연구들은 선진국의 경험을 토대로 한다. 열 스트레스에 대한 신체 대응 능력에 있어서 여러 가지 생리학적 요소(연령, 성별, 신체질량지수, 사전 건강 조건 등)가 중요한 역할을 한다. 노인과 영유아들은 수많은 생리적, 사회적 위험 요소를 안고 있어 체온조절 능력(생리적 최적 범위 내에서 온도를 유지하는 능력; Havenith, 2001) 감소와 같은 위험이 증대된다. 기존의 만성 질병(노년층에서 더 일반적임)도 지속적인 고온에 대한 보상반응을 취약하게 만든다(Havenith, 2001; Shimoda, 2003). 고령층으로 갈 수록 갈증 충동을 억제하는 경향이 있어 탈수 및 심장 질환 위험이 높다. 또한 복합적인 질병 및/또는 약물 치료가 탈수 위험을 높인다(Hodgkinson 등, 2003; Ebi and Meehl, 2007).

사회적 측면: 다양한 사회경제적 요소들이 취약성 증대와 연관이 있다(2.3절 및 2.5절 참고). 1995년 시카고에서 열파가 발생했을 때, 범죄발생률이 높고 사회적 자본이 부족하며 사회적으로 고립된 인구가 많은 지역에서 취약성이 증가한 것으로 나타났다(Klinenberg, 2002). 사회경제적 지위가 낮은 지역의 사람들은 대체로 열 관련 질병 위험이 더 높다. 고혈압과 같은 심혈관질환에서부터 만성 폐쇄성 폐질환 및 천식과 같은 폐질환에 이르기까지 만성질환을 겪는 경우가 더 많기 때문이다(Smoyer 등, 2000; Sheridan, 2003). 사회경제적 지위가 낮은 소수집단과 공동체도 고온 스트레스가 높은 경우가 많다(Harlan 등, 2006). 사회경제적 지위가 낮은 이러한 사람들은 대개 이용 가능한 보호수단이 적다. 에어컨을 구비한 경우에도 대부분의 취약층은 비용 때문에 가동을 하지 않는다(O'Neill 등, 2009). 무주택자나 실외 근로자와 같은 집단의 사람들은 생활환경으로 인해 특히 취약하며 더 많은 열 위험에 노출되어 있다(Yip 등, 2008). 노인들일수록 사회적으로 고립되어 홀로 생활하는 경우가 많으며, 이러한 상황이 취약성을 증대시킬 수 있다(Naughton 등, 2002; Semenza, 2005).

9.2.1.2.2. 도시 기반시설의 영향

도시 지역의 취약성 해결 노력은 위험에 노출된 이러한 사람들에게 이익을 제공할 것이다. 전세계 인구의 절반이 도시 지역에서 거주한다. 2050년까지 이 수치는 약 70% 증가할 것으로 예상된다(UN, 2008). 향후 40년간 전세계 도시들이 증가된 인구의 대부분을 흡수하고 계속해서 농촌 지역 이주자들을 유인할 것으로 예상된다(UN, 2008). 열 관련 극한 현상 맥락에서, 특정 인프라 요소들은 노출 인구의 취약성을 증대할 수도 있고 감소시킬 수도 있다. 지방의 열생산이 도시의 열수지(내연기관, 에어컨, 기타 활동으로부터의)에 영향을 미친다는 점에서 건축환경이 중요하다. 지표의 반사율(알베도), 식생피복 비율, 건축자재의 열전도율을 비롯한 다른 요소들도 국지적인 기온을 결정하는 데 있어 중요한 역할을 한다. 빌딩과 포장도로에 의한 적외선 흡수의 증가가 원인인 도시열섬 효과, 그늘 부족, 식물의 증산, 국지적으로 생산되는 열의 증가 등은 도시 지역의 기온을 상당히 상승시킴으로써 도시 거주자의 열 노출 위험을 높인다(Clarke, 1972; Shimoda, 2003). 건물 표면이 열을 흡수하고 공기 흐름에 영향을 미치는 도로도 열에 의한 위험이 심각할 수 있는 지역 이다(Santamouris 등, 1999; Louka 등, 2002). 도로 내 제한된 공기 흐름은 교통 관련 대기오염물질을 축적시키는 원인이 될 수 있다.

연구에 의하면 적어도 현상들에 의한 연구가 수행된 북아메리카와 유럽 도시의 경우 이러한 요소들이 근린지역의 열위험에 심각한 영향을 미칠 수 있다(Harlan 등, 2006). 프랑스에서 수행된 조사에 의하면 실외 온도가 더 높은 파리의 근린지역에서 사망률이 더 높았다(Cadot 등, 2007). 또한 높은 기온은 수송망에 영향을 미쳐 도로와 철로에 열에 의한 피해를 입힐 수 있다. 도시 내에서의 실외 기온은 큰 차이를 보일 수 있다(Akbari and Konopacki, 2004). 이러한 점에서 국지적 특성에 맞는 예방 전략에 초점을 맞출 필요가 있다.

냉장고와 에어컨(특히 선진국의 적응 전략)을 구동하는 것이 전기공급이라는 점에서 발전 및 전송 시스템은 부분적으로 취약성을 설명하지만 열파 발생 기간 동안에는 가동의 실패 위험이 높아지기도 한다(Sailor and Pavlova, 2003). 에어컨과 냉장고의 전력 공급을 위한 전력 수요는 주위 기온의 상승과 함께 늘어날 것으로 예측된다. 전력공급 능력이 낮은 지역은 심각한 열 현상 하에서 발전 및 전송 중단 위험이 높다.

수요의 증가 외에도 발전소의 전력 생산량 감소 위험도 발생할 수 있다(UNEP, 2004). 하천의 수온 상승은 내륙 지역의 전통적인 화력 발전소와 원자력 발전소의 발전기 냉각 능력을 제한한다. 또한 수자원 가용능력의 변동성이 수력발전 생산량에 영향을 미칠 수 있다. 2003년 여름 기간 동안 프랑스에선 여섯 개 발전소가 가동이 중단되었고 다른 발전소들은 출력을 통제해야 했다(Parry 등, 2007).

9.2.1.2.3. 열파 및 대기오염

고기압성 기상조건으로 인한 열파 발생 기간 동안 입자성 물질과 오존과 같은 대기오염 물질의 농도가 증가하고 기온 상승 및 미풍이 발생한다. 햇살이 강하고 더운 기상 조건에서 광화학적 오존 생산과 유기물에 의한 오존 전구 물질(precursor)의 배출이 증가한다. 미풍은 대기 오염 형성을 분산시키는 데 도움이 되지 않는다. 대기 오염은 특히 호흡기 및 심혈관 질환과 관련하여 건강에 급성적인 영향을 미치고 사망률과 이환율 증가로 이어질 수 있다(WHO, 2006a). 산업화 이후 북반구의 기본 오존수치는 두 배 증가했다(Volz and Kley, 1988). 특히 지난 수십 년 간 많은 도시 지역에서 오존 수치가 증가했다(Vingarzan, 2004). 대기의 질적 기준과 규정은 대기의 질을 개선하는 데 도움이 되고 있지만 많은 지역에서 입자성 물질과 오존 수치는 여전히 인간의 건강을 위협하는 수준이다. 이러한 위험은 열파 발생 기간 동안 특히 심각하다(Royal Society, 2008; EEA, 2011). 기후변화(특히 기온 상승)는 기본 오존 수치의 꾸준한 증가와 결합하여 미래 오존 전구 물질 배출에 대한 통제 수단의 효과를 떨어트린다(Derwent 등, 2006). 미래 열파 발생 빈도 증가는 대기오염 빈도의 증가로 이어질 가능성이 있다(Stott 등, 2004; Jones 등, 2008).

9.2.1.3. 현상 설명

9.2.1.3.1. 2003년 유럽의 열파

2003년 8월 1, 2주 동안 유럽의 기온이 과거 정상범위 이상으로 치솟았다. 서유럽의 많은 지역에서 열파가 발생했지만 특히 프랑스가 큰 타격을 입었다

(InVS, 2003). 8월 4일부터 12일 사이 파리의 최고 기온은 35-40℃를 기록했다. 한편 8월 7일부터 13일 사이 동일 관측소에 의해 기록된 최저기온은 거의 23℃ 이상을 유지했다(Meteo France, 2003). 유럽의 열파는 건강에 심각한 영향을 미쳤다(Lagadec, 2004). 초기 추정치에 의하면, 열파로 인해 유럽 전역에서 130억 유로 이상의 비용과 30,000명 이상의 사망자가 발생했다(UNEP, 2004). 여름 전체에 걸친 사망자 수는 70,000명에 이를 것으로 예상되었다(Robine 등, 2008). 특히 프랑스 사망자 수는 14,800명 이상일 것으로 예상되었다(Pirard 등, 2005). 이 유럽 열파는 심각성, 지속기간, 지리적 범위, 영향 면에서 유럽 역사 상 유례없는 수준으로(Grynszpan, 2003; Kosatsky, 2005; Fouillet 등, 2006), 11,000 명 이상의 사망자를 발생시킨 1743년 베이징 열파와 비교할 만했다(Levick, 1859; Bouchama, 2004; Lagadec, 2004; Pirard 등, 2005; Robine 등, 2008).

2003년 8월 열파 발생 시기 동안, 유럽 전역에서 대기오염 수치가 높게 나타났다(EEA, 2003). 열파 발생 이후 발표된 오존과 PM10 (공기중력학적 직경이 최대 10 urn인 입자성 물질)의 노출-대응 상관관계를 이용해 영국을 대상으로 신속한 평가가 수행되었다. 이 평가에 의하면 2003년 8월 영국에서 발생한 총 2,045명의 초과 사망자 중 21-38%가 주변 오존과 PM10 농도 증가와 관련이 있다(Stedman, 2004).

열과 대기오염이 건강에 미치는 영향을 분리하는 작업은 복잡하다. 그러나 프랑스의 통계 조사와 역학조사는 2003년 8월 대기오염이 건강 악화와 관련이 있는 요소라고 결론내렸다(Dear 등, 2005; Filleul 등, 2006).

9.2.1.3.2. 유럽의 열파(2006년)

3년 후인 2006년 7월 10일부터 28일 사이, 유럽은 또 한차례 열파를 겪었다. 프랑스에서 이 열파는 2003년 열파와 비슷한 수준으로 1950년 이후 최악의 열파로 평가되었다(Meteo France, 2006; Fouillet 등, 2008). 2006년 열파는 2003년보다 더 오래 지속되었지만 강도와 지리적 범위는 그보다 작았다(Meteo France, 2006). 2006년 7월 오존수치는 유럽 남부와 북서부 지역 대부분에 걸쳐 높았다. 이 농도는 현재까지 2003년 오존 수치를 넘는 유일한 사례로 꼽힌다(EEA, 2007). 프랑스 전역에서 최고기온은 39-40℃로 치솟았지만 최저기온은 19-23℃를 기록했다(한편 2003년 최저기온은 23-25℃) (Meteo France, 2006). 모델을 토대로, 이렇게 나타난 기온으로 인해 프랑스에서만 6,452건의 초과 사망을 유발할 것으로 예측되었지만 실제로 기록된 것은 2,065건이었다(Fouillet 등, 2008).

9.2.1.4. 개입

2003년 열파로 인한 대중의 건강에 대한 피해를 최소화하기 위한 노력은 그 심각성을 부인하고 비상사태 수준의 대응을 실행하지 못하는 정부기관의 무능에 의해 한계를 나타냈다(Lagadec, 2004). 이후 몇몇 유럽 국가들이 신속하게 미래 현상에 대비하기 위한 계획에 착수했다(WHO, 2006b). 심각한 타격을 입은 프랑스는 국가 열파 계획 개발 감시 활동, 열관련 질병에 대한 의료처치 가이드 개발, 취약 인구층 파악, 기반시설 개선, 미래 열파를 위한 가정 방문 계획 개발 등을 실행했다(Laaidi 등, 2004).

9.2.1.5. 결과/영향

2003년과 2006년 발생한 열파로 인한 영향이 제각각 차이가 있었던 것은, 위험 강도와 지리적 범위의 차이에서 일부 기인한다. 적어도 프랑스의 경우 2006년 사망률이 감소한 것은 열로 인한 질병에 대한 인식 개선과 2003년 열파 이후 제도화된 예방수단, 2004년 수립된 열관련 건강 감시 시스템 덕분이다(Fouillet 등, 2008). 사망률 감소는 보건 수단의 효과를 입증할 수 있다. 그러나 고질적인 초과 사망은 경보 및 감시 시스템과 같은 기존 보건 수단(Hajat 등, 2010)과 취약 인구층과의 건강 관련 커뮤니케이션(McCormick, 2010a), 취약성 지도(Reid 등, 2009), 열파 대응계획(Bernard and McGeehin, 2004)의 최적화 필요성을 제기한다. 또한 노출 감소를 위한 도시형태 변경과 같은 새로운 수단을 도입할 필요성을 제기한다(Bernard and McGeehin, 2004; O'Neill 등, 2009; Reid 등, 2009; Hajat 등, 2010; Silva 등, 2010).

2003년과 2006년 두 차례에 걸친 유럽 열파로부터 얻은 결과는 광범위하다. 노출 감소를 위한 공공 건강에의 접근, 열로 인한 사망 평가, 커뮤니케이션과 교육, 도시 기반시설 변경 등이 이러한 결과에 속한다.

9.2.1.5.1. 노출 감소를 위한 공공보건에의 접근

노출 감소를 위한 일반적인 공공보건에의 접근은 열 경보 시스템(Heat Warning System: HWS) 또는 열 행동 대응 시스템(Heat Action Response System)이다. 이 중 열 행동 대응 시스템은 경보 프로토콜, 커뮤니티 대응 계획, 커뮤니케이션 계획, 평가 계획의 네 가지 요소로 구성된다. 한편 HWS는 경보를 조정하는 주도 기구, 경보 시스템, 정보 지원 계획, 장기 기반시설 계획, 의료시스템의 대비 행동 등으로 구성된 다차원적 유로히트(EuroHeat) 계획으로 대표된다(WHO, 2007). 유럽기상서비스네트워크(European Network of Meteorological Services)는 경보를 조정하고 지역에 걸쳐 이를 차별화하기 위한 수단으로 메테오알람(Meteoalarm)을 창설했다(Bartzokas 등, 2010). 광범위한 접근이 경보를 작동시키며, 일단 경보가 작동되면 여러 가지 대응 수단이 실행된다. 비상사태 관리 부서가 대피를 주도하는 경우도 있지만, 공공보건 관련 기구가 대부분의 책임을 맡는 경우도 있다(McCormick, 2010b).

그러나 열 경보 시스템의 효과를 입증하는 증거가 여전히 불충분한 실정이다. 일부 연구 결과, 열 대비 프로그램의 효과가 파악되었는데, 가령 위스콘신 주 밀워키의 경우 1995년부터 1999년까지 열파 발생 기간 동안, 긴급의료 서비스의 이용이 49%까지 떨어졌다. 이는 열 대비 프로그램 또는 두 열파 간의 차이가 원인일 수 있다(Weisskopf 등, 2002). 또한 증거에 의하면 펜실베니아 주 필라델피아에서 열관련 현상의 발생 기간 동안 개입이 1일 2.6명까지 사망률을 낮추었을 가능성이 있다(Ebi 등, 2004). 이탈리아의 개입 프로그램에 의하면 가정 요양이 열로 인한 입원의 감소로 이어졌다(Marinacci 등, 2009). 그러나 이러한 연구들에도 불구하고 관찰된 감소가 그러한 개입 때문이었는지의 여부는 분명하지 않다. 여러 상황에서 효과의 수준에 대한 의문이 제기된다(Cadot 등, 2007).

열 대비책은 전세계적으로 다양하게 나타난다. 미국 최초로 열 대비책을 시작한 펜실베니아주 필라델피아는 지방 리더가 커뮤니티 구성원들에게 위험한 열에 관한 정보를 전달하는 '블록캡틴(block captain)' 시스템을 통합하여 10개 부문으로 구성된 프로그램을 실행하고 있다(Sheridan, 2006; McCormick, 2010b). 소셜 네트워크를 이용하는 필라델피아 프로그램과 같은 프로그램들은 네트워크를 통해 전문지식과 자원의 공유를 촉진할 수 있다는 점에서 행동에 영향을 미칠 수 있는 능력이 있다. 그러나 소셜 네트워크의 영향이 취약성에 기여하는 경우도 있다(Crabbe and Robin, 2006). 오스트레일리아 멜버른에서와 같은 다른 열 경보 시스템들은 노인 인구를 위협하는 기상 조건을 대중에게 경고하는 역할만을 한다(Nicholls 등, 2008). 대비에 있어서 사회적 요소의 해결은 취약 인구층의 보호를 위해 중요하다. 커뮤니티를 스스로 극한 현상에 대한 이해 및 대응에 참여시키는 것이 이러한 해결에 속한다. 더 성공적인 결과를 위해 건강 관련 실무자들에 의한 하향식 수단이 커뮤니티 수준의 필요성과 경험을 설명하는 것이 중요하다. 열로 인한 사망을 예방하는 데 있어서 커뮤니티에 대한 관심과 커뮤니티 기반의 수단에 대한 지원은 더 구체적인 지역 규모에서의 맥락을 제공함으로써 폭넓은 참여를 이끌 수 있다(Semenza 등, 2007). 이러한 프로그램들은 건강의 사회적 결정 요인을 해결하는 데 효과적일 수 있다.

9.2.1.5.2. 열 관련 사망 평가

열 관련 극한 현상이 건강에 미친 영향을 평가할 때 가장 폭넓게 이용되는 것이 초과 사망에 대한 평가이다. 열이 건강에 미치는 영향에 있어서 사망은 '빙산의 일각'만을 나타낼 뿐이다. 그러나 사망은 질병보다 더 폭넓고 정확하게 보고되고 있어 자료원으로써 설득력을 갖는다. 그럼에도 불구하고 열 관련 사망의 평가는 특히 어렵다. 열 관련 사망의 정확한 평가는 맥락의 차이(Hernon and Jougla, 2004; Poumadere 등, 2005)와 검시관의 사망에 대한 분류 차이(Nixdorf-Miller 등, 2006)에 의한 어려움에 직면한다. 가령, 유럽에서의 열파로 인한 사망은 지리적 위치, 기온, 방법론적 접근, 고려되는 위험에 따라 매우 다양하게 나타나는데, 이러한 사망에 대한 추정 역시 매우 다양하다(Assernblee Nationale, 2004). 여러 가지 유형의 분석이 열로 인한 사망의 증명, 주어진 기간 동안 총 사망 중 초과 사망으로 측정되는 열 관련 사망과 같이 열로 인한 사망을 평가하는 데 이용되고 있으며, 이는 열에 의해 피해를 입은 인구 평가에 있어 중요한 차이를 나타낸다(Kovats and Hajat, 2008). 과거 및 다른 나라의 경험을 통한 학습, 열파 및 초과 사망에 대한 공통의 이해, 극한 현상 맥락에서의 사망진단의 능률화 등을 통해 사망 보고의 편의성과 질을 개선할 수 있다.

9.2.1.5.3. 커뮤니케이션과 교육

열 대비에서 특히 어려운 것 중 하나는 커뮤니케이션의 위험이다. 많은 지역에서 주민들은 스스로 처한 위험을 인지하지 못하며, 그것 때문에 열파 조기경보시스템이 무시되고는 한다(Luber and McGeehin, 2008). 일부 증거에 의하면 하향식 교육 메시지는 종종 부적절한 행동으로 이어지곤 한다(Semenza 등, 2008). 정보를 전달받는 것만으로는 새로운 행동 또는 사회규범의 개발로 이어지기 어려운 것이다. 팸플릿과 매스컴을 통해 정보가 보급되는 경우에서조차 위험에 처한 인구의 행동이 변화되지 않는 경우가 많으며, 그러한 개입이 타겟으로 하는 인구층의 역량을 구축하고 지원을 제공하기 위해서는 커뮤니티 기반의 조직이 주도적인 역할을 해야 한다고 주장한다(Abrahamson 등, 2008). 많은 열 경보 프로그램처럼 독립성을 보장하고 연령에 초점을 맞추지 않는 예방 캠페인에 특히 노인 인구의 참여가 활발하다(Hughes 등, 2008). 연구에 의하면 열 대비와 관련된 커뮤니케이션은 커뮤니티 참여에 집중함으로써 하향식 메시지 전달과 비교하여 인식의 개선을 높이는 역할을 했다(Smoyer-Tomic and Rainham, 2001).

9.2.1.5.4. 도시 기반시설의 조정

다양한 유형의 기반 시설이 열 관련 극한 현상의 부정적인 영향을 예방하는 데 활용될 수 있다. 모델에 의하면 열 관련 질환이 큰 폭으로 감소한 것은 도시지역의 알베도와 식생피복 비율, 열전도율, 복사율을 증가시킨 토지이용 변화의 결과일 수 있다(Yip 등, 2008; Silva 등, 2010). 건물의 에너지 소비 절감은 회복력을 개선시킬 수 있다. 이는 지역화된 시스템은 취약한 에너지 인프라에 대한 의존성이 낮기 때문이다. 또한 주택의 절연 처리를 통해 열 위험으로부터의 영향을 줄일 수 있다. 일부 국가에서는 에너지 효율성을 증대하기 위한 수단으로 절연 주택 보유자를 지원하는 재정적 인센티브가 시험적으로 실행되었다. 도시 녹화도 기온을 낮춤으로써 지역민을 보호하고 에너지 수요를 줄일 수 있다(Akbari 등, 2001).

9.2.1.6. 교훈

기후변화와 함께, 전세계 많은 지역에서 열파의 빈도와 강도가 증가할 가능성이 매우 높다(3.3.1절). 보다 효율적인 도시계획, 기존 주택 및 중요 기반시설의 개선, 효과적인 보건 수단 실행이 기후변화 적응을 촉진하는 데 도움이 될 것이다.

지역의 상황 및 경험, 현재 및 미래 위험에 대한 이해를 통해 기후변화 맥락에서 열 대비를 위한 전략을 개발할 수 있을 것이다. 특정 소집단에 대한 열 위험은 적절한 개입과 대비를 촉진할 수 있다.

커뮤니케이션 및 교육 전략은 커뮤니티에 기반하여 사회규범 변화 기회를 제공하고 커뮤니티의 역량 구축을 촉진할 때 가장 효율적이다.
기반시설은 극한 열 현상에 대한 도시 취약성을 완화하는 데 있어 매우 중요하다. 에너지 소비를 줄이는 건축 기술과 녹색공간의 확대 등이 효과적인 대비의 예이다.

열파 대비 프로그램은 열로 인한 사망을 예방할 수 있다. 그러나 가장 효과적인 접근법을 평가하기 위해서는 테스트와 개발이 필요하다.
기존 계획의 효율성, 취약 집단에 초점을 맞춘 대비의 개선 방법, 다양한 집단 전반에 걸친 열 위험에 대한 효율적인 의사소통 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 개인의 취약성을 설명하는 데 방법론적 어려움이 존재하며 이에 대한 추가적인 탐구가 필요하다.

9.2.2. 더위와 산불로 인한 재해에 대한 대응

9.2.2.1. 서론

기후변화는 지구의 기온을 높이고 강수 패턴을 변화시킬 것으로 예상된다

(Christensen 등, 2007). 이러한 기후변화는 기온 및 강수와 관련한 극한기상과 극한기후의 위험을 증가시킬 것이다. 관련 효과는 지역별로 다양하게 나타날 것이다(3.3.1절, 3.3.2절, 3.5.1절). 일반적으로 평균기온의 증가와 평균강수의 감소가 화재 위험 증가에 기여할 수 있다(Flannigan 등, 2009). 많은 화재 지역에서 심각한 가뭄과 열파의 결합은(3.3.1절, 3.5.1절), 대재해로 이어질 수 있다(Bradstock 등, 2009). 전세계 많은 지역에서 산불이 발생한다. 화재의 심각성으로 인해 정부 당국과 국민은 화재의 극한 상황에 대해 익숙하고 이를 완화하기 위한 계획이 제정되었다. 그러나 화재의 성격 상 이러한 계획은 때때로 어려움에 처하고 재해도 발생한다. 이러한 사례 연구는 2009년 오스트레일리아 빅토리아 주의 사례를 이용해, 열과 산불 위험 및 그 영향과 잠재적인 피해를 제시하고 이러한 극한 위험의 관리를 학습하기 위한 경험 및 미래 교훈을 제공한다.

9.2.2.2. 배경

전지구의 많은 지역에서 산불 위험이 존재한다. 그러나 이러한 위험을 관행적이고 보편적인 하나의 지수로 표현하는 것은 어려운 일이다. 많은 지역에서 날씨와 산불 사이의 관계가 연구되었다. 그 결과 날씨가 발화의 지배적인 요소인 경우도 있지만 인간 활동이 발화의 주요 원인인 경우도 있다. 그러나 날씨와 환경 요소는 주로 화재 지역을 결정한다(Bradstock 등, 2009). 산불은 산림과 토지 관리 및 화재 진압에 의해 영향을 받는다(Allen 등, 2002; Noss 등, 2006). 산불은 무작위로 발생하는 것이 아니라(Nunes 등, 2005), 특정 지형 또는 도심이나 도로에서 떨어진 지역에서 발생한다(Mouillot 등, 2003; Badla-Perpinya and Pallares-Barbera, 2006; Syphard 등, 2009). 산불의 강도와 확산 속도는 규모, 수분 함유량, 죽은 가연물의 배치, 연소구역의 풍속, 지형, 경사에 달려 있다. 산불 위험은 시작, 확산, 진압 어려움, 잠재적인 피해에 영향을 미치는 모든 요소들의 조합이다(Tolhurst, 2010).

9.2.2.3. 현상 설명

2009년 1월 25일 오스트레일리아 남부에서 극한 열파가 시작되었다. 이틀 후 열파는 오스트레일리아 남동쪽으로 확대되었다. 이례적인 열파가 발생한 것은 태즈먼 해에 자리잡은 고기압의 느린 이동이 오스트 레일리아 북서 해안에서 떨어진 곳에 위치한 강한 저기압 및 오스트레일리아 북부 전역에 걸친 몬순과 결합한 것이 원인이었다. 이는 더운 열대 공기가 오스트레일리아 남동쪽으로 이동하기 위한 이상적인 조건을 생성했다(National Climate Centre, 2009).

멜버른에서 기온이 3일 연속 43℃ 이상을 유지했으며(2009년 1월 28- 30일), 2009년 1월 30일에는 45.1℃로 최고치를 기록했다. 이는 두 번째로 높은 온도였다. 낮과 밤의 높은 기온으로 인해 1월 30일 현재 일평균기온은 35.4℃를 기록했다(Victorian Government, 2009). 2008년 겨울, 빅토리아 주의 많은 지역에서 강수가 평균 수준을 밑돌았다. 2008년 11월과 12월의 강수는 평균과 평균 이상을 기록했지만 1월과 2월의 강수는 평균보다 크게 낮았다(Parliament of Victoria, 2010a). 1998년부터 2007년 사이 12년간 빅토리아 주는 평균기온이 증가하고 평균강수는 14% 감소했다(DSE, 2008a). 빅토리아 주 중앙 지역에서 12년간의 총강수량은1961년부터 1990년 사이 평균강수량보다 10-20% 적었다(Australian Government, 2009).

이러한 열파는 노인을 비롯한 빅토리아 주 시민 건강에 큰 영향을 미쳤다(National Climate Centre, 2009; Parliament of Victoria, 2009). 열파가 발생한 주간에 긴급구조는 총 25% 증가했고 가장 온도가 높았던 3일간은 46%까지 증가했다고 보고되었다. 비상사태 관리 부서는 발표에서 급성 질병 환자의 큰 증가 및 75세 이상 노인 환자의 37% 증가와 함께 전반적으로 12% 증가를 보고했다(Victorian Government, 2009). 사망 원인을 열파에 귀속하는 것은 어려울 수 있다. 사망이 만성질환의 악화 및 직접적인 심장질환으로부터 발생하는 경향이 있으며, 특히 노인 인구에서 이러한 현상이 두드러진다(Kovats and Hajat, 2008). 그러나 초과 사망율은 열파 영향의 척도를 제공할 수 있다. 총 사망율과 관련하여 374건의 초과 사망이 발생했고 총 사망율은 62% 증가했다. 열파가 발생한 4일 간 총 사망자 수는 980명이었다. 한편 직전 5년 평균 사망자수는 606명이었다. 65세 이상 노인 사망자 수는 2008년 같은 기간과 비교해 두 배로 증가했다.

2009년 2월 7일 기온이 다시 치솟았다. 산불위험지수(Forest Fire Danger Index)는 기온, 강수, 풍속, 상대 습도와 같은 다양한 변수를 이용해 계산된다(Hennessy 등, 2005). 당시 산불위험지수는 과거 빅토리아 주에서 발생한 최악의 화재인 1939년 검은 금요일(Black Friday)과 1983년 재의 수요일(Ash Wednesday)(National Climate Centre, 2009)의 기상조건보다 훨씬 높은 수준이었다.

2월 7일 이른 오후가 되자 풍속이 최고치를 도달하고 킬모어 타운 인근의 전선이 파괴되면서 화재가 발생했다. 화재는 거대한 구름을 발생시켰고 오스트레일리아 역사 상 가장 규모가 크고 치명적인 화재 중 하나로 발전했다(Parliament of Victoria, 2010a). 화재가 크게 번진 2월 7일 한낮부터 한밤중까지의 시간은 풍속과 기온이 가장 높고 습도가 가장 낮은 때였다. 오후 늦게 화재 현장 전역에서 바람의 방향이 변함에 따라 북동쪽이 새롭게 화재의 전면으로 바뀌면서 사람들을 당황스럽게 만들었다. 이 화재는 같은 날 시작된 수 백 건의 화재 중 하나였다. 대부분은 빠르게 진압되었지만 상당수의 화재는 대형 화재로 이어져 무수한 인명을 앗아갔다. 빅토리아 산불위원회(Victorian Bushfires Royal Commission)는 이중 최악의 화재 15건을 조사했다(Parliament of Victoria, 2010a). 조사 결과 검은 토요일(Black Saturday)로 불리는 화재로 인해 173명이 사망했다(Parliament of Victoria, 2010a). 산불은 430,000 ha의 숲과 작물, 목초지를 파괴하고 61개 기업에 피해를 입혔다. 빅토리아 산불위원회는 2009년 화재로 인한 비용을 44억 오스트리아 달러로 추산했다.

9.2.2.4. 개입

빅토리아주 정부는 지속 가능한 행동 선언 및 행동 계획(Sustainability Action Statement and Action Plan)(2006년 발표, 2009년 1월 수정)에서 예상 열파에 대한 대응요건을 파악했다. 이는 커뮤니티와 지방 정부가 참여하는 빅토리아주 열파 계획(Victorian Heat Wave Plan)에 기여했다. 이러한 전략의 일환으로 빅토리아주 정부는 주도인 멜버른을 위한 열파 조기경보시스템을 수립했으며 현재 빅토리아주 다른 지역에 대해서도 비슷한 작업을 수행 중이다. 또한 정부는 지방 위원회를 지원하기 위한 열파 대비 도구를 개발하고 있다. 기존 지방 정부의 보건 및/또는 비상사태 관리 계획과 통합될 수 있다(Victorian Government, 2009).

'대비, 유지, 방어, 조기 대피(Prepare, Stay and Defend, or Leave Early, 이하 SDLE)' 접근법을 통해 거주자들은 산불 발생 전에, 화재 발생 시 거주지를 떠날지, 또는 잔류하여 적극적으로 재산을 보호할 지 여부를 선택한다. 또한 SDLE는 거주자들에게 머물거나 떠나기에 앞서 적절한 대비를 요구한다. 2009년 2월 7일 이전 빅토리아 주 정부는 화재 위험과 관련해 커뮤니티에 정보를 전달하기 위해 전례 없는 노력과 자원을 투입했다. 캠페인의 효과는 분명히 나타났다. 그러나 빅토리아주의 정보 및 경보 시스템에는 여러 가지 취약성과 결함이 존재했다(Bushfire CRC, 2009; Parliament of Victoria, 2010b).

산불 위험철에 강조되는 또 다른 핵심 요소는 저수지의 보호이다. 특히 멜버른의 대부분 지역에 물을 공급하는 어퍼 야라(Upper Yarra) 및 톰슨 저수지의 보호가 필요하다(Melbourne Water, 2009a). 2009년 2월 화재가 발생했을 때, 재와 잔해로부터 멜버른의 식수를 보호하기 위해 피해지역 저수지의 수십 억 리터의 물이 안전한 저수지로 옮겨졌다(Melbourne Water, 2009b).

빅토리아 산불위원회는 빅토리아 주의 화재관리 방식에 대한 광범위한 권장사항을 제시했다. 여기에는 모든 단선식 전선의 교체, 산불 취약 지역에 대한 새로운 건축 규제 등이 포함된다(Parliament of Victoria, 2010c).

9.2.2.5. 결과/영향

2009년 빅토리아 화재에 대한 다양한 조사를 통해 가정, 정책, 실행의 결함이 발견되었으며, 이러한 결과를 토대로 영향력 있는 다양한 권장사항들이 개발되었다(Parliament of Victoria, 2010c). 국가비상사태관리위원회(National Emergency Management Committee)를 통해 다음을 포함한 국가 대응이 채택되었다. (i) 산불안전 정책을 수정해 경보 역할 및 개인의 책임 강화 (ii) 국유지의 연료 절감 노력 증대 (iii) 고위험 지역에 공동체 피난처 수립 (iv) 화재 기관 간의 협력 및 커뮤니케이션 개선 (v) 극한의 화재 발생 시 자발적 대피 필요성을 인식하기 위해 SDLE 접근 수정(현재 '준비, 행동, 생존(Prepare, act, survive)') (vi) 국가 연구센터를 비롯해 산불 조사에 대한 지속적인 투자가 그것이다.

9.2.2.6 교훈

오스트레일리아는 다음 수단을 통한 위험 관리 능력의 강화 필요성을 인식해 왔다: (i) 위험인식 개선을 위한 대중 캠페인 (ii) 정보 및 경보 시스템 강화 (iii) 인식 및 대비 메시지를 보편적 행동으로 변환 (iv) 정부와 개인 간의 책임 공유(v) 통합 전략 개발 (vi) 위험 완화 및 적응 행동에 대한 투자 확대.

예측되는 미래 기후변화는 극한의 화재 위험 일수가 증가하고 이로 인해 다른 요소들의 영향을 악화시킬 것이다(Hennessy 등, 2005). 우리는 이미 인구통계적 변화와 토지 이용 변화와 같은 다른 요소들이 산불과 열파에 미치는 영향을 관찰했다. 미래에 모든 요인의 상호작용에 대한 보다 개선된 이해가 필요하다. 빅토리아 산불 위원회는 "검은 토요일과 같은 화재를 단순 일회성 사고로 취급하는 것은 부적절하며, 농촌-도시 경계 지역의 인구 증가와 기후변화 영향으로 인해 산불 관련 위험이 증가할 가능성이 있다."라고 언급했다(Parliament of Victoria, 2010c).

9.2.3. 가뭄의 악영향 관리

9.2.3.1. 서론

물은 전세계적으로 중요한 자원이다(Kundzewicz 등, 2007). 가뭄은 희박한 자원에 대한 경쟁을 증가시킴으로써 인구 대피와 이주를 발생시키고 무력 충돌과 같은 민족 간 긴장을 악화시킬 수 있다(Barnett and Adger, 2007; Reuveny, 2007; UNISDR, 2011a). 지중해 국가들은 농업 생산에 큰 영향을 미칠 수 있는 가뭄이 빈번하다. 이는 경제적 손실을 유발하고 농촌의 생계 수단에 영향을 미치며 도시로의 이주로 이어질 수 있다(UNISDR, 2011b). 이 사례 연구는 최근 몇 년 간(2007-2010) 가뭄으로 인해 피해를 겪은 국가 중 하나인 시리아에 초점을 맞추고 있다(Erian 등, 2011).

9.2.3.2. 배경

지중해 동부 지역은 토양수분 가뭄이 빈번하게 발생하며 연간 강수량이 120-150mm에서 400mm 사이인 지역의 작물에 큰 영향을 미친다(Erian 등, 2011). 1960년에서 2006년 사이 기간 동안 시리아 일부 주요 도시에서 연간 강수량의 심각한 감소가 보고되었다. 이러한 감소는 봄과 겨울의 강수 감소와 관련이 있다(Skaff and Masbate, 2010). 지난 세기와 21세기 초 시리아의 강수 감소 경향은 대부분의 순환 모델이 제시하는 지중해 지역의 향후 수십 년간의 예측과 비슷하다(Giannakopoulos 등, 2009).

9.2.3.3. 현상 설명

시리아는 건조 및 반건조 기후 국가이다(FAO and NAPC, 2010). 경작지의 4분의 3이 강수에 의존하며 전체 지역의 90% 이상에서 연간 강수량이 350mm미만이다(FAO, 2009; FAO and NAPC, 2010). 시리아의 전체 인구는 2,200만 명으로 이 중 47%가 농촌 지역에 거주하고 있다(UN, 2011). 시리아의 국가식량안보프로그램(National Programme for Food Security)의 보고에 의하면, 농업과 농촌은 시리아 국가 경제에서 필수적인 역할을 하지만 가뭄의 빈번한 발생으로 인해 GDP의 20-25%, 고용의 38-47%만을 차지할 뿐이다(UNRCS and SARPCMSPC, 2005; FAO and NAPC, 2010).

2011년에는 4년 연속 지속된 가뭄으로 인해 130만 명이 피해를 입었으며 2008년 수확 손실은 도시지역으로의 이주 가속화와 극빈곤층 증가로 이어졌다(UN, 2009, 2011; Sowers 등, 2011). 2008-2009년 겨울 곡물 생장 기간에 작물과 겨울 관개 재배 작물에 큰 피해가 발생했다(USDA, 2008a). 이러한 피해는 봄철 이상고온에 의해 악화되었다(USDA, 2008a). 밀 생산량은 2007년 4,041kt에서 2008년 2,139kt으로 약 50% 감소했다(SARPMETT, 2010). 천수답 작물에 의존한 농가 대부분에서 대부분의 작물이 피해를 입었다(FAO, 2009). 천수답 지역의 피해 농민 200,000명 중 70%가 수확을 하지 못했다. 토양 수분 부족 또는 발아 실패로 인해 씨앗

을 심지 못했기 때문이다(USDA, 2008b; FAO, 2009).

보고에 의하면 목축 가구들은 척박한 목초지로 인해 가축의 80%를 잃었고 사료 비용이 75% 상승함에 따라 재산을 원가의 60-70%로 처분할 수 밖에 없었다(FAO, 2008). 많은 농가와 목축가구들은 생산적인 재산을 처분함으로써 생계수단이 잠식당했다. 결과적으로 이들은 가축의 3-10%만 남긴 채 소농으로 전락했다(FAO, 2009).

가뭄은 소농과 목축 가구의 생계 수단에 영향을 미치면서 식품 안보를 위협하고 피해 지역에 거주하는 가구 전체에 부정적인 영향을 미쳤다(FAO, 2009; UN, 2009). 130만 명이 가뭄으로 인한 피해를 입었고, 이 중 800,000명(75,641 가구)의 피해는 매우 심각한 것으로 추정되었다(FAO, 2009; UN, 2009). 심각한 피해를 입은 사람들 중 20%(160,000 명)은 여성 가장 가구, 임신한 여성, 14세 이하 아동, 환자, 노인, 장애인을 비롯한 취약 계층이었다.

UN은 심각한 피해를 입은 인구의 상당수가 빈곤 선(1달러/인/일) 이하에 살고 있다고 추정했다 (UN, 2009). 식품과 기초 자원 가격의 상승으로 인해 줄어든 소득은 전체 가구에 부정적인 영향을 미쳤다(FAO, 2009). 많은 사람들이 기초 생필품이나 식품을 구입하는 데 어려움을 겪으면서 영양섭취 부족, 자산처분, 대출 금리 상승, 토지의 질적 저하, 학교를 떠나는 학생의 증가로 이어졌다(FAO, 2009; UN, 2009; Solh, 2010). UN 평가사절단은 학교를 떠나는 학생이 증가하는 것은 재정적 어려움, 교통비 증가, 도시로의 이주, 가구의 부수입을 벌기 위해 노동에 참여하는 학생증가 등의 이유 때문이라고 밝혔다(UN, 2009). 결과적으로 2007년부터 2008년 사이 부족한 영양 섭취로 인해 영양실조 발생이 증가했다. 식량 농업 기구(Food and Agriculture Organization: FAO)가 추정한 바에 의하면 임신한 여성과 5세 이하 아동의 영양실조 발생률이 두 배로 늘었다(FAO, 2008). 피해가 심각한 가구의 미량 및 대량 원소 섭취 부족으로 인해 평균 식단은 1일 지방 권장량의 15% 이하, 열량 및 단백질 권장량의 50% 이하로 구성된 것으로 추정되었다(UN, 2009).

가뭄으로 인한 영향 중 가장 눈에 띄는 것은 피해 지역으로부터의 대규모 이동이었는데, 총 40,000~60,000 가구가 이러한 이주에 참여했다(UN, 2009; Solh, 2010; Sowers and Weinthal, 2010). 2009년 6월 36,000 가구(200,000-300,000명)가 알 하사카를 떠나 다마스쿠스, 다라아, 하마, 알레포의 도심으로 이주한 것으로 추정됐다(UN, 2009; Solh, 2010). 이러한 이동에 필요한 임시 거주지와 수용시설은 이미 100만 명의 이라크 난민을 지원하고 있는 자원과 공공 서비스에 부담을 가중시켰다(UN, 2009; Solh, 2010). 또한 이동은 이주자의 건강, 교육, 사회 지수를 악화시켰다(IOM, 2008; Solh, 2010).

최근 몇 년 새 증가하는 물 수요와 가뭄으로 인해 35억 입방 미터 이상의 물 부족이 발생했다(FAO and NAPC, 2010; SARPMETT, 2010). 유프라테스 강과 티그리스 강 상류의 유량을 통제하기 위한 프로젝트에 의해 개입이 시작되었다. 이러한 개입은 이라크와 시리아의 강 하류의 유량 변동성에 심각한 영향을 미쳤고, 심각한 가뭄과 결합해 정상 범위보다 낮은 유량을 유발했다(USDA, 2008a; Daoudy, 2009; Sowers 등, 2011).

9.2.3.4. 개입

2009년 UN 시리아 가뭄대응계획(UN Syria Drought Response Plan)이 발표되었다. 이 대응계획의 목적은 지속적인 가뭄으로 인해 가장 큰 피해를 입은 300,000명을 위해 긴급히 필요한 사항을 해결하고 향후의 잠재적 피해를 예방하는 것이다. 대응계획은 신속한 인도적 지원과 미래 가뭄 및 기후변화에 대한 회복능력 강화, 피해가 가장 심각한 집단의 회복 프로세스 지원 및 사회경제적 안정 보장을 전략 우선순위로 파악했다(UN, 2009). 또한 시리아는 다자간 채널을 통해 가뭄 피해를 입은 사람들에게 제공되는 국제적 지원을 환영했다(Solh, 2010). 농업 종사자와 여성 기업인을 비롯한 피해자들을 대상으로 다양한 대출 프로그램이 제공되었다(UN, 2009).

9.2.3.5. 결과/영향

피해를 입은 주민들이 마을에 남아 농업 생산을 다시 시작하기 위해, 식품 및 농업 지원, 물과 건강 개입을 통한 보완, 가뭄 회복능력 증대를 목표로 하는 수단 등이 필요한 것으로 파악되었다(UN, 2009). UN 시리아 가뭄대응 계획(UN Syrian Drought Response Plan)(UN, 2009)과FAO(2009)는 가뭄에 대한 취약성 완화 및 회복능력 증가를 목표로 하는 지속적인 개입을 제시했다. 이러한 개입은 네 가지의 주요 접근을 통한 지원 제공을 목표로 한다. (1) 피해 지역 144,000 명에게 밀, 보리, 콩 종자를 신속하게 보급 (2) 약 20,000명의 목축업자의 자산 기반 유지 및 1,000명의 목축업자에게 가축사료를 제한적으로 공급 (3) 가뭄의 조기경보시스템 개발을 통해 심각한 손실이 발생하기 전에 정부가 빠른 조치를 실행하고 지속 가능성을 개발하도록 촉진 (4) 재해관리 사이클을 개발하고 이러한 사이클의 모든 단계를 해결함으로써 국가 가뭄 전략 실행을 위한 역량 구축 FAO, 2009). 보전농업(무경운, 직접 조파/파종, 식생 피복을 통한 조파/파종으로 정의됨)이 지속 가능한 토지 이용 방식으로 고려되고 있다(Stewart 등, 2008; Lalani 2011). 그러나 이를 어떻게 진전시킬지에 방법에 대해서는 논쟁이 되고 있다(Stewart 등, 2008).

9.2.3.6. 교훈

UN 시리아 가뭄대응계획(UN Syrian Drought Response Plan)은 긴급히 필요한 사항들을 파악하고 작업 프로그램과 사례 연구 9.2.3.4에서 언급된 개입들의 관련성에 대한 이해를 촉구했다(UN, 2009). 고려되고 있는 다른 대응 전략의 예는 다음과 같다.

- 국가 및 지방의 다중위험 평가를 통한 가뭄위험의 파악, 평가, 감시 능력 개발, 데이터의 감시, 저장, 보급을 위한 시스템 개발(Lalani, 2011), 자원 배분과 커뮤니티 참여, 지역 조기경보시스템 및 네트워크의 고려(UNISDR, 2011a).
- 가뭄위험 손해보험을 비롯해, CCA 및 DRR을 위한 국가 전략의 활동 통합, 물 이용 효율성 개선, 물 저류 기술 도입 및 기존 기술 개선, 지표수 및 지하수 이용 통합, 농가와 전달 측면에서의 관개 관행 개선, 염분 및 열에 강한 작물개발, 재배 패턴 변화, 재배활동의 시기 및 재배지 변경, 가치가 높고 효율적인 물 이용 기회를 제공하는 대안으로의 생산 시스템 다각화, 취약 지역의 관련 이해관계자의 역량 구축(Abou Hadid, 2009; El-Quosy, 2009).
- 가뭄위험 정보에 대한 접근성 개선에 의한 지식 전달, 홍보, 연구, 훈련을 통한 회복능력 구축(UNISDR, 2007a), '책임 공유'로 이해되어야 하는 국가 개발 프로그램 및 전략의 일부로서 적응 수단의 개발 및 그러한 프로그램 및 전략과 적응수단의 긴밀한 통합(Easterling 등, 2007). 이는 대중 인식을 강화하기 위한 교육 자료와 훈련을 통해 달성될 수 있다(UN, 2009).

9.2.4. 최근 몽골에서 발생한 조드(dzud)

9.2.4.1. 서론

본 사례 연구에서는 조드(dzud) 재해를 소개한다: 1999-2002년 및 2009-2010년 몽골에서 발생한 두 차례의 조드의 영향과 개입수단, 효과적인 대응을 위한 노력을 살펴본다. 몽골은 건조 및 반건조 기후가 포함되어 변동성이 크며, 광범위한 가축 부문이 초원 접근성에 의존하고 있다(Batima and Dagvadorj, 2000; Dagvadorj 등, 2010; Marin, 2010). 몽골의 조드는 국가 전역에 걸쳐 심각한 가축 사망을 유발하는 극한기상 조건을 의미한다(Morinaga 등, 2003; Oyun, 2004). 즉, 극한기상 조건에 대한 노출과 그로 인한 영향을 의미한다(Marin, 2010).

9.2.4.2. 배경

몽골의 기후는 계절적 특성이 뚜렷한 대륙성 기후이며 연 및 일기온의 변동성이 높고 강수량이 적다(Batima and Dagvadorj, 2000). 여름 강수는 산악지역의 경우 380mm, 사막지역의 경우 50mm를 넘지 않는 것이 일반적이다(Dagvadorj 등, 2010). 조드는 한랭건조기후에서 발생하는 복합적인 위험으로(복합 현상에 대해서는 3.1.3절 참고), 가뭄, 폭설, 혹한, 폭풍우를 포함한다. 조드는 일년 내내 지속될 수 있으며 대규모의 가축 손실은 물론 실업, 빈곤, 농촌에서 도시로의 대규모 이주 등을 비롯한 급격한 사회경제적 피해를 야기함으로써 인프라와 사회 및 생태계 서비스에 과중한 압력을 가할 수 있다(Batima and Dagvadorj, 2000; Batjargal 등, 2001; Oyun, 2004; AIACC, 2006; Dagvadorj 등, 2010).

조드의 유형은 다양한데, 폭설이 발생할 경우 화이트 조드(white dzud)가, 눈이 내리지 않을 경우 블랙 조드(black dzud)가 발생해 가축의 물 섭취가 부족해진다(Morinaga 등, 2003; Dagvadorj 등, 2010). 초원을 찾아 이동하는 가축으로 인해 밟힌 식물과 지나치게 높은 방목압이 후프 조드(hoof dzud)로 이어지고, 폭설 이후 온난기가 짧은 풀 위에 얼음 표면을 형성해 가축의 먹이 섭취를 방해함으로써 아이언 조드(iron dzud)를 유발한다. 가축은 수천 년간 몽골 농업의 중심이자 경제, 문화의 토대였다(Mearns, 2004; Goodland 등, 2009). 이 부문은 앞으로도 고용 측면에서 가장 중요한 부문이 될 것이다(Mearns, 2004; Goodland 등, 2009).

지난 수십 년간(1944-1945, 1954-1955, 1956-1957, 1967-1968, 1976-1977, 1986-1987, 1993-1994, 1996-1997) 조드가 발생해 왔다. 아래에서 조드에 대한 구체적인 논의가 이뤄지고 있다. 1944-1945년 발생한 조드로 인해 몽골의 총 가축의 3분의 1이 사망했다(Batjargal 등, 2001). 2009-2010년 발생한 조드도 이와 비슷한 가축 사망을 유발했다(NSO, 2011). 조드로 인한 대규모의 가축 손실은 몽골의 자연재해 극복 능력이 전반적으로 낮다는 사실을 보여준다. 이러한 잠재적 손실은 정부의 재정 능력과 국내 보험 시장의 능력을 초월한다(Goodland 등, 2009).

9.2.4.3. 현상 설명 – 1999-2002년 및 2009-2010년의 조드

1999-2002년과 2009-2010년 조드가 발생하면서 사회적, 경제적으로 큰 피해를 낳았다. 이러한 재해는 환경요소와 인위적 요소의 결과로서 발생한다. 환경 요소에는 목초 및 건초의 심각한 부족으로 이어지는 가뭄과 설치류와 곤충에 의한 추가적인 목초 피해가 포함된다(Batjargal 등, 2001; Begzsuren 등, 2004; Saizen 등, 2010). 인적 요소에는 정부와 가구의 대비를 위한 예산 문제와 부적절한 목초지 관리 및 조정, 새로운/젊은 목축 가구의 경험 부족 등이 포함된다(Batjargal 등, 2001). 이러한 조드에 기여한 기후요소들은 여름 가뭄에 이은 겨울 혹한과 폭설이었다. 그러나 1999-2000년 가을에 폭설과 결빙을 동반한 이례적인 온난화가 발생한 반면 2009-2010년 겨울과 봄에는 폭풍우가 발생했다. 1999-2000년 조드는 여름 가뭄이 큰 원인이었다(Batjargal 등, 2001). 반면 2009-2010년 조드는 겨울철 극한 추위가 크게 작용했다.

9.2.4.3.1. 1999-2002년의 조드

여름 가뭄으로 시작해 가을 폭설과 결빙을 동반한 이례적으로 온난한 기후, 겨울 혹한과 폭설이 조드를 야기했다. 이러한 현상들은 다음과 같이 이어졌다(Batjargal 등, 2001):

- **가뭄(Drought)**: 1999년 여름, 전세계 국가의 70%가 가뭄에 시달렸다. 기온이 41-43℃까지 오르면서 1960년대 기상관측을 시작한 이래 최고치를 기록했다. 이러한 상태는 몇 달간 지속되어 초원의 건조화로 이어졌다. 결과적으로 겨울에 대비한 건초가 부족해 겨울철에 동물의 생존이 어려워졌다.
- **아이언 조드(Iron dzud)**: 가을에 이른 눈이 내려 30-40cm, 일부 지역에서는 70-80cm까지 눈이 쌓였다. 평균치를 벗어난 폭설이 10월에 기록되었다. 또한 11월, 12월에는 1.7-3.5℃까지 기온이 올라 기후평균보다 따뜻한 날씨가 유지되면서 적설된 눈의 밀도가 0.37 g cm-3까지 높아지고 얼음표면이 형성되었다. 이러한 현상은 가축의 먹이 섭취를 방해했다.
- **화이트 조드(White dzud)**: 1월, 서부와 북부 지역 전반에 걸쳐 기온이 -40℃에서 -50℃까지 떨어졌다. 월평균기온이 기후평균보다 낮은 2-6℃까지 떨어졌고 이러한 추위는 2개월간 계속되었다. 많은 강설로 인해 국가의 80%가 높이 24-46cm의 눈으로 뒤덮였다.
- **블랙 조드(Blaek dzud)**: 고비 지역의 강설 부족과 그레이트레이크에서의 강설 부족은 동물의 물부족을 야기했다.
- **후프 조드(Hoof dzud)**: 가뭄과 강설에 의해 영향을 받지 않은 고비 지역 중부 및 남부의 일부 카운티에서 부적절한 초원관리로 인해 가축 밀도가 예기치 않게 급격히 증가했다.

동물들은 지속적인 기후로 인한 어려움과 조드로 인한 먹이부족으로 쇠약해졌다(Batjargal 등, 2001). 조드 발생 3년 후 약 3분의 1(약 1,200만 마리)의 가축이 감소했고 2003년 몽골의 농업 총 생산량은 1999년에 비해 40% 감소했다(Mearns, 2004; Oyun, 2004; AIACC, 2006; Lise 등, 2006; Saizen 등, 2010). 1998년 가축의 추정 수는 190,000마리였지만 조드로 인해 11,000 가구가 가축을 잃은 것으로 보고됐다(Lise 등, 2006). 실업, 빈곤, 건강이상 등을 비롯해, 조드는 인구와 생계에 심각한 영향을 미친다(Batjargal 등, 2001; Oyun, 2004; AIACC, 2006; Morris, 2011).

9.2.4.3.2. 2009–2010년의 조드

2009년 여름에 발생한 가뭄은 건초의 제조와 먹이 공급을 제한했다(UNDP Mongolia, 2010; Morris, 2011). 11월 말의 강수가 빙판으로 변했고 12월 말 21개 주 중 19개 주에서 기온이 –40℃ 이하로 떨어졌다. 이러한 상황에서 2010년 1, 2월 지속적인 폭설이 발생했다(Sternberg, 2010; UNDP Mongolia, 2010). 결과적으로 목축 가구와 가축의 50% 이상이 조드의 영향을 받았다(Sternberg, 2010). 4월까지 75,000개의 목축 가구가 가축의 절반 이상을 잃었다(Sternberg, 2010).

9.2.4.4. 개입

9.2.4.4.1. 1999–2002년의 조드

몽골 정부는 1999년 8월 겨울 대비 강화명령을 발표했다. 그러나 이를 실행하기 위한 예산이 2000년 1월에야 할당되면서 이 기간 동안 상당수의 동물이 사망했다(Batjargal 등, 2001). 정부는 시민 단체 및 국제 단체에 자금과 사료, 약품, 의복, 밀가루, 쌀, 아동을 위한 고단백·고열량 비스킷, 보건 및 수의과 서비스, 의료장비, 종자를 비롯한 지원과 구호를 요청했다(Batjargal 등, 2001). 대중매체 캠페인을 통한 역량구축 활동도 수행되었다. 이러한 캠페인은 취약 동물을 위한 의료 및 먹이 공급 방법에 관한 권장사항 제공에 초점이 맞춰졌다(Batjargal 등, 2001).

목축 가구들은 전통적이고 비공식적인 대응 메커니즘과 정부와 국제기구의 특별 지원에 의존하고 있다(Mahul and Skees, 2005). 타격을 입은 후 긴급 구호가 실시된 지역에 대해 주요 장기지원 정책은 환원(restocking) 프로그램이 일반적이었다(Mahul and Skees, 2005). 그러나 평가에 의하면 이러한 프로그램은 비용 대비 효율성이 떨어졌으며 목축 가구에 올바른 인센티브를 제공하지 못했다(Mahul and Skees, 2005). 실제로 환원 프로그램은 가뭄과 열악한 목초지 조건, 부적합한 동물로 인해 다음 해 가축 취약성을 증가시켰다. 부족한 자원에 대한 경쟁이 치열해졌기 때문이다.

정부는 의회승인에 의한 국가정책을 통해 가축 부문을 우선순위로 설정하고 원조기구의 지원 하에 조드 재해에 대응했다. 초지 사용권의 대한 탄력성을 크게 높이고 농촌 기반 시설 및 서비스에 대한 투자를 증대한 것이 이러한 대응 노력에 해당한다(Mahul and Skees, 2005). 그러나 가축 부문의 개혁과 접근법은 아직 위협적인 기상 현상을 극복하는 데 충분하지 않은 것으로 나타나고 있다(Mahul and Skees, 2005). 국가적립기구(State Reserves Agency)가 조드의 영향을 완화하기 위한 노력을 펼치고 있지만 가축 사망률은 여전히 위협적이 수준이다(Mahul and Skees, 2005).

9.2.4.4.2. 2009–2010년의 조드

지역 수준: 국가 기후 위험 관리 전략 및 행동 계획(National Climate Risk Management Strategy and Action Plan)(MMS, 2009)은 커뮤니티 수준의 기후 대비 회복능력 구축 목표를 수립했다. 이를 위해 다음과 같은 위험 저감 및 대응 촉진 방법을 제시했다. (i) 빗물 저류, 강수 및 홍수를 이용해 저수 시설을 구축함으로써 동물과 목초지, 작물관개 목적을 위한 수자원 접근성 개선 (ii) 생산성이 높고 기후 영향에 대해 회복력이 우수한 종을 도입함으로써 가축의 품질을 개선 (iii) 수의과 서비스 강화를 통한 동물의 질병과 기생충, 국경 간 전염병의 완화 (iv) 가축 종류와 구조를 조절하기 위한 전통적인 목축 지식 및 기술을 이용해 목초지의 수행 능력 및 이동 패턴을 적절한 수준으로 조절. 또한 커뮤니티 기반의 효율적인 재해 위험 관리와 함께 목축가구 공동체의 형성과 목초지 공동관리 팀 수립(Ykhanbai 등, 2004)은 효과적인 DRR과 CCA를 촉진할 수 있다(Baigalmaa, 2010).

국가 수준: 몽골의 밀레니엄 개발 우선순위는 기후변화 및 사막화에 적응하고 이로 인한 악영향을 최소화하기 위한 전략을 실행하기 위한 목표를 분명하게 언급하고 있다(Mijiddorj, 2008; UNDP Mongolia, 2009a). 최근 국가 CCA 보고서는 정부 전략의 우선순위를 다음과 같이 제시했다.

(i) 정책결정권자, 농촌 커뮤니티, 목축가구, 일반 대중을 위한 교육 및 인식 개선 캠페인 (ii) 농업 및 목축업 종사자에 대한 기술 및 정보의 전달 (iii) 다양한 환경 문제를 성공적으로 해결할 수 있는 농업 개발을 위한 연구 및 기술 (iv) 연구, 조사, 감시에 기반한 이해관계자들의 협력 개선(Dagvadorj 등, 2010). 가축 부문의 위험 관리를 위해서는 여러 접근법의 결합이 요구된다. 전통적인 목축 및 초원의 위험을 완화하기 위한 관행은 중간 수준의 기상 현상을 위한 효과적인 대비를 가능하게 한다. 그러나 전국적으로 발생하는 조드의 경우, 경험이 많은 목축가구라 하더라도 높은 수준의 가축 사망률을 피할 수 없는 경우가 많다. 이런 점에서 목초지 자원과 목축 관리는 재해 발생 후 즉각적인 유동성을 제공할 수 있는 위험-금융 수단을 통해 보완되어야 한다(Goodland 등, 2009).

국제적 수준: 몽골은 자연재해에 매우 취약한 국가로서 기후변화 위험 해결을 우선순위로 설정하고 있다. 2009년 몽골 정부는 국가비상사태관리기구(National Emergency Management Agency) 주도 하에 "몽골 재해완화 및 관리 시스템 강화" 프로젝트를 수행했다(UNDP Mongolia, 2009b; Sternberg, 2010).

9.2.4.5. 결과

조드가 미치는 가장 중요한 영향은 빈곤 감소와 농촌인구의 대규모 도시 이동(또는 고립지역에서 중앙 지역으로의 이동)이다(Oyun, 2004; Dagvadorj 등, 2010). 국가 통계에 의하면 지난 10년 간 빈곤이 계속 증가했다(NSO, 2011).

기후적인 어려움에 대응하여 도시와 중심 지역으로 이동하는 농촌 인구가 늘고 있다(Dagvadorj 등, 2010; UNDP Mongolia, 2010). 위협적인 기상 현상으로 인해 가축을 상실하고 빈곤이 증가한 목축 가구들은 이주 압력에 놓여 있다(Sternberg, 2010). 빈곤 증가 외에도 목축 가구들은 자녀를 위한 더 나은 교육과 의료서비스 접근 기회를 찾아 이주를 원하고 있다(Mahul and Skees, 2005). 많은 이주자들이 몽골 서부에서 수도인 울란바토르로 이동한다(Saizen 등, 2010; Sternberg, 2010).

9.2.4.6. 교훈

현재의 정책 및 수단은 주로 재해사후 정부 구호와 원조기구의 자금지원과 개별 목축가구의 전통적인 지식과 관행을 이용한 환원 활동으로 국한되어 있다. (Batjargal 등, 2001; AIACC, 2006). 조드의 방지, 대비, 대응을 위해서는 이러한 정책과 수단만으로는 부족하다(Goodland 등, 2009). 다양한 관행이 DRR에 효과적이며 CCA를 촉진하는 데 기여할 수 있을 것으로 파악되었다. 지방화된 계절 기후 예측 및 조기경보시스템 개선(Morinaga 등, 2003; MMS, 2009), 위험 보장 시스템(Skees and Enkh-Amgalan, 2002; Mahul and Skees, 2005), 정책(Batjargal 등, 2001; AIACC, 2006; Goodland 등, 2009)이 이러한 예에 속한다.

조드(Batjargal 등, 2001)와 '비단 자수 비(silk embroidery rain'로 불리는 작은 지역의 강수 패턴 변화(Marin, 2010)에 대응해 더 나은 목초지를 찾아 이동하는 목축가구는 적응의 한 가지 예이다. 또한 목축 가구의 생계수단 회복을 위한 변화 가능성은 기후에 대한 회복능력을 구축하는 데 효과적인 것으로 나타나고 있다(Mahul and Skees, 2005; Borgford-Parnell, 2009; MMS, 2009, Dagvadorj 등, 2010).

9.2.5. 열대저기압: 커뮤니티의 이행을 위한 정책 및 대응 제도

9.2.5.1. 서론

태풍 또는 허리케인으로도 불리는 열대저기압은 열대 및 아열대 해상에서 발생하는 매우 강한 바람으로, 건물과 기반시설, 기타 자산에 큰 피해를 입힌다. 폭우는 홍수와 산사태를 일으키고, 높은 파도와 폭풍 해일은 대규모의 연안홍수와 침식으로 이어진다. 이 모든 재해는 사람에게 큰 영향을 미친다. 일반적으로 열대저기압은 그 강도를 기준으로 분류되며, 이러한 강도는 지표면 부근 풍속으로 측정 또는 추정된다(경우에 따라 새피어-심슨(Saffir-Simpson). 척도에 따라 1에서 5등급으로 분류되기도 한다). 강력한 폭풍(3, 4, 5 등급에 해당)은 비교적 드물게 발생하지만 대개 큰 피해로 이어진다(3.4.4절).

본 사례 연구는 1970년 사이클론 볼라(Bhola)와 1991년 고르키(Gorky) 등의 사건을 통해 경험을 구축한 방글라데시가 대비 및 대응을 발전시켜온 것에 초점을 맞춰, 인도양 사이클론에 대한 방글라데시(시드르(Sidr), 2007년)와 미얀마(나르기스(Nargis), 2008년)의 대응을 비교한다. 전지구적 맥락에서 2005년에 중앙아메리카와 멕시코에서 발생한 허리케인 스탄(Stan)과 윌마(Wilma)의 영향과 그 대응에 대해서도 논의된다. 이러한 논의는 재해 위험 저감 방법을 이용한 기후변화 적응 노력이 열대저기압의 극한 현상으로 인한 영향을 제한하는데 효과적일 수 있다는 사실을 분명하게 보여준다.

인위적 요소에 의한 열대저기압 활동의 변화는 3.4.4절에서 논의되고 있다. 장기적으로 관찰된 열대 저기압 활동의 변화가 뚜렷하다는 주장의 신뢰수준은 낮다. 과거 열대저기압 기록의 불확실성, 열대저기압의 관측값을 기후변화와 연관시키는 물리적 메커니즘에 대한 불완전한 이해, 그리고 열대 저기압 변동성의 정도로 인해, 열대 저기압 활동에서 관측 가능한 변화의 원인을 인위적 영향으로 보는 데 대한 신뢰수준은 낮다. 열대저기압 발생과 위치, 경로, 지속기간, 영향이 미치는 영역에 대한 예측의 신뢰수준은 낮다. 모델 간의 신뢰수준과 물리적 추론에 의하면 온실가스로 인한 온난화와 함께 열대저기압 관련 강수비율이 증가할 가능성이 있다. 열대저기압의 전지구적 빈도가 감소하거나 실질적으로 변하지 않을 가능성이 높다. 열대저기압 최대 풍속 평균이 증가할 가능성이 있다. 그러나 이러한 증가가 전 열대 지역에서 나타나는 것은 아닐 수 있다. 전반적인 전지구 발생 빈도는 감소하거나 변하지 않을 것으로 보이지만 일부 대양 분지의 경우 강한 폭풍의 발생 빈도가 크게 증가할 가능성이 있다. 열대지역의 해수면온도(SST)가 온실가스 증가로 인해 높아지고 있다는 증거가 있지만, SST 상승과 강한 열대저기압과의 물리적 연관성은 아직 완전히 이해되지 않고 있다(3.4.4절).

표 9-2 | 방글라데시, 미얀마, 멕시코의 주요 극한 열대저기압 데이터 출처: Garda 등, 2006; 국가허리케인센터(National Hurricane Center), 2006; 방글라데시 정부, 2008; Karim and Mimura, 2008; 웹스터(Webster), 2008; CRED, 2009; Paul, 2009; Giuliani and Peduzzi, 2011.

사이클론	연도	폭풍해일(m)	최대풍속(km h^{-1})	등급(새피어-심슨)	피해자 수(100만 명, 대략적인 수치)	사망자 (대략적인 수치)	피해액(US$ 10억)
볼라(Bhola)	1970	6–9	223	3	1	300,000 – 500,000	미상
고르키(Gorky)	1991	6 – 7.5	260	4	15.4	138,000	1.8
시드르(Sidr)	2007	5 – 6	245	4	8 –10	4,200	2.3
나르기스(Nargis)	2008	~4	235	4	2–8	138,000	4.0
스탄(Stan)a	2005	경미한 수준	130	1	3–8	1,726	3.9
윌마(Wilma)	2005	12.8	295	5	10[b]	62(멕시코에서 8명)	29(멕시코에서 7.5명)

비고: a. 대부분의 피해 및 사망 원인은 산사태와 강물의 범람이다.
b. 자메이카, 바하마, 아이티, 케이맨제도, 벨리즈, 온두라스, 엘살바도르, 니카라과, 온두라스, 유카탄 반도(Mexico), 플로리다(미국)에 영향을 미쳤다.

9.2.5.2. 인도양 사이클론

전세계 열대 저기압의 15%만이 북인도양에서 발생하고 있지만(Reale 등, 2009), 열대저기압으로 인한 사망에서 방글라데시와 인도가 차지하는 비중은 86%에 이른다(UNISDR, 2009c). 2011 세계평가보고서(Global Assessment Report) (UNISDR, 2011b)는 기상 관련 사망 위험이 GDP가 낮고 거버넌스가 취약한 국가에서 집중되어 있다는 증거를 제시하고 있다. 북인도양에서 열대저기압에 노출된 많은 국가들은 대체로 인구 밀도와 취약성 수준이 높고 GDP가 낮다.

9.2.5.2.1. 현상 설명 – 인도양 사이클론

2007년 11월 15일 사이클론 시드르(Sidr)가 방글라데시에 상륙하면서 3,400명의 사망자가 발생했다(Paul, 2009). 2008년 5월 2일 미얀마에 사이클론 나르기스(Nargis)가 상륙해 138,000 명의 사망자가 발생했다(CRED, 2009; Yokoi and Takayabu, 2010). 이는 사망자 수로는 여덟 번째로 큰 규모였다(Fritz 등, 2009). 시드르와 나르기스는 모두 4등급에 해당하는 사이클론으로 강도가 비슷했다. 이들은 해안지역에 영향을 미쳐 많은 사람들을 위험에 노출시켰다(표 9-2). 방글라데시와 미얀마 모두 최빈개발도상국이지만(Giuliani and Peduzzi, 2011), 사이클론이 미친 영향은 매우 다르게 나타났다. 차이의 원인은 다음과 같다.

9.2.5.2.2. 개입 – 인도양 사이클론

방글라데시는 대규모 재해 경험이 많다(예: 1970년 사이클론 볼라, 1991년 고르키(Gorky), 표 9-2 참고). 방글라데시 정부는 열대저기압에 대한 DRR을 목표로 엄청난 노력을 기울여 왔다. 가령, 원조기구, NGO, 인도주의 기구, 그리고 무엇보다 중요한 해안지역 커뮤니티와 협력하여 활동을 수행했다(Paul, 2009).

첫째, 이들은 500-2,500명을 수용할 수 있는 다층 구조의 사이클론 대피소를 구축했다(Paul and Rahman, 2006). 이러한 대피소는 해안 지역에 구축돼 해안지역 주민에게 폭풍해일로부터 안전한 대피소를 제공하고 있다. 또한 폭풍해일로부터 가축의 안전을 보호하기 위해, 300-400마리의 가축을 수용할 수 있는 킬라스(killas)(토단을 세움)를 사이클론 취약 지역에 구축했다(Paul, 2009).

둘째, 예측 및 경보 능력을 개선하기 위해 지속적인 노력이 수행되었다. 기상청에 폭풍 경보 센터(Storm Warning Center)가 설립됐다. 시스템 능력이 강화되어 벵골만에서 열대저기압이 형성되는 즉시 조기경보 및 특별 고지를 통해 다양한 이용 기관에 경보를 제공한다. 사이클론 경보의 효과적인 보급과 취약한 커뮤니티 인구의 인식개선을 위해 지방 수준에서 사이클론 대비 프로그램(CPP) 자원봉사자를 대상으로 정기적인 훈련과 교육이 실행되고 있다.

셋째, 해안지역 자원봉사자 네트워크(CPP 하에서 수립)는 해안지역 커뮤니티에 사이클론 경보를 보급하는 데 효과적인 것으로 입증되었다. 이는 적시적인 현장 활동을 가능하게 한다. 취약한 인구를 사이클론 대피소로 안전하게 이동시키는 것이 그러한 예다(Paul, 2009). 1991년부터 2007년 사이클론 대피소는 7배로, 자원봉사자는 2배로 증가한 덕분에 2007년 시드르가 상륙하기 전에 300만 명이 안전하게 대비할 수 있었다(Government of Bangladesh, 2008).

또한 1960년대 후반 순다르반스(Sundarbans)의 나무심기를 비롯한 해안지역 재식림 프로그램에 착수하고 하구의 해안지대와 버려진 제방을 피복했다(Saenger and Siddiqi, 1993). 시드르는 방글라데시 서부해안인 순다르반스에 상륙했다. 이곳은 현재 세계 최대 맹그로브림으로 꼽힌다. 이 지역은 방글라데시에서 인구가 가장 적은 해안 지역으로 최근 재식림의 노력이 집중된 곳이다(Hossain 등, 2008).

순다르반스는 시드르 발생 기간 동안 효과적인 감쇄 완충 역할을 하면서 폭풍해일의 피해를 크게 완화했다(Government of Bangladesh, 2008).

방글라데시와 달리 미얀마는 과거 강력한 열대저기압을 겪은 경험이 부족했다. 나르기스는 강도와 규모 면에서 미얀마가 경험한 최대 사이클론으로 이에 대한 경보가 거의 제공되지 않았다.

9.2.5.2.3. 결과 – 인도양 사이클론

나르기스가 시드르보다 강도가 다소 약하고 영향을 받는 인구가 적었지만 이로 인한 인명 손실은 훨씬 컸다. 방글라데시와 미얀마 모두 인간개발지수 수준이 낮은 최빈국이다(World Bank, 2011a). 빈곤과 개발의 상대적으로 적은 차이로는 시드르와 나르기스의 피해의 차이를 설명할 수 없다. 그러나 세계은행이 개발한 거버넌스 지표(Kaufmann 등, 2010)에 의하면 방글라데시와 미얀마 간에 거버넌스의 질적 차이가 존재한다. 특히 표현, 책임, 법규칙, 규제의 질, 국적운영 효율성에서 뚜렷한 차이가 있다. 특히 표현과 책임의 낮은 질적 수준은 열대저기압으로 인한 사망의 주요 취약 요소로 제시되었다(Peduzzi 등, 2009).

9.2.5.3. 중앙아메리카의 허리케인

9.2.5.3.1. 현상 설명 – 중앙아메리카의 허리케인

중앙아메리카와 멕시코(중앙아메리카)는 강한 열대 폭풍에 영향을 크게 받는 지역이다. 2005년 10월 1일부터 13일까지 허리케인 스탄이 중앙아메리카 대서양 해안과 멕시코 유카탄반도에 영향을 미쳤다. 스탄은 비교적 약한 폭풍으로 짧은 시간 허리케인 상태에 도달했을 뿐이었다. 이는 대형의 비열대성 폭풍과 결합해 엄청난 비를 쏟아 부었고 결과적으로 암설류와 암석미끄러짐사태, 광범위한 홍수가 발생했다. 과테말라는 1,500명 이상의 사망자와 수천 명의 실종자를 보고했다. 엘살바도르의 사망자 수는 69명이었지만 멕시코는 36명이었다(CRED, 2009). 1주일 후 윌마가 상륙했다(10월 19일-24일). 윌마는 풍속 297 km h-1의 강력한 대서양 사이클론(국가허리케인센터, 2006; 표 9-2)이었다. 윌마는 아이티에서 12명, 멕시코에서 8명, 미국에서 4명의 사망자를 발생시켰다. 쿠바 서부의 주민 대부분과 멕시코 유카탄 반도의 주민과 여행객에 대한 대피가 발령되었다(CRED, 2009).

9.2.5.3.2. 개입 – 중앙아메리카의 허리케인

스탄은 주로 과테말라, 엘살바도르, 치아파스의 빈곤한 토착지역에 영향을 미쳤지만 윌마(Wilma)는 칸쿤의 세계적인 해변 리조트에 영향을 미쳤다. 허리케인에 대한 멕시코의 대응에 관한 공동연구가 세계은행의 자금 지원하에 라틴아메리카 카리브경제위원회(Economic Commission for Latin America and the Caribbean)를 통해 수행되었다(ECLAC, 2006). 라틴아메리카 카리브 위원회(Commission for Latin American and the Caribbean)와 멕시코국가재해예방센터(Mexican National Center for Prevention of Disasters) (Garcia 등, 2006)에 의하면 스탄으로 인해 멕시코에서만 22억 달러의 피해가 발생했으며 이중 65%는 직접적인 손실이었고 35%는 농업 생산에 대한 미래의 영향 때문으로 보고되었다. 이러한 피해의 70%가 치아파스에 주에서 보고되었다(Oswald Spring, 2011). 이는 주 GDP의 5%에 해당한다.

같은 달 발생한 두 개 허리케인에 대해 멕시코 당국의 관리방식 비교를 통해 중요한 DRM 문제를 파악할 수 있다. 스탄이 영향을 미치는 멕시코 지역에서 대피는 비상사태 단계에 이르러서야 시작되었다. 이는 98개 강이 범람해 800개 커뮤니티에 이미 영향을 미친 후였다. 100,000 명이 산악 지역에서 임시 대피소(대부분 학교)로 피신했다(Oswald Spring, 2010). 이와 달리, 윌마에 대해선 조기 경보에 뒤이어 위험 지역으로부터 사람들의 대피가 이뤄졌다. 대부분의 관광객들이 안전한 지역으로 이동했고, 지역 주민과 남은 관광객들에게는 대피소가 제공되었다(Garcia 등, 2006). 허리케인이 해안을 강타하기에 앞서, 재해 발생시 즉각적으로 물과 전기를 복구하고 커뮤니케이션을 수행하며 보건 서비스를 제공하기 위한 중장비와 비상사태 대응 그룹이 동원되었다. 재해 발생 후, 모든 부처가 신속하게 공항과 관광객 시설의 운영 재개를 위해 발벗고 나섰다. 12월에 대부분의 호텔이 운영을 하였으며 소실된 해변 모래가 복구되었다(Oswald Spring, 2011).

9.2.5.3.3. 결과 – 중앙아메리카의 허리케인

같은 달 발생한 두 개의 허리케인에 대한 정부의 대응 비교를 통해 조기경보, 대비, 재건 측면에서 매우 다른 정부 행동을 살펴볼 수 있다. 허리케인 윌마가 발생한 기간 동안 DRM 책임이 있는 연방기관은 적절한 기능을 하였다. 막대한 회복전략을 통해 2개월 이내에 칸쿤의 거의 모든 서비스와 호텔의 복구되었으며 복구 비용의 상당 부분은 보험회사가 보장했다(Garcia 등, 2006). 한편 스탄에 대한 정부의 대응으로 인해 가난한 토착 인구는 제한된 정보와 충분하지 않은 재해 구호, 부족한 재건 지원을 경험했다(Oswald Spring, 2011).

9.2.5.4. 교훈

열대저기압에 대한 재해 위험 관리 관행의 비교 연구에 의하면 극한기후 현상에 대한 선택과 대응의 결과는 복합적인 상호작용 프로세스와 경쟁 우선순위에 의해 유발된다. 토착민, 빈곤층, 문맹인들의 경우 회복능력이 낮고 자원이 제한돼 있기 때문에 조기경보와 DRM이 없을 경우 노출 위험이 매우 높다. 비슷한 극한 현상에 대한 정부 대응은 인근 국가와 전혀 다를 수 있다. 심지어 같은 국가 내에서도 다를 수 있다.

취약성 및 인과관계 프로세스의 지속적인 변화와 함께, 보호수단을 생성하고 극한 현상을 예상 및 계획하는 해안지역 열대저기압 DRM 전략은 잠재적으로 노출 위험이 높은 커뮤니티의 회복능력을 높인다. 다음 수단에 대한 국제 협력 및 투자는 극한 열대저기압 현상에 대처하기 위한 개발도상국의 역량 개선에 필수적이다.

- 예측 능력 개선, 개선된 조기경보시스템 실행(대피계획 및 기반시설 포함)
- 건강한 생태계 보호
- 흩어져 있는 커뮤니티에 대한 재해 발생 후 지원 서비스
- 복구 자금을 피해자에게 직접 제공하는 투명한 관리

인식개선, 조기경보, 대피, 허리케인 경험, 재해 펀드, 특수 기관 등은 열대저기압이 사회적 취약 계층에 미치는 영향을 완화한다. 좋은 거버넌스 및 사람들의 의사결정 과정 프로세스 참여는 정부 우선순위에 대한 상충 문제를 해결할수 있다. 재해 위험 관리는 사회적 프로세스가 재해 위험의 생성, 관리, 감소에 기여하는 다양한 방식을 이해할 때 가장 효과적으로 추구된다. 극한기상 현상 관련 위험 저감을 위한 일관성 있는 전략을 위해서는 재해 위험 관리를 개발 프레임워크의 필수적인 부분으로 포함하는 개발계획인식이 중요하다.

9.2.6. 홍수의 악영향 관리

9.2.6.1. 서론

홍수는 전세계 많은 지역에서 주요 자연재해로 꼽힌다 Ahern 등, 2005). 2001년부터 2010년까지 홍수 및 기타 수문적 현상이 재해의 50% 이상을 차지했다(Guha-Sapir 등, 2011). 가령 2007년 전세계적으로 상위 다섯 개 치명적인 자연재해 중 네 개가 홍수였다(Subbarao 등, 2008). 현재 약 8억 명이 홍수 취약 지역에 살고 있으며 그 중 10%가 매년 홍수에 노출되고 있다(4장, Peduzzi 등, 2011; UNISDR, 2011b). 홍수의 원인은 다양하지만, 그 중에서도 지속적인 강수와 호우의 결과로서 또는 해안 범람의 결과로 발생할 수 있다(Ahern 등, 2005; 3.5.2절 참고). 홍수 영향은 매우 광범위하다. 가령, 잠재적으로 식품과 물 공급을 방해하고 경제 개발에 영향을 미치며 급성 질병뿐 아니라 장기적인 건강 문제에 영향을 미친다. 위험 저감에 대해 신뢰할 수 있는 접근법과 예측 및 대중에 대한 전달을 위한 시스템을 개발하거나 강화하기 위해 홍수 현상을 이해하는 것이 중요하다. (ICSU, 2008). 이 사례 연구는 2000년과 20007년 모잠비크에서 발생한 홍수 현상이 인구와 경제에 미친 영향을 살펴본다.

모든 차원에서 DRR 및 DRM 프로그램이 효과적으로 기능할 때 홍수를 비롯한 극한 현상으로부터 위험을 완화하는 데 도움이 될 수 있다. 이러한 프로그램은 지방, 국가, 국제 전략과 함께 실행될 때 최고의 결과를 얻을 수 있다 (Hellmuth 등, 2007; UNISDR, 2011a).

홍수로 인한 피해를 완화하기 위해 다양한 전략이 이용되고 있다. 예를 들어, 댐과 방파제는 해안지역의 범람을 방지하지만 비용이 많이 들고 유지보수가 어려우며 파괴될 수 있다. 또한 도시 배수 시스템이 도시 홍수 위험을

낮추기 위한 중요한 도구로 인정받고 있다. 그러나 저소득 국가의 절반 이하(46%)만이 홍수취약 지역 배수시설에 투자했다(UNISDR, 2011b). 많은 국가에서 DRR 및 DRM 프로그램의 일부로서 적시 홍수 경보가 개발되었다(사례 연구 9.2.11).

세계평가보고서(Global Assessment Report) (UNISDR, 2011b)에 의하면 2000년 모잠비크 홍수는 DRM 능력의 차이가 제도적, 법률적 변화로 이어진 4대 대형 재해 중 하나이다.

9.2.6.2. 배경

모잠비크는 사회경제적 취약성의 수준이 매우 높은 국가로, 총 인구 2,100만 명 중 50%가 빈곤선 이하에서 살고 있다(2.3절 및 2.5절 참고, WMO, 2011a; World Bank, 2011b). 과거 내전과 남아프리카공화국과의 충돌로 인해 개발이 제한되어 왔다. HIV/AIDS 발생률이 증가하고 여성 인구의 70%가 문맹이며, 인구의 대부분이 영세농업에 의존하고 있는 것도 취약성의 또 다른 예다(Hellmuth 등, 2007; World Bank, 2011b).

지리적 위치와 기후요소가 모잠비크의 높은 물리적 취약성에 기여한다. 모잠비크는 2,700km의 해안선을 가지고 있으며 모잠비크는 물론 이웃국가까지 열대저기압과 그 결과로 인한 홍수의 영향을 받기 쉽다(Hellmuth 등, 2007; WMO, 2011a; World Bank, 2011b). 모잠비크의 11개 하천 중 9개 하천이 국경에 걸쳐 있으며(Hellmuth 등, 2007) 하류가 더 인근 국가의 하천 수위와 유량을 증가시켜 홍수를 유발하거나 악화시킬 수 있는 대규모 지역에 걸쳐 발생하는 강수 현상에 민감하다. 이런 점에서 모잠비크의 조기경보 및 홍수 통제 시스템의 개발 및 운영은 남아프리카개발공동체(Southern Africa Development Community)의 다른 국가들과의 긴밀한 협력과 공유 수로 시스템에 대한 프로토콜에 달려 있다(SADC, 2000).

세계은행(2005a)의 보고에 의하면, 모잠비크는 1965년부터 1998년 사이 12개 주요 홍수와 9개 주요 가뭄, 4개의 대형 열대저기압 현상을 경험했다. 1999년 재해관리에 대한 국가정책이 제시되었고 전달보다 협력을 강조하는 국가재해관리원(National Institute for Disaster Management: NIDM)이 설립되었다(World Bank, 2005a).

9.2.6.3. 현상 설명 – 2000년 모잠비크의 홍수

2000년 2월 위협적인 홍수로 인해 700명 이상이 목숨을 잃고 50만 명 이상이 집을 잃거나 450만 명이 피해를 입었다(Mirza, 2003; Hellmuth 등, 2007; WMO, 2011a; World Bank, 2011b).

홍수는 연쇄적으로 발생한 현상들의 결과였다. 이는 1999년 10월부터 12월 사이 모잠비크 남부와 인근 국가에서 발생한 평균 이상의 강수로 시작되었다(Hellmuth 등, 2007). 이후 사이클론 아스트라이드(Astride), 코니(Connie), 엘린(Eline), 글로리아(Gloria)가 연속적으로 발생하면서 상황이 악화되었다. 이중 가장 많은 영향을 미친 것은 엘린이었다(UNESC, 2000; Asante 등, 2007; Hellmuth 등, 2007). 사이클론 엘린은 열대 남인도양에 걸쳐 서쪽으로 7,000 km 이상을 이동한 후(Reason and Keibel, 2004), 2000년 2월 22일 상륙해 모잠비크 해안선을 가로질러 림포포(Limpopo) 강 상류 유역 위를 이동하면서 상황을 악화시켰다.
모잠비크와 남아프리카공화국과 짐바브웨 북동부에서 발생한 강수는 이례적인 수준이었다. 림포포 강과 잠베지(Zambezi) 강 하류(Carmo Vaz, 2000; Kadomura, 2005)와 사비에(Sabie) 저수지의 일부에 기록적인 홍수가 이어졌다. 재현기간은 200년 이상이었다(Smithers 등, 2001).

홍수로 인해 많은 소규모 도시와 마을이 약 2개월간 물에 잠겼다(Hellmuth 등, 2007). 철로와 다리, 물관리 시스템(취수 및 처리장 포함)에 대한 접근로가 폐쇄되었고 600개 이상의 초등학교가 피해를 입거나 파괴되었다(UNESC, 2000; Dyson and van Heerden, 2001; Reason and Keibel, 2004). UN 세계식량계획(World Food Programme)의 보고에 의하면 모잠비크는 167,000 ha의 농지가 유실되었고(FAO and WFP, 2000) 댐이 파괴되었다. 예를 들어, 1월부터 3월까지 마신지르(Massingir) 저수지의 총 유입량은 당시 저수지 저장 능력의 8배였다(Carmo Vaz, 2000).

홍수가 모기 번식지를 쓸어가 모기로 인한 질병이 줄어 들었지만(Sidley, 2000), 의료 자료 및 62개 가구에 대한 인터뷰에 의하면 말라리아 발생률은 1.5–2.0배 증가했으며, 설사도 2–4배 증가했다(Kondo 등, 2002).

정부는 비상사태를 선포하고 재해대응 수단을 동원하고 다른 국가들의 지원을 요청했다(Hellmuth 등, 2007). 2000년 모잠비크 홍수로 인해 발생한 막대한 물질적 피해와 인명손실은 다음 문제와 관련이 있다.

- **제도적 문제:** 1999년에야 재해관리 국가정책(National Policy on Disaster Management)이 반응적 접근법에서 적극적 접근법으로 이동하고 예방문화 개발을 목표로 했다(Asante 등, 2005; Hellmuth 등, 2007).
- **기술적 문제:** 2000년 홍수 발생 당시, 재정적 제약으로 인해 현장 관측 장비의 설치 및 유지보수에 문제가 있었다. 또한 수문 및 강수 관측시설이 홍수에 휩쓸려 가고 주요 관측소들이 파괴되면서 실제 홍수의 규모에 관한 정보를 제공하는 정보원이 없었다(Dyson and van Heerden, 2001; Smithers 등, 2001; Asante 등, 2005).
- **재정적 문제:** UN경제사회이사회(UN Economic and Social Council) (UNESC, 2000)의 보고에 의하면, 모잠비크 정부는 제한된 수단에도 불구하고 비상사태에 대응했지만 막대한 국제금융 지원으로 인해, UN으로부터 조율을 위한 도움을 요청했다 세계은행은 2000년 홍수로 인한 직접적인 손실이 2억 7300만 US$에 이를 것으로 추정했다(UNESC, 2000).

9.2.6.4. 개입

2000년의 위협적인 홍수 이후, 모잠비크 정부는 재해 위험 관리의 효과를 개선하기 위해 다양한 수단을 실행했다. 2001년 절대빈곤감소를 위한 행동계획(Action Plan for the Reduction of Absolute Poverty: PARPA I)이 채택되었고(Republic of Mozambique, 2001), 2006년에서부터 2009년까지 수정이 이뤄졌다(PARPA II) (Republic of Mozambique, 2006a,b; Foley, 2007). 또한 정부는 2006년 모잠비크의 자연재해 취약성을 해결하기 위한 종합적 전략을 제공하는 종합계획을 채택했다(Republic of Mozambique, 2006a).

2000년 홍수 이후 모잠비크는 사람들을 안전한 지역으로 이동시키기 위한 프로그램들을 실행했다(World Bank, 2005a). 2000년의 홍수 이후, 홍수의 영향을 받는 커뮤니티에 대해 59,000가구의 재정착을 촉진하는 대규모의 재정착 프로그램이 시작되었다. 그러나 생계 개선을 위한 자금 부족으로 완전한 성공을 거두지는 못했다(WMO, 2011a).

경보의 성공과 효율성은 예측의 정확성뿐 아니라 재해 발생 전 적절한 시간 내에 전달하여 예방전략을 수립할 수 있는 능력에 좌우된다. 2006년 11월부터 2007년 11월까지 아프리카 남동 지역에서 세계기상기구(World Meteorological Organization)에 의해 수행된 재해기상시연사업(Severe Weather Forecasting Demonstration Project)은 역량 구축에 대한 새로운 개념을 시험했다. 이 사업은 2007년 2월 사이클론 파비오(Fabio)에 대한 예측과 경보에 기여했다(Poolman 등, 2008). 시연 단계는 가치가 있는 것으로 나타났으며, 실행단계(훈련을 포함하며, 개발도상국에서 열대저기압에 대한 효과적이고 효율적인 예측 및 경보에 의해 뒷받침된다)는 계속되고 있다(WMO, 2011b).

높은 수준의 경보 외에, 쉽게 이해 가능한 방식으로 재해 구역의 사람들로부터 경보를 제공 받는 것이 중요하다(UNISDR, 2010). 2005년과 2006년 독일 기술협력기관(German Agency for Technical Cooperation)은 버지(Búzi)강 유역에 대해 단순하지만 효과적인 조기경보시스템을 개발했다(Bollin 등, 2005; Loster and Wolf, 2007). 이러한 경보 시스템은 사람들의 특별한 필요성과 기술에 따라 조정되었다. 마을 공무원들은 버지 강 유역 전략 지점에 대해 일강수량과 하천 수위에 관한 정보를 얻는다. 호우가 내리거나 하천 수위가 중요 수준까지 도달할 경우 이러한 정보가 라디오를 통해 전달된다. 또한 홍수 경보 수준에 따라 청색, 황색, 적색 경보가 발행된다(Bollin 등, 2005; UNISDR, 2010).

9.2.6.5. 결과/영향 – 2007년 모잠비크의 홍수

2000년 홍수가 발생한 지 7년 후, 비슷한 홍수가 모잠비크에서 발생했지만 모잠비크는 과거보다 더 효과적으로 대비가 돼 있었다. 2006년 12월부터 2007년 2월 사이 모잠비크 북부와 중앙 지역에 발생한 호우와 인근 국가의 심각한 폭우가 결합해 잠베지강 유역에 홍수가 발생했다(IFRC, 2007). 2007년 2월 말 열대저기압 파비오의 접근으로 인해 또 다른 홍수가 발생해 버지 지역에 타격을 입혔다(Poolman 등, 2008). 모잠비크 남부 해안에서 발생한 홍수로 25명이 죽었고 285,000명이 피해를 입었으며 140,000명이 이주했다(Kienberger, 2007; World Bank, 2011b). 호우와 홍수는 보건 센터와 공공건물, 의약품, 의료장비뿐 아니라 안전한 물과 위생시설에 큰 영향을 미쳤다(UNOCHA, 2007). 전체적으로 홍수와 사이클론은 지방 기반 시설에 대해 약 7,100만 US$의 피해를 발생시켰고, 277,000ha에 달하는 작물을 파괴했다(USAID, 2007).

2007년 1월, 잠베지강 유역에 심각하고 즉각적인 홍수위험이 포착되었다. 2007년 1월 26일 잠비아, 말라위, 모잠비크에 대한 다국적 홍수 경보가 발행되었다. 다음 주 예측과 경보를 통해 NIDM은 홍수 경보를 증가시키다가 결국 '적색 경보'를 발행했다(UNISDR, 2010). Bollin 등(2005)에 의해 수행된 조기 작업 테스트에 의하면, 강 수위가 급격하게 상승했을 때 위험에 처한 12,800명이 이전 훈련경험에 따라 효과적으로 대비했다(Loster and Wolf, 2007). 해당 구역의 재해완화 위원회는 위험 마을에 경보(청색 경보)를 발행했고 이틀 후 대피를 알리는 적색 경보를 발행했다. 이틀 안에 이뤄진 이 경보들을 통해 약 2,300명이 대피소로 이동할 수 있었다(Loster and Wolf, 2007).

비상 사태 기간 동안, 지방 및 국제 협력 기관과 함께 NIDM이 비상사태 활동을 조율하기 위한 지방 센터로 구성된 네트워크를 설립했다. 적십자와 적신월사 단체 국제 연맹(International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies)과 미국 국제개발처(Agency for International Development), 기타 단체가 비상사태 기간 동안 기초 재화와 식량, 의료 서비스 보급을 위해 노력했다(IFRC, 2007; USAID, 2007).

최후의 수단으로 거주민들을 홍수 취약 지역에서 보다 안전한 곳으로 이주시키는 이른바 '재정착' 프로그램이 실시되었다(Stal, 2011; WMO, 2011a). 재정착은 결코 쉬운 대안이 아니다. 홍수-안전 지역에 새로운(또는 인근) 학교와 건강 시설과 함께 벽돌집이 제공되었지만 의도와 달리 홍수-안전 정착지는 그다지 우호적인 평가를 받고 있지 못한데, 이는 물부족과 가뭄을 겪고 있으며 이로 인해 작물 재배가 어렵기 때문이다(Stal, 2011).

다른 자연재해와 함께 2000년과 2007년 홍수는 개발 노력이 실패했으며(Sietz 등, 2008), 모잠비크의 빈곤 감소 전략 실현에 있어서 국가적인 노력을 약화시킨 것으로 평가되고 있다(IMF, 2011).

9.2.6.6. 교훈

2000년과 2007년 모잠비크에서 발생한 두 가지의 홍수 현상에 대한 비교를 통해 다음을 파악할 수 있다.

- 가장 위험한 자연현상 중 하나인 홍수는 자연의 지속 가능한 개발에 대한 실질적인 위협이다(Ahern 등, 2005; Guha-Sapir 등, 2011).
- 홍수의 결과는 장기적으로는 극한기후 적응에 달려 있으며, 관련 수문적 극한 현상에 대해서는 추가적인 이해가 필요하다. 2000년 모잠비크 홍수를 통해 얻은 교훈에 따라, 국내 및 국제 단체들은 재해대비, 위험 관리, 긴급사태 대비 및 대응 능력을 포함하도록 전략을 수정했다. 모잠비크 정부는 2000년부터 2007년까지 새로운 DRM 체계를 도입했다. 이는 외부 전문가들과 긴밀한 협력 하에 기후변화로 인한 재해에 맞춰 조정될 필요가 있는 과학 및 통신 시스템의 수용을 위해 필요한 탄력성을 보여주는 것이었다. 새로운 DRM 프로그램 실행은 2007년 홍수의 피해를 줄이는 데 도움이 되었다(Republic of Mozambique, 2006a).
- 모잠비크의 경험은 지방, 지역, 국가 차원에서 DRM의 핵심 요소로서 효율적이고 지속적인 수문 모니터링 시스템과 조기경보시스

템의 개발이 홍수 위협에 대한 현실적인 경보를 가능하게 한다는 점을 보여준다(WMO, 2011a).

- 2007년 주기적인 범람 지역에 실행된 재정착 프로그램은 홍수 피해를 완화하는 데 도움이 됐지만 이러한 수단을 실행하기 어렵다는 게 문제이다(WMO, 2011a).
- 한정된 가용 자원은 재해 대비 및 대응에 있어서 가장 중요한 문제 중 하나이다. 정부의 보호 노력에도 불구하고 심각한 빈곤은 홍수를 비롯한 자연 재해 취약성을 높인다(World Bank, 2011b).
- 모잠비크의 경험은 기후변화 적응이 모든 부문(사회, 기반시설, 생산, 환경)에 대한 취약성의 이해를 통해 달성되어야 하며 이러한 이해를 통해 대비 및 대응 수단을 수립해야 한다는 점을 보여준다(Sietz 등, 2008).

9.2.7. 위협적인 전염병: 콜레라 사례

9.2.7.1. 서론

기상과 기후는 건강에 광범위한 영향을 미치며 많은 전염병 생태학에서 중요한 역할을 한다(Patz 등, 2000). 기상 및 기후의 변동성, 장기적인 기후변화와 건강 간의 관계는 복잡하고 간접적인 경우가 많다(McMichael 등, 2006). 이 보고서에서 탐구된 다른 영향과 마찬가지로, 심각한 건강 위험이 모두 기후 및 기상의 극한 현상과 관련 있는 것은 아니다. 심각성이 덜한 현상에 의한 결과가 높은 인구 취약성 맥락에서 펼쳐지기도 한다.

심각한 기상이 건강에 미치는 직접적인 영향(예: 폭풍과 관련된 운동에너지에 직접적으로 노출됨으로써 발생하는 부상)과 달리, 이러한 경우의 영향은 간접적이며 여러 가지 요소에 의해 중재되는 경향이 있다(Noji, 2000).

일반적으로 발달이 제대로 되지 않은 건강, 기타 기반시설, 빈곤, 정치적 불안, 생태계 파괴는 기상과 상호작용하여 때로는 심각한 정도로 건강에 부정적인 영향을 미친다(Myers and Patz, 2009). 가령 콜레라는 빈곤을 비롯한 관련 요인들에 의해 지속되는 전염병이지만 일반적으로 우기에 발병한다. 지난 10년간의 연구에 의하면 콜레라는 기후변동성에 민감하다(Rodó 등, 2002; Koelle 등, 2005a; Constantin de Magny 등, 2007). 이러한 취약성 요인이 지속된다는 가정 하에, 기후변화가 계속될 때 콜레라 발생이 더 확산될 수 있다(Lipp 등, 2002). 기후변화로 인해 열대지역을 비롯한 전세계 많은 지역에서 호우 빈도가 증가할 것으로 예상되기 때문이다(표3-1 참고). 그러나 질병의 기후 민감성을 비롯한 질병 생태에 대한 통찰은 조기경보시스템과 재해적인 영향을 약화시킬 수 있는 다른 형태의 개입에 정보를 제공할 수 있다. 또한 빈곤 감소와 공학기술, 중요 인프라, 정치적 안정성 및 투명성 개선은 콜레라를 억제할 수 있는 수준까지 노출 인구의 취약성을 낮출 수 있다.

9.2.7.2. 배경

콜레라는 오래 전부터 인간사의 재앙으로 간주되었다. 콜레라는 1961년 인도네시아에서 시작된 7번째의 전세계적인 유행병으로, 특히 지속적인 엘토르형(El Tor) 비브리오 콜레라 박테리아가 만연해 있다(Zuckerman 등, 2007; WHO, 2010). 주로 열악한 위생 환경이 원인인 콜레라는 빈곤과 부적절한 위생 상태, 열악한 국정운영에 의해 어려움을 겪는 지역에서 집중적으로 발생한다. 1995년부터 2005년 사이 가장 큰 위험에 노출된 지역은 아프리카였다. 빈곤과 수자원 오염, 호우와 홍수, 인구 이주가 이 지역의 주요 위험 요소였다(Griffith 등, 2006).

비브리오 콜레라균은 탄력적이고 생태적으로 기회주의적 성격을 갖고 있어 광범위한 환경과 기후강제력에 대응해 전염병을 유발할 수 있다(Koelle 등, 2005b). 기상 특히 계절적 강수는 오래 전부터 콜레라 전염병의 위험 요소로 인식되어 왔다.

콜레라는 기후변동성과 장기적인 기후변화와 직접적으로 관련되어 발생하는 질병 중 하나다. 콜레라 출현 및 병원성의 동인 중 하나는 엘니뇨 남방 진동(El Niño–Southern Oscillation: ENSO)이다. 이는 기온 상승 및 집중호우 증가를 유발하며 콜레라 전파를 강화한다. ENSO는 아프리카(Constantin de Magny 등, 2007)과 남아시아(Constantin de Magny 등, 2007), 남아메리카(Gil 등, 2004) 해안 및 내륙 지역의 콜레라 발생과 관련이 있다 기후변화가 빈곤 및 열악한 위생과 결합해 시너지효과를 생성함으로써 콜레라 위험을 높일 것이라는 우려가 존재한다.

다른 재해와 마찬가지로, 콜레라 전염병의 위험(risk)도 위험(hazard) 가능성, 노출 가능성, 인구 취약성으로 구분될 수 있다. 이중에서 인구 취약성은 인구 민감성과 적응 능력으로 세분화 될 수 있다. 서론에서 언급한 바와 같이, 일부 위협적인 콜레라 전염병은 개별적인 극한기상과 연관되어 있는 것이 아니라, 높은 인구 취약성 맥락에서 심각성이 덜한 기상 현상에 노출됨에 따라 유발될 수 있다. 여기서는 일반적으로 노출과 취약성에 영향을 미치는 요소에 초점을 맞추고 이를 2008년 시작된 짐바브웨 콜레라에 관한 논의에 적용했다.

9.2.7.2.1. 노출(Exposure)

콜레라 전염병은 민감한 인간 숙주가 독성 비브리오 콜레라 혈청군 O1 또는 혈청군 O139에 접촉할 때 발생한다. 숙주의 생태적 요소는 비브리오 콜레라균 의 환경적 유행 및 병원성(Colwell, 2002)과 인간 노출 가능성(Koelle, 2009)에 영향을 미친다. 해안지역에서는 비브리오 콜레라균과 플랑크톤, 조류가 공생관계이다(Colwell, 1996). 콜레라 균은 안정성과 포식자로부터의 보호를 제공하는 동물성 플랑크톤의 외골격 키틴질에 이끌린다. 동물성 플랑크톤이 섭취하는 조류는 햇빛이 충분하고 따뜻한 기온 조건에서 활발하게 번식한다. 벵골만에서 조류가 풍부할 때 동물성 플랑크톤과 콜레라균의 밀도가 증가하면서 인간에 대한 노출 가능성이 높아진다. 강수량과 해수면 온도, 염분, 조류와 요각류 같은 해양 및 하구 생태계 생물에 영향을 미치는 요소 등이 노출 가능성에 영향을 미친다(Huq 등, 2005). 이러한 요소들은 여러 지역에 걸쳐 비슷하게 나타나지만 상대적인 중요성은 다양하다. 비브리오 콜레라균과 키틴질의 연관성(Pruzzo 등, 2008)과 강수 및 해수면의 중요성(Emch 등, 2008)이 그러한 예다. 가령 최근 몇 년 간 엘니뇨가 발생한 멕시코의 콜레라와 관련이 있는 병원성 비브리오 콜레라균의 근원은 해양 및 하구 생태계였다(Lizarraga-Partida 등, 2009).

갈등(Bompangue 등, 2009), 인구의 이주(Shultz 등, 2009), 정치적 불안(Shikanga 등, 2009) 등도 노출 가능성 증가와 관련이 있는 변수들이다. 실제로 이러한 요소들 중 상당수는 열악한 위생, 수원 및 하수처리시설에 대한 접근 부족과 같은 더 일반적인 콜레라 위험 요소에 의해 영향을 받는다.

9.2.7.2.2. 인구 민감성

인구 민감성은 콜레라 노출 후 감염 가능성을 증가시키는 생리적 요소뿐 아니라 노출이 발생했을 때 심각하고 고질적인 전염병으로 이어질 가능성을 유발하는 사회적, 구조적 요소를 모두 포함한다. 콜레라 위험 또는 심각성에 영향을 미치는 생리적 요소에는 영양부족, 장내 기생충(Harris 등, 2009)이나 헬리코박터 파일로리균(Helicobacter pylori)의 동시 감염 등이 포함된다. O형 혈액형 인구와 아동, 건강에 취약한 사람들에게서 심각한 감염이 발생한다. 과거 노출로 인한 면역력 강화 및 감소는 오랜 기간 콜레라에 대한 인구 취약성에 큰 영향을 미친다(Koelle 등, 2005b).

생리적 민감성도 중요하지만 인구 민감성의 사회, 경제적 동인 역시 지속적으로 전염병 위험을 유발하는 것으로 보인다. 빈곤은 인구층에 대한 강한 위험 예측변수(Ackers 등, 1998; Talavera and Perez, 2009)이다. 또한 짐바브웨에서 발생한 전염병에서 보여진 바와 같이 정치적 요소는 노출 이후의 전염병 강도 및 지속성에 대한 중요 동인으로 작용한다. 최근의 심각한 전염병 사례들에 의하면, 가난한 커뮤니티(Hashizume 등, 2008), 정치적 불안의 휴유증을 겪는 지역(Shikanga 등, 2009), 인구 이동이 발생한 지역(Bompangue 등, 2009)에서 짐바브웨와 비슷한 인구민감성을 보여준다.

9.2.7.2.3. 적응 능력

콜레라의 발생은 복합적인 비상사태와 양상이 비슷하다. DRM 공동체는 콜레라 전염 가능성을 줄이고 콜레라가 발생할 경우 이를 억제하며 감염자들의 사망률과 이환율을 낮추기 위한 예방노력을 경험했다. 수처리 및 위생 시설, 인구 기반 감시를 위한 가이드 제공이 모범사례로 꼽힌다(Sphere Project, 2004).

9.2.7.3. 현상 설명

짐바브웨는 1998년 이후 매년 콜레라 발생을 경험했다. 이 중 2008년 발생한 콜레라는 전세계적으로 20년 간 발생한 콜레라 중 최악의 사례로 92,000명이 피해를 입고 4,000명 이상이 사망했다(Mason, 2009). 콜레라는 계절성 강우 발생보다 다소 늦은 2008년 8월 20일 수도인 하라레(Harare) 남쪽에 위치한 치퉁귀자(Chitungwiza) 시에서 시작되었다(WHO, 2008a). 초기 단계에서 몇몇 구역이 피해를 입었다. 10월에는 전염병이 하라레 외곽인 버디리로(Budiriro)에서 폭발적으로 발생해 순식간에 국가 전역으로 확산되었다. 2009년 1월까지 지속된 콜레라는 결국 다른 국가들로까지 퍼졌다. 우기가 시작되면서 재발지점인 식수원 오염(WHO, 2008a)이 급격히 증가했다는 점에서, 기상이 콜레라 발생의 중요한 요소인 것으로 보인다. (Luque Fernandez 등, 2009). 규모외에도 이 전염병은 발생이 도시에 집중된 것과 4-5%의 상대적으로 높은 치사율(CFR: 사망자 중 감염된 사람의 비율)이 특징이다(Mason, 2009). 대부분의 콜레라 발생에서 CFR은 1% 미만이다 (Alajo 등, 2006). 국가 전역에 걸쳐 보건 시설의 약품, 장비, 인력 부족으로 인한 구조적 취약성은 전염병의 피해를 악화시켰다(WHO, 2008b).

9.2.7.4. 개입

콜레라 발생을 예방하고, 발생이 위협적인 수준의 전염병으로 전환될 가능성을 최소화기 위한 다양한 위험 관리 방법이 존재한다(Sack 등, 2006). 발생의 예방 및 억제를 위한 여러 가지 보건 개입 수단이 존재하며 가능성 있는 효과적인 수단들이 개발 중에 있다(Bhattacharya 등, 2009). 모든 기후-민감성 위험 관리와 마찬가지로, 콜레라와 기후 이동에 따른 기타 전염병을 줄이는데 있어 제도적 학습의 역할이 점점 중요해 지고 있다.

9.2.7.4.1. 일반적인 보건 전략

콜레라 위험 저감을 위한 일반적인 보건 전략은 1차적, 2차적, 3차적 예방전략으로 구성된다(Holmgren, 1981).

1차적인 예방 즉, 위험한 노출과 민감한 숙주 간의 접촉 예방에는 깨끗한 물에 대한 접근 촉진과 인구 이주 가능성 감소가 포함된다. 2차적인 예방 즉, 노출된 숙주에서의 증상 발현 예방에는 예방접종이 포함된다. 3차적 예방 즉, 증상 억제 및 증상 발현 이후의 합병증 예방에는 경구 재수화 치료법을 이용한 탈수 치료가 포함된다.

9.2.7.4.2. 보다 새로워진 개발 경과

콜레라 생태에 대한 이해 강화를 통해 비교적 효과적인 예측모델이 개발되었으며(Matsuda 등, 2008), 해수면 온도, 조류 번식, 콜레라 위험의 기타 생태적 동인의 경향에 근거한 조기경보시스템이 전염병 위험을 줄이는 데 도움이 될 것이라는 기대가 높아졌다(Mendelsohn and Dawson, 2008). 예방접종을 통한 생리적 민감성 감소를 위한 전략은 가능성을 보여준다(Calain 등, 2004; Chaignat 등, 2008; Lopez 등, 2008; Sur 등, 2009). 대중 예방접종 캠페인은 전염병을 근절할 가능성을 제시하며(WHO, 2006c), 자원빈곤지역이나 위생 및 기타 서비스 공급이 부족한 이주 인구에게 비용 효율적일 수 있다(Jeuland and Whittington, 2009). 콜레라 예방접종에 대한 현재 세계보건기구(World Health Organization) 정책은 예방접종이 전염병 발생 지역의 다른 통제전략과 함께 이용되어야 하고 전염병 위험에 놓인 인구를 고려해야 한다는 입장을 취하며 임시 수단인 콜레라 면역보다 더 영구적인 위생 개선 추구를 권장한다. 빈곤과의 강한 연관성을 고려했을 때, 지속적인 개발 노력은 결과적으로 콜레라 위험 저감에 큰 기여를 할 수 있다.

9.2.7.5. 결과

기후변화가 위험 상황을 변화시키고 특정 인구의 취약성을 증가시킨다는 점에서, 기후 민감 질병 위험의 관리는 다른 기후 민감 결과의 위험 관리와 마찬가지로 반복적이고 조정적인 형태로 변화될 필요가 있다. 이러한 반복적인 프로세스에서 학습은 중요한 요소이다(1.4절 및 8.6.3.2절 참고).

전염병과 관련하여 위기관리를 강화하기 위한 학습 기회가 존재한다. 우선,

반응적인 억제 프로세스는 발생을 파악하고 억제하는 데 필수적일 수 있지만 원래 상태로 돌아가려는 노력에 있어서 근본원인을 얼버무리고 넘어가는 경향이 있다. 세계보건기구는 "콜레라 발생에 대한 현재 대응은 반응적이며 어느 정도 체계화된 비상사태 대응 형태를 취하고 있다."라고 언급하며 예방 수단이 부족하다고 지적했다(WHO, 2006c). 억제에 초점을 두는 동시에, 제도적인 학습을 통해 근본 원인을 해결하기 위한 전략을 통합함으로써 미래 발생 가능성을 줄일 수 있다. 위험이 어떻게 구성되는지에 관한 심층적인 가정과 구조, 정책결정을 탐구하기 위해 콜레라의 인간 생태학을 이해하기 위한 지속적인 노력이 이러한 예에 속한다. 콜레라의 경우 이러한 탐구는 경보 시스템을 비롯한 위험 관리 전략의 개발 가능성으로 이어졌다. 또 다른 중요 결론(콜레라 위험 유발에 있어서 기후의 역할이 강조됨(Pascual 등, 2002))은 빈곤과 정치적 불안이 콜레라 위험의 기초 동인이며, 개발과 정의의 강조도 위험 관리를 위한 개입활동이 된다는 점이다.

9.2.7.6. 교훈

2008년 발생한 콜레라는 기상 현상과 인구 취약성 간의 복잡한 상호작용이 위협적인 전염병으로 이어질 수 있다는 점을 보여준다. 콜레라의 기초 생태학 및 인간 생태학을 비롯한 최근 연구들은 미래 전염병 방지를 위한 개입에 유용할 수 있는 조기경보 가능성과 잠재적인 영향력(potential points of leverage)을 보여준다. 주요 메시지는 다음과 같다.

- 강수 및 기온 변동성은 전염병 전파 경로에 직접적인 영향을 미치거나 기본적인 물 및 위생 서비스의 부적절한 공급과 같은 간접적인 영향을 미침으로써 콜레라와 같은 주요 전염병을 유발할 수 있다.
- 다른 결정요인이 일정할 경우 기후변화는 노출 가능성을 높이고(강수 변동성 증가, 점진적인 기온 상승을 통해) 인구 취약성을 높임으로써 위험을 증가시킬 것으로 예상된다.
- 콜레라가 건강에 미치는 영향은 연령, 면역성, 인구의 사회적 결정요인(빈곤, 거버넌스, 기반시설 등)을 통해 크게 조정된다.
- 콜레라로부터 얻은 경험은 비기후 요소가 기상 또는 기타 전염병 위험의 영향을 악화시키거나 무효화할 수 있다는 점을 보여준다.
- DRM과 예방적인 보건 프로세스는 밀접한 연관이 있다. 경제개발과 함께 이러한 수단의 강화와 통합은 극한기상 및 점진적인 기후변화가 건강에 미치는 영향에 대해 회복력을 높인다.

9.2.8. 해안 대도시: 뭄바이 사례

9.2.8.1. 서론

2005년 7월, 인도 뭄바이는 이례적인 태풍을 겪었다(Revi, 2005). 도시에는 24시간 내내 94cm의 비가 쏟아 졌고, 이 태풍으로 인해 1,000여명의 사망자가 발생했다. 여기서 대부분의 사망자는 슬럼가에 집중되어 있었다(De Sherbinin 등, 2007; Sharma and Tomar, 2010). 일주일간의 호우는 물과 하수시설, 배수시설, 도로, 철도, 항공, 전력, 통신 시스템을 마비시켰다(Revi, 2005). 이러한 동시발생적인 마비의 결과: 국가 전역에서 뭄바이 기반의 현금인출기 시스템이 작동을 멈췄으며 봄베이국가증권거래소(Bombay and National Stock Exchanges)가 일시적으로 문을 닫았다(Revi, 2005; UNISDR, 2011b). 이는 대도시 내에서 중요 인프라 네트워크에 위험과 손실이 집중되어 나타날 수 있으며 이러한 네트워크를 통해 확산될 뿐 아니라 경제 및 기타 시스템과 연관되어 나타난다는 사실을 보여준다.

9.2.8.2. 배경

뭄바이는 현재 많은 인구가 해안 범람에 노출되어 있다. 이렇듯 노출된 인구는 현재 2,787,000명으로 추정되며 2070년까지 1,100만 명으로 증가할 것으로 예상된다(Hanson 등, 2011). 또한 같은 기간, 노출된 자산은 462억 US$에서 1.6조 US$로 증가할 것으로 예상된다(Hanson 등, 2011).

뭄바이의 도시 조직과 외곽 내 인구 및 자산 노출 증가는 중요 기반시설과 금융 및 자원 흐름 네트워크를 통한 도시 기능과 연결되어 있으며, 앞으로 평균 기후 및 극한기후변화에 의해 영향을 받을 것으로 예상된다(Nicholls 등, 2007; Revi, 2008; Fuchs 등, 2011; Ranger 등, 2011). 하나의 극한 현상을 기후변화에 연관시키는 것은 어렵다. 그러나 지구온난화와 같은 특정 원인과 관련해 현상의 발생 가능성 변화를 논의할 수 있다(FAQ 3.2 참고). 가령 인도 몬순의 경우 1901년부터 2005년 사이 극한 강우 현상이 증가했으며, 이러한 경향은 1950년대 이후 강해졌다(3.4.1절 참고).

9.2.8.3. 취약성 설명

모델 간의 큰 차이로 인해 몬순 변화의 원인을 파악하는 것은 어렵다. 또한 많은 모델들이 뭄바이가 위치한 인도 서부 해안의 최대 강수량을 제대로 모사하지 못하고 있다(3.4.1절 참고). 그러나 아시아 몬순의 경우 계절평균강수량의 변동성 증가와 함께 강수 증가가 예상된다(3.4.1절 참고).

또한 미래에 해수면 상승과 폭풍우 관련 대기 변화로 인해 극한 해수면 변화가 예상되며 해수면 상승이 미래 극한 해수면 상승에 기여할 가능성이 매우 높다(3.5.3절 참고).

개발의 실패는 뭄바이의 재해 위험을 축적하고, 결과적으로 이러한 위험을 도심 너머로 전파함으로써 다른 대도시까지 번지는 결과를 초래했다. IPCC 4차 평가보고서(AR4)는 기후변화가 해안지역에 미치는 영향이 인위적으로 야기된 압력 증가로 인해 악화될 것이라고 언급했으며(매우 높은 신뢰수준), 이후 연구들도 이러한 평가결과와 일치했다(3.5.5절 참고).

또한 AR4가 보고한 바에 의하면, 기후변화와 해수면 상승이 인위적인 압력 증가로 인해 악화될 것으로 보이며(매우 높은 신뢰수준), 이러한 기후변화 및 해수면 상승으로 인해 해안 지역이 향후 수십 년 내에 해안침식과 같은 위험 증가에 노출될 것이다(3.5.5절 참고).

2005년 뭄바이 홍수는 해안 대도시가 이미 기후변화로 인한 위험에 처해 있다는 사실을 강조한다(De Sherbinin 등, 2007; McGranahan 등, 2007). 쓰레기와 잔해는 빗물 배수를 방해함으로써 뭄바이 슬럼가의 높은 지역에까지 범람을 유발한다. 산사태도 도시 비탈 인근에 위치한 지역을 물에 잠기게 하는 요소이다(De Sherbinin 등, 2007). 도시 빈곤층은 홍수 발생 후 전염병에 걸리기 쉽다. 가령 2005년 7월 홍수 발생 후 뭄바이에서 렙토스피라병이 8배 증가했다(Maskey 등, 2006; Kovats and Akhtar, 2008).

현재까지, 홍수 위험의 동인은 사회경제적 프로세스와 빈곤, 생태계 악화, 통제되지 않는 급격한 도시화와 같은 요인에 의해 유발되어 왔다(Revi, 2005, 2008; De Sherbinin 등, 2007; Huq 등, 2007; UNISDR, 2009c, 2011b; Hanson 등, 2011; Ranger 등, 2011). 이러한 프로세스는 서로 밀접한 관련을 가지며 이들 도시 내 취약성은 위생, 의료, 교통시설에 대한 접근이 어렵고 보험을 통해 주택 및 재산을 보호받지 못하는 극빈층에 집중되어 있다(Revi, 2005; De Sherbinin 등, 2007; UNISDR, 2009c; Ranger 등, 2011).

슬럼가는 주로 환경 및 사회적 요인으로 인해 위험 수준이 높은 지역에 위치해 있다. 가령 범람원이나 가파른 경사면에 위치해 있는 경우가 많은데 이는 홍수 발생시 물리적 노출 및 손실에 대한 사회적 취약성 수준이 매우 높다는 것을 의미한다(Huq 등, 2007; McGranahan 등, 2007; Chatterjee, 2010).

뭄바이는 개간지에 형성된 해안 대도시 중 하나이다. 이로 인해 슬럼가가 주로 위치한 저지대에 홍수 위험이 높다(Chatterjee, 2010). 슬럼가는 체계적인 홍수 보호 수단으로부터 혜택을 받지 못하며 습지와 기타 주변지역에 가까운 저지대에 위치해 있기 때문에 몬순 발생 기간 동안 범람이 빈번하게 발생한다(특히 만조 시기에 호우가 발생할 경우)(McGranahan 등, 2007; Chatterjee, 2010). 폭풍해일과 함께 해수면이 50cm 상승할 경우 현재 뭄바이의 비공식적 주거지가 밀집한 해안 및 저지대 지역엔 사람이 살 수 없는 조건이 된다(De Sherbinin 등, 2007).

9.2.8.4. 결과/영향

인도의 2001년 인구통계조사에 의하면 뭄바이의 인구 중 5,823,510명(인구의 48.9%)이 슬럼가에 거주하고 있다(Government of India, 2001). 2005년 전세계 슬럼가 거주 인구는 약 10억명이며, 이 수치는 2020년까지 13억에서 14억으로 증가할 것으로 예상된다. 이러한 인구의 대부분은 개발도상국의 도시에 집중돼 있다(UN-HABITAT, 2006). 뭄바이 이외에도 Hanson 등(2011)은 2070년 콜카타, 다카, 광저우, 호치민, 상하이, 방콕, 랑군, 마이애미, 하이퐁에서 다수의 인구가 해안 범람에 노출될 것이라고 예상했다: 이러한 도시들에선 이미 상당한 인구와 재산이 해안 범람에 노출돼 있으며 마이애미를 제외한 모든 도시가 아시아 개발도상국이다.

아프리카는 세계적인 해안 대도시는 많지 않지만 대부분의 대도시가 해안에 위치해 있으며 인구의 많은 부분이 범람 위험에 처해 있다(Awuor 등, 2008; Adelekan, 2010). 아시아, 유럽, 아메리카와 비교해볼 때, 아프리카의 인구의 많은 부분이 인구 10만- 500만인 해안도시에 거주하고 있다. 이는 아프리카의 중간 도시와 대도시가 다른 대륙의 도시들보다 가난하고 더 빠르게 성장하고 있다는 점에서 주목할 만하다(McGranahan 등, 2007).

이들 도시 내 집중된 취약성의 크기가 도시의 위험을 정의할 것이다. 적응 노력이 없을 경우 해안침식과 범람과 같은 부정적인 영향을 경험하는 지역들은 미래에도 그런 현상을 경험할 것이며 이에 대한 신뢰수준은 높다(3.5.5절). 그러나 이러한 도시들이 위치가 고정적이고 이주 가능성이 없기 때문에 위험에 대한 노출 수준이 어느 정도 고정되어 있다는 점에서 적응에 한계가 있다(Hanson 등, 2011). 예를 들어, 뭄바이의 빠른 성장을 촉진한 인도의 기반시설 투자는 50-150년간 지속되도록 구축되었다(Revi, 2008). 이는 어느 정도 위험회피와 같은 DRR 전략 및 적응을 배제한다. 또한 모든 해안대도시는 인구 밀도가 높고, 기반시설과 투자, 네트워크, 정보의 중심지이다(McGranahan 등, 2007; Chatterjee, 2010). 이러한 집중과 연결 덕분에 이들 도시는 혁신과 경제 성장의 중요한 근원이다. 특히 이러한 요소들이 부족할 수 있는 개발도상국의 도시들이 그렇다. 이는 위험을 피할 수 없는 경우 위험에 놓인 도시 시스템이 회복능력을 구축하는 데 있어서 보험과 기본적인 보건, 교육을 비롯한 거버넌스와 경제 관계가 중요하다는 사실을 강조한다.

9.2.8.5. 교훈

기존의 기상 관련 위험에 대한 노출을 줄이기 위한 수단들은 또한 기후변화 적응을 위한 수단으로도 활용할 수 있다(McGranahan 등, 2007; UNISDR, 2009c, 2011b; 1장과 2장). 2005년 홍수 발생시 뭄바이는 복합 위험의 포트폴리오를 해결할 능력이 부족했으며(De Sherbinin 등, 2007; Revi, 2008), 2000년에 수립된 다중 위험 계획은 효과적으로 실행되지 않았다(Revi, 2005). 개발도상국가에 있는 다른 대도시들의 대부분의 위험 보호수단도 탄탄하기보다 비공식적인 경우가 많은 것으로 나타났다. 확률론적 분석에 근거한 다중 위험 모형은 정부가 효과적으로 위험을 줄이고 비용을 줄일 수 없는 위험에 대한 효과적인 관리 및 대비를 촉진하는 데 도움이 될 수 있다(Revi, 2008; Ranger 등, 2011; UNISDR, 2011b).

2070년까지 최대 35조 US$(전세계 GDP의 약 9%)가 항구도시의 기후변화 위험에 노출될 수 있다는 점을 고려했을 때(2001년 구매력 평가기준, US$)(Hanson 등, 2011), 이러한 위험의 관리 및 완화는 적응을 위한 고차입 정책영역을 나타낸다. 위험에 처한 경제적 자산의 척도에 빈곤층의 생계와 건강이 추가되어야 한다. 이러한 빈곤층은 재해로 인해 불균형적인 영향을 받을 수 있지만 거시경제적 평가에서 일부만 반영되기 때문이다.

적응의 필요성은 특히 아시아 개발도상국가에서 중요한데, 2070년 심각한 자산 노출이 예상되는 상위 20개 도시 중 13개 도시가 아시아 개발도상국에 속해 있기 때문이다(Hanson 등, 2011). 이러한 사실은 인구 및 자산 노출이 비슷한 다른 해안 도시(예: 뉴욕과 도쿄)에 비해, 이러한 도시들의 거주자와 경제 활동을 보호하기 위해선 적응을 위한 금융 수단 확대가 필요할 수 있다는 점을 보여준다. 위험에 처한 이들 도시들 간의 두 가지 중요한 차이는 빈곤의 정도와 지방 정부의 영향력이다.

도시 차원에서 기후변화의 영향을 평가하기 위한 노력에도 불구하고, 기후변화의 경제적 영향에 관한 도시 차원의 분석은 현재까지 큰 관심을 받지 못하고 있다(Hallegatte and Corfee-Morlot, 2011). 개발도상국의 경우 기후변화에 대한 불완전한 이해와 제도적 능력의 한계로 인해, 기후변화 영향에 관한 도시차원의 분석은 홍수위험만을 고려하고 있으며, 추가적인 잠재적 영향은 아직 평가되지 않고 있다(Hallegatte and Corfee-Morlot, 2011). 표준화된 도시차원의 다중위험 영향 분석은 도시간 비교를 촉진한

다는 점에서 유용할 수 있다(Hunt and Watkiss, 2011).

9.2.9. 군소 도서국가: 적응 과제

9.2.9.1. 서론

군소 도서국가(Small Island Developing States, SIDS)는 해안 저지대에 위치하며 개발 과제를 공유하고 있는 도서 국가들로 정의된다(UNCTAD, 2004). 회복능력을 구축하기 위한 SIDS의 기술 역량 강화가 권장된다(UNESC, 2011).

이 사례 연구는 마셜제도(Republic of the Marshall Islands, RMI)의 주요 취약성을 탐구한다. 해수면 상승 및 극한기상 현상에 대한 취약성이 높으며 쓰나미로 인해 심각한 피해를 겪고 있는 몰디브와 외부 충격과 자연재해에 취약한 작은 개방경제 국가인 그라나다의 추가적인 데이터가 적응의 한계와 관련된 논의를 발전시키는 데 이용되고 있다. 특히 RMI는 가용 담수가 주요 우려 사항이다. 대부분의 기후변화 시나리오 하에서 군소 도서국가의 물자원이 크게 위태로워질 수 있다는 강한 증거가 있다(매우 높은 신뢰수준)(Mimura 등, 2007).

9.2.9.2. 배경

SIDS는 특히 위험에 취약하고 재해 대응에 있어 어려움이 많은 편이다(TDB, 2007). SIDS는 비슷한 개발 과제를 공유한다. 작지만 증가하는 인구, 국제 자금지원 기관에 대한 경제적 의존성, 자원 부족(예. 담수, 토지) 등이 그러한 과제에 속한다(World Bank, 2005b; UNFCCC, 2007a). IPCC (Mimura 등, 2007)는 "열대 또는 더 높은 위도 지역에 위치한 군소 도서국가들은 그 성격으로 인해 기후변화, 해수면 상승, 극한 현상의 영향에 대해 특히 취약하다(매우 높은 신뢰수준)."라고 결론내렸다. 많은 SIDS가 높은 수준의 빈곤과 함께 취약성을 공유하며 심각한 환경악화를 겪고 있으며 통합 및 지속 가능한 토지 관리를 위한 인적, 제도적 능력이 취약하다는 공통점이 있다(GEF, 2006). 물리적인 가용자원의 범위는 재해에 대처하기 위한 대안에 영향을 미치고, SID의 본질적인 특성인 경제적 다양성의 제한은 대피소나 대피와 같은 수단을 이용한 비상사태 대응 능력을 최소화한다(Boruff and Cutter, 2007). 이런 점에서 SIDS는 기후변화가 미치는 영향에 있어서 가장 취약한 국가에 속한다(UNFCCC, 2007b). 2010년 현재 38개 UN 회원국과 13개 비UN 회원국/지역위원회 준회원국이 SIDS로 분류되었다(UN-OHRLLS, 2011).

RMI는 중요 취약성의 예를 제시한다. RMI는 태평양에 위치한 다섯개 섬과 190만 킬로미터 이상으로 펼쳐진 29개 산호환상대로 구성되어 있다. 인구는 64,522명이며 이 중 3분의 2가 두 개 산호환상대에 위치한 도시에 집중되어 있다(UNDESA, 2010; World Bank, 2011b). 3분의 1은 외곽 섬과 다른 산호환상대에 거주하고있다. 주요 거주지 섬들도조차 고립되어 있으며 가장 가까운 주요 항구는 산호환상대의 수도인 마주로(Majuro)에서4,500 km 떨어져 있다(World Bank, 2005b).

몰디브와 그라나다 모두 극한 현상과 재해에 대한 취약성과 기후변화 적응 필요성의 또 다른 예를 제시한다.

- 몰디브는 1,192개의 작은 섬들로 구성되어 있다. 이 중 80%가 해수면 위 1m 이하에 위치해 있으며(Quarless, 2007), 세 개 섬만이 육지 면적이 500 ha 이상이다(De Comarmond and Payet, 2010). 이러한 특징으로 인해 몰디브는 해수면 상승과 극한기상현상으로 인한 피해에 매우 취약하다. 2004년 쓰나미로 인해 국가 GDP의 62%에 달하는 피해가 발생한 이후 몰디브 국민의 경제 및 생존 문제가 대두되었다(World Bank, 2005c). 2009년 현재 몰디브는 여전히 1억 5,000만 US$의 재건비용 부족을 겪고 있다. 이러한 SIDS 파괴는 추가적인 재해 대비 및 경제 재건을 위한 긴급자금 확보를 위한 노력에 대응될 수 있다(De Comarmond and Payet, 2010).
- 그라나다는 작은 세 개 섬으로 이뤄진 동카리브해지역의 국가로 2004년 현재 인구는 102,000명이고 1인당 GDP는 4,601 US$이다(IMF, 2011). 이 국가는 작은 개방경제로서 외부충격과 자연재해에 취약하다. 2004년 재정 및 국제수지 금융 필요성을 야기한 허리케인 이반(Ivan)과 2005년 허리케인 에밀리(Emily)의 경우에서도 이를 확인할 수 있다(IMF, 2004, 2006). 허리케인 이반은 경제회복 프로세스를 중단시켰으며 30억 US$로 추정되는 비용을 발생시켰다(Boruff and Cutter, 2007). 이반은 국가의 예상성장률을 5.7%에서 -1.4%로 떨어트린 것으로 예측되었다(Quarless, 2007). 10개월 뒤 발생한 허리케인 에밀리는 이반에 의해 시작된 파괴를 악화시켰다. 그 영향은 경제의 모든 부문에서 나타났다. 특히 자본과 고용 부문이 큰 타격을 입었다(UNDP, 2006).

9.2.9.3. 취약성 설명

다수의 SIDS가 작은 크기와 섬나라의 특성, 고립성, 자연재해에 대한 민감성과 관련된 특별한 어려움에 직면해 있다. SIDS는 특히 기후변화에 취약하다. 주요 경제부문인 농업, 어업, 관광업이 모두 기후변화에 민감하기 때문이다(Barnett and Adger, 2003; Read, 2010) (추가적인 논의는 4장, 4.2.1절, 4.4.4절, 4.5.2절, 4.5.3절 참고). 극한기상의 위험은 다른 장기적인 기후변화 영향(특히 해수면 상승)과 결합되어 나타난다(상자 3-4 참고). 몰디브와 쿡제도와 같은 저지대 산호환상대 커뮤니티가 특히 취약하며(Ebi 등, 2006; Woodroffe, 2008; Kelman and West, 2009), 토지의 상당한 부분을 잃을 것으로 예상된다(Mimura 등, 2007). 군소 도서국가와 특히 산호환상대 국가는 침식, 범람, 염분침투를 경험할 수 있다. 이러한 현상들은 생태계 파괴, 농업생산량 감소, 질병 패턴 변화, 경제적 손실, 인구 이동으로 이어질 수 있으며 이것이 다시 극한기상에 대한 취약성을 강화한다(Pernetta, 1992; Nurse and Sem, 2001; Mimura 등, 2007).

SIDS는 자연재해로부터 더 높은 수준의 경제적 손실을 겪으며 이러한 손실에 대한 회복력이 낮기 때문에 한 차례의 극한 현상이 그 해의 발전에 영향을 미칠 수 있다(UN, 2005; Kelman, 2010). SIDS와 경제중심지 간의 거리로 인해 국민들의 고립성은 세계에서 가장 높다(World Bank, 2005b).

저개발과 재해 민감성은 서로의 기질을 강화한다: 재해는 심각한 자본자산 손실을 발생시킬 뿐 아니라 생산과 재화 및 서비스 흐름을 중단시킴으로써 소득 손실을 유발한다(Pelling 등, 2002). 장·단기적인 측면에서 이러한 영향은 국가경제 개발과 GDP, 공공재정, 무역에 부정적인 영향을 미치고 빈곤과 공공부채 수준을 증가시킨다(Mirza, 2003; Ahrens and Rudolph, 2006). 기후변화는 기존 취약성을 악화시키고 사회경제적 발전을 방해한다(UNFCCC, 2007b).

RMI는 주요 기후관련 자연 위험(예. 해수면 상승, 열대폭풍 또는 폭풍해일을 동반한 태풍, 가뭄)에 직면해 있다. 이러한 위험은 추가적인 위험 및 과제(예. 생태계 악화, 해양환경 오염, 해안침식, 식량안보)의 맥락에서 고려되어야 한다. RMI가 직면한 물리적, 경제적 과제는 높은 인구밀도, 높은 수준의 빈곤, 저지대, 부족한 담수자원 등과 같은 자연재해에 대한 취약성을 증가시킨다(World Bank, 2011b). 재해저감복구국제본부(Global Facility for Disaster Reduction and Recovery)의 보고에 의하면, RMI가 해수면 위 불과 10m 높이에 위치해 있다는 점에서 가장 큰 위협이 되는 위험은 해수면 상승이다(World Bank, 2011b). 결과적으로 다자간 원조기구들은 RMI를 '고위험'으로 분류하고 재해저감복구국제본부는 RMI를 지원우선순위 국가로 지정했다(World Bank, 2011b).

9.2.9.4. 결과/영향

SIDS의 회복능력 구축을 위해 지방 및 원조기구 지원에 기반한 다양한 조치들이 취해졌다. RMI의 예는 위험 저감과 기후변화 적응 노력이 다른 도서 국가들에 제공될 수 있다는 점을 보여준다.

RMI를 비롯해 많은 SIDS에서 담수 가용성이 주요 우려사항이다(Quarless, 2007). SIDS가 특히 극한기상 현상에 취약하다는 점에서 물공급은 해수 침투와 오염으로 인한 급격한 염류화 문제에 직면해 있다(PSIDS, 2009). 연구에 의하면, RMI와 같은 국가들은 해수의 염분제거를 수행하기 위한 재정적, 기술적 자원이 부족하다(UNDESA, 2011). 경우에 따라 재해 및 기후 위험 관리의 효과는 단순한 기술로부터 창출될 수 있다(UNDESA, 2010). 앞으로 나아가기 위한 방법 중 하나로 새로운 스캐빈저(Scavenger) 기술이 도입되었다. 얇은 지하수 층에서 담수를 추출하는 기술(산호환상대 지역에서 일반적으로 행해짐)은 물공급에서의 오염을 유발한다. RMI는 새로운 개척기술을 이용해 극한기상 현상이 물공급에 미치는 영향을 제한했다(UNDESA, 2011). 기후 민감성에 관한 지식 개선은 특히 위험 관리 맥락에서 기후변화에 대한 적응의 핵심이다. 기후와 재해 위험은 밀접한 관련이 있다. 가령 가뭄 회복력과 기후변화 회복력은 둘 다 단일 목표의 프로그램을 통해 강화된다.

프로젝트 지향적인 개발 지원과 더불어, RMI는 미국으로부터 자유연합협정(Compact of Free Association)을 통해 상당한 재정적 지원을 받았다(Nuclear Claims Tribunal, Republic of the Marshall Islands, 2007). 1987년부터 2001년 사이 협정에 따라 제공된 보조금과 예산 지원은 GDP의 30% 이상이었다. 여기에는 다른 양자간 형태의 지원이 포함되지 않았다(World Bank, 200Sb). 다른 중저소득 국가들이 제공 받은 지원금이 1인당 US$ 8인데 비해 RMI는 1인당 1,183 US$였다(World Bank, 200Sb). 이러한 지원을 뒷받침하는 국가재해관리 정책(1986년 RMI가 독립한 때부터 시작)과 RMI 시스템 평가에서 재해저감복구국제본부의 역할을 포함하고 미래 개발 협력프로젝트를 위해 기존과의 차이에 대해 주목한 노력은 다양한 국가적, 지역적 재해 및 기후 위험 관리 계획으로 이어졌다(World Bank, 2009, 2011b).

9.2.9.5. 교훈

SIDS와 개발도상국가의 물리적, 사회적, 경제적 성격(사례에서 교육, 소득, 건강에 해당)은 극한기후 현상에 대한 취약성을 증가시킨다. 마셜제도, 몰디브, 그라나다의 경험은 제한된 담수 공급과 부적절한 배수 시설이 주요 취약성 요소라는 점을 보여준다. 이러한 사례는 빈도가 작은 소규모 위험과 빈도는 낮지만 극한 현상으로 이어지는 대재해의 위험 간의 중요한 차이를 보여준다.

그라나다와 몰디브의 사례는 위험이 군소도서국가에 미치는 재정적 영향이 비교적 높다는 점을 보여준다. RMI의 경우 원조기구들로부터의 재정적 지원을 통해 다양한 위험 관리 프로그램을 실행할 수 있었다. 재해 위험 저감 전략이 중요한 것은 분명하지만 예방적 접근법에 대한 관심은 여전히 재해 구조 및 회복보다 적다(Davies 등, 2008). 일부 SIDS에서 정책수립자들이 직면한 다양한 과제를 고려했을 때 예방적 기후 적응 정책은 빈곤, 에너지, 식품, 교통, 의료, 경제개발과 같은 시급한 문제와 비교해 미미한 수준이다.

이러한 맥락에서 국가 정책 수립은 주요 과제로 남아 있으며 많은 국가에서 재해 및 기후 위험 관리와 같은 예방조치를 위한 가용 자금의 한계가 있다(Ahmad and Ahmed, 2002; Jegillos, 2003; Huq 등, 2006; Yohe 등, 2007). 대부분의 개발도상국이 기후변화 및 지속 가능한 개발과 관련된 다양한 국제 규약과 협약에 참여하고 있으며 대부분이 국가 환경보전 및 자연재해 관리 정책을 채택하고 있지만(Yohe 등, 2007), 많은 개발도상국의 정책 어젠다는 아직 기후변화의 모든 측면을 다루고 있지 않다(Beg 등, 2002).

9.2.10. 한랭기후변화의 취약성: 캐나다 북부

9.2.10.1. 서론

전세계 다른 지역보다 한랭기후 지역에서, 기후변화가 더 급격하게 발생하고 있다(Anisimov 등, 2007). 이러한 변화는 건축 환경에 영향을 미친다. 캐나다 북부 거주민의 취약성은 복잡하고 동적이다. 극한기상 현상의 위험 증가 외에도, 기후는 여행, 식량안전, 기반시설 건전성에 영향을 미치고 이것이 일상의 많은 측면에 영향을 미친다(Pearce 등, 2009; Ford 등, 2010). 또한, 세 개 북부 커뮤니티의 상대적인 고립성은 기후 관련 위험에 대한 노출에 더 적응하기 어렵게 만들며 취약성을 높이는 역할을 한다(Ford and Pearce, 2010). 이러한 사례 연구는 영구동토층 융해와 설하중의 변화를 통해 기후변화가 기반시설에 미치는 영향으로 인해, 캐나다 북부 지역의 취약성 증가를 탐구한다. 이 연구는 기존 및 예상 위험과 그러한 위험에 대한 지차제, 주/준주, 국가 수준의 정부 대응을 제시한다. 캐나다는 세 개의 준주가 속해있다: 유콘(Yukon) 준주(YT); 노스웨스트 준주(NWT), 누나부트(Nunavut) 준주(NU); 이 연구는 세 개 준주와 퀘백주 누나빅(Nunavik)과 같은 북부 지역에 초점을 맞추고 있다. 영구동토층 융해와 설하중 변화는 1회성 기상 현상

과 달리 그 진행이 더디긴 하지만 그로 인한 영향은 재해로 이어질 수 있다. 미래 보호는 위험 저감 및 적응 노력에 달려 있다. 3.3.1절과 3.5.7절은 고위도 지역의 한랭기후와 기타 기후 변수에 대해 논의한다.

9.2.10.2. 배경

지난 몇십 년 간, 캐나다 북부지역은 다른 지역보다 두 배 빠른 온난화를 겪고 있다(McBean 등, 200S; Field 등, 2007; Furgal and Prowse, 2008). 2080년 캐나다 북부의 겨울 기온은 3.5–12.5℃ 상승할 것으로 예상된다. 한편 봄과 여름의 기온 변화는 작을 것으로 보인다. 캐나다 북부에서 남쪽 지역의 경우 기온은 오랜 기간 동안 영상을 유지할 수 있다(Furgal and Prowse, 2008). 예를 들어, 2050년 내빙 화물선이 북서항로를 운항할 수 있을 것으로 예상되었지만(Instanes 등, 200S), 이미 2007년 운항이 가능했다(Barber 등, 2008). 최근의 연구들이 주장하는 바에 의하면 캐나다 북부의 일부 커뮤니티는 기후변화에 따라 취약성이 가속화될 것이다(Ford and Smit, 2004; Ford and Furgal, 2009).

높아진 기온은 커뮤니티의 사회, 경제적 기능을 유지하는 데 중요한 역할을 하는 기반 시설에 여러 가지 영향을 미친다(CSA, 2010). 영구동토층 융해와 설하중 변화는 필수 기반시설의 구조적 안전성에 영향을 미칠 가능성이 있다(Nelson 등, 2002; Couture and Pollard, 2007). 캐나다 북부의 설계 표준은 이전 기후의 영구동토층과 설하중 수준을 기반으로 했다. 구조의 높은 운영비용과 유지비용을 피하고 설계된 수명대로 각 구조물이 기능을 다하도록 하기 위해선 적응 노력이 필수적이다(Allard 등, 2002). 이러한 기후변화 영향을 해결하는 것은 복잡한 작업이다. 자연적으로 각 구조는 서로 다른 영향을 받으며 그로 인한 피해는 기존 취약성을 악화시키고 새로운 취약성을 생성한다. 예를 들어, 설하중 증가가 단독으로 기반시설에 부정적인 영향을 줄 수 있지만 적설 기간 동안 영구동토층 융해와 잠재적인 피해를 가중시킴으로써 많은 건물들이 구조적인 취약을 겪는다(CSA, 2010).

9.2.10.3. 취약성 설명

9.2.10.3.1. 영구동토층 융해

영구동토층은 기후변화 취약성을 증가시키는 주요 요소 중 하나이다. 영구동토층이 그 상태를 유지하기 위해서는 기온이 영하 상태여야 한다(CSA, 2010; NRCAN, 2011a). 기후변화로 인해, 어디의 영구동토층이 녹을지를 예측하기는 어렵지만 캐나다 영구동토층 지대의 절반 가량이 작고 단기적인 기온 상승에 민감해 지면이 하부구조를 지탱하는 능력을 떨어트린다(Nielson, 2007; NRTEE, 2009; CSA, 2010). 융해율(및 기반시설의 안전성에 대한 영향)은 영구동토층 지대 내 토양 종류에 의존적이다(Nielson, 2007). 얼음이 풍부한 토양 지역은 얼음 비율이 낮은 지역이나 기반암이 근본을 이루는 지역보다 영향을 받기 쉽다(Nelson 등, 2002). 불연속적인 영구동토층 지대에 위치한 지자체는 온난한 기후의 영향을 더 크게 느낄 수 있다. 영구동토층이 얼음이 오랜 시간에 걸쳐 형성된 연속적인 영구동토층보다 얇기 때문이다(Nelson 등, 2002).

언제나 기반시설의 유지가 요구되지만, 기후관련 영구동토층 융해는 기반시설의 유지 필요성과 및 피해율을 증가시킬 것이다(Allard 등, 2002). 영구동토층 융해는 전혀 다른 방식으로 전혀 다른 유형의 기반시설에 영향을 미친다. 캐나다 북부에서 지자체들은 다음과 같이, 물리적 하부구조에 미친 여러 가지 기후관련 영향을 경험했다(Infrastructure Canada, 2006; Nielson, 2007; NRTEE, 2009):

- 퀘백주 누나빅은 지방 도로와 활주로에서 심각한 침식, 들썩거림, 휘어짐, 갈라짐이 나타난다고 보고했다(Nielson, 2007; Fortier 등, 2011).
- 누나부트주 이칼루이트(Iqaluit)에서 59개 주택이 기초의 수리 및/또는 복구를 요구했고 얕은 기초의 건물이 가까운 장래에 주의가 필요할 것으로 파악되었다(Nielson, 2007). 노스웨스트 준주 이누빅(Inuvik)의 경우, 최근 연구에 의하면, 영구동토층 융해율에 따라 지자체 건물의 75%가 구조적 피해를 입은 것으로 추정되었다(Bastedo, 2007)
- 티비트(Tibbitt)에서 콘트워이토(contwoyto)까지의 겨울의 도로(노스웨스트 주)는 2006년에 기후와 관련한 폐쇄를 경험했다. 2005년 개방일수는 76일이었지만 2006년엔 42일에 불과했다(Bastedo, 2007). 이로 인해 주민과 기업들은 항공기를 이용해 자재를 커뮤니티로 수송해야했다. 특히 디아빅(Diavik) 다이아몬드광산은 수백 만 달러를 들여 자재를 항공수송해야 했다(Bastedo, 2007; Governments of Northwest Territories, Nunavut, and Yukon, 2010).
- 노스웨스트 준주의 보고에 의하면 영구동토층이 녹기 시작했을 엘로나이프의 활주로의 보강이 필요했다.

영구동토층 융해가 하부구조에 미치는 영향은 건강, 경제적 가능성, 캐나다 북부의 커뮤니티의 안전에 영향을 미친다. 기존 인프라에서 기후변화 적응을 위한 수리 및 설치 기술 비용은 위험에 처한 기반시설의 피해 정도와 유형에 따라 수백만에서 수십억 달러가 소요될 수 있다(Infrastructure Canada, 2006). 미국 지자체들의 교훈은 이러한 비용이 막대할 수 있다는 사실을 보여준다. 가령, 유콘은 고속도로에 대한 영구동토층 피해와 관련해 CDN$ 4,000 km−1 yr−1의 비용이 발생해 재정적 어려움을 겪었지만, 알래스카의 경우 최대 CDN$ 30,000 km−1 yr−1이 발생했으며 총 200km 이상의 길이에 대해 600만 CDN$가 소요되었다(Governments of Northwest Territories, Nunavut, and Yukon, 2010). 미래에 기반시설 교체가 필요할 비용은 급속하게 증가할 것이다(Larsen 등, 2008).

9.2.10.3.2. 설하중(snow loading)

캐나다 북부 커뮤니티에서 건물과 도로는 과거 설하중 기준을 이용해 건축된다(Nielson, 2007; Auld, 2008). 이런 점에서 건물과 도로는 기후변화에 특히 취약하다. 겨울 강수 수준 상승과 함께 설하중이 증가할 것으로 예상되기 때문이다(Christensen 등, 2007; NRTEE, 2009). 노스웨스트 준주에서는 이미 2004년 이후 구조적 결함을 해결하기 위해 공공 건물의 10%에 대해 보강이 이뤄졌다. 현재 추가적인 12%의 건물이 설하중 관련 지붕 붕괴 위험이 높다(Auld 등, 2010). 이누빅의 경우, 한 학교가 설하중으로 인해 지붕이 완전히 무너져 내린 바 있다(Bastedo, 2007). 영구동토층의 계속적인 융해로 구조물이 본래의 모습을 잃어버리면서, 설하중 증가가 과거 많은 눈으로 취약해진 구조에 큰 영향을 미칠 것이다.

9.2.10.4. 결과

이러한 취약성에 대한 대응책으로, 정부와 커뮤니티 리더들은 이행과 대비를 강조해왔다(Government of Northwest Territories, 2008; Governments of Northwest Territories, Nunavut, and Yukon, 2010). 대재해 발생 후 커뮤니티의 이동 또는 완전한 복구가 미치는 사회적 영향과 재정적 비용으로 인해 그러한 대안의 실행이 어려우며, 이주는 최후의 수단으로 이용될 것이다(USARC, 2003). 연방정부에서부터 지자제 수준의 정부에 이르기까지 각 수준의 정부가 서로 다른 각도에서 문제를 다루고 있지만 그러한 접근법은 아래에서 제시하는 것처럼 보완적인 것으로 나타난다. 이 절은 각 수준에서 정부의 적응 노력과 캐나다 북부 커뮤니티의 적응 능력에 대한 정부의 기여를 탐구한다.

9.2.10.4.1. 연방 정부 수준

캐나다 정부는 다양한 프로그램을 통해 다양한 수준에서 다양한 적응 노력을 기울이고 있다. 일부 연방 수준의 기후변화 적응 프로그램은 반응적이다. 예를 들어, 기본적으로 연방정부는 재해 발생 후에 또는 구조 및 커뮤니티를 재배치하기 위해 필요한 지원을 제공할 책임이 있다(Henstra and McBean, 2005). 한편 재해발생을 예방하기 위한 사전적인 프로그램도 있다.

가령 2015년 국가건축법규(National Building Code)에 기후변화의 개념을 추가했으며(Environment Canada, 2010), 이로 인해 미래 기반시설이 적절한 기준에 따라 건축되고, 새로운 기반시설의 설계와 건축에 있어서 적응 수단이 통합될 수 있을 것이다. 또한 적응 수단이 국가 전반에 걸쳐 일관된 방식으로 실행되는 데 도움을 줄 것이다.

이 외에도 일부 연방 수준의 부처들은 기후관련 영향으로 인한 피해 예방을 목적으로 계획된 프로그램을 실행하고 있다. 원주민 업무와 캐나다 북부 개발(Aboriginal Affairs and Northern Development Canada)에 의한 기후변화 적응 프로그램(Climate Change Adaptation Program)의 일부인 핵심 취약성 및 기회 평가에서 북부 주민 지원(Assisting Northerners in Assessing Key Vulnerabilities and Opportunities)은 원주민과 북부 커뮤니티, 단체, 준주의 기후관련 위험 해결 노력을 지원한다(INAC, 2010). 기존 인프라, 수질, 관리 프로그램에 대한 위험 평가를 제공하고, 기후변화로 인한 위험을 완화하기 위한 새로운 인프라 설계를 파악하도록 돕는다(INAC, 2010).

또한 캐나다천연자원(Natural Resources Canada)에서 제공하는 지역적응협력(Regional Adaptation Collaborative, RAC) 기금은 기후변화에 대한 적응 노력을 기울이는 커뮤니티 지원을 목표로 한다. 북부 RAC 계획은 광산 부문의 취약성 파악에 초점이 맞춰져 있다. 영구동토층 융해와 설하중은 앞으로 프로그램이 조사할 요소 중 하나이다(NRCAN, 2011b).

연방 수준의 또 다른 적응 계획 중 하나는 캐나다표준협회(Canadian Standards Association)가 개발한 부지 선정 지침이다(CSA, 2010). 이 지침은 자발적이긴 하지만 엔지니어들과 토지이용계획자, 개발자에게 영구동토층 융해률과 토양 유형과 같은 환경 요소를 고려하여 건축하도록 권장한다(CSA, 2010). 또한 추정된 기상 경향에 의존하는 대신 부지선정 예측 및 모델을 이용할 것을 권장한다(CSA, 2010).

이 외에도 오염물질 잔류, 물 저류, 파이프라인, 도로와 같은 새로운 프로젝트의 설계단계에서 기후변화에 대한 책임을 부담하기 위해 캐나다 환경평가 프로세스와 같은 연방 수준의 설계 요건이 요구된다(Furgal and Prowse, 2008). 지침 및 환경평가 요건의 이용을 촉진하는 것은 미래 영구동토층 관련 기반시설 피해 예방을 목표로 하는 사전적인 대응이다.

9.2.10.4.2. 주/준주 수준

준주 정부는 여러 가지 방식으로 기반시설 보호에 기여하고 있다. 취약 지역 및 인구를 파악하기 위한 연구 수행 및 연구를 위한 자금 지원 등이 그러한 예이다(INAC, 2010). 유콘 교통부는 융해를 최소화하기 위한 도로의 제방 설계 및 실행, 얼음이 풍부한 경사면에 대한 안전성 제공 및 붕괴 예방을 위해 알갱이형 덮개 구축, 융해 발생 지역 바닥에 배수로 설치 등을 비롯한 여러 가지 적응 계획을 실행하고 있다(Government of Yukon, 2010). 퀘벡주 누나빅에선 영구동토층 조건을 평가하기 위한 지하 투과 레이다와 전지 저항 검층 방법이 이용되고 있다(Fortier 등, 2011). 기존 영구동토층을 보호하기 위해, 햇빛을 반사하고 열흡수를 방지하는 밝은 색의 포장 도로가 이용되고 있다(Walsh 등, 2009). 커뮤니티 기반시설의 회복력 해결을 위한 연방 정부 부처와의 협력이 이뤄지고 있다. 가령 누나부트의 기후변화협력(Climate Change Partnership)은 누나부트 정부와 캐나다천연자원(Nunavut, Natural Resources Canada), 원주민 업무와 캐나다 북부 개발(Aboriginal Affairs and Northern Development Canada), 캐나다 설계자협회(Canadian Institute of Planners)가 참여하고 있다. 이러한 프로그램은 커뮤니티가 기후변화 관련 문제를 해결하기 위해 적절한 대안을 제시하는 행동 계획을 개발하는 데 도움이 된다. 유콘 정부는 북부기후교환(Northern Climate ExChange)에 대한 북부전략신탁기금(Northern Strategy Trust Fund)을 통해 지자체에 자체적인 기후변화 적응계획을 개발하기 위한 자금을 지원하고 있다(Government of Yukon, 2009).

노스웨스트 준주 누나부트에 지열원 열펌프의 한 종류인 플랫루프 열사이펀(flat-loop thermosyphon) 85개가 준주 소유 건물(학교, 병원, 교도소, 관광 센터 등)에 설치되었다. 이는 겨울철 땅에서 지열을 추출함으로써 영구동토층의 융해를 감소시킨다(Holubec, 2008; CSA, 2010). 열사이펀 설치 기술은 그 자체로 장기적인 전략은 아니지만 기반시설의 수명을 증가시키는 역할을 한다(CSA, 2010). 마지막으로 스크류 잭 기술은 취약한 기초를 안정화시키고 영구동토층 융해 및 주택의 기초 이동과 관련된 피해를 예방한다. 노스웨스트준주 주택공사(Northwest Territories Housing Corporation)는 새로운 건물을 건축할 때 이 기술을 시행하고 있다(Government of Northwest Territories, 2008).

9.2.10.4.3. 지자체 수준

지자체 수준에선 건물 적응 능력 강화 및 적응 전략 실행에 초점을 맞추는 경우가 많다(Black 등, 2010). 상위 정부보다 지자체 정부가 손상된 기반시설

의 영향을 더 심각하게 받아들이기 때문이다(Richardson, 2010). 지자체와 커뮤니티, 기업들은 여러 가지 방식으로 노력을 기울여 왔다. 다음의 예가 여기에 속한다:

- 뉴나부투준주 이칼루이트의 경우 바람과 눈보라에 대한 노출을 줄이고 건물의 열손실을 최소화하기 위한 도시계획 및 설계가 이용되고 있다(NRCAN, 2010).
- 노스웨스트주 옐로나이프의 경우 영구동토층의 융해로 인한 피해를 예방하기 위해 활주로의 100m 아래 구간에 절연선을 설치했다(Infrastructure Canada, 2006).
- 또한 이 도시는 중요 기반 시설 아래 상당한 얼음이 포함된 토양을 자갈과 열흡수 포장도로로 대체했다(Bastedo, 2007).
- 노스웨스트주에서 지붕의 설하중과 대피로 폐쇄를 예방하기 위해 바람 쏠림판(wind deflection fin)이 이용되고 있다(Waechter, 2005).
- 노스웨스트주 투크토야크투크(Tuktoyaktuk)에서는 경찰서와 학교를 비롯해 심각한 피해 위험이 있는 중요 건물을 내륙으로 이동하고(Governments of Northwest Territories, Nunavut, and Yukon, 2010), 침식을 완화하기 위해 체인과 콘크리트 매트가 이용되고 있다(Johnson 등, 2003).
- 영구동토층 융해에 대한 취약성을 완화하기 위해 쐐기와 기둥을 이용해 건물을 높이고 있다(USARC, 2003)
- 안전하지 않은 빙판 도로를 대신할 새로운 다리와 전천후 도로 건설이 진행 중이다(Infrastructure Canada, 2006).

9.2.10.5. 교훈

예상되는 기후변화 위험을 고려했을 때 캐나다 북부는 취약지역으로 이해될 수 있다. 북부의 따뜻한 기후가 계속됨에 따라 상당수의 고립된 지역에서 기반시설이 더욱 취약해질 것으로 예상된다.

북반구 지역의 취약성에 대한 연구와 체계화된 커뮤니티를 위한 적응 대안을 파악하기 위한 노력은 유리한 적응 기회를 제공할 것이다. 또한 정부 프로그램과 지원을 이용하는 것이 가능하지만 상당수가 적응 계획 및 전략화에 초점이 맞춰져 있다. 중요한 것은 캐나다 북부 커뮤니티가 적응 행동을 실행하는 데 도움이 되는 자금 지원이 필요하다는 점이다.

마지막으로 법규와 기준은 인프라에 대한 기후의 영향을 해결하는 데 중요하다. 이 과제의 중요성을 고려했을 때, 공동체 보호를 위해 취약 지역의 건축법규에 대한 평가 및 주의가 필요하다. 규정 및 구조뿐만 아니라 적응 대안에 초점을 맞춘 평가 및 모니터링 프로그램은 현저하게 부족하다. 그러나 이러한 위험의 복잡성에도 불구하고 정부 및 공동체 세 개 층의 노력을 통해 인프라 및 북부 공동체의 취약성을 줄일 수 있다.

9.2.11. 조기경보시스템: 피해를 완화하기 위한 적응

9.2.11.1. 서론

취약성과 노출이 완벽하게 제거될 수는 없지만, 위험은 가까운 미래에서부터 먼 미래에 발생할 수 있는 극한 현상에 대한 효과적인 조기경보시스템에 의해 감소될 수 있다(Broad and Agrawala, 2000; Da Silva 등, 2004; Haile, 2005; Patt 등, 2005; Hansen 등, 2011). 현재 및 미래 위험에 대한 이해를 통한 "미래 예측"은 극한 현상 및 재해에 효과적으로 대비하고 대응하며 그로 이한 피해로부터 회복하는 데 필수적이다. 기후변화로 인해 추가적인 불확실성이 야기된다는 점에서 조기경보시스템이 스마트한 기후 재해 위험 관리에 기여할 수 있다는 사실을 인식하는 것이 중요하다. 기후변화에 대한 효과적인 재해 위험 관리는 취약성 평가 및 예상 조치의 수행을 통해 적응 잠재력을 실현하기 위한 부문 내 및 부문 간 긴밀한 협력에 의해 촉진된다(Choularton, 2007; Braman 등, 2010).

9.2.11.2. 배경

효고 행동 계획(UNISDR, 2010; 7장)은 조기경보시스템이 "사람 중심"이어야 하고 경보가 "이해가능하고 적시에 제공되는 것"이어야 하며, 목표의 "인구통계적 정보, 성별, 문화, 생계특징을 고려"할 필요가 있음을 강조했다. 여기에는 "경보 발생 시 행동에 관한 지침"이 반드시 포함되어야 한다. 즉, 조기경보시스템은 단순한 위험 예측의 측면보다 의미하는 바가 크다.

2006년 UN재해저감을 위한 국제전략기구(United Nations International Strategy for Disaster Reduction)는 조기경보시스템에 대한 전지구 규모의 설문조사를 완료했다. 요약은 "2004년 12월 26일 인도 대서양 지역에 효과적인 쓰나미 조기경보시스템이 가동되었다면 수천 명의 목숨을 구할 수 있었을 것이다. 효과적인 조기경보시스템은 생명을 구할 뿐 아니라 생계수단과 국가개발 이익 보호에 도움을 준다"라는 문장으로 시작하고 있다(Basher, 2006; UN, 2006). 개선된 조기경보시스템은 지난 30년간 사망률, 부상, 생계수단 상실 감소에 기여했다. 조기경보시스템은 지역(5장), 국가(6장), 국제(7장) 차원에서 중요하다. 지속 가능한 개발의 달성을 위해, 조기경보시스템은 의사결정 및 극적 전환의 회피를 위한 중요 정보를 제공한다(8장).

9.2.11.3. 조기경보시스템의 전략 설명

조기경보시스템은 경보를 제공하고, 시민과 정부에 긴급한 대피 조치를 필요로 하는 즉각적인 위험에 대해 몇 분 단위에서 몇 시간 단위 규모의 변화 정보, 더 발전된 대비를 위한 주 단위 정보, 기후변동 및 변화와 관련된 계절 및 수십 년 단위 변화 정보를 제공한다. 현재까지, 대부분의 조기경보시스템은 기상예측을 토대로 하며, 대피조치를 취하기 위해 충분한 선행시간과 정확성과 함께 단기 경보를 제공한다. 그러나 수행될 수 있는 행동의 범위는 제한적이다. 기상예측은 임박한 극한기상 현상에 대해 24시간 이내의 정보와 긴급대피 이상으로 확대될 수 없는 자원부족 지역의 대안을 제공한다(5장). 이러한 점에서 생명을 구할 수는 있지만 생계는 파괴될 수 있다. 이러한 현상은 빈곤한 지역에서 더 두드러진다.

현재까지 가장 성공적으로 실행된 조기경보시스템은 단기 시간 규모에 초점을 맞추고 있다(예: 토네이도) (Doswell 등, 1993). 그러나 현재 계절 이하 규모 및 계절 규모의 예측이 개선되고 있는 중이다(Nicholls, 2001; Brunet 등, 2010; Webster 등, 2010). 위험한 대기 관련 현상은 비교적 단시간 안에 발전될 수 있지만(토네이도의 경우), 계절 및 수십 년 규모에서 극한 현상의 발생이 기후적으로 변할 수 있다. 위험 현상 계획은 전체 시간 규모에 걸쳐 의사결정과 관련이 있다는 점에서, 모든 시간 규모를 포함하는 '21세기 지구시스템 예측 계획('An Earth-system Prediction Initiative for the 21 st Century)'이 제시되었다(Shapiro 등, 2007, 2010).

재해의 발생 빈도가 급격하게 증가함에 따라, 재해 위험 관리 공동체는 극한 현상 변화에 관심을 기울이기 시작했다. 이러한 극한 현상은 가장 자주 발생하고 경제적 피해가 큰 홍수, 가뭄, 열파, 폭풍을 비롯한 기후변화에 원인이 있을 수 있다(Gall 등, 2009; Munich Re, 2010; Vos 등, 2010). 조기경보시스템은 예상되는 심각한 현상으로 인한 피해를 최소화할 수 있는 적응 대안을 제공한다. 또한 이러한 시스템은 자연재해에 대한 대중의 지식과 인식을 높이기 위한 메커니즘을 제공하고 다양한 수준에서 개선된 정책과 의사결정을 촉진할 수 있다.

최근 계절 및 계절 이하 규모의 예측과 연규모 예측 영역에서 중요한 발전이 이루어지면서 극한기상 및 기후 예측이 크게 개선되었다(Nicholls, 2001; Simmons and Hollingsworth, 2002; Kharin and Zwiers, 2003; Medina-Cetina and Nadim, 2008). 이러한 개선 중, 기상 및 계절(계절 이하) 예측을 위한 토양수분 초기값 설정(Koster 등, 2010)과 같은 일부 개선들은 습한 기후와 건조기후 사이의 전이지역(특히 중위도 지역)에 적용할 수 있는 가능성이 있다(Koster 등, 2004). 이러한 적용은 잠재적으로 극한기온과 가뭄 예측과 관련이 있을 수 있다(Lawrimore 등, 2007; Schubert 등, 2008; Koster 등, 2010). 10년 이상 규모의 예측의 개선이 이뤄져 미래 조기경보시스템의 토대를 생성할 수 있게 되었다(Meehl 등, 2007, 2009; Palmer 등, 2008; Shukla 등, 2009, 2010).

기상 및 기후에 대한 회복능력의 발전은 시간 규모의 연속성 상에서 다양성에 대한 회복력을 개발하는 것과 관련이 있다. 이상적인 환경에서 조기경보는 이러한 시간 규모 전반에 걸쳐 이용 가능하다(1, 2 장; McBean, 2000; Hellmuth 등, 2011). 그러나 그러한 회복력 개발에 대한 투자는 투자의 예상 수명 동안의 정보를 토대로 한다. 이러한 특성은 가난한 나라에서 특히 두드러진다. 다음 계절에 재배할 작물을 결정하는 것과 관련해, 장기적인 전략을 이용할 수도 있지만 더 시급한 관심은 다음 계절에 예측되는 기후일 것이다. 실제로, 당장의 위협에 살아남을 준비가 되어 있지 않은 상황에서 100년 후 재해를 대비하는 것은 무의미하다. 이런 점에서 재해 위험 관리 공동체 내에서 기후변화를 위한 대비는 기후변동성을 위한 대비와 연관되어야 한다(3, 4장).

예측방법의 개선은 여전히 연구가 활발한 영역으로 향후 큰 진전이 기대된다(Brunet 등, 2010; Shapiro 등, 2010). 그러나 그러한 예측을 최종 사용자가 이용할 수 있도록 특정 지역에 미치는 영향에 대한 적절한 지표를 개발하기 위해선 커뮤니케이션의 개선이 필요하다. 재해 위험 관리 커뮤니티(및 기타 이용자 커뮤니티)로부터의 되먹임을 통한 그러한 문제에 대한 기후 모델 커뮤니티의 인식 개선은 기상 및 기후 위험 예측의 추가적인 적용 분야 개발로 이어질 수 있다. 예측 시스템이 신중하게 목표를 설정하고 충분히 정확하다면 극한기상 및 극한기후 관련 위험을 줄이는 유용한 도구가 될 수 있다(Patt 등, 2005; Goddard 등, 2010).

단기적인 생존에 초점을 맞추고 단기 위험에 관심을 가질 수 밖에 없는 실정이지만, 더욱 신뢰할 수 있는 예측이 이루어진다면 보다 장기적인 시간 규모의 측면도 무시할 수 없다. 계절예측에서도 온실가스 농도 변화가 중요하다.

현실적인 온실가스 농도가 포함할 때 예측 기술이 크게 개선될 수 있기 때문이다(Dobias-Reyes 등, 2006; Liniger 등, 2007). 전통적으로 장기적인 기록(예. 50년에서 100년간의 하천 유량 측정 기록)에 기반하는 적응 도구와 기후가 변하지 않는다는 가정이 결합될 경우 최고의 적응 전략에 대해 잘못된 결론이 내려질 수 있다(Milly 등, 2008). 이런 점에서 신뢰할 수 있는 예측과 성공적인 적응은 모두 장·단기 시간 규모(수일~수십 년)을 포함하는 관점이 필요하다.

시간 규모의 연속선 상에 있는 조기경보시스템의 잠재적인 이점이 존재한다. 한편 재해 위험 관리 공동체의 예측 기반 대비는 새로운 개념이다. 대부분의 공동체는 이미 발생한 재해나 신뢰 수준이 높은 즉각적인 재해 예측에 대한 긴급 대비에 대해 반응적으로 운영해 왔다(5장). 최근, 극한 상태의 경보를 제공하기 위한 며칠 이상의 장기적인 기상 및 기후 예측의 이용 가능성이 개선되었다(Brunet 등, 2010; Shapiro 등, 2010). 전세계 많은 부분에서 십년 이상의 계절 예측이 수행되고 있음에도 불구하고, 재해 위험 관리 공동체가 그러한 정보를 이용하는 경우는 극히 드물다. 예측 및 그 시사점의 불확실성 때문이다(Patt 등, 2005; Meinke 등, 2006; Hansen 등, 2011). 대부분의 계절 강수 예측은 가능성으로 표시된다. 가령 향후 몇 달(일반적으로 3개월)간 총 강수량이 과거 기간에 측정된 총 강수량의 최고 수준 또는 세 번째로 낮은 수준이 될 가능성이 제시된다. 이러한 가능성은 넓은 지역(일반적으로 수천 평방 킬로미터)에 걸친 평균이다. 가능성의 정확성이 부족할 뿐 아니라 타겟 변수(총 계절 강수)가 홍수 발생과 연관될 필요가 없다. 정상적 계절 강수보다 높은 강수는 높은 홍수 위험과 연관되는 경우가 많지만 총 계절 강수는 높지만 홍수는 발생하지 않을 가능성이 있다. 또한 총 강수량은 낮을 수 있지만 호우 현상의 발생으로 홍수가 발생할 수 있다(3장). 이러한 점에서 계절 예측이 적절하게 이해된 경우에도 이를 이용하는 방법은 명확하지 않을 수 있다. 이러한 문제들은 그러한 정보를 최종 사용자와 관련해 수량으로 전환하기 위한 도구의 개발 필요성을 강조한다. 모델링 센터와 최종 사용자 간의 효과적인 커뮤니케이션이 필요하다(5, 6장). 목표로 설정된 분야가 적용된 곳에서 일부 성공 사례가 보고되었다(예: 말라리아 예측) (Thomson 등, 2006; Jones 등, 2007). 그럼에도 불구하고 실행 가능한 행동의 범위를 제한하는 정책적 제약과 같은 다른 장애물들이 존재한다.

9.2.11.4. 개입

이 장과 5, 6, 7장의 다른 사례 연구에서 조기경보시스템의 개입 사례가 제시되었다. 위험 저감 전략의 일부로서 오스트레일리아 빅토리아 정부는 주도인 멜버른의 열파 조기경보시스템을 수립했으며 현재 빅토리아주 다른 지역에 비슷한 작업을 수행 중에 있다. 폭풍경보센터(Storm Warning Center)와 해안 자원봉사자 네트워크가 방글라데시에서 수립되어 그 효과를 입증했다(사례 연구 9.2.5). 미얀마에서 폭풍 경보 시스템의 부재는 참사로 이어졌다(사례 연구 9.2.5). 또한 조기경보시스템의 이점이 홍수(사례 연구 9.2.6),

열파(사례 연구 9.2.1), 전염병(사례 연구9.2.7), 가뭄(사례 연구 9.2.3)과 관련해 각각 논의되고 있다.

9.2.11.5. 결과

조기경보시스템의 주요 이점을 보여주는 사례가 다수 존재한다(Einstein and Sousa, 2007). 사이클론 경보에 대한 커뮤니티 대응 능력의 평가가 인도(Sharma 등, 2009), 플로리다(Smith and McCarty, 2009), 뉴올리언스(Burnside 등, 2007), 오스트레일리아 뉴사우스웨일스 주 (Cretikos 등, 2008), 중국(Wang 등, 2008)에서 실행되었다. 열대저기압 상륙에 대한 예측은 중요하다(Davis 등, 2008). 방글라데시의 경우(사례 연구 9.2.5; Paul, 2009), 조기경보시스템의 실행을 통해 사람들을 위험지역에서 즉시 대피시킬 수 있었다(Paul and Dutt, 2010; Stein 등, 2010). 예측이 정확하지 않은 경우가 자주 발생할수록 사람들의 대응에 부정적인 영향을 미친다(5장; Dow and Cutter, 1998). 위험이 공공보건에 미치는 영향은 커뮤니티의 대비 능력에 달려 있으며(Vogt and Sapir, 2009), 이러한 능력은 조기경보를 통해 개선될 수 있다. 그러나 성공적인 조기경보시스템을 위해선 정확한 예측만으로는 부족하다. 정기적으로 홍수를 경험하는 영국의 사례가 이러한 사실을 뒷받침한다(Parker 등, 2009). 2007년 홍수 이후 심각한 피해 및 건강 문제가 발생했다. 이는 명확한 경보 전달이 충분히 이뤄지지 않았기 때문으로, 적절하지 않고 너무 늦은 경보로 인해 사람들과 지방 정부, 지원 서비스가 적절하게 대비할 수 없었다(UNISDR, 2009c). 열 관련 건강 경보(사례 연구 9.2.1)는 더 효과적인 것으로 나타났지만(Fouillet 등, 2008; Hajat 등, 2010; Michelozzi 등, 2010; Rubio 등, 2010), 여전히 개선이 필요하다(Kalkstein and Sheridan, 2007).

재해 위험 관리에서 계절예측을 활용하기란 쉽지 않지만, 이를 성공적으로 이용하는 것이 불가능한 것은 아니다(IRI, 2011). 모든 대비 조치가 직접 비용을 발생시키고 모든 사태를 대비하는 것이 비현실적이라는 점에서 계절 예측은 행동의 우선순위를 선택하는 데 도움이 될 수 있다.

9.2.11.6. 교훈

극한기상 즉, 열파, 홍수, 폭풍과 같은 기후관련 현상에 대한 조기경보시스템이 실행되어 수 시간, 수 일 간격으로 경보를 제공하고 있다. 경보 능력은 수일 이상의 규모로 개선되어 가고 있다. 현재 가뭄, 홍수, 기타 자연현상에 대한 계절적 예측이 효과가 있는 것으로 나타나고 있으며 향후 10년간 집중호우와 열파가 증가할 것이라는 예측이 계획수립을 위한 의사결정에 고려되고 있다(NRC, 2003; Lazo 등, 2009; Goddard 등, 2010). 조기경보시스템은 DRR 및 CCA 실행을 가능하게 할 것으로 예상된다. 조기경보시스템은 미래 정보를 고려하여 계획 및 전략을 수립하는 능력과 교육, 법률, 정책, 시스템의 기술 및 원가 가치 효익에 대한 과학적 설명과의 결합 필요성에 의존한다.

9.2.12. 재해 위험 저감 및 적응의 다층적 거버넌스를 위한 효과적인 법률

9.2.12.1. 서론

이 사례 연구는 남아프리카공화국의 재해 위험 관리 법률과 다른 국가들의 비교 가능한 법적 제도(필리핀과 콜롬비아)에 초점을 맞춰 효과적인 법률의 주요 조항을 탐구한다. 남아프리카 공화국의 법률은 예방에 초점을 맞추고 DRR 통제를 분권화하며 DRR과 개발계획의 통합을 의무화하고 이해관계자의 참여를 요구한다는 점에서 다른 국가들의 모델 역할을 한다(Pelling and Holloway, 2006; Van Niekerk, 2011). 그러나 법률 실행은 어려움에 직면했다(특히 지역 수준에서) (NDMC, 2007, 2010; Visser and Van Niekerk, 2009; Botha 등, 2011; Van Niekerk, 2011). 이들커뮤니티 대부분의 국가들도 마찬가지이다(GNDR, 2009; UNISDR, 2011b). 이 사례 연구는 남아프리카공화국의 법률과 그러한 법률 실행의 어려움을 분석하고, 이를 통해 다른 정부들에게 관련 정보를 제공한다. 이러한 정보는 정부가 재해 위험의 감소 및 관리를 위한 국가 법률이 기후변화에 대한 적응에 적절한 것인지를 평가할 때 이용될 수 있다.

9.2.12.2. 배경

법적 프레임워크는 위험 및 위험 관리와 관련된 프로그램과 조직에 법적 권한을 부여한다. 이러한 법률은 정책, 관행, 프로세스, 개인이나 기관에 대한 권한 및 책임 부여, 기관 간의 조율이나 협력을 위한 제도 및 메커니즘에 영향을 미칠 수 있다(Mattingly, 2002). 법률은 기준을 제시함으로써 징벌 및 보상을 제공하고, 기존 기구에 권한을 부여하거나 새로운 책임이 부여된 새로운 기구를 설립하고, 예산선을 수립하는 데 이용될 수 있다(Pelling and Holloway, 2006). 간단히 말해, 법률은 지속 가능한 참여를 가능하게 하고 촉진하며, 다양한 수준의 일관성 없는 행동을 방지하는 데 도움을 줄뿐 아니라 상황이 잘못되었을 때 사회에 회복 의지를 제공한다.

대부분의 국가들은 재해 위험 관리에 관한 법률을 갖추고 있거나 제정 진행 중에 있다(UNDP, 2005; UNISDR, 2005b). 2011년 48개 국가가 국가정책 및 법률 개발에 있어서 상당한 성과를 달성했다고 보고했다. 중요한 것은 이들 중 약 절반이 저소득 또는 중간 이하의 소득 국가라는 점이다. 효고 행동 계획의 원칙을 채택하거나 이러한 원칙에 따라 기존 법률을 수정하는 국가들이 점차 늘고 있다. 2005년 인도와 스리랑카, 2006년 엘살바도르, 세인트루시아, 세인트빈센트 그레나딘, 2007년, 앙귈라(영국)와 감비아, 2008년 인도네시아, 2009년 이집트와 필리핀, 2010년 잠비아와 파푸아뉴기니 등의 국가가 새로운 법률을 신설하거나 기존 법률을 수정했다. 그러나 새로운 법률 증 일부는 관련 분야(물, 농업, 에너지 등)의 기존의 법적 프레임워크와 조화를 이루지 않는 경우가 있다(UNISDR, 2011b). 재해 위험 관리를 위한 이러한 국가 법률은 재해 위험 저감의 지향점을 포함할 필요는 없다. 그러나 증거에 의하면 전지구 패러다임이 재해 위험 관리와 관련된 이전의 대응적 접근법에서 장기적이고 지속 가능한 예방 조치로 이동하고 있다(Britton, 2006; Benson, 2009). 인도, 파키스탄, 남아프리카공화국, 기타 중앙아메리카 국가들이 이러한 패러다임 변화에 따라 재해관리 법률을 제정했다. 에콰도르의 경우 2008년 새로운 헌법에서 위험에 초점을 맞춘 재해관리 개념을 채택했다(IFRC, 2011).

남아프리카공화국의 경우 홍수와 가뭄으로 피해를 입은 경험이 있으며 아파르트헤이트 시대 이후 변화에 대한 열망이 높은 편이었다(Pelling and Holloway, 2006; NDMC, 2007). 이러한 상황에서 1994년 재해 위험 저감을 위한 법률 개혁이 시작되었다. 우선 청사진(Green Paper)을 통해 공개 시각 및 토론을 요청하고 백서(White Paper)를 통해 응답을 향후 기술 및 행정적 고려를 위한 정책 대안으로 전환했다. 이러한 문서들은 협의에 기반한 접근법을 취하고 전통적인 대응보다 재해 위험 저감을 강조한다는 점에서 주목할 필요가 있다(Pelling and Holloway, 2006; NDMC, 2007). 이후 세 가지의 재해 관리 법안이 통과되어 2002 재해관리법 57호(Disaster Management Act No. 57 of 2002)와 2005 국가재해관리프레임워크(National Disaster Management Framework in 2005)로 공표되었다(Pelling and Holloway, 2006; NDMC, 2007).

9.2.12.3. 전략 설명

남아프리카공화국의 2002 재해관리법(Disaster Management Act)과 2005 국가재해관리정책 프레임워크(Management Policy Framework of 2005) (Republic of South Africa, 2002, 2005)를 주목할 필요가 있다. 이들은 예방에 초점을 맞추고 DRR 통제를 분권화하며 DRR과 개발계획의 통합을 의무화하고 이해관계자의 참여를 요구한다.

법률 및 프레임워크는 국가, 주정부, 지자체 수준에서 재해 위험 저감을 통제하기 위한 계층적 구조를 정의한다. 이러한 법률과 프레임워크는 정부의 각 수준에서 다음을 의무화함으로써 DRR을 효과적으로 분권화하였다.

- 재해 위험 관리 프레임워크 – 위험 예방 및 완화에 초점을 맞춘 정책
- 재해 위험 관리센터 – 통합되고 협력적인 관리 시스템 촉진, DRR과 개발계획의 통합, 재해 위험 관리 정보 관리, 실행 모니터링, 역량 구축
- 재해 위험 관리 자문포럼 – 정부와 DRR 분야의 시민사회 이해관계자 간의 협력
- 정부 부처간 재해 위험 관리위원회 – DRR을 위한 정부 부처 활동의 조율 및 통합, 재해 위험 관리 계획 종합, 정부 부처간 책임 부여 (Republic of South Africa, 2002, 2005; Van Niekerk, 2006).

법률은 각 실체의 책임을 구체적으로 명시하고 있다. 남아프리카공화국의 법률은 재해 위험 저감과 개발계획 간의 법적 연관성을 생성한다. 코모로, 지부티, 에티오피아, 헝가리, 아이보리코스트, 모리셔스, 루마니아, 우간다 등이 이러한 접근법을 채택하고 있다(Pelling and Holloway, 2006).

법률은 지자체가 위험 관리 계획을 개발계획에 포함하도록 의무화하고 있다 (Republic of South Africa, 2002; Van Niekerk, 2006). 지차체 수준의 요건이 실현되기 위해선, 주 정부가 재해 위험 관리 계획을 "개발 계획의 일부로 구성"하고 국자재해관리센터가 계획 및 전략을 개발계획에 통합하기 위한 지침을 개발하도록 보장해야 한다(Republic of South Africa, 2002).

정부기관 전반에 걸쳐 정부행동을 조율하는 권한은 정부계획 영향을 미치는 능력과 밀접한 관련이 있다. 각 수준에서 법에 의해 의무화된 부서간 위원회는 계획에 관한 의사소통을 수행하고 정부 부처간 전략을 개발할 수 있는 기회를 제공함으로써 위험을 증가시킬 수 있는 독단적 행동을 방지한다. 법에 의해 수립된 포럼은 DRR 의사결정 과정에 추가적인 이해관계자들의 참여를 촉구한다. 남아프리카공화국, 콜롬비아, 필리핀의 DRR 법은 재해 위험 저감 분야의 NGO와 전통적 리더, 자원봉사자, 커뮤니티 구성원, 민간 부문의 참여를 위한 조항을 포함한다.

9.2.12.4. 결과

남아프리카공화국의 기준 입법 조항의 실행은 여전히 어려운 실정이다. 다수의 자치지구들이 아직 법에서 요구하는 재해관리 센터를 설립하지 못했거나 설립되었더라도 제대로 기능하지 못하고 있다(Van Riet and Diedericks, 2010; Botha 등, 2011). 기초지자체(광역지자체의 하위 개념)의 대다수가 아직 자문포럼을 설립하지 못했지만 지방 지구 차원의 자문포럼은 법에서 요구하는 바가 아니다(Botha 등, 2011). 수도권 지역의 상당부분이 자문포럼을 갖추고 있다. 정부 부문간 협력과 DRR과 개발계획의 통합을 촉진하기 위한 부서간 위원회도 아직 대부분의 지자체에서 설립되지 않았다. 지자체는 재해관리 계획을 통합개발계획에 통합하는 데 있어서 순조로운 진행을 보이고 있다고 보고했지만(Botha 등, 2011), 아직 통합의 증거를 찾는 것은 어렵다(Van Niekerk, 2011).

주 정부 및 지자체 수준에서는 법률 및 프레임워크의 실행의 경과가 미미한 것이 시작 비용을 충당하기 위한 자원의 부족과 재해 위험 저감 프로젝트의 지속적인 운영 때문인 것으로 보고 있다(Visser and Van Niekerk, 2009; NDMC, 2010). 또한 회복 및 재건 활동을 위한 자원의 필요성도 계속되고 있다. 자금조달 부족의 원인으로는 자금원에 관한 법률의 명확성 부족과 다양한 자금원에 대한 접근 프로세스와 관련된 혼동을 꼽을 수 있다(Visser and Van Niekerk, 2009). 자금 확보를 위한 수단이 존재하기는 하지만 모든 지자체와 주정부가 이러한 수단을 이용할 수 있는 것이 아니다. 이러한 점에서 불충분한 자금조달에 대한 인식이 계속되고 있다(Van Niekerk, 2011). 절대적인 자금 부족을 겪는 경우도 있다. 가령 농촌 지역이 많고 인구 밀도가 낮은 지자체의 경우 과세인구층이 좁아 DRR에 자금을 지원하기 어렵다(Van Riet and Diedericks, 2010). 다른 국가들도 마찬가지 상황이다. 콜롬비아의 경우 지자체의 80% 이상이 자체적인 비목적세의 20%만을 위험 저감 및 재해대응을 위해 할당하고 있다. 법률에 의해 할당 비율이나 금액이 명시되어 있지 않기 때문에, 기반시설 및 사회적 지출 필요성에 밀려서 (Cardona and Yamin, 2007) 최소한의 자원만이 재해 위험 저감 활동에 할당되고 있다(MIJ, 2009).

전세계적으로 많은 국가들이 남아프리카공화국과 콜롬비아와 비슷한 경험을 했다. 2011년 효고 행동 계획 경과 보고서에서 정부들은 효율적이고 적절한 예산 할당을 재해 위험 저감을 위한 법률 실행의 주요 과제로 꼽았다 (UNISDR, 2011a). 재해 위험 관리를 위한 자금조달이 법률에 의해 의무화된 국가에서조차 재해 위험 저감에 대한 자원할당이 여전히 낮은 수준이며 대비 및 대응에 집중되어 있다(UNDP, 2007). 필리핀은 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 법률을 도입했다. 필리핀의 새로운 재해 위험 저감 및 관리법(Disaster Risk Reduction and Management Act) 10121은 지역 재난기금을 지역 재해 위험 저감 및 관리 기금으로 명칭을 변경하고 기금의 5% 이상을 위험 관리 및 대비에 할당하도록 명시하고 있다(Republic of the Philippines, 2010). 또한 법률의 조항을 실행하기 위해 위원회는 10억 페

소 즉, 2,150만 US달러를 할당했다(Republic of the Philippines, 2010). 미사용 자금은 위험 저감 및 재해 대비를 촉진하는 데 이용될 수 있도록 기금에 남게 된다. 이 법이 최근에 도입되어 아직 실행되지 않고 있다는 점에서 조항의 타당성은 아직 검증되지 않았다.

남아프리카공화국에서 모든 관련 부서들은 아직 요구되는 DRR 활동을 실행하거나 부문별 초점을 파악하지 못하고 있다. 결과적으로 국가 차원의 자문위원회가 아직 적절하게 기능하고 있지 않다(Van Niekerk, 2011). 또한 주 정부 및 지자체 수준에서 부서 담당자가 존재하지 않거나 직급이 낮아 회의에서 의사결정에 참여하는 것이 어렵다. 이는 DRR에서의 부서의 역할 및 DRR 자체에 대한 이해가 부족하다는 것을 의미한다(Van Riet and Diedericks, 2010).

더욱이, 위에서 언급한 것처럼, 55%에서 73% 사이의 지차체에서 위원회가 설립되지 않았다. Botha 등(2011)은 이러한 현실이 다부문적 통합 DRM을 실행하기 위한 지방 정부의 능력을 방해한다고 지적한다.

2009년에 제정된 필리핀의 기후변화법은 대통령을 의장으로 하는 위원회를 설립하고 협력적인 법률 실행을 위한 높은 수준의 정치적 지원을 보장함으로써 부문간 정부 협력 과제를 해결한다(Republic of the Philippines, 2009). 위원회는 관련 부처의 장관뿐 아니라 국가 재해대책위원회(Disaster Coordinating Council)의 회장인 국방부 장관과 재해 위험 저감 공동체의 대표들로 구성된다. 위원회의 주요 기능은 "기후변화와 재해 위험 저감을 국가, 분야, 지역 개발 계획에 통합하도록 보장"하고 "재해 위험 저감을 포함한 기후변화 관련 분야의 실무자들로 구성된 기술전문가 패널을 구성"하는 것이다(Republic of the Philippines, 2009).

남아프리카공화국이 구상한 다부문 DRM의 실행은 정부 부처(정부 협력부) 내 국가재해관리센터 설치로 인해 방해될 수 있다(Van Niekerk, 2011). 준국가들은 부족한 정치적 권한에도 불구하고 부문 내에 자체적 센터를 설치했다. 결과적으로 기초지자체 및 광역지자체는 현재의 부서간 협력 수준을 낮게 평가하고 있다(Botha 등, 2011). 이러한 센터 설치에도 불구하고 다른 부서들은 DRM에 동의하지 않을 수 있다. 국가재해관리센터가 강제적인 처벌 수단을 갖고 있지 않기 때문이다.

남아프리카공화국처럼, 재해관리를 위한 필리핀의 최고수준의 정책결정 및 협력 기관인 국가재해 위험 저감 및 관리 위원회(전 국가 재해대책위원회)는 국방부 산하 기관이다. 또한 재해 대비 및 대응에 초점을 두고 있으며 지속 가능한 개발 및 빈곤 감소의 책임은 갖고 있지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 필리핀의 새로운 재해 위험 저감 및 관리법(Disaster Risk Reduction and Management Act)은 모든 관련 분야의 전문가들로 위원회를 구성하고 모든 차원에 걸쳐 지속 가능한 개발 및 빈곤 감소 전략과 정책, 계획, 예산에 재해 위험 저감을 통합하도록 의무화하고 있다(Republic of the Philippines, 2010).

최상위 정부 내 DRR 기관 설치는 국가재해 위험 관리 실체의 정치적 권한의 규모를 결정할 수 있다는 점에서 효과적인 것으로 증명되었다(UNDP, 2007; UNISDR, 2009a). 국무총리실 산하의 국가재해 위험 관리 기구는 정부 부처의 영향을 미치는 정책을 수행할 수 있다. 반면 장관급 하위 수준에서 운영되는 기구는 행정적 병목 현장에 직면하곤 한다(UNDP, 2007). 재해 위험 저감 법률이 개발 및 재건에 위험 저감을 통합하기 위한 전략적 프레임워크를 제공할 수 있으려면 특히 상위 차원의 지원이 뒷받침되어야 한다(Pelling and Holloway, 2006).

9.2.12.5. 교훈

이러한 사례 연구는 사려 깊게 제정한 법률이 DRR 활동을 뒷받침하며 법률적 시각과 실행 간의 간격을 좁힐 수 있다는 교훈을 제시한다. DRR 법률 실행에 관한 남아프리카공화국과 필리핀의 경험(Visser and Van Niekerk, 2009; NDMC, 2010; Van Riet and Diedericks, 2010; Botha 등, 2011; Van Niekerk, 2011 등에 의해 기술)과 DRR 법률에 관한 문헌(Mattingly, 2002; Britton, 2006; Pelling and Holloway, 2006; UNDP, 2007; Benson, 2009; UNISDR, 2009c)은 효과적인 법률 제정 및 실행의 요소를 다음과 같이 지적하고 있다.

- 법률은 모든 행정 수준에서 자금의 생성 및 자원평가 절차에 관한 명확성을 토대로 모든 수준에서 실행을 위한 적절한 자금을 할당한다.
- 제도적 합의는 실행 촉진을 위한 권한에 대한 접근성과 재해 위험 저감 및 적응과 개발계획의 통합 기회를 제공한다.
- 법률은 책임을 증대하고 조율 및 실행을 가능하게 하는 조항을 포함한다. 즉, 역할과 책임을 명확하게 파악하고 의사결정 과정에 참여하는 것이다.

또 다른 요소는 재해 위험 저감 및 적응을 위한 법률이 역동적이고 타당함을 보장하는 주기적인 평가와 개정의 필요성이다(Llosa and Zodrow, 2011). 예를 들어, 필리핀의 재해 위험 저감관리법(Disaster Risk Reduction Management Act: DRRM)은 재해 위험 저감 및 관리노력에 대한 평가 지침을 제공하기 위한 프레임워크의 개발을 요구한다. 이러한 평가는 "5년 단위 또는 필요한 경우에 수행되며 시기 적절성을 보장하는 것을 목표로 한다"(Republic of the Philippines, 2010). 또한 DRRM 법은 기후변화가 유발하는 위험에 관한 평가수단의 개발을 요구한다. 필리핀의 기후변화법은 기후변화에 대비한 계획, 조사, 개발, 확장, 활동 감시에 대한 평가를 3년 단위 또는 필요에 따라 수행하도록 지침을 제공하는 프레임워크 개발을 요구한다(Republic of the Philippines, 2009). 영국의 기후변화법은 이전 보고서 발행 이후 늦어도 5년 이내에 기후변화로 인한 현재 및 미래 위험에 관한 의회 보고서를 준비할 것을 요구한다(United Kingdom, 2008). 위험이 진화하고 기후변화 영향에 관한 지식이 변화한다는 점에서, 최신 위험평가에 기반한 법률과 주기적인 재평가의 필수화가 DRR 적응에 관한 법률 제정을 위한 추가적인 요소가 될 수 있다.

법률 제정의 발전 및 강화를 위해서는 상당한 시간과 정치적 자본이 필요하다. 남아프리카공화국과 필리핀의 경우 종합적인 재해 위험 저감 프레임워크를 제정하는 데 약 10년이 걸렸다. 재해 위험 저감 법률 개발과 정치적으로 중요한 기후변화 논의와의 연계는 위기의식을 높임으로써 의회 입법 절차를 가속화할 수 있다(Llosa and Zodrow, 2011).
또한 입법 프로세스를 재촉하기 위해서는 우선 기존 재해 위험 저감 법률의 타당성을 평가하고, 완전히 새로운 법률을 도입하기 보다는 기존 법률을 강화하는 동시에 적응을 위한 협상 프로세스를 통해 병행 법률 및 운영 시스템을 생성할 수 있다. 자주 보고된 바와 같이(예: UNDP, 2007; UNISDR, 2009c), 일관되고 종합적인 프레임워크와 명확한 권한, 예산 할당이 없는 법률 및 규정의 과부하는 재해 위험 관리의 법률의 효율적인 실행을 방해한다.

표 9-3 | 다양한 차원에서의 위험 금융 수단의 예(색 표시된 부분). 출처: Linnerooth-Bayer and Mechler(2009)

	지역 가구, 농부, 중소기업	국가 정부	국제 개발조직, 원조기구, NGO
연대	이웃 및 지방 조직의 도움	재해 발생 후 정부 지원, 정부 보증/긴급구제	쌍방 및 다각적 지원, 지역 연대 기금
비공식적인 위험 이전(공유)	연대의식 및 기타 호혜 의무, 소액금융, 저축 및 대출 회전 제도, 송금		
저축, 대출, 저장(시간 위험 분산)	저축: 소액저축, 대안 자산, 식품 저장, 대출기관, 소액대출	예비금, 국내채	조건부 차관, 긴급 유동성 자금
보험상품	손해보험, 농작물 및 가축 보험, 소액보험	국가 보험 프로그램, 국가 위험 이전	재보험, 지역 대재해보험 풀
대안 위험 이전	날씨 파생상품	대재해 채권	대재해 채권, 위험 스왑, 옵션, 손실 보증

9.2.13. 위험 이전: 개발도상국의 재해 위험 관리 및 기후변화 적응에서 보험의 역할

9.2.13.1. 서론

적시에 기반시설, 주택, 위생조건, 생계를 복구할 수 있는 커뮤니티의 능력 상실로 인한 소득, 교육, 기타 자본 형태의 장기적 손실은 재해로 인한 현상 및 경제적 피해를 크게 확대할 수 있다. 보험 및 기타 위험 이전 수단은 극한 현상으로 인한 타격 발생 이후 시기 적절한 재정적 지원을 제공하여 재해의 중장기적인 영향을 완화함으로써 DRR에 기여한다. 이러한 수단은 선진국에서 일반화되어 있으며, 개발도상국에서도 점차 재해 위험 관리의 일부가 되고 있다. 개발도상국에서는 새로운 소액보험 프로그램을 통해 빈곤 가구가 다시 생계수단을 회복할 수 있도록 돕고 있다(Bhatt 등, 2010). 이러한 수단들은 재해로 인한 영향이 발생하기 이전에도 취약성 감소 및 개발 진행에 기여할 수 있다. 이를 통해 농부는 필요한 보장을 제공받고 기업은 만연해 있는 위험에도 불구하고 더 위험하기는 하지만 수익률이 높은 투자를 수행할 수 있다. 정부도 이러한 위험 이전에 참여하고 있다. 투자자들은 정부가 이러한 위험을 감소시켜왔다는 증거가 있는 국가에 대한 투자를 권장 받을 수 있다(Gurenko, 2004).

9.2.13.2. 배경

이러한 사례 연구는 개발도상국의 대재해의 위험을 관리하기 위한 위험 이전 수단에 초점을 맞춘다(5.5.3절, 6.5.3절, 7.4.4절 참고). 표 9-3은 가구, 농부, 중소기업, 정부, 국제단체, 원조기구들이 채택하고 있는 위험 이전을 비롯한 금융 수단 및 합의에 관한 개요를 제시한다. 일반적으로, 손실은 재해 위험으로 인한 타격 이후 이웃, 정부, 국제 원조기구로부터의 연대 호소를 통해 필요에 따라 배상된다. 가구와 기타 중개인은 저축과 대출에 의존하고 상당수의 정부들은 국가 또는 준국가 수준의 예비금을 확보하고 있다. 또한 중개인은 위험 이전(표 9-3의 색 표시된 부분)에 참여할 수 있다. UNISDR은 위험 이전을 한쪽 당사자에서 다른 쪽 당사자로 특정 위험의 금융적 결과를 공식적 또는 비공식적으로 이동하는 프로세스"로 정의한다. 이러한 위험 이전에서 가구, 커뮤니티, 기업, 광역지자체는 재해 발생 이후 다른 당사자로부터 자원을 획득하는 대신 그러한 다른 당사자에게 지속적이거나 보상적인 사회적, 경제적 이익을 제공한다(UNISDR, 2009b). 위험공유는 위험 이전과 비슷한 의미로 이해될 수 있다. 그러나 위험 이전은 명백한 보상이나 지불이 수반되지 않는 비공식적인 형태의 위험 이동을 의미하는 경우가 많다. 가족 또는 공동체 내 상호 비시장 협약이 그러한 예다. 보험은 가장 잘 알려진 시장 형태의 위험 이전이다. 그러나 위험은 다음 절에서 기술하는 바와 같이 여러 가지 공식적, 비공식적 수단을 통해 이전될 수 있다.

재해 구조 및 회복을 위한 전통적인 자금조달 경로는 위험 이전보다 비용이 적게 발생하는 경우가 많지만, 취약 국가에서 대규모의 기상 관련 현상을 관리하는 데 있어서는 부적절한 것으로 증명되었다(Cohen and Sebstad, 2003; Cardenas 등, 2007; Barnett 등, 2008). 가난한 국가에서 가계 및 기업들은 위험을 보장하기 위한 상업 보험을 구매할 자원이 부족하다. 또한 상업 보험 공급자가 존재하지 않는 개발도상국이 많다는 것도 또 다른 어려움이다. 보험이 존재하지 않는 경우, 가족이나 정부로부터의 지원이 없다면 재해는 빈곤의 악화로 이어질 수 있다. 희생자들은 고금리 대출을 이용하거나(또는 기존 채무의 불이행) 주요 자산 및 가축을 팔거나 저위험, 저수익 농사를 통해 극한 현상에 대한 노출을 줄이는 방법을 선택한다(Varangis 등, 2002). 이러한 문제를 인식하고 전반적인 재해 비용을 줄이기 위하여 정부와 보험 부문, 원조 커뮤니티는 재해 위험 저감 및 위험 이전에 대한 투자를 권장하고 있다(Kreimer and Arnold, 2000; Gurenko, 2004; Linnerooth-Bayer 등, 2005).

9.2.13.3. 전략 설명 – 대재해의 위험 이전 메커니즘과 수단

표 9-3의 어두운 부분에서 보는 바와 같이, 위험 이전은 재해 발생 전(pre-disaster) 메커니즘과 수단을 포함한다(Cummins and Mahul, 2009). 이 중 가장 중요한 것이 아래에 간략하게 제시되어 있다.

- **비공식적인 상호 협약**은 재해 발생 후 지원을 위한 사전 합의된 비시장 교환과 관련이 있다.
- **보험**은 "잘 알려진 위험 이전 수단으로, 지속적으로 보험료를 보험기관에 지불하는 대가로 보험기관으로부터 위험을 보장받는다." (UNISDR, 2009b). 보험료에 기반한 계약 거래는 대규모 손실 가능성에 대해 금융적 보호를 보증하는 데 이용된다. 일반적으로 계약은 자산, 생산성 있는 재산, 상업 시설, 농작물 및 가축, 공공 인프라(국가 보험), 비즈니스 중단 등의 손실을 보장한다.
- 보험으로서 동일한 원칙을 적용 받는 **소액보험**은 전통적인 보험료를 납부하기 어려운 저소득층을 대상으로 하기 때문에 보험료가 저렴하지만 보장 범위도 제한적이다. 경우에 따라 개인은 전통적인 보험에 접근하기 어려울 수 있다(Mechler 등, 2006). 커뮤니티, NGO, 자조집단(self-help group), 농촌개발은행, 보험기관, 정부기관, 원조기구가 참여하는 혁신적인 파트너십을 통해 소액금융이 제공되는 경우가 많다.
- **위험 이전 대안**은 위험을 회피하는 다양한 수단을 의미한다. 대재해 채권이 이러한 예에 속한다. 이 채권은 사전에 명시된 대재해가 특정 기간 내에 발생하지 않을 때 투자자에게 시장금리 이상의 수익률을 제공한다. 그러나 대재해가 발생할 경우 투자자는 금리 또는 원금의 일부를 희생한다.
- 일반적으로 **날씨 파생상품**은 지수에 기반한 거래 형태를 취한다. 이러한 상품에선 5일 강수량과 같은 특정 기상 지수가 사전에 정해진 기준값을 초과하는 경우 지급이 이뤄진다.
- **조건부 대출**(인출연기옵션(Deferred Drawdown Option)으로도 불림)은 특정 사건을 조건으로 하는 사전에 합의된 대출이다. 이는 보험산업이 다른 보험기관에 또는 국제금융기관이 정부에 제공할 수 있다.
- 지역적으로(또는 국가적으로) 위험을 종합한 **위험 풀**을 통해 개별 위험 보유자들은 위험을 지리적으로 분산시킬 수 있다.

9.2.13.4. 개입 – 개발도상국을 위한 지방, 국가, 국제 차원의 위험 이전의 예시

개발 조직들은 커뮤니티와 정부, 보험기관, NGO 등과 함께 협력하여 개발도상국의 위험 이전 솔루션을 제공하는 여러 시범 프로그램을 실행하거나 지원해 왔다. 지방, 국가, 국제 차원의 세 가지 사례가 아래에 간략하게 제시되어 있다.

9.2.13.4.1. 지방 위험 보장: 인도의 농작물 위험을 보장하기 위한 지수기반의 소액 보험

개발도상국에서 생명과 건강을 보장하는 소액보험은 널리 퍼져 있지만 농작물 및 자산에 대한 대재해 위험의 적용은 시작 단계에 놓여 있다(평가에 대해서는 Morelli 등, 2010 참고, 소액보험 및 기후변화에 대해서는 Loster and Reinhard, 2010 참고). 일반적으로 소액보험회사는 비영리를 목적으로 운영되는 경우가 많으며 공동체를 위한 보험상품을 개발해 온 조직으로부터 발달된다. 대부분은 참여자 풀의 지불액이 예상 손해배상 청구액(빈도가 낮고 소액 청구이기 때문에 일반적으로 낮다), 행정비용(집단계약 또는 대출 연계 계약을 통해 절감된다), 세금, 규제 수수료 등을 비롯한 발생 비용을 충당할 것이라는 예상을 토대로 한다. 많은 소액보험회사가 정부보조금과 국제개발 조직 및 NGO의 지원에 의존한다(Mechler 등, 2006).

2003년 인도 안드라 프라데시(Andra Pradesh) 주에서 실행된 혁신적인 보험 프로그램은 작기(cropping season)의 주요 시기 동안 강수 부족에 대해 비관개작물을 보장한다. 이 보험에서, 지수기반 증권은 상업보험회에 의해 제공되고 소액금융 은행들을 통해 재배자들에게 판매된다. 전통적인 보험이 실질적인 손실을 대상으로 하는 것과 달리, 지수기반 보험은 물리적, 경제적 계기를 대상으로 한다. 이 사례 연구에서는 우량계에 의해 측정된 강수가 그러한 계기에 해당한다. 이러한 보험수단이 생긴 것은 세계은행이 제공하는 기술적 지원 덕분이다(Hess and Syroka, 2005). 현재 인도에서는 이러한 접근법을 모방한 여러 보험수단들이 위험에 노출된 700,000명의 농부들을 대상으로 운영되고 있다.

지수기반 보험의 장점 중 하나는 사건 발생 후의 손해배상 청구가 필요 없기 때문에 거래 비용이 크게 감소한다는 점이다. 이러한 손해배상 청구는 개발도상국에서 보험개발을 방해하는 요인이었다(Varangis 등, 2002). 단점은 기반 위험(basis risk)으로, 발생 원인과 손실 사이의 상관관계가 부족하다. 기상관측소에서 측정한 강수량은 충분하지만 기상관측소에서 멀리 떨어진 고립된 지역의 농부들에게는 충분하지 않은 경우, 작물 손실에 대한 보상이 이뤄지지 않는다. 현재 비슷한 제도가 실행되고 있거나 실행을 준비 중이다. 말라위, 우크라이나, 페루, 태국, 에티오피아가 그러한 예다(Hellmuth 등, 2009). 기상의 악영향으로부터 생계를 위협받는 개발도상국의 농부들을 대상으로 하는 보험의 청사진이 개발되었다(World Bank, 2005d). 이러한 보험 프로그램들이 목표를 달성하기 위해서는 제도적 장벽을 비롯한 주요 장벽들을 극복할 필요가 있다(Hellmuth 등, 2009).

기상 보험(특히 지수기반 계약)은 최소한 두 가지 방식으로 기후변화 적응과 재해 위험 저감에 기여한다. 우선 농부들이 강수를 토대로 보험금 지급이 이뤄지고 날씨에 강한 작물의 재배를 위한 인센티브가 제공된다는 점에서 지수기반 계약은 도덕적 해이의 위험이 없다. 도덕적 해이는 보험을 구매할 때 안전에 대한 잘못된 지각(false perception)에 의해 제공되는 위험 예방의 디스인센티브로 정의된다. 둘째, 보험 계약을 통해 고위험 농부들에게 신용을 제공함으로써 농기자재 구입을 위한 대출 이용을 가능하게 한다. 말라위에서 행해진 시범 프로그램에서 농부들은 잡종종자의 비용을 보장하기 위해 대출과 연계된 지수기반 가뭄보험을 구입했다. 결과적으로 농부들의 생산성은 두 배로 증가했다(Linnerooth-Bayer 등, 2009). 생산성 증가는 극한기상에 대한 취약성을 낮춤으로써 기후변화 적응에 기여했다(기후변화로 인해 기상 위험이 증가된 정도까지). 에티오피아의 또 다른 혁신적인 소액보험 프로젝트에서 농부들은 위험 저감 프로젝트에 노동력을 제공함으로써 보험료를 지불할 수 있었다(Suarez and Linnerooth-Bayer, 2010).

9.2.13.4.2. 국가 위험 보장: 에티오피아 기상 파생상품

기근에 대한 전통적인 식품 보조 접근법을 보완하고 부분적으로 이를 대체하는 세계식량계획(World Food Programme: WFP)은 최근 에티오피아 정부가 후원하는 생산안전망 프로그램(Productive Safety Net Programme: PSNP)을 지원했다. WFP는 현재 PSNP에 대한 극한가뭄 보험에 가입했다(World Bank, 2006b). 식품위기가 발생할 경우 PSNP는 심각한 가뭄 상황에서도 즉각적으로 현금을 지급함으로써 인명을 구할 수 있다(Hess 등, 2006). 그러나 이러한 지급이 생계를 회복하기에 충분한 것은 아니다(World Bank, 2006b). 극한가뭄이 발생할 경우 추가적인 자금을 제공하고 위해 WFP는 지수기반 계약(경우에 따라 기상 파생상품을 의미)을 설계했다. 자금의 규모는 계약에 따라 에티오피아 가뭄지수(Ethiopia Drought Index: EDI)에 근거한 강수 부족을 토대로 한다. EDI는 에티오피아의 다양한 농업 지역을 대표하는 26개 기상 관측소에서 측정한 강수량을 토대로 산출된다. 2006년 WFP는 국제 재보험기관을 통해 EDI에 기반한 보험계약에 성공했다(Hess 등, 2006). 인도와 말라위의 소액보험 프로그램과 달리, 이러한 제도의 단점은 도덕적 해이를 동반하며 가뭄 사후 정부 지원에 대한 의존성을 영구화 할 수 있다는 점이다.

9.2.13.4.3. 정부 간 위험 공유: 카리브해 재난위험 보험기관 (Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility: CCRIF)

2007년 카리브해 지역에서 세계 최초로 지역 대재해 보험 풀인 카리브해 재난위험 보험기관(Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility)이 설립되었다(7.4.4절에서 논의). 이 기관에 참여한 16개 정부는 허리케인과 지진과 같은 대재해와 관련된 비용을 보장하는 보험을 확보했다(Ghesquiere 등, 2006; World Bank, 2007). 몇몇 참여 국가들의 경우 지난 수십 년 간 재해로 인해 엄청난 경제적 손실(GDP에서 차지하는 비중으로 측정)을 경험했다(CCRIF, 2010).

CCRIF의 목표는 참여 국가들의 예상 발생 비용의 일부를 보장하기 위해 즉각적인 유동성을 공급하는 한편 회복 및 재건을 위한 구조와 지원을 제공하는 것이다. 모든 비용이 보장되는 것은 아니기 때문에 CCRIF는 각 정부에 위험 저감 및 기타 위험 이전 수단에 투자하기 위한 인센티브를 제공한다. 참여 비용은 각 국가의 추정 위험(발생 가능성 및 비용으로 측정)을 토대로 산출된다. 각국 정부가 개별적으로 보험에 가입했을 때와 비교해 보험 풀의 장점은 위험 분산 덕분에 재보험 비용을 크게 낮출 수 있다는 점이다. 이러한 프로그램을 위한 자금조달은 주로 참여 국가의 책임이지만 지금까지 세계은행이 주최하는 원조회의에 의해 지원되어 왔다.

극한기상이 기후변화에 의해 증가한 정도에 한해서 CCRIF는 재해 위험 저감 및 기후변화 적응에 직접적으로 기여한다. 재해 발생 후 자금 제공을 통해 각국 정부는 중요 기반 시설을 복구함으로써 장기적으로 허리케인으로 인해 인간 및 경제에 미치는 영향을 완화할 수 있다. CCRIF의 경험은 참여 국가의 필요성을 반영한 프로그램 설계의 중요성을 제시한다. 마지막으로 CCRIF는 국가적 책임이 동반될 때 국제적 지원이 어떻게 재해관리를 효과적으로 지원할 수 있는가를 보여준다.

9.2.13.4.4. 결과 – 재해 위험 저감 및 기후변화 적응을 촉진하기 위한 위험 이전의 역할

이러한 사례들이 제시하는 바와 같이, 위험 이전 수단(특히 보험)은 회복 및 생산 활동을 가능하게 함으로써 재해 위험 저감 및 기후변화 적응을 촉진할 수 있다. 보험은 구조, 생계수단 회복, 재건을 위한 금융 수단을 제공함으로써 장기적으로 재해 통계상에 나타나지 않는 간접적인 손실(인적 손실 포함)을 줄일 수 있다. 이러한 점에서 위험 이전 수단은 극한기상 현상으로 인한 사후 손실을 줄이는 데 직접적인 역할을 한다. 이는 일반적으로 적응의 예로 인식된다. 또한 보험에 가입한 가계와 기업들은 더 명확하게 계획을 수립하고 보험이 제공하는 안전망 덕분에 위험하지만 비용 효율적인 투자를 실행할 수 있다. 이는 궁극적으로 극한기상에 대한 취약성을 줄임으로써 기후변화 적응에 기여한다.

선진국의 경험은 다음과 같이 보험 및 기타 위험 이전 수단이 DRR 및 CCA를 촉진하는 또 다른 방법을 제시한다.

- 구체적인 위험 분석을 요구한다는 점에서, 위험 이전 수단은 인식을 개선하는 동시에 대응 및 감소 노력에 관한 가치 있는 정보를 제공할 수 있다. 가령 일부 선진국의 경우 보험기관들은 다른 파트너들과 함께 공개적으로 이용할 수 있는 홍수 및 기타 위험 지도를 개발했다(Botzen 등, 2009; Warner 등, 2009). 위험 평가, 유용한 정보의 보급, 교육 및 일부 지역의 언어 장벽 극복과 관련된 기술적 어려움은 잠재적인 과제이다.
- 보험은 위험의 가격을 설정함으로써 취약성 및 노출을 줄이는 투자 및 행동을 촉진하기 위한 인센티브를 제공할 수 있는데, 보험료 할인이 그러한 예다. 차별적인 보험가격은 고위험 지역에 건축을 막는데 효과적이다. 가령 영국 보험기관들은 위험 구간에 따라 홍수 보험의 가격을 설정하고 있다. 그러나 이들은 다른 유형의 완화 수단(예. 허리케인에 대비한 창문 및 문 강화)에 대해 보험료 할인을 제공하지 않는 경향이 있다(Kunreuther and Roth, 1998; Kunreuther and Michel-Kerjan, 2009). 보험 위험가격의 인센티브 효과는 위험 기반 보험료를 지불할 수 없는 계층에 대한 보험 침투율 증가의 이익과 비교되어야 한다. 또한 보험에 제공하는 긍정적인 인센티브 때문에 부정적인 인센티브 또는 도덕적 해이가 가려져서는 안된다.
- 보험기관 및 기타 공급자들은 위험 저감을 유도할 수 있다. 가령 가계 및 기업의 보험가입 조건으로 화재 안전 수단을 요구하는 계약 조건을 제시할 수 있다(Surminski, 2010). 미국의 국가홍수보험프로그램(National Flood Insurance Program)은 주민들을 위한 보조금 정책을 조건으로 제시함으로써 커뮤니티에 위험을 줄일 것을 요구한다(Kunreuther and Roth, 1998; Linnerooth-Bayer 등, 2007). 위에서 언급한 바와 같이 WFP는 기상 파생상품 지원을 조건으로 제시함으로써 위험 저감 활동을 요구할 수 있다.
- 공급자들은 정부 및 커뮤니티와 협력하여 적절한 규제 프레임워크를 수립할 수 있다. 가령 토지이용 계획, 건축 법규, 위기 대응, 기타 위험 저감 정책을 촉진할 수 있다. Ungern-Sternberg (2003)에 의하면 위험 및 보험료 감소에 있어서, 재해보험 공급 독점권을 갖는 스위스의 각 주들이 민간 시스템보다 더 뛰어난 성과를 달성하고 있다. 이는 공공독점이 위험 저감과 관련이 있는 토지이용 계획 기관, 소방기관, 기타 공공기관 등에 대한 접근성을 높이기 때문이다. 많은 국가에서 보험기관들은 공동 연구기관 및 재해관리 센터를 운영하고 있으며, 정부와 협력하여 공공 보호 수

단에 대한 계획 및 투자를 개선하고 있다(Surminski, 2010).

9.2.13.5. 교훈

정부와 가구, 기업은 재해 회복 능력을 제한하는 유동성 부족을 경험할 수 있다(높은 신뢰수준). 증거에 의하면 위험 이전 수단이 이러한 부족을 줄이고 회복능력을 개선할 수 있다.

다양한 위험 이전 수단 중에서도 보험이 가장 일반적이다. 국제 공동체의 지원과 함께 위험 이전은 지방, 국가, 국제적 차원에서 개발도상국의 현실적인 수단이 되고 있다. 그러나 미래는 여전히 불확실하다. 지수기반 계약은 거래 비용과 도덕적 해이를 크게 낮춘다(보통 신뢰수준). 보험은 전통적인 금융 수단 보다 더 많은 비용을 요구하지만 재해 발생 사전(생산성 투자를 가능하게 함으로써) 및 사후(재건 및 회복을 가능하게 함으로써) 모두에서 이익이다(보통 신뢰수준). 보험을 비롯한 위험 이전 수단은 회복 능력을 높이고 취약성을 감소시키며 위험 저감을 위한 지식과 인센티브를 제공함으로 재해 위험 저감 및 기후변화 적응과 연계될 수 있다(보통 신뢰수준).

9.2.14. 재해 위험 저감 및 대응을 위한 교육, 훈련, 대중인식의 개선 계획

9.2.14.1. 서론

사람들이 충분한 정보를 제공 받고 위험을 예방하고 회복능력을 구축하도록 동기를 부여 받을 때 재해가 크게 감소할 수 있다(UNISDR, 2005b). 재해 위험 저감 교육은 광범위하다. 초·중등 교육, 훈련과정, 학계 프로그램, 전문 직업 및 기술 훈련(UNISDR, 2004), 공동체 기반 평가, 미디어, 인식개선 캠페인, 전시, 기념활동, 특별 행사 등을 통한 담론의 공개화 등이 여기에 포함된다(Wisner, 2006). 주제의 광범위함을 고려했을 때, 이 사례 연구에서 제시하는 다양한 국가의 초등교육과 훈련프로그램, 인식개선 캠페인 사례는 소수에 불과하다.

9.2.14.2. 배경

효고 행동 계획은 "지식과 혁신, 교육을 이용해 모든 차원에 걸친 안전문화 및 회복능력을 구축할 것"을 요구한다(UNISDR, 2005b). 그러나 현황 보고에 의하면 실행 경과가 미미한 수준에 그치고 있다(UNISDR, 2009c). 교육자의 능력 부족, 가난한 도시 및 농촌 지역의 욕구 해소 어려움, 방법 및 도구의 검증 어려움, 경험 공유의 어려움 등이 과제로 꼽힌다. 긍정적인 것은 2006-2007년에 실시된 국제 캠페인인 "재해 위험의 저감은 학교로부터 시작된다(Disaster Risk Reduction Begins at School)"가 인식을 개선하는 데 큰 역할을 했다는 점이다. 이를 통해 55개 정부가 인식 개선활동을 수행하고 22개 국가가 교육 및 훈련 자료 개발, 학교 실습 프로그램 도입, DRR 교사 훈련 실행 등을 통해 더 안전한 학교를 만드는 데 성공했다고 보고했다(예: 자카르타와 인도의 175개 학교가 재해 대비 계획을 개발했다)(UNISDR, 2008b). 또한 2005-2014 UN 지속가능발전교육(United Nations Decade of Education for Sustainable Development)의 실행 계획은 지속 가능한 발전의 핵심 요소로서 재해감소에 기반한 지식의 향상을 추구한다.

재해 저감 및 적응 활동에 대한 아동의 참여가 새로운 경향으로 대두되고 있는데, 이에 따라 아동을 변화를 위한 효과적인 행위자로 이해하는 인식이 점차 증가하고 있다(Mitchell 등, 2009). 아동의 참여는 DRR 및 적응 학습이 유지될 가능성을 높인다(Back 등, 2009). 다섯 개 NGO에 대한 보고서(Twigg and Bottomley, 2011)에 의하면, 아동 및 청년이 포함된 DRR 활동에는 위험 파악 및 대비를 위한 행동계획, 교사 및 학생 훈련, DRR 교육과정 개발, 청년 주도 예방 및 저감 활동(예. 맹그로브림 및 나무 보존), 인식개선(예. 동료 간에 정보 교환 및 아동의 연극을 통해), "아동의 목소리와 행동을 촉진하고 지원하기 위한 로비 및 네트워크 활동" 등이 포함된다.

DRR 교육 계획은 자연재해에 대한 지식을 전달하는 것뿐 아니라 주변의 위험을 파악하고 감소하기 위한 활동에 사람들을 참여시킴으로써 행동의 변화를 유도하는 것을 목표로 할 때 효과적이다. 공식적인 교육에서 재해 위험 교육은 학교에 한정되지 않고 가정과 커뮤니티까지 포함해야 한다(Shaw 등, 2004). 수업은 지식을 창출하는 역할을 한다. 특히 시각 자료를 통한 발표와 다른 학생과의 대화를 통한 팔로업이 동반될 때 그 효과가 더 높다. 그러나 학교교육과 함께 가정 및 커뮤니티 학습, 자기학습이 이뤄질 때 지식이 행동 변화로 이어질 수 있다(Shaw 등, 2004).

9.2.14.3. 전략 설명

9.2.14.3.1. 학교 교육과정

교육과정에 DRR을 통합하는 국가들이 늘고 있다. 각 국가들은 2015년까지 모든 학교 교육과정에 DRR 교육을 통합하기 위한 목표를 수립하고 있다(UNISDR, 2009c). 또한 기후변화 및 DRR 교육을 통합하기 위한 정책도 증가하고 있다. 필리핀의 프로그램이 그러한 예이다. 중요한 것은 필리핀의 새로운 재해 위험 저감 및 기후변화 법률이 DRR 및 기후변화를 학교 교육과정에 포함하도록 의무화하고 있다는 점이다. 그러나 이러한 법률에 앞서 다음의 사례가 선행되었다.

아시아재해예방센터(Asian Disaster Preparedness Centre)와 UN개발계획(UN Development Programme)은 국가 재해대책위원회(Disaster Coordinating Council) 및 유럽연합 인도적 구호 및 시민보호 위원회(European Commission Humanitarian Aid and Civil Protection)와 함께 재해 위험 저감을 중등 교육과정에 통합하기 위해 필리핀과 캄보디아, 라오스의 교육부를 지원했다. 각 국가 팀은 초기 모듈을 개발하고 이를 각 국가별 필요에 맞추어 수정했다.

필리핀의 경우 기후변화 및 화산 위험을 재해 위험 저감 교육과정에 추가했다. 관련 교과는 우선 "기후변화란 무엇인가"를 다루고 "그 영향이 무엇인가"를 묻는다. 그리고 마지막으로 "기후변화로 인한 영향을 완화하기 위해 무엇을 할 수 있는가"를 질문한다. 또 다른 교과는 기후시스템, 태풍, 열파, 산사태에 초점을 맞춘다(Luna 등, 2008). 필리핀의 최종 재해 위험 저감에 대한 교과목 단위는 중등 1학년(7학년)을 대상으로 하는 과학 분야의 12과와 사회 분야 16과로 통합되었다(Luna 등, 2008). 각 과는 그룹활동과 학생에 대한 질문, 교사가 수업에서 다루어야 할 주제, 습득한 지식의 적용, 학생에 의한 학습 평가 방법을 포함한다(Luna 등, 2008). 프로젝트 보고에 의하면 여학생 548명을 포함한 1,020 명의 학생이 재해 위험 저감 및 기후변화에 관해 학습했다. 23명의 교사가 4일간의 오리엔테이션에 참여했다. 이외의 교사 및 관련자 75명이 다른 사람을 가르치고 국가 전역에 경험을 공유하기 위한 훈련을 받았다(Luna 등, 2008).

9.2.14.3.2. 재해 위험 저감 및 적응을 위한 훈련

재해 위험 저감 및 적응을 교육과정에 효과적으로 통합하기 위해서는, 변화를 유도하기 위한 실질적인 문제 및 교육학적인 도구(실습 및 체험 학습)에 관한 교사들(첫 임명 교사 및 재직 교사)의 훈련이 필요하다(Shiwaku 등, 2006; Wisner, 2006). 교육프로그램 지지자들은 다른 주제들로 포화상태인 교육과정에 재해 위험 저감 및 적응을 통합하기를 거부하는 교사들을 설득할 필요가 있을 수 있다. 교육부 및 학교장과의 협력이 교사들의 협조를 이끌어내는 데 도움이 될 수 있다(UNISDR, 2007b; World Bank 등, 2009). 인도네시아의 다음 프로그램과 네팔의 평가 결과는 효과적인 교육에 있어서 교사의 참여가 중요하다는 사실을 보여준다. 네팔, 파키스탄, 인도의 사례들은 건축업자에 대한 훈련에 초점이 맞춰져 있다. 이러한 훈련에서 건축업자들은 신기술을 학습하고 전문가의 지도 하에 이러한 기술을 체험했다(World Bank 등, 2009).

인도네시아에서는 2005년 독일의 지원 하에 교사 훈련을 제공하는 초등학교 재해인식(Disaster Awareness in Primary Schools) 프로젝트를 시작했다. 이 프로젝트는 현재까지 진행 중이다. 2007년까지 이 프로젝트를 통해 2,200명의 학교 교사들이 DRR 훈련을 받았다. 프로젝트 시행자들은 기존 교수방법이 적극적인 학습을 유도하지 못한다는 사실을 깨달았다. 학생들은 교사의 발표를 듣고 암기하기만 할 뿐 개념과 프로세스를 제대로 이해하지 못했다. 교사들이 생명을 위협하는 불완전한 정보(예: 대피로와 관련한 정보)를 전달하지 않도록, 수업에 있어서 명확성과 끈기가 중요하다는 사실이 훈련을 통해 강조됐다. 또한 전문용어는 피하고 시각자료와 활동이 권장되었다. 교사들은 특별히 주의를 기울이고 응급처치 과정과 같은 실습활동에 참여함으로써 적극적인 학습을 유도할 것을 요청 받았다. 훈련에 대한 교과목을 기술식으로 작성하고 체계적인 교과계획 모형을 따름으로써 교사들의 전통적인 교수방법과의 연관성이 유지되었다. 또한 교사들의 교과 요구사항 및 일정에 과중한 부담을 주지 않기 위해, 교과목을 설계함에 있어서 언어, 체육, 교육과 같은 다양한 과목과 통합하고 최소한의 준비만을 요구했다(UNISDR, 2007b).

교토대학 연구자들은 네팔의 40개 학교에서 교사 130명을 대상으로 지식과 인식을 평가했다. 이중 대부분은 재해 교육 전달에 참여하고 있었다(Shiwaku 등, 2006). 이 설문조사 결과, 개별 교사들의 인식에 따라 전달되는 재해 위험 교육의 내용이 달라지는 것으로 나타났다. 교사들은 개인의 경험과 관련 지을 수 있는 재해의 영향에 초점을 맞추는 경향이 있었다. 연구자들은 네팔의 재해 위험 교육을 개선하기 위해서는 교사훈련이 가장 중요한 단계라고 결론내렸다. 많은 사회연구에서 교사훈련의 필요성을 보고되었지만, 설문조사 분석은 특정 수업을 통한 학습보다는 DRR을 모든 과목에 통합하도록 훈련 프로그램을 설계할 것을 권장한다(Shiwaku 등, 2006).

네팔 국가지진기술협회(National Society of Accountants)는 2007년 5개월간 석공, 목수, 철근 절곡 기술자, 공사 감독자를 대상으로 대규모의 훈련 프로그램을 실행하고 위험-회복 건축 관행 및 자재에 관한 정보를 전달했다. 카트만두와 다섯 개 지자체의 참여자들은 다른 전문가들을 가르치기 위한 작업그룹을 형성했다. 프로젝트가 성공하면서 인도 NGO들과 함께 석공-교환 프로그램이 설계되었다. 이 프로그램을 통해 네팔의 석공들은 인도 구자라트로 파견되어 지역 석공들에게 안전한 건축을 위한 이론과 관행을 전달했다. 또한 인도 우타르프라데시(Uttar Pradesh) 주 정부는 각 구역에서 지방 엔지니어링 서비스에 종사하는 두 명의 주니어급 엔지니어를 훈련시켜 감독기능을 수행하도록 하고 학교장 및 마을 교육위원회에 건축관리를 위임했다. 필리핀 교육부는 2006년 태풍을 겪은 후 학교장에게 내풍 교실의 수리 및/또는 건축을 관리할 책임을 부여했다. 교육부 엔니지어들이 평가, 설계, 조사 기능을 담당하고 조달에 대한 감사 기능을 지원한다(World Bank 등, 2009).

9.2.14.3.3. 대중의 인식 개선

심리적, 사회적 측면의 위험 인식에 대한 통찰 외에도, 소셜 마케팅이 위험 저감 교육의 효과를 높일 수 있다. 여기에는 커뮤니티 참여 및 문화 지표를 이용한 커스터마이징을 통한 주인의식 창출, 커뮤니티 인식의 통합과 커뮤니티 리더들의 적극적인 참여, 양방향 커뮤니케이션 및 하나의 목소리로 하나의 메시지를 전달하기 위한 노력(여러 파트너들이 참여하는 경우), 성과 평가 및 측정 등이 포함된다(Frew, 2002).

UNISDR 효고 행동 계획 중기평가(Hyogo Framework Mid-Term Review)에 의하면(UNISDR, 2011a), DRR 캠페인이 대중 행동과 책임부여로 전환된 것은 소수에 불과하다. 그러나 중앙아메리카와 카리브해의 경우 라디오와 드라마를 비롯한 미디어가 중요한 역할을 함으로써 캠페인의 성공을 이끌었다. 또한 UNISDR 평가에 의하면, 위험 수용의 수준이 높은 커뮤니티에서 위험인식이 향상되었다. 일부 문화에선 경고 또는 부정적인 뉴스(예: 재해 위험에 관한 정보)의 보급이 부정적으로 인식된다(UNISDR, 2011a). 다음의 브라질, 일본, 카슈미르는 위험 저감에 대한 인식 개선의 모범 사례를 제시한다.

2007년부터 2009년 사이 브라질 산타카탈리나(Santa Catarina) 주 민방위부는 장관행정실과 주 대학교의 지원 하에 대중인식개선 계획을 실행했다. 이 프로그램의 목표는 자연현상 및 인간활동에 의해 발생하는 자연재해에 대한 사회적 취약성을 줄이는 것이다(SCSCDD, 2008a,b). 프로그램 실행 후 2년간 초등학교 1, 2, 3, 4학년에게 2,000여개의 교육자료가 무료로 배포되었다. 또한 학생들은 그림 및 슬로건 대회에 참여했으며 그 결과가 2010년 달력으로 제작되었다. 위험에 대한 대중의 인식 개선이라는 목표 하에 프로젝트는 미디어 및 소셜 네트워크와 협력하여 커뮤니케이션 네트워크를 생성하고 이를 통해 위험과 재해에 관한 정보 보급을 촉진했다(SCSCDD, 2008a,b). 프로그램은 가장 취약한 인구에 초점을 맞추었다. 산사태에 취약한 언덕에 위치해 있는 16개 커뮤니티를 위한 시범 프로젝트에서 위험 저감에 관한 44시간 과정의 교육이 실행되었다. 커뮤니티 참여자들은 즉시 이용 가능한 위험지도와 저감 전략을 작성했다. 과정에서는 폭우로 인한 위기상황이 제시되었다. 즉, 시범 프로젝트 지역의 10개 주택이 소실되고 50개 이

상의 주택이 위험에 처했을 경우가 가정되었다. 참여자들의 위험 저감 계획들은 쓰레기와 큰 바위의 제거 및 장벽 구축을 강조했다. 또한 참여자들은 협력을 위한 공공기관을 파악하고 필요한 서비스 비용을 파악했다. 훈련은 기후변화에 관한 워크숍과 커뮤니티 리더들이 학습한 재해 위험 저감 교훈에 관한 발표로 마무리되었다(SCSCDD, 2008c). 국제적인 재해 위험 저감에 관한 과정이 진행되는 날, 커뮤니티와 민방위부, 기타 공공기관의 대표자들은 위험에 노출된 언덕에 위치한 마을을 방문하여 나무를 심고 위험 지역임을 알리는 표지판을 설치하였으며, 교육자료를 배포하고 위험에 관한 토론을 진행했다. 토론의 주제 중 하나는 부적절한 쓰레기 처리와 그로 인한 배수시설의 막힘이 홍수, 범람을 유발한다는 것이다(SCSCDD, 2008d).

2004년 발생한 태풍은 도시지역인 사이조(Saijo)시에 범람을 일으켰고. 산사태도 발생시켰다(Ehime Prefecture of Shikoku Island, Japan). 이로 인해 대중인식 개선 캠페인이 실행되었다. 사이조 시는 반농촌 산악 지역을 포함하는 작은 도시로 재해 위험 저감에 있어서 상대적으로 독특한 과제에 직면해 있다. 일본의 경우 청년층이 작은 커뮤니티를 떠나 더 큰 도시로 이동하는 경향이 있다. 결과적으로 일본의 작은 도시들의 평균 인구 연령은 전국 평균보다 더 많다. 상호지원과 위기상황 대비를 위한 커뮤니티 시스템에서는 신체 건강한 청년층의 인구가 중요하다. 이러한 점에서 일본의 작은 도시들은 특별한 과제를 안고 있다. 사이조 시는 도시 평지 지역과 반농촌지역, 고립된 언덕 및 산악 지역, 해안 지역으로 구성되어 있어 다양한 지형이 혼합되어 나타난다(Yoshida 등, 2009; ICTILO 등, 2010). 이러한 특징은 또 다른 과제를 제기한다. 2005년 사이조 시 정부는 학생들을 대상으로 하는 프로그램을 통해 도시가 직면한 과제들을 해결하기 위해 위험 인식 개선 프로젝트를 실행했다. 12세 아동을 대상으로 하는 이 프로젝트는 산비탈에 초점을 맞춘 "산악지역-감시"와 도시지역에 초점을 맞춘 "도시지역-감시"로 구성되어 있다(ICTILO 등, 2010). 교사, 산림 관계자, 지역 주민, 지방행정부 담당자의 동반 하에 학생들은 위험교육을 위한 현장학습에 참여했다. 산에서 도시 거주 아동들은 노인 거주자들을 만나 도시가 직면한 위험에 관해 함께 학습하였다. 2004년 발생한 태풍으로부터 학습한 교훈을 되새기는 과정도 프로그램에 포함되었다. 또한 '산악 및 도시지역 감시' 안내서가 개발되었고 재해교육을 위한 교사협회와 아동 재해예방 클럽, 아동 재해예방 포럼이 형성되었다(Yoshida 등, 2009; ICTILO 등, 2010). 이는 프로그램 계획과 실행 모두에 지방 정부가 참여한 예이다. 시 정부는 여러 이해관계자들을 이끌고 커뮤니티 기반의 재해 위험 인식 개선 계획을 주도함으로써 독자적인 프로그램 운영이 가능해졌다. 정부 지원을 통해 재해감소 및 교육 부서의 전문가들이 투입되었다. 또한 정부는 도시와 산악지역의 감시를 위한 자금을 지원하고 연례포럼을 실행하고 있다(ICTILO 등, 2010).

히말라야 환경교육센터(Centre for Environment Education: CEE)는 히말라야 카슈미르의 50개 마을과 2,000개의 학교를 대상으로 재해 위험 저감 및 기후변화 교육 캠페인을 실시했다. 학교에서 교사와 학생들은 신속한 시각적인 위험평가를 통해 취약성 및 위험 지도를 작성하고 학교를 위한 재해관리 계획을 준비했다. 선정된 학교에는 재해대응 팀이 구성되어 인명구조 기술과 안전한 대피에 관한 훈련을 제공했다(CEE Himalaya, 2009). 히말라야 CEE는 2009년 국제 산악의 날을 기념해 교육자들과 함께 일주일간 기후변화 적응 및 재해 위험 감소를 위한 행사를 실시했다. 교사와 간더발(Ganderbal) 교육부 공무원을 포함한 150명의 사람들이 이 행사에 참여했다(CEE Himalaya, 2009). 참여자들은 수자원 가용성, 미기후 변동성, 농업과 원예, 기타 생계수단에 미치는 영향, 자연재해에 대한 취약성을 중심으로 지방 맥락에서 기후변화로 인한 영향을 파악했다. 또한 이 행사에서 학교재해관리계획(School Disaster Management Plans: SDMP)의 개념이 소개되었다. 참여자들은 그룹 활동을 통해 자신의 학교를 위한 SDMP를 적극적으로 작성하고 마을의 긴급사태 계획에 관해 의견을 교환했다(CEE Himalaya, 2009). 토의에서 참여자들은 기후변화로 인해 관찰되는 영향과 관련해 빙하 녹음, 축소, 소멸, 습지의 건조화 등의 주제를 논의했다. 또한 과도한 산림벌채, 야생생물의 감소 및 멸종, 심각한 토양 침식, 수역 매몰, 작물 생산량 감소, 사료용 꼴 및 비목재용 수목 감소 등이 기타 관련 주제로서 논의되었다(CEE Himalaya, 2009). 참여자들은 기후변화에 관한 다큐멘터리를 감상하고 우르두어 버전의 '위험지대: 재해 방지에 대해 배우자! (Riskland: Let's Learn to Prevent Disasters)' 게임을 했다. 이들은 재해 위험 저감 및 기후변화에 관한 교육 자료를 받고 이를 카슈미르에 맞게 수정했다.

9.2.14.4. 교훈

위에서 언급한 다양한 프로그램을 통해 도출할 수 있는 주요 교훈은 지하저장고에서는 효과적인 DRR 교육이 발생할 수 없다는 것이다. 일본과 브라질, 히말라야의 예에서 보듯이 성공적인 프로그램은 위험 저감을 위한 행동 변화를 유도하는 참여자들의 적극적인 참여와 폭넓은 커뮤니케이션이 뒷받침되어야 한다(Shaw 등, 2004; Wisner, 2006; Bonifacio 등, 2010). 참여자들의 적극적인 참여에 관한 교훈:

- 커뮤니티 위험 평가, 다른 사람들과 위험에 관한 토론, 학교 및 커뮤니티 포럼을 통한 위험 저감 활동 참여 등이 적극적인 학습 기회를 제공한다. 재해 위험 저감 및 적응 프로그램에서 취약성 및 능력 평가에 대한 아동을 비롯한 커뮤니티 구성원의 참여가 효과적이다(Twigg and Bottomley, 2011; 히말라야 사례 참고).
- 시각자료를 이용한 양방향 학습이 효과적인 지식 구축으로 이어진다(Shaw 등, 2004; 인도네시아 교사훈련 사례 참고). 또한 이러한 학습과 함께 교실을 벗어나 동료 및 가족과의 토의 및 행동이 수반되어야 한다(Shaw 등, 2004; Wisner, 2006).

위에서 제시된 추가적인 교훈 및 모범관행은 다음을 포함한다:

- 기후변화 정보와 DRR 교육과의 통합, 이 두 가지와 다양한 주제의 통합은 간단하고 효과적이다. 필리핀 사례는 이러한 통합이 진행 중임을 보여준다. 인도네시아의 교사 훈련 사례는 그러한 통합이 전체 교육과정의 부담을 피하는 데 도움이 될 수 있음을 보여준다.
- 관련 분야의 교사 및 전문가 훈련은 긍정적인 승수효과를 창출할 수 있다. 네팔의 교사 평가 사례는 교사훈련이 위험의 자기지각을 해결하고 적절한 DRR 지식을 습득하는 데 중요하다는 점을 보여준다. 네팔, 인도, 필리핀의 훈련 사례는 국경간 중요 영역 내에서 DRR 방법 및 도구의 성공적인 보급의 사례를 제시한다.

현재 적응 및 DRR 정책의 추가적인 예를 제공하는 것 외에, 나이로비 작업 계획(nairobi work programme) 파트너들이 취한 정책에 관한 UN기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change) 종합보고서는 교육, 훈련, 인식개선과 지속적인 프로세스 및 관행과의 통합 활동이 그러한 활동의 장기적인 성공의 핵심이라고 결론내렸다(UNFCCC, 2010).

9.3. 사례 연구를 통해 파악된 교훈의 요약

본 장은 교훈과 모범사례를 습득하기 위해 극한기후 현상과, 취약지역, 방법론적 접근법에 대해 살펴본다. 사례 연구는 이 보고서에 맥락 및 가치를 더하기 위해 제공되었다. 이들은 현상에 관한 초점화된 분석과 전달에 기여한다: 특정 극한 현상의 증가 양상, 인적 손실 및 재정적 피해의 정도, 대응 전략 및 개입, DRR, DRM, CCA 수단 및 그 효과, 결과에 영향을 미칠 수 있는 문화적, 지역적 요소. 중요한 것은 사례 연구가 제공하는 매체를 통해 기후변화 적응에 적용 가능한 성공적인 교훈을 학습할 수 있다는 점이다. 사례 연구에서 파악된 교훈들은 극한 현상 및 재해에 대한 대응과 기후변화 적응 노력과 관련해 개인에서부터 국가 및 구제 기관에 이르기까지 다양한 차원에서 유용한 것으로 입증될 것이다.

사례 연구는 여러 가지 반복적인 주제와 교훈을 강조한다.

사례 연구에서 공통적으로 제시되는 것은 조기 경보를 비롯해 사건 발생 전 위험에 관한 정보의 필요성이다. 조기경보시스템은 인명 및 자산 손실을 줄여준다. 극한기후 현상에 관한 사례 연구(열파, 산불, 가뭄, 조드, 사이클론, 홍수, 전염병)에 의하면, 이러한 조기경보시스템은 극한 현상의 영향을 줄여주는 핵심 요소이다. 일부 사례 연구에서 국제협력 및 예측에 대한 투자를 개선할 필요성이 예측되었다. 한편 사례 연구 전반에 걸쳐 지역 및 지방 조기경보시스템이 크게 강조되었다(특히, 개발도상국을 중심으로).

공통적으로 발견되는 또 다른 요소는 극한 현상에 대응하는 데 투자하는 것보다 예방에 기반한 DRR 계획, 전략, 적응 도구에 투자하는 것이 더 효과적이라는 점이다. 위험 및 취약성 감소 수단에 대한 투자 증대뿐 아니라 대응 및 복구 역량 개발의 이점도 사례 연구를 통해 제시되었다. 극한 현상에 대한 계획의 구체적인 예에는 가뭄 대비, 도시열파에 대한 계획, 해안 지역의 열대저기압 DRM 전략 및 계획 등이 포함된다. 그러나 SIDS 사례 연구에서 보는 바와 같이, DRR계획 접근법은 여전히 재해구조 및 회복보다 더 적은 관심을 받고 있다.

또한 DRM과 공공보건에 대한 예방이 밀접하게 연관되어 있다는 점이 파악되었다. 경제 개발과 함께 이러한 수단의 강화 및 통합은 극한기상이 건강에 미치는 영향에 대한 회복력을 높이고 기후변화에 대한 적응을 촉진하는 역할을 한다. 극한기상 현상과 인구에 대한 취약성은 서로 상호작용을 하여 전달 사이클에 대한 직접적인 영향 또는 인구이동과 같은 간접적인 영향을 통해 위협적인 전염병을 유발할 수 있다.

또 다른 교훈은 성공적인 DRR 또는 CCA 전략을 실행하기 위해서는 방향 제시, 협력, 효율적인 자금 이용을 보장하는 법률 및 규제 프레임워크가 필요하다는 것이다. 효과적인 법률이 정부의 재해 위험 정책을 위한 프레임워크를 생성할 수 있다는 점에서 사례 연구들은 이러한 노력에 도움이 된다. 이러한 유형의 접근법은 주로 국가 정부에 의해 채택되며, 책임이 지방행정부에 넘겨지지만, 국제적인 거버넌스 및 제도에 대해서도 중요한 메시지를 제시한다. 보다 효과적인 위험 분석을 위해 다른 국가들과의 협력을 촉진하는 프레임워크는 제도적 초점을 기후변화로 이동시키고 그 효과를 유지하는 역할을 한다. 이러한 협력은 지방 차원에서부터 국가차원, 국제적 차원에 이르기까지 차원 전반에 걸쳐 이루어질 수 있다. 이러한 방식에 있어서, 시민사회가 중요한 역할을 한다.

보험을 비롯한 위험 이전 수단들은 위험 및 취약성 감소와 회복을 위한 지식과 인센티브를 제공함으로써 재해 위험 저감 및 기후변화 적응과 연결될 수 있다.

사례 연구들은 효과적인 DRR 교육이 위험 및 손실 감소에 기여하며, 다른 정책들이 함께 실행될 때 교육의 효과가 가장 크다는 사실을 보여준다. DRR 및 DRM 활동의 장기적인 성공을 위해서는 교육, 훈련, 인식개선 관련 활동과 지속적인 프로세스 및 실천과의 통합이 중요하다. 초등교육에서부터 고등교육에 이르기까지 지식에 대한 투자가 상당한 DRR 및 DRM 이익의 창출로 이어진다.

연구는 자연, 사회, 건강, 공학 및 그 적용을 통합하며 우리의 지식을 한층 끌어 올리는 데 기여했다. 모든 사례 연구에서, 위험을 이해하고 미래 위협에 대한 적절한 대응 전략을 보장하기 위한 정보의 필요성이 지적되었다. 또한 조사에 대한 지침 문제가 제시되고 있다. 사례 연구들을 통해 과거 기후 현상을 평가하고 미래에 고려할 수 있는 교훈을 파악했다.

DRR 및 DRM을 통한 대비는 기후변화에 적응하는데 도움이 될 수 있다. 이러한 사례 연구들은 극한기후로 인한 피해를 줄이기 위해 고려될 수 있는 수단에 대한 사례를 제시한다. 지식 증대 및 경보 시스템, 적응기술, 도구 및 예방 수단 등에 대한 투자는 현재로선 비용을 발생시키지만 미래에 비용을 줄이고 생명을 구하는 역할을 할 것이다.

참고문헌

본장에인용된, 일반인이쉽게열람하기어려운비-저널문헌의디지털라이브러리는 IPCC 검토및초고과정의일부로서취합되었고, IPCC 사무국또는 IPCC 실무그룹 II 웹사이트를통해접근할수있다.

Abou Hadid, AF., 2009: Food Production. In: Arab Environment: Climate Change. Impact of Climate Change on Arab Countries [Tolba, M.K. and N.W. Saab (eds.)]. Arab Forum for Environment and Development, Beirut, Lebanon, pp. 63-74, www.afedonline.org/afedreport09/Full%20English%20Report.pdf.

Abrahamson, V., J. Wolf, B. Fenn, S. Kovats, P. Wilkinson, W.N. Adger, and R. Raine, 2008: Perceptions of heatwave risks to health: interview-based study of older people in London and Norwich, UK. Journal of Public Health, 31 (1), 119-126.

Ackers, M.-L., R.E. Quick, c.J. Drasbek, L. Hutwagner, and R.V. Tauxe, 1998: Are there national risk factors for epidemic cholera? The correlation between socioeconomic and demographic indices and cholera incidence in Latin America. International Journal of Epidemiology, 27(2),330-334.

Adelekan, 1.0.,2010: Vulnerability of poor urban coastal communities to flooding in Lagos, Nigeria. Environment and Urbanization, 22(2),433-450.

Ahern, M, R.S. Kovats, P. Wilkinson, R. Few, and F. Matthies, 2005: Global health impacts of floods: Epidemiologic evidence. Epidemiologic Reviews, 27, 36-46.

Ahmad, Q.K. and AU. Ahmed (eds.), 2002: Bangladesh: citizen's perspective on sustainable development. Bangladesh Unnayan Parishad, Dhaka, Bangladesh, 181 pp.

Ahrens, J., and P.M. Rudolph, 2006: The importance of governance in risk reduction and disaster management. Journal of Contingencies and Crisis Management, 14(4),207-220.

AIACC, 2006: Climate Change Vulnerability and Adaptation in the Livestock Sector of Mongolia. A Final ReportSubmitted by P. Batima to Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), Project No.AS 06, International START Secretariat, Washington, DC, 84 pp.

Akbari, H. and S. Konopacki, 2004: Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. Energy, 29(2), 191-210.

Akbari, H., M. Pomerantza, and H. Tahaa, 2001: Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. Solar Energy, 70(3), 295-31 O.

Alajo, S.O., J. Nakavuma, and J. Erume, 2006: Cholera in endemic districts in Uganda during El Nino rains: 2002-2003. African Health Sciences, 6(2), 93-97.

Allard, M., R. Fortier, C Duguay, and N. Barrette 2002: A trend of fast climate warming in Northern Quebec since 1993: impacts on permafrost and man-made infrastructures. Eos Transactions, American Geophysical Union, 83(47), F258.

Allen, CD., M. Savage, D. Falk, K.F. Suckling, IW. Swetnam, I Schulke, P.B. Stacey, P. Morgan, M. Hoffman, and J. Klingel, 2002: Ecological restoration of southwestern ponderosa pine ecosystems: a broad perspective. Ecological Applications, 12, 1418-1433.

Anisimov, OA, D.G. Vaughan, IV. Callaghan, C Furgal, H. Marchant, ID. Prowse, H. Vilhjalrnsson, and H. Walsh. 2007: Polar regions (Arctic and Antarctic). In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and CE. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 653-685.

Asante, K.O., J.S. Famiglietti, and J.P. Verdin, 2005: Current and future applications of remote sensing for routine monitoring of surface water controllers. In: Proceedings Pecora 16 Conf., Sioux Falls, SD, 23-27 October 2005, pp. 1-9.

Asante, K.O., R.D. Macuacua, GA Artan, R.w. Lietzow, and J.P. Verdin, 2007: Developing a flood monitoring system from remotely sensed data for the Limpopo Basin. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45(6), 1709-1714.

Assemblee Nationale, 2004: Rapport de la Commission D'inquete sur les Consequences Sanitaires et Sociales de la Canicule. Assernblee Nationale, France, vols. 1 and 2.

Auld, H.E., 2008: Adaptation by design: the impact of changing climate on infrastructure. Journal of Public Works and Infrastructure, 3, 276-288.

Auld, H., J. Waller, S. Eng, J. Klaassen, R. Morris, S. Fernandez, V. Cheng, and D. Maciver, 2010: The Changing Climate and National Building Codes and Standards. Environment Canada, Ottawa, Canada, ams.confex.com/amsl pdfpapers/174517.pdf.

Australian Government, 2009: Metrological aspects of the 7 February 2009 Victorian fires, an overview. Bureau of Meteorology Report for the 2009 Victorian Bushfires Royal Commission. www.royalcommission.vic.gov.au/ getdoc/f1 eaba2f-414f-4b24-bcda-d81 ff680a0611WII013.001.0012.pdf.

Awuor, CB., VA Orindi, and A Adwerah, 2008: Climate change and coastal cities: The case of Mombasa, Kenya. Environment and Urbanization, 20(1), 231-242.

Back, E., C Cameron, and I Tanner, 2009: Children and Disaster Risk Reduction: Taking stock and moving forward. Children in a Changing Climate, Institute of Development Studies and UNICEF, Brighton, UK, 42 pp.

Badia-Perpinya, A. and M. Pallares-Barbera, 2006: Spatial distribution of ignitions in Mediterranean periurban and rural areas: the case of Catalonia. International Journal of Wildland Fire, 15, 187-196.

Baigalmaa, P., 2010: Community base disaster risk management, Self Sharpen - 2, guideline. In: Strengthening disaster management system in Mongolia, MON/OB/30S project [Boldbaatar, S. (ed.)]. Phase III, United Nations Development Programme, New York, NY, 137 pp., www.un-mongolia.mn/publication/ UN DP _gamshig_04-14.pdf.

Barber, D., J. Lukovich, J. Keogak, S. Baryluk, L. Fortier, and G. Henry, 2008: Changing climate of the arctic. Arctic, 61(1), 7-26.

Barnett, B.J., CB. Barrett, and J.R. Skees, 2008: Poverty traps and index-based risk transfer products. World Development, 36(10),1766-1785.

Barnett, J. and W.N. Adger, 2003: Climate dangers and atoll countries. Climatic Change, 61, 321-337.

Barnett, J. and W.N. Adger, 2007: Climate change, human security and violent conflict. Political Geography, 26(6), 639-655.

Bartzokas, A., J. Azzopardi, L. Bertotti, A Buzzi, L. Cavaleri, D. Conte, S. Davolio, S. Dietrich, A Drago, O. Drofa, A Gkikas, V. Kotroni, K. Lagouvardos, c.J. Lolis, S. Michaelides, M. Miglietta, A Mugnai, S. Music, K. Nikolaides, F. Porcu, K. Sawidou, and M. I. Tsirogianni, 2010: The RISKMED project: philosophy, methods and products. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 1393-1401.

Basher, R., 2006: Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centered. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 364(1845), 2167-2182.

Bastedo, J., 2007: On the Frontlines of Climate Change: Whats Really Happening in the Northwest Territories. Government of the NorthwestTerritories, Yellowknife, Canada, sen. parl. gc. calnsibbesto nIFi na 1%2 Ofor%2 OWE B %2 00r%2 0 Ema i I. pdf.

Batima, P. and D. Dagvadorj (eds.), 2000: Climate change and its Impacts in Mongolia. Mongolian National Agency for Meteorology, Hydrology and Environmental Monitoring (NAMHEM). JEMR, Ulaanbaatar, Mongolia, 227 pp., ISBN 99929-70-35-9.

Batjargal, Z., R. Oyun, S. Sangidansranjav, and N. Togtokh, 2001: Lessons Learned from Dzud 1999-2000 [Batjargal, Z., S. Sangidansranjav, R. Oyun, and N.Togtokh (eds.)]. Case study funded by UNDP, conducted by joint team of National Agency of Meteorology, Hydrology and Environmental Monitoring, Civil Defense Agency, Ministry of Agriculture and JEMR, Ulaanbaatar, Mongolia, 347 pp., ISBN 99929-70-54-7.

Beg, N., J.e. Morlot, O. Davidson, Y. Afrane-Okesse, L. Tyani, F. Denton, Y.Sokona, J.P. Thomas, E.L. La Rovere, J.K. Parikh, K. Parikh, and AA Rahman, 2002: Linkages between climate change and sustainable development. Climate Policy, 2, 129-144.

Begzsuren, S., H. Ellis, D.S. Ojima, M.B. Coughenour, T. Chuluun, 2004: Livestock responses to droughts and severe winter weather in the Gobi Three Beauty National Park, Mongolia. Journal of Arid Environments, 59(4), 785-796.

Benson, e., 2009: Mainstreaming Disaster Risk Reduction into Development: Challenges and Experience in the Philippines. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies and Provention Consortium, Geneva, Switzerland, 60 pp.

Bernard, S.M. and MA McGeehin, 2004: Municipal heat wave response plans. American Journal of Public Health, 94(9), 1520-1522.

Bhatt, M., T. Reynolds, and M. Pandya, 201 0: Disaster insurance for the poor: All India Disaster Mitigation Institute and Afat Vimo. In: Microinsurance -An innovative tool for risk and disaster management [Morelli, E., GA Onnis, w.J. Ammann, and e. Sutter (eds.)]. Global Risk Forum, Davos, Switzerland, pp. 341-353.

Bhattacharya, S., R. Black, L. Bourgeois, J. Clemens, A Cravioto, J.L. Deen, G. Dougan, R. Glass, R.F. Grais, M. Greco, I. Gust, J. Holmgren, S. Kariuki, P.-H. Lambert, MA Liu, I. Longini, G.B. Nair, R. Norrby, G.J.V. Nossal, P. Ogra, P. Sansonetti, L. von Seidlein, F. Songane, A-M. Svennerholm, D. Steele, and R. Walker, 2009: The cholera crisis in Africa, Science, 324(5929), 885.

Black, RA, J.P. Bruce, and I.D.M. Egener, 2010: Managing the Risks of Climate Change: A Guide for Arctic and Northern Communities. Centre for Indigenous Environmental Resources, Winnipeg, Canada.

Bollin, e., N. Lamade, and J. Ferguson, 2005: Disaster Risk Management along the Rio Buzi. Case Study on the Background, Concept and Implementation of Disaster Risk, Management in the Context of the GTZ-Programme for Rural Development (PRODER), German Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Governance and Democracy Division, Eschborn, Germany, 26 pp.

Bompangue, D., P. G iraudoux, M. Piarroux, G. Mutombo, R. Shamavu, B. Sudre, A Mutombo, V. Mondonge, and R. Piarroux, 2009: Cholera epidemics, war and disasters around Goma and Lake Kivu: an eight-year survey. PLoS Neglected Tropical Diseases, 3(5), e436.

Bonifacio, Ae., Y. Takeuchi, and R. Shaw, 2010: Mainstreaming climate change adaptation and disaster risk reduction through school education: perspectives and challenges. In: Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction: Issues and Challenges [Shaw, R., J. Pulhin, and J. Pereira (eds.)]. Emerald Group Publishing, Bingley, UK, pp.143-169.

Borgford-Parnell, N., 2009: Mongolia: a case for economic diversification in the face of a changing climate. Sustainable Development Law & Policy, 9(2), 54-56.

Boruff, B. and S. Cutter, 2007: The environmental vulnerability of Caribbean island nations. The Geographical Review, 97(1), 24-45.

Botha, D., D. Van N iekerk, G. Wentink, e. Coetzee, K. Forbes, Y. Maartens, E. Annandale, T. Tshona, and E. Raju, 2011: Disaster Risk Management Status Assessment at Municipalities in South Africa. South African Local Government Association, Pretoria, South Africa, 108 pp.

Botzen, w.J.w., J.U.H. Aerts, and J.U.M. van den Bergh, 2009: Willingness of homeowners to mitigate climate risk through insurance. Ecological Economics, 68(8-9),2265-2277, doi:1 0.1 016/j.ecolecon.2009.02.019.

Bouchama,A, 2004: The 2003 European heat wave. Intensive Care Medicine, 30(1), 1-3.

Bradstock, RA, J.S. Cohn,AM. Gill, M. Bedward, and e. Lucas, 2009: Prediction and probability of large fires in the Sydney Region of South-eastern Australia using fire weather. International Journal of Wildland Fire, 18, 932-943.

Braman, L., P. Suarez, and M.K. van Aalst, 2010: Climate change adaptation: integrating climate science into humanitarian work. International Review of the Red Cross, 92(879).

Britton, N.R., 2006: Getting the foundation right: in pursuit of effective disaster legislation for the Philippines. In: Proceedings of the Second Asian Conference on Earthquake Engineering, Manila, Philippines, March 2006, 15 pp.

Broad, K. and S. Agrawala, 2000: The Ethiopia food crisis: uses and limits of climate forecasts. Science, 289(5485), 1693-1694.

Brunet, G., M. Shapiro, B. Hoskins, M. Moncrieff, R. Dole, G.N. Kiladis, B. Kirtman, A Lorenc, B. Mills, R. Morss, S. Polavarapu, D. Rogers, J. Schaake, and J. Shukla, 2010: Collaboration of the weather and climate communities to advance subseasonal-to-seasonal prediction. Bulletin of the American Meteorological Society, 91, 1397-1406.

Burnside, R., D.S. Miller, and J.D. Rivera, 2007: The impact of information and risk perception on the hurricane evacuation decision-making of greater New Orleans residents. Sociological Spectrum, 27(6), 727-740.

Burton, I, 2011: Forensic disaster investigations in depth: A new case study model. Environment Magazine, 52(5),36-41.

Bushfire CRC, 2009: Household Mail Survey. Bushfire Co-operative Research Centre report, Bushfire CRC, East Melbourne,Australia, www.bushfirecrc.com/managed/ resource/mail-survey-report-1 0-1-1 0-rt-2.pdf.

Cadot, E., V.G. Rodwin, and A Spiral, 2007: In the heat of the summer: lessons from the heat waves in Paris. Journal of Urban Health, 84(4), 466-468.

Calain, P., J.P. Chaine, E. Johnson, M.L. Hawley, M.J. O'Leary, H. Oshitani, and e.L

Chaignat, 2004: Can oral cholera vaccination playa role in controlling a cholera outbreak? Vaccine, 22(19),2444-2451.

Cardenas, V., S. Hochrainer, R. Mechler, G. Pflug, and J. Linnerooth-Bayer, 2007: Sovereign Financial Disaster Risk Management: The Case of Mexico. Environmental Hazards, 7, 40-53.

Cardona, O.D. and L.E. Yamin, 2007: Informacion para la qestion de riesgo de desastres. Estudio de caso de cinco parses: Colombia. United Nations, Inter-American Development Bank, and Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), 2007, Mexico City, Mexico, 25 pp.

Carmo Vaz, A., 2000: Coping with floods - The experience of Mozambique. In: 1st WARFSAIWaterNet Symposium: Sustainable Use of Water Resources, Maputo, Mozambique, 1-2 November 2000, www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd46/ coping.pdf.

CCRIF, 2010: Annual Report 2009-2010. Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility, Grand Cayman, Cayman Islands.

CEE Himalaya, 2009: Disaster risk reduction in the mountains. Ceenario, 24, December 16-31, Centre for Environment Education, Ahmedabad, India, 4 pp.

Chaignat, c.t.. V. Monti, J. Soepardi, G. Petersen, E. Sorensen, J. Narain, and M.P. Kieny, 2008: Cholera in disasters: do vaccines prompt new hopes? Expert Review of Vaccines, 7(4),431-435.

Chatterjee, M., 2010: Slum dwellers response to flooding events in the mega cities of India. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 15,337-353.

Choularton, R., 2007: Contingency planning and humanitarian action: a review of practice. Humanitarian Practice Network, 59.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A Busuioc, A Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, w.- T. Kwon, R. Laprise, V. Magana Rueda, L. Mearns, e.G. Menendez, J. Raisanen, A Rinke, A Sarr, and P. Whetton, 2007: Regiona I climate projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, pp. 847-940.

Clarke, J., 1972: Some effects of the urban structure on heat mortality, Environmental Research, 5, 93-104.

Cohen, M. and J. Sebstad, 2003: Reducing Vulnerability: the Demand for Microinsurance. MicroSave-Africa, Nairobi, Kenya.

Colwell, R., 1996: Global climate and infectious disease: the cholera paradigm. Science, 274,2025-2031.

Colwell, R.R., 2002: A voyage of discovery: cholera, climate and complexity. Environmental Microbiology, 4(2), 67-69.

Constantin de Magny, G., H. Guegan, M. Petit, and B. Cazelles, 2007: Regional–scale climate-variability synchrony of cholera epidemics in West Africa. BMC Infectious Diseases, 7,20.

Couture, N.J. and W.H. Pollard, 2007: Modelling geomorphic response to climatic change. Climatic Change, 85(3-4), 407-431.

Crabbe, P. and M. Robin, 2006: Institutional adaptation of water resource infrastructures to climate change in Eastern Ontario. Climatic Change, 78,103-133.

CRED, 2009: EM-DA T, Emergency Events Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), universite Catholique de Louvain, Brussels, Belgium, www.emdat.be/.

Cretikos, M., K. Eastwood, C. Dalton, 1 Merritt, F. Tuyl, L. Winn, and D. Durrheim, 2008: Household disaster preparedness and information sources: rapid cluster survey after a storm in New South Wales, Australia. BMC Public Health, 8,195.

CSA, 2010: Technical Guide - Infrastructure in Permafrost: A Guideline for Climate Change Adaptation. Special Publication PLUS 4011-10, Canadian Standards Association, Mississauga, Canada.

Cummins, D. and O. Mahul, 2009: Catastrophe Risk Financing in Developing Countries: Principles for Public Intervention. World Bank, Washington, DC.

Da Silva, J., B. Garanganga, V. Teveredzi, S.M. Marx, S.J. Mason, and S.J. Connor, 2004: Improving epidemic malaria planning, preparedness and response in Southern Africa. Malaria Journal, 3, 37.

Dagvadorj, D., L., Natsagdorj, J. Dorjpurev, and B. Namkhainyam, 2010: Mongolia Assessment Report on Climate Change 2009. Second publication with corrections, Ministry of Nature, Environment and Tourism, Ulaanbaatar, Mongolia, 226 pp.

Daoudy, M., 2009: Asymmetric power: Negotiating water in the Euphrates and Tigris. International Negotiation, 14,361-391.

Davies, M., B. Guenther, J. Leavy, 1 Mitchell, and 1 Tanner, 2008: 'Adaptive social protection': synergies for poverty reduction. IDS Bulletin, 39(4), 105-112.

Davis, c., W, Wang, 5.5. Chen, Y. Chen, K. Corbosiero, M. DeMaria, J. Dudhia, G. Holland, J. Klemp, J. Michalakes, H. Reeves, R. Rotunno, C. Snyder, and Q. Xiao, 2008: Prediction of land falling hurricanes with the advanced hurricane WRF model. Monthly Weather Review, 126, 1990-2005.

De Comarmond,A and R. Payet, 2010: 군소 도서국가: incubators of innovative adaptation and sustainable technologies? In: Coastallones and Climate Change [Michel, D. and A Pandya (eds.)]. The Henry L. Stimson Center, Washington, De. www.stimson.org/images/uploadslresearch-pdfs/Alain.pdf.

De Sherbinin, A,A. Schiller, and A Pulsipher, 2007: The vulnerability of global cities to climate hazards. Environment and Urbanization, 19(1),39-64.

Dear, K., G. Ranmuthugala, 1 Kjellstriim, C. Skinner, and I. Hanigan, 2005: Effects of temperature and ozone on daily mortality during the August 2003 heat wave in France. Archives of Environmental and Occupational Health, 60, 205-212.

Derwent, R.G., P.G. Simmonds, S. O'Doherty, D.S. Stevenson, w,J. Collins, M.G. Sanderson, C.E. Johnson, F. Dentener, J. Cofala, R. Mechler and M. Amann, 2006: External influences on Europe's air quality: baseline methane, carbon monoxide and ozone from 1990 to 2030 at Mace Head, Ireland. Atmospheric Environment, 40, 844-855.

Dobias-Reyes, F.J., R. Hagedorn, IN. Palmer, and J.J. Morcrette, 2006: Impact of increasing greenhouse gas concentrations in seasonal ensemble forecasts. Geophysical Research Letters, 33, LOn08.

Doswell III, C.A., S.J. Weiss, and R.H. Johns, 1993: Tornado forecasting: a review. In: The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards [Church, c., D. Burgess, C. Doswell, and R. Davies-Jones (eds.)]. Geophysical Monograph 79, American Geophysical Union, Washington, De. pp. 557-571.

Dow, K. and S.L. Cutter, 1998: Crying wolf: repeat responses to hurricane evacuation orders. Coastal Management, 26(4), 237-252.

DSE, 2008a: Climate Change in Port Phillip and Westernport. Department of Sustainability and Environment, East Melbourne, Victoria,Australia.

DSE, 2008b: Victoria's State of the Forests Report 2008. Victorian Government, Department of Sustainability and Environment, Melbourne,Australia.

Dyson, L.L. and J. van Heerden, 2001: The heavy rainfall and floods over the northeastern Interior of South Africa during February 2000. South African Journal

of Science, 97, 80-86.

Easterling, w'E., P.K. Aggarwal, P. Batima, K.M. Brander, L. Erda, S.M. Howden, A Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber, and F.N. Tubiello, 2007: Food, fibre and forest products. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and CE. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 273-313.

Ebi, K.L. and GA Meehl, 2007: The Heat Is On: Climate Change And Heatwaves in the Midwest. Pew Center on Global Climate Change,Arlington, VA, 14 pp.

Ebi, K.L., IJ. Teisberg, L.S. Kalkstein, L. Robinson, and R.F. Weiher, 2004: Heat watchl warning systems save lives: estimated costs and benefits for Philadelphia 1995-1998. Bulletin of the American Meteorological Society, 85, 1067-1073.

Ebi, K., N. Lewis, and C. Corvalan, 2006: Climate variability and change and their potential health effects in small island states: Information for adaptation planning in the health sector. Environmental Health Perspectives, 114(12), 1957-1963.

ECLAC, 2006: Caracterfsticas e impacto socioecon6mico de los huracanes "Stan" y "Wilma" en la Republica. Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Santiago, Chile, biblioteca.cepal.orq/recordeb l 096781-50.

EEA, 2003: Air Pollution by Ozone in Europe in Summer 2003. Topic report 3/2003, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

EEA, 2007: Air Pollution by Ozone in Europe in Summer 2006. Technical report 5/2007, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

EEA, 2011: Air Pollution by Ozone across Europe during Summer 2010. Technical report 6/2011, European EnvironmentAgency, Copenhagen, Denmark.

Einstein, H.H. and R. Sousa, 2007: Warning systems for natural threats. Geotisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 1(1),3-20.

El-Quosy, D., 2009: Fresh Water. In: Arab Environment: Climate Change. Impact of Climate Change on Arab Countries [Tolba, M.K. and N.w' Saab (eds.)]. Arab Forum for Environment and Development, Beirut, Lebanon, pp. 75-86, www.afedonline.org/afedreport09/Full%2 0 Eng l ish%2 0 Report. pdf.

Emch, M., C. Feldacker, M. Yunus, P.K. Streatfield, V. DinhThiem, D.G. Canh, and M.Ali, 2008: Local environmental predictors of cholera in Bangladesh and Vietnam. American Journal of Tropical Medicine & Hygiene, 78(5), 823-832.

Environment Canada, 2010: Climate Information to Inform New Codes and Standards. Environment Canada, Ottawa, Canada, www.ec.gc.ca/sc-cs/ default. asp?lang=En&n=20CD1 ADB-1.

Erian, w', B. Katlan, and O. Babah, 2011: Drought Vulnerability in the Arab Region, Case Study - Drought in Syria. Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands and United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/20111en/bgdocs/Erian_Katlan_&_Babah_2010.pdf.

FAO, 2008: FAO's role in the 2008 Syria drought appeal. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.faoiraq.org/images/word/The%20FAO %20proposed%20%20program%20under%20this%20Syria%20I.pdf.

FAO, 2009: FAO's role in the Syria Drought Response Plan 2009. Food And Agriculture Organ ization, Rome, Ita Iy, www.fao.org/fileadmin/templates/tc/tce/pdf/app_syriadrought2 009. pdf.

FAO and NAPC. 2010: National Programme for Food Security in the Syrian Arab Republic. Food and Agriculture Organization and National Agriculture Policy Centre, Rome Italy and Damascus, Syria, www.napcsyr.org/events/ws/ Cs_program/NPFS_fina l_en. pdf.

FAO and WFP, 2000: FAO/WFP Crop and Food Supply Assessment Mission to Mozambique. Food and Agriculture Organization and World Food Programme Special Report, FAO, Rome, Italy.

Field, C.B., L.D. Mortsch, M. Brklacich, D.L. Forbes, P. Kovacs, JA Patz, S.w' Running, and M.J. Scott, 2007: North America. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 617-652.

Filleul, L., S. Cassadou, S. Medina, P. Fabres, A. Lefranc, D. Eilstein, A. Le Tertre, L. Pascal, B. Chardon, M. Blanchard, C. Declercq, J.F. Jusot, H. Prouvost, and M. Ledrans, 2006: The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. Environmental Health Perspectives, 114,1344-1347.

Flannigan, M.D., MA Krawchuk, w,J. de Groot, B.M. Wotton, and L.M. Gowman, 2009: Implications of changing climate for global wildland fire. International Journal of Wildland Fire, 18, 483-507. Flyvbjerg, B., 2004: Five misunderstandings about case-study research. In: Qualitative Research Practice [Seale, c., G. Gobo, H. Gubrium, D. Silverman (eds.)]. Sage Publications, London, UK, pp. 420-434.

Foley, c., 2007: Mozambique: A Case Study In the Role of the Affected State in Humanitarian Action. HPG Working Paper, Humanitarian Policy Group, Overseas Development Institute, London, UK, www.odi.org.uklresources/download/2557.pdf.

Ford, J.D. and C. Furgal, 2009: Foreword to the special issue: climate change adaptation and vulnerability in the arctic, Polar Research, 28, 1-9.

Ford, J.D. and T. Pearce, 201 0: What we know, do not know, and need to know about climate change vulnerability in the western Canadian Arctic: A systematic literature review. Environmental Research Letters, 5, 014008.

Ford, J. and B. Srnit, 2004: A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian Arctic to risks associated with climate change. Arctic, 57(4), 389-400.

Ford, J.D., T. Pearce, F. Duerden, C. Furgal, and B. Srnit, 2010: Climate change policy responses for Canada's Inuit population: the importance of and opportunities for adaptation. Global Environmental Change, 20,177-191.

FORIN, 2011: Forensic Disaster Investigations - The FORIN Project. Integrated Research on Disaster Risk, Beijing, China, www.idrinternational.org/about¬i rd rls c i e ntifi c - co m m itte e/w 0 rk i n g- g ro u p/fo re n sic - i nve sti g a ti 0 n s/.

Fortier, R., A-.M. LeBlanc, and W. Yu, 2011: Impacts of permafrost degradation on a road embankment at Umiujaq in Nunavik (Quebec), Canada. Canadian Geotechnica/Journal, 48, 720-740, doi:1 0.1139fT1 0-1 01.

Fouillet,A, G. Rey, F. Laurent, G. Pavilion, S. Bellec, C. Guihenneuc-Jouyaux, J. Clavel, E. Jougla, and D. Hernon, 2006: Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. International Archives of Occupational & Environmental Health, 80(1),16-24.

Fouillet, AR., V. Wagner, K. Laaidi, P. Empereur-Bissonnet, A Le Tertre, P. Frayssinet, P. Bessemoulin, F. Laurent, P. De Crouy-Chanel, E. Jougla, and D. Hernon, 2008: Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. International Journal of Epidemiology, 37(2), 309-317.

Founda, D. and C. Giannakopoulos, 2009: The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece -A typical summer in the future climate? Global and Planetary Change, 67(3-4), 227-236.

Frew, S.L., 2002: PublicAwareness and Social Marketing. Proceedings of a workshop, Asian Disaster Preparedness Center Regional Workshop on Best Practices in Disaster Management, Bangkok, Thailand, pp. 381-393.

Fritz, H.M., C.D. Blount, S. Thwin, M.K. Thu, and N. Chan, 2009: Cyclone Nargis storm surge in Myanmar. Nature Geoscience, 2, 448-449.

Fuchs, R., M. Conran, and E. Louis, 2011: Climate change and Asia's coastal urban cities. Environment and Urbanization Asia, 2(1), 13-28.

Furgal, C. and T. Prowse, 2008: Northern Canada. In: From Impacts to Adaptation: Canada in a Changing Climate 2007 [Lemmen, D., F. Warren, E. Bush, and J. Lacroix (eds.)]. Natural Resources Canada, Ottawa, Canada, pp. 57-118.

Gagnon-Lebrun, F. and S. Agrawala, 2006: Progress on Adaptation to Climate Change in Developed Countries: An Analysis of Broad Trends. OECD, Paris, France, 11 pp.

Gall, M., K.A. Borden, and S.L. Cutter, 2009: When do losses count? Six fallacies of natural hazards loss data. Bulletin of the American Meteorological Society, 90, 799-809.

Garcia, A, R.M.C. Norland, and K. Mendez Estrada, 2006: Caracterfsticas e impacto socioecon6mico de los huracanes "Stan" y "Wilma" en la Republica Mexicana en 2005. Secreta ria de Gobernaci6n, Centro Nacional de Prevenci6n de Desastres, Mexico.

GEF, 2006: Sustainable Land Management in Least Developed Countries and Small Island Developing States. Global Environment Facility, Washington, DC, www. cndwebzine.hcp.ma/cnd_s i ill M G/pdf/S LM_SupporU n_LDCs_S I DS. pdf.

Ghesquiere, F., O. Mahul, M. Forni, and R. Gartley, 2006: Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility: A Solution to the Short-Term Liquidity Needs of Small Island States in the Aftermath of Natural Disasters. IAT03-13/3, World Bank, Washington, DC.

Giannakopoulos, c., P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou, and C.M.

Goodess, 2009: Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2°c global warming. Global and Planetary Change, 68(3), 209-224.

Gil,Al., V.R. Louis, I.N. Rivera, E. Lipp,A Huq, C.F. Lanata, D.N. Taylor, E. Russek-Cohen, N. Choopun, R.B. Sack, and R.R. Colwell, 2004: Occurrence and distribution of Vibrio cholerae in the coastal environment of Peru. Environmental Microbiology, 6(7), 699-706.

Giuliani, G. and P. Peduzzi, 2011: The PREVIEW Global Risk Data Platform: a geoportal to serve and share global data on risk to natural hazards. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 53-66, doi:1 0.5194/nhess-11-53-2011.

GNDR, 2009: Clouds but Little Rain - Views from the Frontline:A Local Perspective of Progress towards Implementation of the Hyogo Framework for Action. Global Network of Civil Society Organisations for Disaster Reduction, Teddington, UK, 59 pp.

Goddard, L., Y. Aichellouche, W. Baethgen, M. Dettinger, R. Graham, P. Hayman, M. Kadi, R. Martinez, and H. Meinke, 2010: Providing seasonal-to-interannual climate information for risk management and decision-making. Procedia Environmental Sciences, 1, 81-101.

Goodland, A, D. Sheehy, and T. Shine, 2009: Mongolia Livestock Sector Study, Volume 1- Synthesis Report. Sustainable Development Department, East Asia and Pacific Region, World Bank, Washington, DC.

Government of Bangladesh, 2008: Cyclone Sidr in Bangladesh: Damage, Loss and Needs Assessment for Disaster Recovery and Reconstruction. Government of Bangladesh, Dhaka, Bangladesh.

Government of India, 2001: Census of India: (Provisional) Slum Population in Million Plus Cities (Municipal Corporations): Part A. Government of India, Ministry of Home Affairs, Office of the Registrar General and Census Commissioner, New Delhi, India, censusindia.gov.in/Tables_Publishedl Admin_Units/AdminJ inks/slum1_m_plus.html.

Government of Northwest Territories, 2008: NWT Climate Change Impacts and Adaptation Report. Government of Northwest Territories, Yellowknife, Canada, www.enr.gov.nt.caUive/documents/contentlNWT_Climate_Change_Impacts_and_Adaptation_Report.pdf.

Government of Yukon, 2009: Yukon Government Climate Change Action Plan.

Government of Yukon, Whitehorse, Canada, www.env.gov.yk.ca/pdf/ Y G_ C l im ate_ Cha nge_Acti on_P l an. pdf.

Government of Yukon, 2010: Shawak and Permafrost. Government of Yukon, Whitehorse, Canada, www.hpw.gov.yk.ca/trans/engineeringl765.html.

Governments of Northwest Territories, Nunavut, and Yukon. 2010: A Northern Vision: A Stronger North and a Better Canada Pan- Territorial Adaptation Strategy. Governments of Northwest Territories, Nunavut, and Yukon, Canada, www.anorthernvision.ca/strategy/.

Griffith, D.C., L.A. Kelly-Hope, and MA Miller, 2006: Review of reported cholera out¬breaks worldwide, 1995-2005. American Journal of Tropical Medicine & Hygiene, 75(5), 973-977.

Grynszpan, D., 2003: Lessons from the French heatwave. Lancet, 362, 1169-1170. Grynszpan, D., V. Murray, and S. Llossa, 2011: The value of case studies in disaster 부족. Prehospital and Disaster Medicine, doi:1 0.1 0171 S1 049023X11 006406.

Guha-Sapir, D., F. Vos, and R. Below, with S. Ponserre, 2011: Annual Disaster Statistical Review 2010: The Numbers and Trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, universite Catholique de Louvain, Brussels, Belgium, 42 pp. www.cred.be/sites/defaultifiles/ADSR_2010.pdf.

Gurenko, E., 2004: Catastrophe Risk and Reinsurance: A Country Risk Management Perspective. Risk Books, London, UK.

Haile, M., 2005: Weather patterns, food security and humanitarian response in sub¬Saharan Africa. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 360(1463), 2169-2182.

Hajat, S., S.c. Sheridan, M. Allen, M. Pascal, K. Laaidi, A Yagouti, U. Bickis, ATobias, D. Bourque, B.G.Armstrong, and T. Kosatsky, 201 0: Heat-health warning systems: a comparison of the predictive capacity of different approaches to identifying dangerously hot days. American Journal of Public Health, 100(6),1137-1144.

Hallegatte, S. and J. Corfee-Morlot, 2011: Understanding climate change impacts, vulnerability and adaptation at city scale: an introduction. Climatic Change, 104,1-12.

Hansen, J.W, S.J. Mason, L. Sun, and A Tall, 2011: Review of seasonal climate forecasting for agriculture in sub-Saharan Africa. Experimental Agriculture, 47, 205-240.

Hanson, S., R. Nicholls, N. Ranger, S. Hallegatte, J. Corfee-Morlot, and e. Herweijer, 2011: A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. Climatic Change, 104, 89-111.

Harlan, S.L.,AJ. Brazel, L. Prashad, WL. Stefanov, and L. Larsen, 2006: Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. Social Science and Medicine, 63, 2847-2863.

Harris, J.B., M.J. Podolsky, lR. Bhuiyan, F. Chowdhury, AI. Khan, R.e. Larocque, 1 Logvinenko, J. Kendall, A S. Faruque, e.R. Nagler, E.l Ryan, F. Qadri, and S.B. Calderwood, 2009: Immunologic responses to Vibrio cholerae in patients co¬infected with intestinal parasites in Bangladesh. PLoS Neglected Tropical Diseases, 3(3), e403.

Hashizume, M., Y. Wagatsuma, AS. Faruque, 1 Hayashi, P.R. Hunter, B. Armstrong, and DA Sack, 2008: Factors determining vulnerability to diarrhoea during and after severe floods in Bangladesh. Journal of Water & Health, 6(3), 323-332.

Havenith, G., 2001: Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. Journal of Applied Physiology, 90(5), 1943-1954.

Hawkins-Bell, L. and J.T. Rankin, 1994: Heat-related deaths - Philadelphia and United States, 1993-1994. Morbidity and Mortality Weekly Report, 43(25), 453-455.

Health Canada, 2010: Communicating the Health Risks of Extreme Heat Events: Toolkit for Public Health and Emergency Management Officials. Health Canada, Ottawa, Canada.

Hellmuth, M.E., A Moorhead, M.e. Thomson, and J. Williams (eds.), 2007: Climate Risk Management in Africa: Learning from Practice. International Research Institute for Climate and Society, Columbia University, New York, NY.

Hellmuth, M.E., D.E. Osgood, U. Hess, A Moorhead, and H. Bhojwani (eds.), 2009: Index Insurance and Climate Risk: Prospects for Development and Disaster Management. International Research Institute for Climate and Society, Columbia University, New York, NY.

Hellmuth, M., S.J. Mason, e. Vaughan, M.K. van Aalst, and R. Choularton (eds.), 2011: A Better Climate for Disaster Risk Management. International Research Institute for Climate and Society, Columbia University, New York, NY, 118 pp.

Hernon, D. and E. Jougla, 2004: The heat wave in France in August 2003. Revue d'ipidemioloqie et de Sante Publique, 52(3-5).

Hennessy, K., e. Lucas, N. Nicholls, J. Bathols, R. Suppiah, and J. Ricketts, 2005: Climate Change Impacts on Fire-Weather In South-EastAustralia. CSIRO Marine and Atmospheric Research, Aspenda le, Australia.

Henstra, D. and GA McBean, 2005: Canadian Disaster Management Policy: Moving Toward a Paradigm Shift? Canadian Public Policy, 31, 303-318.

Hess, U. and H. Syroka, 2005: Weather-based Insurance in Southern Africa. The Case of Malawi. World Bank, Washington, De.

Hess, U., W Wiseman, and 1 Robertson, 2006: Ethiopia: Integrated Risk Financing to Protect Livelihoods and Foster Development. Discussion Paper, UN World Food Programme, Rome, Italy.

Hodgkinson, R.D., J. Evans, and J. Wood, 2003: Maintaining oral hydration in older adults: a systematic review. International Journal of Nursing Practice, 9, 19-28.

Holmgren, J., 1981: Actions of cholera toxin and the prevention and treatment of cholera. Nature, 292(5822), 413-417.

Holubec, I., 2008: Flat Loop Thermosyphon Foundations in Warm Permafrost. Government of NorthwestTerritories, Yellowknife, Canada.

Hossain, M.I., M.I Islam, 1 Sakai, and M. Ishida, 2008: Impact of tropical cyclones on rural infrastructures in Bangladesh. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, X, Invited Overview No.2, 13 pp.

Hughes, K., E. Van Beurden, E.G. Eakin, L.M. Barnett, E. Patterson, J. Backhouse, S. Jones, D. Hauser, J.R. Beard, and B. Newman, 2008: Older persons' perception of risk of falling: implications for fall-prevention campaigns. American Journal of Public Health, 98(2), 351-357.

Hunt, A, and P. Watkiss, 2011: Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature. Climatic Change, 104, 13-49.

Huq, A, R.B. Sack, A Nizam, I.M. Longini, G.B. Nair, A Ali, J.G. Morris, Jr., M.N. Khan, AK. Siddique, M. Yunus, M.J. Albert, DA Sack, and R.R. Colwell, 2005: Critical factors influencing the occurrence of Vibrio cholerae in the environment of Bangladesh. Applied & Environmental Microbiology, 71(8),4645-4654.

Huq, S., H. Reid and LA Murray, 2006: Climate Change and Development Links. Gatekeeper Series 123, liED, London, UK, 24 pp.

Huq, S., S. Kovats, H. Reid, and D. Satterthwaite, 2007: Editorial: Reducing risks to cities from disasters and climate change. Environment and Urbanization, 19(1), 3-15.

ICSU, 2008: A Science Plan for Integrated Research on Disaster Risk: Addressing the Challenge Of NaturalAnd Human-Induced Environmental Hazards. International Council for Science, Paris, France, www.irdrinternational,orglreports.

ICTILO, UNDP, and UNISDR, 2010: Local Governments and Disaster Risk Reduction: Good Practices and Lessons Learned. International Training Centre of the International Labour Organization, UN Development Programme, and United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 86 pp.

IFRC, 2007: Mozambique Floods and Cyc/ones. DREF Bulletin No. MDRMI002, Update no. 1, Glide no. FL-2006-000198-MOI, International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland, 4 pp., www.ifrc.org/docs/appeals/07/MDRMI00201.pdf.

IFRC, 2009: World Disasters Report 2009 - Focus on Early Warning and Early Action. International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland, 204 pp., www.ifrc.org/publicatlwdr2009/summaries.asp.

IFRC, 2011: Desk review on trends in the promotion of community-based disaster risk reduction legislation. In: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

IMF, 2004: Grenada: Use of Fund Resources-Request for Emergency Assistance-Staff Report; Press Release on the Executive Board Discussion; and Statement by the Executive Director for Grenada. International Monetary Fund, Washington, DC, www.imf.org/external/pubs/ftlscr/2004/cr04405.pdf.

IMF, 2006: Grenada: Request for a Three-Year Arrangement under the Poverty Reduction and Growth Facility - Staff Report; and Press Release on the Executive Board Discussion. International Monetary Fund, Washington, DC. www.imf.org/external/pubs/ftlscr/2006/cr062 77. pdf.

IMF, 2011: World Economic Outlook Database. International Monetary Fund, Wash-

ington, DC, www.imf.org/external/pubs/ftlweo/2011/01/weodata/index.aspx.

INAC, 2010: Report on Adaptation to Climate Change Activities in Arctic Canada. Indian and Northern Affairs Canada, Gatineau, Canada.

Infrastructure Canada, 2006: Adapting Infrastructure to Climate Change in Canada's Cities and Communities: A Literature Review. Infrastructure Canada, Ottawa, C an ad a, cbta da ptati on. squ aresp ace. com/storag e/C dn Infrastructure Adaptati on- Literatu re Revi ew. pdf.

Instanes, A, OA Anisimov, L. Brigham, D. Goering, L.N. Khrustalev, B. Ladanyi, and J.O. Larsen, 2005: Infrastructure: buildings, support systems, and industrial facilities. In: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 907-944.

InVS, 2003: Impact sanitaire de la vague de chaleur en France survenue en aoOt 2003. Rapport d'etepe (Health impact of the heatwave which took place in France in August 2003. Progress Report). Institut de Veille Sanitaire (InVS), Departernent Sante Environnement, Saint-Maurice, France.

IOM, 2008: Migration and Climate Change. 10M Research Series No. 31, International Organization for Migration, Geneva, Switzerland, www.migrationdrc.org/ pub l icationslresource_gu ides/M igrati on_and_ C l i mate_ Cha nge/M RS- 31 . pdf.

IRI, 2011: Progress Report to National Oceanographic and Atmospheric Administration. International Research Institute for Climate and Society, Columbia University, New York, NY, portaliri.colurnbia.edu/portal/server.pt/ gateway/PTARGS_0_2_7713_0_0_181N0AAReport2011_FINAUtrip.pdf.

Jegillos, S.R., 2003: Methodology. In: Sustainability in Grass-Roots Initiatives: Focus on Community Based Disaster Management [Shaw, R. and K. Okazaki (eds.)]. United Nations Centre for Regional Development, Disaster Management Planning Hyogo Office, Hyogo, Japan, pp. 19-28.

Jeuland, M. and D. Whittington, 2009: Cost-benefit comparisons of investments in improved water supply and cholera vaccination programs. Vaccine, 27(23), 3109-3120.

Johnson, K., S. Solomon, D. Berry, and P. Graham, 2003: Erosion Progression and Adaptation Strategy in a Northern Coastal Community. Swets & Zeitlinger, Lisse, The Netherlands.

Jones, AE., U.U. Wort, AP. Morse, I.M. Hastings, and AS. Gagnon, 2007: Climate prediction of El Nino malaria epidemics in north-west Tanzania. Malaria Journal, 6, 162.

Jones, G.S., P.A. Stott, and N. Christidis, 2008: Human contribution to rapidly increasing frequency of very warm Northern Hemisphere summers. Journal of Geophysical Research, 113, D021 09.

Kadomura, H., 2005: Climate anomalies and extreme events in Africa in 2003, including heavy rains and floods that occurred during northern hemisphere summer. African Study Monographs, 530, 165-181.

Kalkstein, AJ. and S.e. Sheridan, 2007: The social impacts of the heat-health watchlwarning system in Phoenix, Arizona: assessing the perceived risk and response of the public. International Journal of Biometeorology, 52(1), 43-55.

Kalsi, S.R. and R.S. Pareek, 2001: Hottest April of the 20th century over north-west and central India. Current Science, 80(7). 867-872.

Karim, M.F. and N. Mimura, 2008: Impacts of climate change and sea level rise on cyclonic storm surge floods in Bangladesh. Global Environmental Change, 18(3),490-500.

Kaufmann, D., A Kraay, and M. Mastruzzi, 2010: The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues. Policy Research Working Paper No. 5430, World Bank, papers.ssrn.com/sol31 papers.cfm?abstracUd=1682130.

Kelman, 1.,2010: Policy arena: introduction to climate, disasters and international development. Journal of International Development, 22, 208-217.

Kelman, I. and J. West, 2009: Climate change and small island developing states: a critical review. Ecological and Environmental Anthropology, 5(1), 1-16.

Keen, J. and 1 Packwood, 1995. Qualitative research: Case study evaluation. BMJ, 311(1),444-446.

Kharin, V.V. and F.W, Zwiers, 2003: Improved seasonal probability forecasts. Journal of Climate, 16, 1684-1701.

Kienberger, S., 2007: Assessing the vulnerabil ity to natural hazards on the provinciall community level in Mozambique: the contribution of G IScience and remote sensing. In: The 3rd International Symposium on Geo-information for Disaster Management, Joint CIG/ISPRS Conference, Toronto, Canada, 23-25 May 2007.

Klinenberg, E., 2002: Heatwave: A Social Autopsy of Disaster in Chicago. University of Chicago Press, Chicago, IL.

Koelle, K., 2009: The impact of climate on the disease dynamics of cholera. Clinical Microbiology & Infection, 15(51),29-31.

Koelle, K., M. Pascual, and M. Yunus, 2005a: Pathogen adaptation to seasonal forcing and climate change. Proc of the Royal Society of London B, 272(1566),971-977.

Koelle, K., X. Rodo, M. Pascual, M. Yunus, and G. Mostafa, 2005b: Refractory periods and climate forcing in cholera dynamics. Nature, 436(7051), 696-700.

Kondo, H., N. Seo, 1 Yasuda, M. Hasizume, Y. Koido, N. Ninomiya, and Y. Yamamoto, 2002: Post-flood infectious diseases in Mozambique. Prehospital and Disaster Medicine, 17(3), 126-133, pdm.medicine.wisc.eduNolume_17/issue_3/kondo.pdf.

Kosatsky, 1,2005: The 2003 European heat waves. Euro Surveillance, 10, 148-149. Koster, R.D., M.J. Suarez, P. Liu, U. Jambor, A Berg, M. Kistler, R. Reichle, M. Rodell, and J. Famiglietti, 2004: Realistic initialization of land surface states: impacts on subseasonal forecast skill. Journal of Hydrometeorology, 5, 1049-1063.

Koster, R.D., S.P.P. Mahanama, 1J. Yamada, G. Balsamo, AA Berg, M. Boisserie, P.A. Dirmeyer, F.J. Dobias-Reyes, G. Drewitt, e.1 Gordon, Z. Guo, J.-H. Jeong, D.M. Lawrence, w'-S. Lee, Z. u L. Luo, S. Malyshev, w,J. Merryfield, S.I. Seneviratne, 1 Stanelle, B.J.J.M. van den Hurk, F. Vitart, and E.F. Wood, 2010: Contribution of land surface initialization to subseasonal forecast skill: first results from a multi-model experiment. Geophysical Research Letters, 37, L02402.

Kovats, R.S. and S. Hajat, 2008: Heat stress and public health: a critical review. Annual Review of Public Health, 29,41-55.

Kovats, S. and R. Akhtar, 2008: Climate, climate change and human health in Asian cities. Environment and Urbanization, 20(1), 165-175.

Kreimer, A and M. Arnold, 2000: World Bank's role in reducing impacts of disasters. Natural Hazards Review, 1(1), 37-42.

Kulling, P., M. Birnbaum, V. Murray, and G. Rockenschaub, 2010: Guidelines for reports on health crises and critical health events. Prehospital and Disaster Medicine, 25(4), 377-383.

Kumar, S., 1998: India's heat wave and rains result in massive death toll. Lancet, 351,1869.

Kundzewicz, ts«, L.J. Mata, N.w' Arnell, P. Doll, P. Kabat, B. Jimenez, K.A. Miller, 1 Oki, Z. Sen, and I.A. Shiklomanov, 2007: Freshwater resources and their management. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and e.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.

Kunreuther, H. and E. Michel-Kerjan, 2009: At War with the Weather: Managing Large-Scale Risks in a New Era of Catastrophes. MIT Press, Cambridge, MA Kunreuther, H. and R.J. Roth, 1998: Paying the Price: The Status and Role of Insurance Against Natural Disasters in the United States. Joseph Henry Press, Washington, De.

Laaidi, K., M. Pascal, M. Ledrans, A Le Tertre, S. Medina, e. Caserio, J.e. Cohen, J. Manach, P. Beaudeau, and P. Empereue-Bissonet, 2004: Le systeme irenceis d'alerte canicule et sante (SACS 2004): Un dispositii integere au Plan National Canicule (The French Heatwave Warning System and Health: A System Integrated into the National Heatwave Pian). Institut de Veille Sanitaire, Saint-Maurice, France.

Lagadec, P., 2004: Understanding the French 2003 heat wave experience: beyond the heat, a multi-layered challenge. Journal of Contingencies and Crisis Management, 12, 160-169.

Lalani, B., 2011: Drought mitigation: Assessing technological trade-offs and challenges posed by policy solutions; A case study of Salamieh District, Syria. World Applied Sciences Journal, 13(4), 936-946.

Larsen, P.H., S. Goldsmith, O. Smith, M. Wi lon, K. Strzepek, P. Chinowsky, and B. Saylor, 2008: Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change. Global Environmental Change, 18, 442-457.

Lateef, F., 2009: Cyclone Nargis and Myanmar: a wake up call. Journal of Emergencies, Trauma, and Shock, 2(2), 106-113.

Lawrimore, J., R. Heim, lOwen, M. Svoboda, V. Davydova, D. Chobanik, R. Rippey, and D. Lecomte, 2007: The North American drought monitor and a global drought early warning system. In: The Ful/ Picture. Group on Earth Observations, Tudor Rose, London, UK, pp. 142-144.

Lazo, J.K., R.E. Morss, and J.L. Demuth, 2009: 300 billion served: Sources, perceptions, uses, and values of weather forecasts. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(6),785-798.

Lemmen, D.S., F.J. Warren, J. Lacroix, and E. Bush (eds.), 2008: From Impacts to Adaptation: Canada in a Changing Climate 2007. Government of Canada, Ottawa, Canada, 448 pp.

Letard, V., H. Flandre, and S. Lepeltier, 2004: La France et les Fran~ais face a la canicule: les lecons d'une crise (How France and French people faced a heatwave: lessons from a crisis). Report No. 195 (2003-2004) to the Senat, Government of France, Paris, France, 391 pp.

Levick J.J., 1859: Remarks on sunstroke. American Journal of the Medical Sciences, 73,40-42.

Liniger, M.A., H. Mathis, e. Appenzeller, and F.J. Dobias-Reyes, 2007: Realistic greenhouse gas forcing and seasonal forecasts. Geophysical Research Letters, 34, L04705.

Linnerooth-Bayer, J. and R. Mechler, 2009: Insurance against Losses from Natural Disasters in Developing Countries. DESA Working Paper No. 85, United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York, NY, USA, 37 pp.

Linnerooth-Bayer, J., R. Mechler, and G. Pflug, 2005: Refocusing disaster aid. Science, 309, 1044-1046.

Linnerooth-Bayer, J., R. Mechler, and M.J. Mace, 2007: Insurance for assisting adaptation to climate change in developing countries. A proposed strategy. Climate Policy, 6, 621-636.

Linnerooth-Bayer, J., P. Suarez, M. Victor and R. Mechler, 2009: Drought insurance for subsistence farmers in Malawi. Natural Hazards Observer, 33(5), 5-9.

Lipp, E.K., A Huq, and R.R. Colwell, 2002: Effects of global climate on infectious disease: the cholera model. Clinical Microbiology Reviews, 15,757-770.

Lise, w., S. Hess, and B. Purev, 2006: Pastureland degradation and poverty among herders in Mongolia: data analysis and game estimation. Ecological Economics, 58,350-364.

Lizarraga-Partida, M.L., E. Mendez-Gomez, AM. Rivas-Montano, E. Vargas¬Hernandez, A Portillo-Lopez, A.R. Gonzalez-Ramirez, A. Huq, and R.R. Colwell, 2009: Association of Vibrio cholerae with plankton in coastal areas of Mexico. Environmental Microbiology, 11(1),201-208.

Llosa, S. and I. Zodrow, 2011: Disaster risk reduction legislation as a basis for effective adaptation. In: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

Lopez, AL., J.D. Clemens, J. Deen, and L. Jodar, 2008: Cholera vaccines for the developing world. Human Vaccines, 4(2), 165-169.

Loster, T. and D. Reinhard, 2010: Microinsurance and climate change. In: Microinsurance- An innovative tool for risk and disaster management [Morelli, E., GA Onnis, w.J. Amman, and C. Sutter (eds.)]. Global Risk Forum, Davos, Switzerland, pp. 39-42.

Loster, T. and A Wolf, 2007: IntoAction. Flood warning system in Mozambique. Completion of BtJzi project. Munich Re Foundation, Munich, Germany, 16 pp.

Louka, P., G. Vachon, J.-F. Sini, P.G. Mestayer, and J.-M. Rosant, 2002: Thermal effects on the airflow in a street canyon - Nantes '99 experimental results and model simulation. Water, Air and Soil Pollution: Focus, 2(5-6),351-364.

Luber, G. and M. McGeehin, 2008: Climate change and extreme heat events. American Journal of Preventive Medicine, 35(5), 429-435.

Luna, E.M., M.L.P. Bautista, and M.P. de Guzman, 2008: Mainstreaming Disaster Risk Reduction in the Education Sector in the Philippines: Integrating Disaster Risk Reduction in the School Curriculum, Impacts of Disasters on the Education Sector, School Construction Current Practices and Improvements Needed. Centre for Disaster Preparedness, Quezon City, the Philippines, 160 pp.

Luque Fernandez, MA,A Bauernfeind, J.D. Jimenez, C.L. Gil, N. El Omeiri, and D.H. Guibert, 2009: Influence of temperature and rainfall on the evolution of cholera epidemics in Lusaka, Zambia, 2003-2006: analysis of a time series. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene, 103(2), 137-143.

Mahul, O. and J. Skees, 2005: Managing Agricultural Risk at the Country Level: The Case of Index-Based Livestock Insurance in Mongolia. World Bank, Washington, DC. 35 pp.

Marin, A, 2008: Between cash cows and golden calves. Adaptations of Mongolian pastoralism in the 'age of the market.' Nomadic Peoples, 12(2), 75-101.

Marin,A, 201 0: Riders under storms: Contributions of nomadic herders' observations to analysing climate change in Mongolia. Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions, 20(1),162-176.

Marinacci, c., M. Marino, E. Ferracin, L. Fubini, L. Gilardi, P. Visentin, E. Cadum, and G. Costa, 2009: Testing of interventions for prevention of heat wave related deaths: results among frail elderly and methodological problems. Epidemiologia e Prevenzione, 33(3), 96-103.

Maskey, M., J.S. Shastri, K. Saraswathi, R. Surpam, and N. Vaidya, 2006: Leptospirosis in Mumbai: post-deluge outbreak 2005. Indian Journal of Medical Microbiology, 24(S4),337-338.

Mason, P.R., 2009: Zimbabwe experiences the worst epidemic of cholera in Africa. Journal of Infection in Developing Countries, 3(2), 148-151.

Matsuda, F., S.Ishimura, Y. Wagatsuma, T. Higashi, T. Hayashi,A.5. Faruque, DA Sack, M. Nishibuchi, and AS.G. Faruque, 2008: Prediction of epidemic cholera due to Vibrio cholerae 01 in children younger than 10 years using climate data in Bangladesh. Epidemiology & Infection, 136(1), 73-79.

Mattingly, S., 2002: Policy, legal and institutional arrangements. Proceedings of Regional Workshop on Best Practices in Disaster Mitigation, Asian Disaster Preparedness Centre, Bangkok, Thailand, 51 pp.

McBean, GA, 2000. Forecasting in the 21st Century. Publication 916, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 18 pp.

McBean, G., G. Alekseev, D. Chen, E. Forland, J. Fyfe, P.Y. Groisman, R. King, H.

Melling, R. Vose, and P.H. Whitfield, 2005: Arctic climate: past and present. In: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 22-60.

McCormick, S., 201 Oa: Dying of the heat: diagnostic debates, calculations of risk, and actions to advance preparedness. Environment and Planning A, 42, 1513-1518.

McCormick, S., 201 Ob: Hot or not? Obstacles to the emergence of climate-induced illness movements. In: Social Movements and Health Care in the United States [Zald, M., J. Banaszak-Holl, and S. Levitsky (eds.)]. Oxford University Press, Oxford, UK.

McGranahan, G., D. Balk, and B. Anderson, 2007: The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. Environment and Urbanization, 19(1), 17-37.

McMichael, AJ., R.E. Woodruff, and S. Hales, 2006: Climate change and human health: present and future risks. Lancet, 367(9513), 859-869.

McWhinney, I.R., 2001: The value of case studies. European Journal of General Practice, 7(3), 88-89.

Mearns, R., 2004: Sustaining livelihoods on Mongolia's pastoral commons: Insights from a participatory poverty assessment. Development and Change, 35(1), 107-139.

Mechler, R., 2004: Natural Disaster Risk Management and Financing Disaster Losses in Developing Countries. Verlag fur Versicherungswirtschaft, Karlsruhe, Germany.

Mechler, R., J. Linnerooth-Bayer, and D. Peppiatt, 2006: Disaster Insurance for the Poor? A Review of Microinsurance for Natural Disaster Risks in Developing Countries. ProVention Consortium and IIASA, Geneva, Switzerland and Laxenburg, Austria.

Medina-Cetina, Z. and F. Nadim, 2008: Stochastic design of an early warning system. Geotisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 2(4),223-236.

Meehl, GA, T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, AT. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson,A.J. Weaver, and z.-c. Zhao, 2007: Global climate projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, pp. 747-845.

Meehl, GA, L. Goddard, J. Murphy, R.J. Stouffer, G. Boer, G. Danabasoglu, K. Dixon, MA Giorgetta,AM. Greene, E. Hawkins, G. Hegerl, D. Karoly, N. Keenlyside, M. Kimoto, B. Kirtman, A Navarra, R. Pulwarty, D. Smith, D. Stammer, and T. Stockdale, 2009: Decadal prediction: can it be skillful? Bulletin of the American Meteorological Society, 90, 1467-1485.

Meinke, H., R. Nelson, P. Kokic, R. Stone, R. Selvaraju, and W. Baethgen, 2006: Actionable climate knowledge - from analysis to synthesis. Climate Research, 33,101-110.

Melbourne Water, 2009a: Water Report. Melbourne Water, Melbourne, Australia, www.melbournewater.com.au/co ntentlwater _stora ges/water _rep 0 rtlwater _ report.asp.

Melbourne Water, 2009b: Bushfires in Catchments. Melbourne Water, Melbourne, Austra l i a, www.melbournewater.com.au/contentlwater _storages/bushfire-sjn_ ca tch m e nts/b u shfi re s j n_ ca tch m e nts. asp.

Mendelsohn, J. and T. Dawson, 2008: Climate and cholera in KwaZulu-Natal, South Africa: the role of environmental factors and implications for epidemic preparedness. International Journal of Hygiene & Environmental Health, 211(1-2),156-162.

Meteo France, 2003: Retour sur la canicule d'aoOt 2003 - Bilan de la canicule d'aoOt 2003 edresse par Meteo-France au ministere de t'Equipement, des Transports, du Logement et de la Mer le 20 aoOt 2003 (Analysis of the August 2003 heatwave presented by Meteo-France to the Ministry for Equipement, Transport, Housing and Sea on 20 August 2003). Meteo France, Paris, France, france. meteofra nce. com/fra nce/actu/b i l an/arch ives/2 003/ca n icu le? pa gejd= 1 0 035&documenUd=4523&portleUd=40336.

Meteo France, 2006: Retour sur la canicule de juillet 2006 (Analysis of the July 2006 heatwave). Meteo France, Paris, France, france.meteofrance.coml france/actu/b i la n/a rch ives/2 006/can i cu le? pagej d= 1 0043 &documentjd=4516&portletjd=40408.

MGH, 2003: State Policy for Food and Agriculture. Annex 29 of resolution of Mongolia Great Hural (MGH), Ulaanbaatar, Mongolia, mofa.gov.mnl I ivestock/in dex. php? opti oneco m_ content&vi ew= arti cl e& id= 73 %3A2 01 0-09-06-08-07-14&catid=52%3A201 0-07-02-06-32-1 0&ltemid=59&lang=en.

Michelozzi, P., F.K. de' Donato,AM. Bargagli, D. D'ippoliti, M. de Sa rio, e. Marino, P. Schifano, G. Cappai, M. Leone, U. Kirchmayer, M. Ventura, M. di Gennaro, M. Leonardi, F. Oleari,A de Martino, and e.A Perucci, 201 0: Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. International Journal of Environmental Research and Public Health, 7(5), 2256-2273.

MIJ, 2009: Informe Nacional del Progreso en la Implementscion del Marco de Accion de Hyogo. Report to UNISDR HFA Monitor, Colombia Ministerio dellnteriory de Justicia, Direcci6n de Prevenci6n y Atenci6n de Desastres, Bogota, Colombia.

Mijiddorj, R., 2008: Global Warming and Challenge to Desert. Mongolia University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia, 62 pp.

Mills, E., 2005: Insurance in a climate of change. Science, 309, 1040-1044.

Milly, P.e.D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R.M. Hirsch, Z.w' Kundzewicz, D.P. Lettenmaier, and R.J. Stouffer, 2008: Stationarity is dead: whither water management? Science, 319, 573-574.

Mimura, N., L. Nurse, R.F. McLean, J. Agard, L. Briguglio, P. Lefale, R. Payet, and G. Sem, 2007: Small islands. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group 1/ to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and e.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 687-716.

Mirza, M.M.Q., 2003: Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt? Climate Policy, 3, 233-248.

Mitchell, 1, 1 Tanner, and K. Haynes, 2009: Children asAgents of Change for Disaster Risk Reduction: Lessons from El Salvador and the Philippines. Working Paper 1, Children in a Changing Climate, IDS, Brighton, UK, 48 pp.

MMS, 2009: National Climate Risk Management Strategy and Action Plan (Draft) [by expert team headed by Togtokh, N. and D. Tuvdendorj]. National Emergency Management Authority, Mongolia Meteorological Society (MMS), United Nations Development Programme, Ulaanbaatar, Mongolia.

Morelli, E., GA Onnis, w,J. Amman, and e. Sutter (eds.), 201 0: Microinsurance - An innovative tool for risk and disaster management. Global Risk Forum, Davos, Switzerland, 360 pp.

Morinaga, Y., S. Tian, and M. Shinoda, 2003: Winter snow anomaly and atmospheric circulation in Mongolia. International Journal of Climatology, 23, 1627-1636.

Morris, L., 2011: Death and suffering in the land of Genghis Khan. CMAJ, 183(5), doi:1 0.1503/cmaj.1 09-3796.

Mouillot, F., J.P. Ratte, R. Joffre, J.M. Moreno, and S. Rambal, 2003: Some determinants of the spatio-temporal fire cycle in a Mediterranean landscape (Corsica, France). Landscape Ecology, 18, 665-674.

Munich Re, 2010: Topics Geo: Natural catastrophes 2009 - Analyses, assessments, positions. Munich Re, Munich, Germany, www.munichre.com.

Myers, S.S. and JA Patz, 2009: Emerging threats to human health from global environmental change. Annual Review of Environment and Resources, 34(1), 223-252.

NASA, 2008: Heatwave in Northern Africa and Southern Europe. Earth Observatory, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, earthobservatory.nasa.govl NaturalHazards/view.php?id=15257.

National Climate Centre, 2009: The exceptional January-February 2009 heatwave in southeastern Australia. Special Climate Statement 17, Bureau of Meteorology, Me lbourne, Austra l ia, www.bom.gov.au/cl imate/currentlstatementsl scs17c.pdf.

National Hurricane Center, 2006: Dennis, Katrina, Rita, Stan, and Wilma "Retired" from List of Storm Names. National Oceanic and Atmospheric Administration, Wa sh ington, DC. www.noaanews.noaa.gov/stories2006/s2607.htm.

Naughton, M.P., A Henderson, M.e. Mirabelli, R. Kaiser, J.L. Wilhelm, S.M. Kieszak, e.H. Rubin, and MA McGeehin, 2002: Heat-related mortality during a 1999 heat wave in Chicago. American Journal of Preventive Medicine, 22(4), 221-227.

NOMC, 2007: Inaugural Annual Report 2006-2007. National Disaster Management Centre, Provincial and Local Government Department, Pretoria, South Africa, 172 pp.

NOMC, 2010: National Education, Training and Research Needs and Resources Analysis (NETaRNRA). Consolidated report compiled by the National Disaster Management Centre, South African Department of Cooperative Governance and Traditional Affairs, Pretoria, South Africa, 23 pp.

Nelson, F., O. Anisimov, and N. Shiklomanov, 2002: Climate change and hazard zonation in the circum-arctic permafrost regions. Natural Hazards, 26,203-225.

Nicholls, N., 2001: Atmospheric and climatic hazards: improved monitoring and prediction for disaster mitigation. Natural Hazards, 23,137-155.

Nicholls, N., e. Skinner, M. Loughnan, and N. Tapper, 2008: A simple heat alert system for Melbourne, Australia. International Journal of Biometeorology, 52(5),375-384.

Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, H. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden, and e.D. Woodroffe, 2007: Coastal systems and low-lying areas. In: Climate Change 2007. Impacts, A daptation and Vulnerability. Contribution of Working Group 1/ to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linden, and e.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.

Nielson, D., 2007: The City of Iqaluit's Climate Change Impacts, Infrastructure Risks and Adaptive Capacity Project. City of Iqaluit, Canada.

Nixdorf-Miller, A, D.M. Hunsaker, and J.e. Hunsaker III, 2006: Hypothermia and hyperthermia medicolegal investigation of morbidity and mortality from exposure to environmental temperature extremes. Archives of Pathology & Laboratory Medicine, 130, 1297-1304.

Noji, E.K., 2000: The public health consequences of disasters. Prehospital and Disaster Medicine, 15(4),147-157.

Noss, R.F., H. Franklin, w'L. Baker,l Schoennagel, and P.B. Moyle, 2006: Managing fire-prone forests in the western United States. Frontiers in Ecology and Environment, 4, 481-487.

NRC, 2003: Fair Weather: Effective Partnerships in Weather and Climate Services. National Research Council, National Academies Press, Washington, De.

NRCAN, 2010: Adaptation case studies: Iqaluit's Sustainable Subdivision. Natural Resources Canada, Ottawa, Canada, adaptation.nrcan.gc.ca/case/iqaluiCe.php.

NRCAN, 2011a: Geological Survey of Canada. Natural Resources Canada, Ottawa, Ca nada, gsc. nrcan. gc. ca/permafrostlwhati s_e. php.

NRCAN, 2011b: Regional Adaptation Collaboratives: The Nunavut Mining Sector and Climate Change: Risks, Vulnerabilities and Good Environmental Practices Project. Natural Resources Canada, adaptation.nrcan.gc.ca/collab/no_e.php.

NRCAN, 2011 c: Nunavut Climate Change Partnership. Natural Resources Canada, Ottawa, Canada, www.nrcan.gc.ca/com/elements/issues/49/panpcn-eng.php.

NRTEE, 2009: True North: Adapting Infrastructure to Climate Change in Northern Canada. National Round Table on the Environment and the Economy of Canada, Ottawa, Canada, 160 pp.

NSO, 2011: Mongolian Statistical Yearbook, 2010. National Statistical Office of Mongolia (NSO), Ulaanbaatar, Mongolia, 463 pp.

Nuclear Claims Tribunal, Republic of the Marshall Islands, 2007: Agreement between the Government of the United States and the Government of the Marshal/ Islands for the Implementation of Section 177 of the Compact of Free Association. www.nuclearclaimstribunal.com/177text.htm.

Nunes, M.e.S., M.J. Vasconcelos, J.M.e. Pereira, N. Dasgupta, R.J. Alldredge, and F.e. Rego, 2005: Land cover type and fire in Portugal: do fires burn land cover selectively? Landscape Ecology, 20, 661-673.

Nurse, L. and G. Sem, 2001: Small island states. In: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group 1/ to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J.J., O.F. Canziani, NA Leary, D.J. Dokken, and K.S. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 834-875.

O'Neill, M.S., R. Carter, J.H. Kish, c.J. Gronlund, J.L. White-Newsome, X. Manarolla,A Zanobetti, and J.D. Schwartz, 2009: Preventing heat-related morbidity and mortality: new approaches in a changing climate. Maturitas, 64(2),98-103.

Oswald Spring, 0.,2011: Social vulnerability, discrimination, and resilience-building in disaster risk reduction. In: Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security - Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, e. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Springer Verlag, Berlin, Germany, pp. 1169-1188.

Oyun, R. (ed.), 2004: Impact of Current Climate Hazards on the Livelihoods of the Herders' Households. United Nations Development Programme, Poverty Research Group, JEMR Consulting, Ulaanbaatar, Mongolia, 87 pp.

Palmer, IN., F.J. Doblas-Reyes,A Weisheimer, and M.J. Rodwell, 2008: Toward seamless prediction: calibration of climate change projections using seasonal forecasts. Bulletin of the American Meteorological Society, 89, 459-470.

Parker, D.J., S.J. Priest and S.M. Tapsell, 2009: Understanding and enhancing the public's behavioural response to flood warning information. Meteorological Applications, 16, 103-114.

Parliament of Victoria, 2009: 2009 Victorian Bushfires Royal Commission - Interim Report. No. 225 - Session 2006-09, Government Printer for the State of Victoria, Melbourne, Australia.

Parliament of Victoria, 201 Oa: 2009 Victorian Bushfires Royal Commission, Final Report, Volume 1. Government Printer for the State of Victoria, Melbourne, Austra l ia, www.royalcommission.vic.gov.au/Com miss ion- Reports/Fina 1-Report/ Volume-1.

Parliament of Victoria, 201 Ob: 2009 Victorian Bushfires Royal Commission, Final Report, Volume 2. Government Printer for the State of Victoria, Melbourne, Austra l ia, www.royalcommission.vic.gov.au/Com miss ion- Reports/Fina 1-Report/ Volume-2.

Parliament of Victoria, 2010c: 2009 Victorian Bushfires Royal Commission, Summary Report, Volume 2. Government Printer for the State of Victoria, Melbourne, Australia, www.royalcommission.vic.gov.au/Commission-Reports/ Final-Report/Summary.

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof. P.J. van der Linden, and e.E. Hanson (eds.), 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1000 pp.

Pascual. M., M.J. Bouma, and AP. Dobson, 2002: Cholera and climate: revisiting the quantitative evidence. Microbes & Infection, 4(2),237-245.

Patt, A, P. Suarez, and e. Gwata, 2005: Effects of seasonal climate forecasts and participatory workshops among subsistence farmers in Zimbabwe. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(35),12623-12628.

Patz, J., D. Engelberg, and J. Last, 2000: The effects of changing weather on public health. Annual Review of Public Health, 21,271-307.

Paul. A and M. Rahman, 2006: Cyclone mitigation perspectives in the islands in Bangladesh: a case study of Swandip and Hatia Islands. Coastal Management, 34(2),199-215.

Paul. B.K., 2009: Why relatively fewer people died? The case of Bangladesh cyclone Sidr. Natural Hazards, 50, 289-304.

Paul. B.K. and S. Dutt, 2010: Hazard warnings and responses to evacuation orders: the case of Bangladesh's cyclone Sidr. Geographical Review, 100(3), 336-355.

Pearce, t. J. Ford, G. Laidler, B. Smit, F. Duerden, M. Allarut, M. Andrachuk, S. Baryluk, A Dialla, P. Elee,A Goose, 1 Ikummaq, E. Joamie, F. Kataoyak, E. Loring, S. Meakin, S. Nickels, K. Shappa, J. Shirley, and J. Wandel, 2009: Community collaboration and climate change research in the Canadian Arctic. Polar Research, 28, 10-27.

Peduzzi, P., B. Chatenoux, H. Dao, e. Herold, and G. Giuliani, 2011: Preview Global Risk Data Platform. UNEP/GRID and UNISDR, Geneva, Switzerland, previ ew. gri d. unep. ch/i ndex. php? previ ew=too l s&cat= 1 &1 anq=enq.

Peduzzi, P., U. Deichmann, A Maskrey, F.A. Nadim, H. Dao, B. Chatenoux, e. Herold, A Debono, G. Giuliani, and S. Kluser, 2009: Global disaster risk: patterns, trends and drivers. In: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, pp. 17-57.

Pelling, M. and A Holloway, 2006: Legislation for Mainstreaming Disaster Risk Reduction. Tearfund, Teddington, UK, 36 pp.

Pelling, M.,A Ozerdem, and S. Barakat, 2002: The macro-economic impact of disasters. Progress in Development Studies, 2(4),283-305.

Peng, R.D., J.F. Bobb, e. Tebaldi, L. McDaniel, M.L. Bell, and F. Dominici, 201 0: Toward a quantitative estimate of future heat wave mortality under global climate change. Environmental Health Perspectives, 119(5), 701-706.

Pernetta, J.e., 1992: Impacts of climate change and sea-level rise on small island states: National and international responses. Global Environmental Change, 2(1),19-31.

Pirard, P., S. Vandentorren, M. Pascal, K. Laaidi, A Le Iertre, S. Cassadou, and M. Ledrans, 2005: Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France. Euro Surveillance, 10(7), pii=554.

Poolman, E., H. Chikoore, and F. Lucio, 2008: Public benefits of the Severe Weather Forecasting Demonstration Project in southeastern Africa. Meteo World, Dec 2008, www.wmo.int/pages/publications/meteoworld/archive/dec08/swfdp_en.html.

Poumadere, M., e. Mays, S. LeMer, and R. Blong, 2005: The 2003 heat wave in France: dangerous climate change here and now. RiskAnalysis, 25, 1483-1494.

ProAct Network, 2008: The Role of Environmental Management and eco-engineering in Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation. ProAct Network, Gaia Group, Finnish Ministry of Environment, and the United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat, Switzerland, www.preventionweb.net/eng l i sh/professi ona l/pub l ications/v. php? id=4148.

Pruzzo, e., L. Vezzulli, and R.R. Colwell, 2008: Global impact of Vibrio cholerae inter¬actions with chitin. Environmental Microbiology, 10(6),1400-1410.

PSIDS, 2009: Fiji, Marshall Islands, Micronesia (Federated States of), Nauru, Palau, Papua New Guinea, Samoa, Solomon Islands, Tonga, Tuvalu, Vanuatu: Views on the Possible Security Implications of Climate Change to be included in the report of the Secretary-General to the 64th Session of the United Nations GeneralAssembly, Pacific Small Island Developing States, Permanent Mission of the Republic of Nauru to the United Nations, New York, NY, www.un.org/ esa/dsdl-resourceslres_pdfs/ga-64/cc - i nputs/P Sl DS_ C C IS. pdf.

Quarless, D., 2007: Addressing the vulnerability of SIDS. Natural Resources Forum, 31 (2007), 99-101.

Ranger, N., S. Hallegatte, S. Bhattacharya, M. Bachu, S. Priya, K. Dhore, F. Rafique, P. Mathur, N. Naville, F. Henriet, e. Herweijer, S. Pohit, and J. Corfee-Morlot, 2011: An assessment of the potential impact of climate change on flood risk in Mumbai. Climatic Change, 104,139-167.

Read, R., 2010: Economic Vulnerability and Resilience in Small Island Developing State. Global Platform on Climate Change, Trade and Sustainable Energy, International Centre for Trade and Sustainable Development, Geneva, Switzerland.

Reale, 0., W.K. Lau, J. Susskind, R. Rosenberg, E. Brin, E. Liu, L.P. Riishojgaard, M. Fuentes, and R. Rosenberg, 2009: AIRS impact on the analysis and forecast track of tropical cyclone Nargis in a global data assimilation and forecasting system. Geophysical Research Letters, 36, L06812, doi:1 0.1 029/2008GL037122.

Reason, c.J.e. and A Keibel, 2004: Tropical Cyclone Eline and its unusual penetration and impacts over the Southern African mainland. Weather and Forecasting, 19, 789-805.

Reid, c.t.. M.S. O'Neill, c.J. Gronlund, S.J. Brines, D.G. Brown, AV. Diez-Roux, and J. Schwartz, 2009: Mapping community determinants of heat vulnerability, Environmmental Health Perspectives, 117,1730-1736.

Republic of Mozambique, 2001: The National Action Plan for the Reduction of Absolute Poverty, 2001-2005. Government of Mozambique, Maputo, Mozambique.

Republic of Mozambique, 2006a: Master Plan for Prevention and Mitigation of Natural Disasters. Council of Ministers, Republic of Mozambique, Maputo, Mozambique.

Republic of Mozambique, 2006b: Action Plan for the Reduction of Absolute Poverty, 2006-2009 (PARPA 1/). Republic of Mozambique, Maputo, Mozambique.

Republic of South Africa, 2002: Disaster Management Act, 2002. Act No. 57 of 2002. Government Printer, Pretoria, South Africa.

Republic of South Africa, 2005: National Disaster Management Policy Framework. Government Printer, Pretoria, South Africa.

Republic of the Philippines, 2009: Climate Change Act of 2009. Republic Act 9729, Fourteenth Congress of the Philippines, Manila, Philippines.

Republic of the Philippines, 2010: National Disaster Risk Reduction and Management Act. Republic Act 10121, Fourteenth Congress of the Philippines, Manila, Philippines.

Reuveny, R., 2007: Climate change-induced migration and violent conflict. Political Geography, 26(6), 656-673.

Revi, A., 2005: Lessons from the deluge: Priorities for multi-hazard risk mitigation. Economic and Political Weekly, 40(36), 3911-3916.

Revi,A., 2008: Climate change risk: an adaptation and mitigation agenda for Indian cities. Environment and Urbanization, 20(1), 207-229.

Richardson, G.R.A., 2010: Adapting to Climate Change: An Introduction for Canadian Municipalities. Natural Resources Canada, Ottawa, Canada, 40 pp.

Robine, J.M., S.L. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, e. Griffiths, J.P. Michel, and F.R. Herrmann, 2008: Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. Comptes Rendus Biologies, 331 (2), 171-178.

Rode), X., M. Pascual, G. Fuchs, and A. Faruque, 2002: ENSO and cholera: a nonstationary link related to climate change? Proceedings of the National Academy of Sciences, 99,12901-12906.

Royal Society, 2008: Ground-Level Ozone in the 21st Century: Future Trends, Impacts and Policy Implications. RS Policy document 15/08, Royal Society, London, UK.

Rubio, J.e.M., I.J.M Perez, J.J. Criado-Alvarez, e. Linares, and J.D. Jimenez, 201 0: Heat health warning systems. Possibilities of improvement. Revista Espanola de Salud Publica, 84(2), 137-149.

Sack, D.A., R.B. Sack, and e.-L. Chaignat, 2006: Getting serious about cholera. New England Journal of Medicine, 355(7), 649-651.

SADC, 2000: Revised Protocol on Shared Watercourses. Southern African Development Community, Gabarone, Botswana.

Saenger, P. and N.A. Siddiqi, 1993: Land from the sea: the mangrove afforestation program of Bangladesh. Ocean and Coastal Management, 20(1),23-39.

Sailor, D.J. and A.A. Pavlova, 2003: Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change. Energy, 28(9),941-951.

Saizen, I., A. Maekawa, and N. Yamamura, 2010: Spatial analysis of time-series changes in livestock distribution by detection of local spatial associations in Mongolia. Applied Geography, 30, 639-649.

Santamouris, M., N. Papanikolaou, I. Koronakis, I. Livada, and D. Assimakopoulos, 1999: Thermal and airflow characteristics in a deep pedestrian canyon, under hot weather conditions. Atmospheric Environment, 33,4503-4521.

SARPMETT, 2010: Syrian Economy Bulletin. Syrian Arab Republic Prime Ministry Economic Technical Team, Damascus, Syria, zunia.org/uploads/media/knowledgel Syrian%20Economy%20Bulletin%20EN1284201253.pdf.

Schubert, S.D., M.J. Suarez, P.J. Pegion, R.D. Koster, and J.T. Bacmeister, 2008: Potential predictability of long-term drought and pluvial conditions in the United States Great Plains. Journal of Climate, 21,802-816.

SCSCDD, 2008a: Percepcao de risco, a descoberta de um novo olhar. Santa Catarina State Civil Defence Department, Florian6polis, Brazil. EIRD Informa, 15, 2 pp.

SCSCDD, 2008b: 0 Projeto: Percepcio de risco, a descoberta de um novo olhar. Santa Catarina State Civil Defence Department, Florian6polis, Brazil, 2 pp., www.percepcaoderisco.sc.gov.brl?ver=projeto.

SCSCDD, 2008e: Finalizada capacitacao sobre percepcao de risco para comunidades em Florian6polis. Noticias,18 December, Santa Catarina State Civil Defence Department, Florian6polis, Brazil, 1 pp., www.percepcaoderisco.sc.gov.br/?ver=noticia-completa&noticia=49.

SCSCDD, 2008d: Morro da penitenciaria tem a˜ao cornunitaria sobre riscos locais. Noticias, 9 October, Santa Catarina State Civil Defence Department, Florian6polis, Brazil, 1 pp.

Semenza, J.e., 2005: Building healthy cities: A focus on interventions. In: Handbook of Urban Health [Galea, S. and D. Vlahov (eds.)]. Springer Science and Business Media, New York, NY.

Semenza, J.e., 1 March, and B. Bontempo, 2007: Community-initiated urban development: an ecological intervention. Journal of Urban Health, 84(1), 8-20.

Semenza, J., D.J. Wilson, J. Parra, B.D. Bontempo, M. Hart, D.J. Sailor, and L.A. George, 2008: Public perception and behavior change in relationship to hot weather and air pollution. Environmental Research, 107(3),401-411.

Shapiro, M.A., J. Shukla, B. Hoskins, K. Trenberth, M. Beland, G. Brasseur, M. Wallace, G. McBean, J. Caughey, D. Rogers, G. Brunet, L. Barrie, A. Henderson-Sellers, D. Burridge, 1 Nakazawa, M. Miller, P. Bougeault, R. Anthes, Z. Toth, and 1 Palmer, 2007: The socio-economic and environmental benefits of a revolution in weather, climate and Earth-system analysis and prediction. In: The Full Picture, Group on Earth Observations, Tudor Rose, London, UK, pp. 137-139.

Shapiro, M.A., J. Shukla, G. Brunet, e. Nobre, M. Beland, R. Dole, K. Trenberth, R. Anthes, G. Asrar, L. Barrie, P. Bougeault, G. Brasseur, D. Burridge, A. Busalacchi, J. Caughey, D. Chen, J. Church, 1 Enomoto, B. Hoskins, 0. Hov, A. Laing, H. Le Treut, J. Marotzke, G. McBean, G. Meehl, M. Miller, B. Mills, J. Mitchell, M. Moncrieff, 1 Nakazawa, H. Olafsson, 1 Palmer, D. Parsons, D. Rogers, A. Simmons, A. Troccoli, Z. Toth, L. Uccellini, e. Velden, and J.M. Wallace, 2010: An earth-system prediction initiative for the 21 st century. Bulletin of the American Meteorological Society, 91, 1377-1388.

Sharma, D. and S. Tomar, 2010: Mainstreaming climate change adaptation in Indian cities. Environment and Urbanization, 22(2), 451-465.

Sharma, U., A. Patwardhan, and D. Parthasarathy, 2009: Assessing adaptive capacity to tropical cyclones in the east coast of India: a pilot study of public response to cyclone warning information. Climatic Change, 94(1-2), 189-209.

Shaw, R., K. Shiwaku, H. Kobayashi, and M. Kobayashi, 2004: Linking experience, education, perception and earthquake preparedness. Disaster Prevention and Management, 13(1), 39-49.

Sheridan, S.e., 2003: Heat, mortality, and level of urbanisation. Climate Research, 24,255-265.

Sheridan, S.e., 2006: A survey of public perception and response to heat warnings across four North American cities: an evaluation of municipal effectiveness. International Journal of Biometeorology, 52, 3-15.

Shikanga, O.l, D. Mutonga, M. Abade, S. Amwayi, M. Ope, H. Limo, E.D. Mintz, R.E. Quick, R.F. Breiman, and D.R. Feikin, 2009: High mortality in a cholera outbreak in western Kenya after post-election violence in 2008. American Journal of Tropical Medicine & Hygiene, 81(6), 1085-1090.

Shimoda, Y., 2003: Adaptation measures for climate change and the urban heat island in Japan's built environment. Building Research & Information, 31(3-4), 222-230.

Shiwaku, K., R. Shaw, e. Kandel, S.N. Shrestha, and A.M. Dixit, 2006: Promotion of disaster education in Nepal: role of teachers as change agents. International Journal of Mass Emergency and Disaster, 24(3),403-420.

Shukla, J., R. Hagedorn, B. Hoskins, J. Kinter, J. Marotzke, M. Miller, 1 Palmer, and J.

Slingo, 2009: Revolution in climate prediction is both necessary and possible: a declaration at the world modelling summit for climate prediction. Bulletin of the American Meteorological Society, 90, 16-19.

Shukla, J., IN. Palmer, R. Hagedorn, B. Hoskins, J. Kinter, J. Marotzke, M. Miller, and J.

Slingo, 201 0: Towards a new generation of world climate research and computing facilities. Bulletin of the American Meteorological Society, 91,1407-1412.

Shultz, A., J.O. Omollo, H. Burke, M. Qassim, J.B. Ochieng, M. Weinberg, D.R. Feikin, and R.F. Breiman, 2009: Cholera outbreak in Kenyan refugee camp: risk factors for illness and importance of sanitation. American Journal of Tropical Medicine & Hygiene, 80(4), 640-645.

Sidley, P., 2000; Malaria epidemic expected in Mozambique. BMJ, 320, 669.

Sietz, D., M. Boschutz, R.J.T. Klein, and A. Lotsch, 2008: Mainstreaming Climate Adaptation into Development Assistance in Mozambique: Institutional Barriers and Opportunities. Policy Research Working Paper 4711, World Bank, Washington, De.

Silva, H.R., P.E. Phelan, and J.S. Golden, 201 0: Modeling effects of urban heat island mitigation strategies on heat-related morbidity: a case study for Phoenix, Arizona, USA. International Journal of Biometeorology, 54,13-22.

Simmons,A.J. andA. Hollingsworth, 2002: Some aspects ofthe improvement in skill of numerical weather prediction. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 128,647-677.

Skaff, M. and Sh. Masbate, 2010: Precipitation change, and its potential effects on vegetation and crop productivity in Syrian AI Jazerah Region. The Arab Journal for Arid Environments, 3(2), 71-78.

Skees, R. and A Enkh-Amgalan, 2002: Examining the Feasibility of Livestock Insurance in Mongolia. Policy Research Working Paper 2886, World Bank, Washington, De.

Smith, S.K. and e. McCarty, 2009: Fleeing the storm(s): an examination of evacuation behavior during Florida's 2004 hurricane season. Demography, 46(1),127-145.

Smithers, J.e., R.E. Schulze, A Pike, and G.P.w. Jewitt, 2001: A hydrological perspective of the February 2000 floods: a case study in the Sabie River Catchment. Water SA, 27(3), 25-31.

Smoyer, K.E., D.G. Rainham, and J.N. Hewko, 2000: Heat stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996. International Journal of Biometeorology, 44(4), 190-197.

Smoyer-Tomie, K.E. and D.G.e. Rainham, 2001: Beating the heat: Development and evaluation of a Canadian hot weather health-response plan. Environmental Health Perspectives, 109(12), 1241-1248.

Solh, M., 2010: Tackling the drought in Syria. Nature Middle East, doi:1 0.1 0381 nmiddleeast.2010.206.

Sowers, J. and E. Weinthal, 201 0: Climate Change Adaptation in the Middle East and North Africa: Challenges and Opportunities. Working Paper No.2, Dubai Initiative, Dubai School of Government, Dubai, United Arab Emirates, belfercenter. ksg. ha rva rd. edu/fi les/Sowers-We i nth a I_D 1_ Working- Pa per- 2. PDF.

Sowers, J., A Vengosh, and E. Weinthal, 2011: Climate change, water resources, and the politics of adaptation in the Middle East and North Africa. Climatic Change, 104(3-4), 599-627.

Sphere Project, 2004: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response. The Sphere Project, Geneva, Switzerland.

Srivastava, AK, M.M. Dandekar, S.R. Kshirsagar, and S.K. Dikshit, 2007: Is summer becoming more uncomfortable at Indian Cities? Mausam, 58(3), 335-344.

Stat M., 2011. Flooding and relocation: The Zambezi River Valley in Mozambique. International Migration, 49(S1), e125-e145.

Stedman, J.R., 2004: The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. Atmospheric Environment, 38, 1087-1090.

Stein, R.M., L. Duenas-Osorio, and D. Subramanian, 2010: Who evacuates when hurricanes approach? The role of risk, information, and location. Social Science Quarterly, 91 (3), 816-834.

Sternberg, I. 2010: Unravelling Mongolia's extreme winter disaster of 2010. Nomadic Peoples, 14(1),72-86.

Stewart, B.I., AF. Asfary, A Belloum, K. Steiner, and 1 Friedrich, 2008: Conservation Agriculture for Sustainable Land Management to Improve the Livelihood of People in Dry Areas. Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands and the German Agency for Technical Cooperation, Damascus, Syria and Eschborn, Germany, www.fao.org/ag/ca/doc/CA%20Workshop%20procedding %2008-08-08.pdf.

Stott, PA, D.A. Stone, and M.R. Allen, 2004: Human contribution to the European heat wave of 2003. Nature, 432, 610-614.

Suarez, P. and J. Linnerooth-Bayer, 201 0: Micro-insurance for local adaptation. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1 (2),271-278.

Subbarao, I., NA Bostick, and J.J. James, 2008:Applying yesterday's lessons to today's crisis: Improving the utilization of recovery services following catastrophic flooding. Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 2(3), 132-133.

Sur, D., AL. Lopez, S. Kanungo, A Paisley, B. Manna, M. Ali, S.K. Niyogi, J.K. Park, B.

Sarkar, M.K. Puri, D.R. Kim, J.L. Deen, J. Holmgren, R. Carbis, R. Rao, IV. Nguyen, A Donner, N.K. Ganguly, G.B. Nair, S.K. Bhattacharya, and J.D. Clemens, 2009: Efficacy and safety of a modified killed-whole-cell oral cholera vaccine in India: an interim analysis of a cluster-randomised, double-blind, placebo-controlled trial. Lancet, 374(9702), 1694-1702.

Surminski, S., 201 0: Adapting to the Extreme Weather Impacts of Climate Change¬How Can the Insurance Industry Help? Climate Wise, London, UK.

Syphard, AD., V.e. Radeloff, IJ. Hawbaker, and S.I. Stewart, 2009: Conservation threats due to human-caused increases in fire frequency in Mediterranean¬climate ecosystems. Conservation Biology, 23(3), 758-769.

Talavera, A and E.M. Perez, 2009: Is cholera disease associated with poverty. Journal of Infection in Developing Countries, 3(6), 408-411.

TDB, 2007: "Structurally weak, vulnerable and small economies ": Who are they? What can UNCTAD do for them ?Tra de and Development Board, United Nations Conference on Trade and Development, Geneva, Switzerland, www. unctad.org/ enid 0 cs/td b 54crp4 _ en. p df.

Thomson, M.e., F.J. Dobias-Reyes, S.J. Mason, R. Hagedorn, S.J. Connor, 1 Phindela, AP. Morse, and IN. Palmer, 2006: Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. Nature, 439, 576-579.

Tolhurst, K., 201 0: Report on Fire Danger Ratings and Public Warning. The University of Melbourne, Melbourne, Australia.

Twigg, J. and H. Bottomley, 2011: Disaster Risk Reduction NGO Inter-Agency Group Learning Review. Action Aid, Christian Aid, Plan International, Practical Action, and Tearfund, London, UK, 40 pp.

UN, 2005: Report of International Meeting to Review the Implementation of the Programme of Action for the Sustainable Development of Small Island Developing States, Port Louis, Mauritius, 10-14 January 2005, United Nations, New York, NY, www.sidsnet.org/docshare/other/20050622163242_English.pdf.

UN, 2006: Global Survey of Early Warning Systems. Prepared by UN International Strategy for Disaster Reduction for the United Nations, United Nations, Geneva, Switzerland, 46 pp.

UN, 2008: World Urbanization Prospects - The 2007 Revision. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York, NY, www. un.org/esa/population/publications/wup2007/2 007WU P _H igh l ights_ web. pdf.

UN, 2009: Syria Drought Response Plan. United Nations, New York, NY, re l iefweb. intis iteslrel iefweb. intlfi l esiresources/2A 1 DC3 EA3 65 E87 F B852 5 760 FO 051 E91 A-Full_Report.pdf.

UN, 2011: General Assembly Report of the Special Rapporteur on the right to food, Olivier De Schutter. Mission to the Syrian Arab Republic. United Nations, New York, NY, www2.ohchr.org/english/bodies/hrcouncil/docs/16sessionI A H Re.16.49.Add.2_en.pdf.

UNCTAD, 2004: Is a Special Treatment of Small Island Developing States Possible? United Nations Conference on Trade and Development, New York, NY, www. unctad.org/en/docs/ldc20041_en.pdf.

UNDESA, 201 0: Trends in Sustainable Development: Small Island Developing States. Division for Sustainable Development, United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York, NY, www.cbd.intlislands/doc/sids-trends-report¬v4-en.pdf.

UNDESA, 2011: Case Study Detail Record, Marshall Islands: Groundwater Supply on the Marshall Islands. Division for Sustainable Development, United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York, NY, webapps01.un.orgl d sd/ca seStudy/pub l ic/d isp l ayDeta i l sAction. do ?cod e=32 6.

UNDP, 2005: A Global Review: Support to Institutional and Legislative Systems for Disaster Risk Management. United Nations Development Programme, New York, NY.

UNDP, 2006: Country Programme Action Plan. 2006 - 2009. United Nations Development Programme, New York, NY, www.bb.undp.org/uploads/file/pdfs/ general/UN DP-G RN %20CPAP%202006-2009.pdf.

UNDP, 2007: A Global Review: UNDP Support to Institutional and Legislative Systems for Disaster Risk Management. United Nations Development Programme, Bureau for Crisis Prevention and Recovery, New York, NY.

UNDP Mongolia, 2009a: The Millennium Development Goals Implementation, Third National Report. UNDP, Ulaanbaatar, Mongolia, 142 pp.

UNDP Mongolia, 2009b: Moving Forward to Reduce Climate Change Risks. United Nations Development Programme, Ulaanbaatar, Mongolia, www.undp.mn/news-snrm-230409.htm l.

UNDP Mongolia, 2010: Project Report: Support to the Dzud in Mongolia/early recovery. United Nations Development Programme, Ulaanbaatar, Mongolia, www. undp.mn/pprojects.html.

UNEP, 2004: Impacts of Summer 2003 Heat Wave in Europe. Environment Alert Bulletin 2, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland, www. grid.unep.ch/productlpub l icati on/down load/ew _heaCwave. en. pdf.

UNESC, 2000: Assistance to Mozambique following the devastating floods: Report of the Secretary-General. A155/123-E/2000/89, United Nations General Assembly Economic and Social Council, New York, NY, www.un.org/documents/ga/docs/ 55/a55123.pdf.

UNESC, 2004: Freshwater management: progress in meeting the goals, targets and commitments of Agenda 21, the Programme for the Further Implementation of Agenda 21, and the Johannesburg Plan of Implementation. Report of the Secretary-General,A/CONF.207/3, United Nations Economic and Social Council, New York, NY, www.preventionweb.netifileslresolutions/N0423881.pdf.

UNESC, 2011: Integrated Analysis of United Nations System Support to Small Island Developing States. Report of the Secretary-G enera I, E/2011/11 0, United Nations Economic and Social Council, New York, NY, www.un.org/ga/search/view_doc.asp ? symbo I=E/2 011/11 O&referer=http://sids-I. i isd. org/news/advance-report-of¬secreta ry-g e n e ra 1- ca ll s- fo r- imp rove d-m s i -d e livery/?refe rre r= lin ka g es¬iisdrs&Lang=E.

UNFCCC, 2007a: Vulnerability and Adaptation To Climate Change In Small Island Developing States. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc. intlfi les/adaptation/adverse_effects_and_response_mea suresart ; 48/a pp l i cation/pdf/2 00 702_sids_a daptati on_bg. pdf.

UNFCCC, 2007b: 기후변화: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, unfccc.intiresource/docs/publications/impacts.pdf.

UNFCCC, 2010: Action On the Ground: A Synthesis of Activities in the Areas of Education, Training and Awareness-Raising For Adaptation. Nairobi Work Programme on Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, 116 pp.

Ungern-Sternberg, 1,2003: State Intervention on the Market for Natural Damage Insurance in Europe. CESifo Working Paper 1 067, CESifo Group, Munich, Germany.

UN-HABITAT, 2006: State of the World's Cities 200612007. United Nations Human Settlements Programme, Nairobi, Kenya.

UNISDR, 2004: Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 429 pp.

UNISDR, 2005a: Review of the Yokohama Strategy and Plan of Action for a Safer World. Conference document A/CONF.206/L.1. In: Proceedings of the World Conference on Disaster Reduction, Kobe, Hyogo, Japan, 18-22 January 2005, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 23 pp.

UNISDR, 2005b: Hyogo Framework for Action: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters, 2005-2015. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2006: Disaster Risk Reduction Begins at School, 2006-2007 International Disaster Risk Reduction Campaign. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, www.unisdr.org/eng/publicaware/worl d_ca mp/2 006- 200 7/wdrc - 2006- 2007. htm.

UNISDR, 2007a: Drought Risk Reduction Framework and Practices: Contributing to the Implementation of the Hyogo Framework for Action. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 98 pp.

UNISDR, 2007b: Towards a Culture of Prevention: Disaster Risk Reduction Begins at School; Good Practices and Lessons Learned. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 143 pp.

UNISDR, 2008a: Climate Change and Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland.

UNISDR, 2008b: Annual Report 2007: The Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 68 pp.

UNISDR, 2009a: Outcome Document: Chair's Summary of the Second Session of the Global Platform for Disaster Risk Reduction. Proceedings of a conference, Global Platform for Disaster Risk Reduction, 16-19 June 2009, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 4 pp.

UNISDR, 2009b: Terminology on Disaster Risk Reduction, 2009. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, www.unisdr.org/we/inform/terminology.

UNISDR, 2009c: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 207 pp.

UNISDR, 2010: Early Warning Practices can Save Many Lives: Good Practices and Lessons Learned. United Nations Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction, UN International Strategy on Disaster Risk Reduction, Bonn, Germany, 67 pp., www.unisdr.org/files/15254_EWSBBLLfinalweb.pdf.

UNISDR, 2011a: Mid-Term Review 2010-2011: Hyogo Framework for Action 2005-2015: 재해에 강한 국가 및 공동체 건설(Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters)을 채택했다 United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 107 pp.

UNISDR, 2011b: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, www.preventionweb.netlenglish/ hyogo/gar/2011/en/home/index.html.

United Kingdom, 2008: Climate Change Act 2008. The Stationary Office Limited, London, UK.

UNOCHA, 2007: Mozambique 2007 Flash Appeal, Executive Summary. United Nations Office for the Coordination of Human Affairs, New York, NY, ocha on line. un. 0 rg/huma n itari ana ppea l/webpage. asp? Pa ge= 1 558.

UN-OHRLLS, 2011: List of Small Island Developing States (UN Members). United Nations Office of the High Representative for the Least Developed Countries, Landlocked Developing Countries and the Small Island Developing States, New York, NY, www.un.org/special-rep/ohrlls/sid/list.htm.

UNRCS and SARPCMSPC, 2005. Second National Report on the Millennium Development Goals (MDGs) in the Syrian Arab Republic 2005. United Nations Resident Coordinator System and Syrian Arab Republic Presidency of the Council of Ministers State Planning Commission, Damascus, Syria, plan ipol is. iiep. unesco.org/upload/Syrian%20ARISyriaM DGSecond Report English.pdf.

USAID, 2007: Mozambique - Floods and Cyclone. US Agency for International Development, Washington, DC, www.usaid.gov/our_work/humanitarian_ ass i stan cel d i sa ster _a ss i sta n cel co untri es/m oza m b i qu e/te mp l a telfs_srl mozambique_fUs01_03-22-2007.pdf.

USARC, 2003: Climate Change, Permafrost and Impacts on Civil Infrastructure: Permafrost Task Force Report. United States Arctic Research Commission, Washington, DC.

USDA, 2008a: Middle East & Central Asia: Continued Drought in 2009/10 Threatens

Greater Food Grain Shortages. US Department of Agriculture http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2008/09/m i deast , cenasi a_droughtl USDA, 2008b: Syria: Wheat Production in 2008109 Declines Owing to Season-Long Drought. US Department of Agriculture, Washington, DC, www.pecad.fas.usda.gov/ highlights/2008/05/Syria_may2008.htm.

Van Niekerk, D., 2006: Disaster risk management in South Africa: The function and the activity - towards an integrated approach. Politeie, 25(2),95-115.

Van Niekerk, D., 2011: Concept Paper: The South African Disaster Risk Management Policy and Legislation - A critique. African Centre for Disaster Studies, Potchefstroom, South Africa, acds. co.za/up loadslresearch_reportsl SAJaw_2011.pdf.

Van Riet, G. and M. Diedericks, 2010: The placement of the disaster management function within district, metropolitan and provincial government structures in South Africa. Administratio Publica, 18(4), 155-173.

Varangis, P., J.R. Skees, and B.J. Barnett, 2002: Weather indexes for developing countries. In: Climate Risk and the Weather Market [Dischel, B. (ed.)]. Risk Books, London, UK, pp. 279-294.

Vardoulakis, S., B.EA Fisher, K. Pericleous, and N. Gonzalez-Flesca, 2003: Modelling air quality in street canyons: a review. Atmospheric Environment, 37, 155-182.

Verschuren, P.J.M., 2003: Case study as a research strategy: Some ambiguities and opportunities. International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice, 6(2), 121-139.

Victorian Government, 2009: January 2009 Heatwave in Victoria: an Assessment of Health Impacts. Victorian Government, Department of Human Services, Melbourne, Australia.

Vingarzan, R., 2004: A review of surface ozone background levels and trends. Atmospheric Environment, 38, 3431-3442.

Visser, R. and D. Van N iekerk, 2009: A Funding Model for the Disaster Risk Management Function of Municipalities. National Disaster Management Centre, South African Department of Cooperative Governance and Traditional Affa irs, Pretoria, South Africa.

Vogt, F. and D.G. Sapir, 2009: Cyclone Nargis in Myanmar: lessons for public health preparedness for cyclones. American Joumal of Disaster Medicine, 4(5), 273-278.

Volz,A and D. Kley, 1988: Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century. Nature, 332, 240-242.

Vos, F., J. Rodriguez, R. Below, and D. Guha-Sapir, 2010: Annual Disaster Statistical Review 2009: The Numbers and Trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Brussels, Belgium, www.cred.be/sites/defaultl files/ADSR_2009.pdf.

Waechter, B., 2005: Working with Nature: Wind Deflection Fins in Action. Rowan Williams Davies & Irwin Inc., Guelph, Canada, www.rwdi.com/cms/publications/16/t05.pdf.

Walsh, R., S. Orban, R. Walker, J. Coates, J. Croteau, D. Stone, and 1 Strynadks, 2009: Front Street Paving Project, Dawson City, Yukon: Adapting to Climate Change in a National Historic District. Yukon Highways and Public Works, Whitehorse, Ca n a d a, www.colascanada.ca/u p loa dsl co l a sca n a d a/Fi l e/expe rti se/Envi ro n me nta l AchievementYukonPaper.pdf.

Wang, w.-G., X.-R.wang, Y.-L. Xu, Y.-H. Duan, and J.-Y. u 2008: Characteristics of supertyphoon "SaoMai" and benefits of forecast service. Journal of Natural Disasters, 17(3), 106-111.

Warner, K., N. Ranger, S. Surminski, M.Arnold, J. Linnnerooth-Bayer, E. Michel-Kerjan, P. Kovacs, and C. Herweijer, 2009: Adaptation to Climate Change: Linking Disaster Risk Reduction and Insurance. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland, 30pp.

Webster, P.J., 2008: Myanmar's deadly daffodil. Nature Geoscience, 1, 488-490. Webster, P.J., J. Jian. lM. Hopson, C.D. Hoyos, P.A. Agudelo, H.-R. Chang, J.A Curry, R.I. Grossman, IN. Palmer, and AR. Subbiah, 201 0: Extended-range probabilistic forecasts of Ganges and Brahmaputra floods in Bangladesh. Bulletin of the American Meteorological Society, 91,1493-1514.

Weisskopf, M.A., H.A. Anderson, S. Foldy, L.P. Hanrahan, K. Blair, lJ. Torok, and P.D. Rumm, 2002: Heat wave morbidity and mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs 1995: An improved response? American Journal of Public Health, 92(5), 830-833.

WHO, 2006a: Air Quality Guidelines: Global Update 2005, Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide And Sulphur Dioxide. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.

WHO, 2006b: First meeting of the project: Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-waves. EuroH EAT Report on a WHOMeeting in Rome, Italy, 20-22 June 2005, World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.

WHO, 2006e: Cholera 2005. Weekly Epidemiologic Record, 81,297-308.

WHO, 2007: Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-Waves - EuroHEAT, Technical Summery. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.

WHO, 2008a: Cholera in Zimbabwe: Epidemiological Bulletin Number 1. World Health Organization, Harare, Zimbabwe.

WHO, 2008b: Health System Problems Aggravate Cholera Outbreak in Zimbabwe. News Release, World Health Organization, Geneva, Switzerland, www.who.intlmediacentre/newslreleases/2008/pr49/en/index.html.

WHO, 2010: Cholera vaccines: WHO position paper. Weekly Epidemiologic Record, 85(13),117-128.

Wisner, B., 2006: Let our Children Teach Us! A Review of the Role of Education and Knowledge in Disaster Risk Reduction. UNISDR System Thematic Clusterl Platform on Knowledge and Education, Geneva, Switzerland, 135 pp.

WMO, 2011a: Climate Knowledge for Action: A Global Framework for Climate Services - Empowering the Most Vulnerable. The Report of the High-Level Taskforce for the Global Framework for Climate Services, WMO No.1 065, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

WMO, 2011b: Tropical Cyclone Programme. Report to Plenaty on item 4.3. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, www.hydrometeoindustry.org/ Reports2011/CONGRESS2011/d04-3_TROPICAL_CYCLONE.pdf.

Woodroffe, c., 2008: Reef-island topography and the vulnerability of atolls to sea¬level rise. Global and Planetaty Change, 247(1-2), 159-177.

World Bank, 2005a: Learning Lessons from Disaster Recovery: The Case of Mozambique. Disaster Risk Management Working Paper Series No. 12, World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2005b: Regional Engagement Framework FY 2006-2009 for Pacific Islands. Report No. 32261-EAP, World Bank, Washington, DC. siteresources.worldbank.orgl IN TPAC I FI C IS LAN DS/Resources/P 1- Strategy-OS. pdf.

World Bank, 2005e: Republic of Maldives, Tsunami Impact and Recovery. Joint assessment, World Bank, Asian Development Bank, and UN System, Wash ington, DC. www.adb.org/Documents/Reports/Tsunami/joint-needs¬assessment.pdf.

World Bank, 2005d: Managing Agricultural Production Risk. World Bank, Washington, DC, siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/Managing_Ag_ Risk_FINAL.pdf.

World Bank, 2006a: Opportunities to Improve Social Services in the Republic of the Marshall Islands. Summary Report, World Bank, Washington, DC. www¬wds.worl dbank. org/externa l/defau ltlWDSContentServerlWDS P II B/2 00 7/05/171 000310607_200705171 00419/Rendered/PDF/397780EAPOP0791 Development 01 PUBLIC1.pdf.

World Bank, 2006b: Ethiopia - Second Productive Safety NetAPL Project. The World Bank, Washington, DC. www-wds.worldbank.org/external/defaultl main?pagePK=64193027 &pi PK=64187937 &theSitePK=523679&menu PK=6418751 0&searchMenuPK=64187283&siteName=WDS&entityID=000020953_20070117142245.

World Bank, 2007: The Caribbean Catastrophe Risk Insurance Initiative. Results of Preparation Work on the Design of a Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility. World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2009: Reducing the Risk of Disasters and Climate Variability in the Pacific Islands. Republic of the Marshall Islands Country Assessment. World Bank, Washington, DC. siteresources.worldbank.org/l NTPACI FICISLAN DSI Resources/MARSHALL_ASSESSMENT _f.pdf .

World Bank, 2011a: World Development Indicators Database. World Bank, Wash ington, DC. data. worldbank.org/data-cata log/world-development-indicators.

World Bank, 2011b: Disaster Risk Management Programs for Priority Countries. Global Facility for Disaster Risk Reduction, Washington, DC.

World Bank, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, Inter-Agency Network for Education in Emergencies (INEE), and UNISDR, 2009: Guidance Notes on Safer School Construction. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery and INEE Secretariat, Washington, DC and New York, NY, 133 pp.

Yip, F.Y., W.D. Flanders, A Wolkin, D. Engelthaler, W. Humble, A Neri, L. Lewis, L. Backer, and C. Rubin, 2008: The impact of excess heat events in Maricopa County, Arizona: 2000-2005. International Journal of Biometeorology, 52(8), 765-772.

Ykhanbai, H., E.U. Beket, R. Vernooy, and J. Graham, 2004: Reversing grassland degradation and improving herders' livelihoods in the Altai Mountains of Mongolia. Mountain Research and Development, 24(2), 96-100.

Yo he, G.w., R.D. Lasco, Q.K.Ahmad, N.w.Arnell, S.J. Cohen, C. Hope,A.C. Janetos. and R.l Perez, 2007: Perspectives on climate change and sustainability. In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group /I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van Der Linde, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 811-841.

Yokoi, S. and Y.N. Takayabu, 201 0: Environmental and external factors in the genesis of tropical cyclone Nargis in April 2008 over the Bay of Bengal. Journal of the Meteorological Society of Japan, 88, 425-435.

Yoshida, Y., Y. Takeuchi, and R. Shaw, 2009: Town watching as a useful tool in urban risk reduction in Saijo. Community, Environment and Disaster Risk Management, 1, 189-205.

Zuckerman, J., L. Rombo, and A Fisch, 2007: The true burden and risk of cholera: implications for prevention and control. Lancet Infectious Diseases, 7,521-530.

IV 부속서 I ~ IV

부속서 I

저자 및 전문 검토자

이 부록을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

IPCC, 2012: Authors and expert reviewers annex. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 545–553.

Argentina
Vicente Barros, CIMAlUniversidad de Buenos Aires
Ines Camilloni, CIMAlUniversidad de Buenos Aires
Hernan Carlino, Universidad Torcuato Di Tella
Mario Nunez, CIMAlUniversidad de Buenos Aires
Matilde Rusticucci, Universidad de Buenos Aires
Haris Eduardo San ahuja, Senior Consultant
Pablo Suarez, Boston University, Red Cross/Red Crescent Climate Centre
Carolina Vera, CIMAlUniversidad de Buenos Aires

Australia
Jonathan Abrahams, World Health Organization
Lisa Alexander, The University of New South Wales
Julie Arblaster, National Center for Atmospheric Research, Australian Bureau of Meteorology
Jon Barnett, Melbourne University
Ian Carruthers, National Climate Change Adaptation Research Facility
Bob Cechet, Geoscience Australia
Lynda Chambers, Australian Bureau of Meteorology
John Church, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
Paul Della-Marta, Partner Reinsurance Company
Amy Dumbrell, Australian Government Department of Climate Change and Energy Efficiency
Jill Edwards, Australasian Fire and Emergency Service Authorities Council
Ailie Gallant, University of Melbourne
John Handmer, Centre for Risk and Community Safety, RMIT University
Mark Hemer, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
Adriana Keating, RMIT University
Monique Ladds, RMIT University
Padma Narsey Lal, International Union for Conservation of Nature-Oceania
Yun l.i Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
Kathleen Mcinnes, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Marine and Atmospheric Research
Neville Nicholls, Monash University, School of Geography and Environmental Science
Lauren Amy Rickards, University of Melbourne
Anthony Swirepik, Australia Government Department of Climate Change and Energy Efficiency
Frank Thomalla, Macquarie University
Richard Thornton, Bushfire Cooperative Research Centre
Blair Trewin, Australian Bureau of Meteorology
Anya M. Waite, University of Western Australia
Xiaoming Wang, Commonwealth Scientifc and Industrial Research Organisation
Penny Whetton, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
Joshua Whittaker, RMIT University

Austria
Stefan Hochrainer, International Institute for Applied System Analysis
Helmut Hojesky, Bundesministerium fur Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Klaus Radunsky, Umweltbundesamt GmbH Petra Tschakert, Pennsylvania State University

Bangladesh
Md. Siarjullslam, North South University
Tarik ul lslarn, United Nations Development Programme-Bangladesh
Alimullah Miyan, South Asian Disaster Management Centre, International University of Business, Agriculture, and Technology
Ainun Nishat, BRAC University
Ataur Rahman, Centre for Global Environmental Culture, International University of Business, Agriculture, and Technology

Belgium
Johan Bogaert, Flemish Government
Lieven Bydekerke, VITO - Flemish Institute for Technological Research
Cathy Clerbaux, Universite Libre de Bruxelles and CNRS France
Luc Feyen, Joint Research Centre, European Commission
Leen Gorissen, VITO - Flemish Institute for Technological Research
Julien Hoyaux, Agence Wallonne de l'Air et du Climat
Philippe Marbaix, universite Catholique de Louvain
Anne Mouchet, Universite de Liege
Andrea Tikhe, European Commission Directorate
Hans van de Vyvere, Royal Meteorological Institute of Belgium
Jean-Pascal van Ypersele, universite Catholique de Louvain
Martine Vanderstraeten, Belgian Federal Science Policy
Patrick Willems, Katholieke Universiteit Leuven

Botswana
Pauline Dube, University of Botswana

Brazil
Andre Odenbreit Carvalho, Environmental Policy and Sustainable Development
Jose Marengo, National Institute for Space Research, Earth System Science Centre
Jose Domingos Gonzales Miguez, Tecnologia Commission for Global Climate Change
Carlos Nobre, Ministry of Science and Technology
Vinicius Rocha, Operador Nacional do Sistema Hetrico
Maria Assuncao Silva Dias, University of Sao Paulo

Canada
Heather Auld, Environment Canada
Anik Beaudoin, Foreign Affairs and International Trade Canada
Peter Berry, Climate Change and Health Office, Health Canada
Marie Boehm, Agriculture and Agri-Food Canada
Roy Brooke, United Nations
Ross Brown, Environment Canada at Ouranos
Stephen Burridge, Foreign Affairs and International Trade Canada
Ian Burton, University ofToronto
Elizabeth Bush, Environment Canada
John Clague, Simon Fraser University
J. Graham Cogley, Trent University
Neil Comer, Environment Canada
John Cooper, Health Canada
Thea Dickinson, Burton Dickinson Consulting
Karen Dodds, Environment Canada
Jimena Eyzaguirre, National Round Table on the Environment and the Economy
Donald Forbes, Natural Resources Canada
Jim Frehs, Health Canada
Nathan P. Gillett, Environment Canada
Sunling Gong, Environment Canada
Christian Gour, Foreign Affairs and International Trade Canada
Patrick Hebert, Foreign Affairs and International Trade Canada
Ole Hendrickson, Environment Canada
Matt Jones, Environment Canada
Dan Jutzi, Environment Canada
Viatcheslav V. Kharin, Environment Canada
Grace Koshida, Environment Canada
Paul Kovacs, Institute for Catastrophic Loss Reduction
Beth Lavender, Foreign Affairs and International Trade Canada
Donald Lemmen, Natural Resources Canada
Guilong Li, Environment Canada
Brad Little, Environment Canada
John Loder, Fisheries and Oceans Canada
Heather Low, Foreign Affairs and International Trade Canada
Katie Lundy, Environment Canada
Gordon McBean, Institute for Catastrophic Loss Reduction
Brian Mills, Environment Canada
Seung-Ki Min, Environment Canada
Monirul Mirza, Environment Canada
Niall O'Dea, Natural Resources Canada
Michael Ott, Fisheries and Oceans Canada
William Perrie, Fisheries and Oceans Canada
Paul Pestieau, Environment Canada
Caroline Rodgers, Clean Air Partnership, Toronto
Siobodan Simonovic, University of Western Ontario
Sharon Smith, Natural Resources Canada
Ronald Stewart, University of Manitoba
John Stone, Carleton University

Roger B. Street, UK Climate Impacts Programme
Kit Szeto, Environment Canada
Richard Tarasofsky, Foreign Affairs and International Trade Canada
Martin Tremblay, Indian and Northern Affairs Canada
Liette Vasseur, Brock University
Elizabeth Walsh, Natural Resources Canada
Xiaolan Wang, Environment Canada
Bin Yu, Environment Canada
Xuebin Zhang, Environment Canada
Francis Zwiers, Pacific Climate Impacts Consortium, University of Victoria

Chile
Paulina Aldunce, University of Chile
Daniel Barrera, Ministry of Agriculture
Gonzalo Leon, Ministry of Environment
Alejandro Leon, Universidad de Chile
Sebastian Vicuna, Pontificia Universidad Catolica de Chile

China
Xing Chen, Nanjing University
Ying Chen, Chinese Academy of Social Sciences
Qin Dahe, China Meteorological Administration
Shibo Fang, Chinese Academy of Meteorological Sciences
Qiang Feng, Chinese Academy of Sciences
Ge Gao, National Climate Center, China Meteorological Administration
Daoyi Gong, State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology
Anhong Guo, Agrometeorological Center of National Meteorological Centre
Tong Jiang, China Meteorological Administration
Jianping Li, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences
Jing Li, Beijing Normal University
Ning Li, Beijing Normal University
Erda Lin, Chinese Academy of Agricultural Sciences
Hongbin Liu, China Meteorological Administration
Xinhua Liu, Severe Weather Prediction Center of National Meteorological Center
Houquan l.u, National Meteorological Center
Xianfu l.u, United Nations Framework Convention on Climate Change
Yali Luo, Chinese Academy of Sciences
Wenjun Ma, Shanghai Jiao Tong University
Huixin Meng, Institute for Urban and Environment Studies
Jiahua Pan, Chinese Academy of Social Sciences
Gubo Qi, College of Humanities and Development Studies
Fumin Ren, China Meteorological Administration
Guoyu Ren, Chinese Academy of Social Sciences
WU Shaohong, Institute of Geographical Sciences, Chinese Academy of Sciences
Shangbai Shi, Chinese Academy of Social Sciences
Ying Sun, China Meteorological Administration
Changke Wang, China Meteorological Administration
Dongming Wang, Policy Study
Jianwu Wang, Chinese Academy of Social Sciences
Ming Wang, Academy of Disaster Reduction and Emergency Management
Xiaoyi Wang, Institute of Sociology
Yongguang Wang, China Meteorological Administration
Fengying Wei, China Meteorological Administration
Jet-Chau Wen, National Yunlin University of Science and Technology
Xiangyang Wu, Research Centre for Sustainable Development
Liyong Xie, Shenyang Agricultural University
Wei Xu, State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology
Yinlong Xu, Chinese Academy of Agricultural Sciences
Zheng Yan, Institute of Urban and Environmental Studies
Saini Yang, Beijing Normal University
Tao Ye, State Key Lab of Earth Surface Processes and Resource Ecology
Yi Yuan, National Disaster Reduction Center of China
Yin Yunhe, Institute of Geographical Sciences, Chinese Academy of Sciences
Panmao Zhai, Chinese Academy of Meteorological Sciences
Chenyi Zhang, China Meteorological Administration
Zhao Zhang, State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology
Zong-Ci Zhao, National Climate Center
Guangsheng Zhou, China Meteorological Administration
Hongjian Zhou, Nationals Disaster Reduction Center of China
Tao Zhou, State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology
Tianjun Zhou, Chinese Academy of Sciences, Institute of Atmospheric Physics
Furong Zhu, Ningxia Economic Research Center
Xukai Zou, China Meteorological Administration

Colombia
Ana Campos-Garcia, Consultant
Omar-Dario Cardona, Universidad Nacional de Colombia
Carmen Lacambra, Cambridge Coastal Research Unit
Pedro Simon Lamprea Quiroga, Colombian Institute of Hydrology, Meteorology, and Environmental Studies
Walter Vergara, Inter-American Development Bank
Gustavo Wilches-Chaux, Universidad Andina Simon Bolivar

Cook Islands
Arona Ngari, Cook Islands Meteorological Service

Costa Rica
Allan Lavell, Programme for the Social Study of Risk and Disaster
Roberto Villalobos Flores, Instituto Meteorologico Nacional

Cuba
Raul J. Garrido Vazquez, Ministry Science, Technology and Environment
Tomas Gutierrez Perez, Instituto de Meteorologia
Avelino G. Suarez, Institute of Ecology and Systematic, Cuban Environmental Agency

Cyprus
Silas Michaelides, Ministry of Agriculture, Natural Resources, and Environment

Denmark
Kirsten Halsnaes, Rise DTU
Torkil Jonch Clausen, DHI
Anne Mette Jorgensen, Centre Danish Meteorological
Karen G. Villholth, GEUS, Geological Survey of Denmark and Greenland

Egypt
Fatma EI Mallah, League of Arab States
Wadid Fawzy Erian, Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands Amal Saad-Hussein, National Research Centre
Adel Yasseen, Ain Shams University, Institute of Environmental Research and Studies

EI Salvador
Luis Ernesto Romano, Centro Humboldt Nicaragua

Finland
Timothy Carter, Finnish Environment Institute
Hilppa Gregow, Finnish Meteorological Institute
Simo Haanpää.Aalto University
Pirkko Heikinheimo, Prime Minister's Office of Finland
Susanna Kankaanpää, HSY Helsinki Region Environmental Services Authority
Sanna Luhtala, Ministry of Agriculture and Forestry
Markku Niinioja ,Ministry for Foreign Affairs
Hannu Raitio, Finnish Forest Research Institute
Karoliina Saarniharo, United Nations Framework Convention on Climate Change Kristiina Santti, Finnish Meteorological Institute
Heikki Tuomenvirta, Finnish Meteorological Institute
Elina Vapaavuori, Finnish Forest Research Institute
Hanna Virta, Finnish Meteorological Institute

France
Franck Arnaud, Ministry of Ecology, Sustainable Development, Transport, and Housing
Slimane Bekki, Institut Pierre Simon Laplace, Laboratoire Atmospheres, Milieux, Observations Spatiales
Nicolas Beriot, Ministry of Ecology, Sustainable Development, Transport, and Housing
Olivier Bommelaer, Ministry of Ecology, Sustainable Development, Transport, and Housing
Olivier Boucher, Met Office Hadley Centre

Paul-Henri Bourrelier, French Association for Disaster Risk Reduction
Jean-Marie Carriere, Meteo-France
Fabrice Chauvin, Meteo-France
Chantal Claud, Institute Pierre-Simon, Laboratoire de Meteorologie Dynamique
Fabio D'Andrea, Institute Pierre-Simon, Laboratoire de Meteorologie Dynamique
Sylvie de Smedt, Ministry of Ecology, Sustainable Development, Transport and Housing
Henri Decamps, Centre National de la Recherche Scientifique
Pascale Delecluse, Meteo-France
Michel Deque, Meteo-France
Pierre-Yves Dupuy, Service Hydrographique et Oceanographique de la Marine
Nicolas Eckert, Cemagref
Rene Feunteun, French Association for Disaster Risk Reduction
JC Gaillard, The University of Auckland
Francois Gerard, French Association for Disaster Risk Reduction
Marc Gillet, Meteo-France
Pascal Girot, IUCN
Frederic Grelot, Cemagref
Delphine Grynszpan, UK Health Protection Agency
Eric Guilyardi, Institut Pierre Simon Laplace, Laboratoire D'Oceanographie et du Climat
Stephane Hallegatte, CIRED and Meteo-France
Sylvie Joussaume, Paris Consortium on Climate
Reza Lahidji, Groupement de Recherches en Gestion a HEC
Michel Lang, Cemagref
Goneri Le Cozannet, Bureau de Recherches Geologiques et Minieres
Jean-Michel Le Quentrec, French Association for Disaster Risk Reduction
Antoine Leblois, CIRED
Alexandre Magnan, Institute fior Sustainable Development and International Relations
Eric Martin, Meteo-France
Olivier Mestre, Meteo-France
David Meunier, Ministry of Ecology, Sustainable Development, Transport, and Housing
Hormoz Modaressi, Bureau of Geological and Mining Research
Roland Nussbaum, Mission Risques Naturels
Sylvie Parey, EDF-France
Cedric Peinturier, Ministry of Ecology, Sustainable Development, Transport, and Housing
Michel Petit, Conseil General de L'industrie, de L'energie et des Technologies
Pierre Picard, Ecole Poly technique
Serge Planton, Meto-France
Valentin Przyluski, Centre International de Recherche sur l'Environnement et Ie Developpement
Jean-Luc Salagnac, Centre Scientifique et Technique de Batiment
Bernard Seguin, INRA
Karen Sudmeier-Reiux, University of Lausanne, IUCN Commission on Ecosystems Management
Nicolas Taillefer, Centre Scientifique etTechnique de Batiment
Jean-Philippe Torterotot, Cemagref
RobertVautard, Institut Pierre Simon Laplace, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
Jean-Philippe Vidal, Cemagref
Vincent Viquiá, Centre International de Recherche sur l'Environnement et Ie Dáveloppement
Pascal Yiou, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

Germany

Gotelind Alber, Women for Climate Justice
Christoph Bals, Germanwatch
Hubertus Bardt, Cologne Institute for Economic Research
Andreas Baumgartner, Project ManagementAgency of DLR, German IPCC Coordination Office
Paul Becker, German Weather Service
Joern Birkmann, UN University Institute for Environment and Human Security
Hans-Georg Bohle, University of Bonn
Hans Gunter Brauch, Freie Universitaet Berlin
Michael Brundl WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF
Achim Daschkeit, German Federal EnvironmentAgency
Carmen de Jong, University of Savoy
Thomas Deutschlander, German Meteorological Service
Paul Dostal, Project ManagementAgency of DLR
Dirk Engelbart, Federal Ministry of Iransport, Building and Urban Development
Eberhard Faust, Munich Reinsurance Company
Roland Fendler, German Federal EnvironmentAgency
Tobias Fuchs, German Weather Service
Hans-Martin Fuessel, European Environment Agency
Stefan Goessling-Reisemann, University of Bremen
Robert Grassmann, Deutsche Welthungerhilfe e.V.
Edeltraud Guenther, Technische universitat Dresden
Josef Haider, KfW Development Bank
Angela Michiko Hama, United Nations International Strategy for Disaster Reduction
Sven Harmeling, Germanwatch
Fred Fokko Hattermann, Potsdam Institute for Climate Impact Research
Gabriele Hegerl, University of Edinburgh
Hans-Joachim Herrmann, German Federal EnvironmentAgency
Anne Holsten, Potsdam Institute of Climate Impact Research
Anke Jentsch, University of Koblenz-Landau
Marcus Kaplan, German Development Institute
Christina Koppe-Scha ller; Deutscher Wetterdienst
Christoph Kottmeier, Karlsruhe Institute of Technology
Frank Kreienkamp, Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH
Christian Kuhlicke, Helmhotz Centre for Environmental Research
Birgit Kuna, Project ManagementAgency of DLR
Nana Kunkel, German Agency for International Development
Michael Kunz, Karlsruhe Institute ofTechnology
Ole Langniss, Fichtner GmbH & Co KG
Rocio Lichte, United Nations Framework Convention on Climate Change
Petra Mahrenholz, German Federal EnvironmentAgency
Reinhard Mechler, International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna University of Economics
Bettina Menne, World Health Organization, Regional Office for Europe
Annette Mohner, United Nations Framework Convention on Climate Change
Guido Mucke, German Federal EnvironmentAgency
Christian L.C. Muller, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety
Claudia Pahl-Wostl, Institute of Environmental Systems Research, University of Osnabruck
Gertrude Penn-Bressel, German Federal EnvironmentAgency
Jurgen Pohl, University of Bonn
Joerg Rapp, Deutscher Wetterdienst
Markus Reichstein, Max-Planck Institute for Biogeochemistry
Joachim Rock, Johann Heinrich von Thuenen-Institute
Benno Rothstein, University of Applied Forest Sciences Rottenburg
Peter Rottach, Diakonie Katastrophenhilfe Consultant
Julia Rufin, Federal Minitry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety
Evelina Santa, Federal Ministry of Education and Research
Philipp Schmidt-Thome, Geological Survey of Finland
Gudrun Schulze, German Federal EnvironmentAgency
Reimund Schwarze, Helmholtz Center for Environmental Research
Joachim H. Spangenberg, Sustainable Europe Research Institute
Frank Sperling, World Wildlife Fund, Norway
Jochen Stuck, Project ManagementAgency of DLR
Swenja Surminski, Association of British Insurers
Christiane Textor, Project ManagementAgency of DLR, German IPCC Coordination Office
Annegret Thieken, University of Potsdam
Uwe Ulbrich, Freie Universitat Berlin
Martine Vattercdt, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development
Monika Vees, German Federal EnvironmentAgency
Gottfried von Gemminingen, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development
Hans von Storch, G KSS Research Center
Martin Voss, Katastrophenforschungsstelle Berlin
Koko Warner, United Nations University, Institute for Environment and Human Security
Juergen Weichselgartner, GKSS Research Center
Johanna Wolf, Memorial University of Newfoundland

Sabine Wurzler, North Rhine Westphalia State EnvironmentAgency
Karl-Otto Zentel, Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V.

Ghana

Seth Vordzorgbe, United Nations Development Programme

Greece

Christina Anagnostopoulou, Aristotle University of Thessa loniki
Helena Flocas, University of Athens
Panagiota Galiatsatou, Aristotle University ofThessaloniki
Antonis Koussis, National Observatory of Athens
Aristeidis Koutrouli, Technical University of Crete
Athanasios Louka, University ofThessaly
Petroula Louka, Hellenic National Meteorological Service
Dimitrios Melas, Aristotle University ofThessaloniki
Panayotis Prinos, Aristotle University of Thessaloniki
loannis Tsanis, Technical University of Crete
Adonis Velegrakis, University of the Aegean
Christos Zerefos, Academy of Athens

Guatemala

Edwin Castellanos, Universidad del Valle de Guatemala

Hungary

Joseph Feiler, Ministry of National Development
Ferenc L. T6th, International Atomic Energy Agency

Iceland

Halldor Bjornsson, Icelandic Meteorological Office
HalldorSigrun Karlsdottir, Icelandic Meteorological Office
Arni Snorrason, Icelandic Meteorological Office

India

Unnikrishnan Alakkat, National Institute of Oceanography
Subbiah Arjunapermal, Asian Disaster Preparedness Center
Suruchi Bhadwal, The Energy and Resources Institute
Mihir Bhatt, India Disaster Mitigation Institute
Amit Garg, Indian Institute of Management Ahmedabad
B.N. Goswami, Indian Institute for Tropical Meteorology
Manu Gupta, SEEDS
Umesh Haritashya, University of Dayton
Ritesh Kumar, Wetlands International - South Asia
Pradeep Mujumdar, Indian Institute of Science
Anand Patwardhan, Indian Institute ofTechnology Bombay
Apurva Sanghi, The World Bank
Akhilesh Surjan, United Nations University

Indonesia

Edvin Aldrian, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Iran

Rahman Davtalab, Ministry of Energy
Saeid Eslamian, Isfahan University of Technology
Mahnaz Khazaee, Atmospheric Science and Meteorological Research Center
Mohammad Rahimi, Semnan University
Fatemeh Rahimzadeh,Atmospheric Science and Meteorological Research Center
Saviz Sehat Kashani, Atmospheric Sciences and Meteorological Research Center

Ireland

Ian Bryceson, Norwegian University of Life Sciences
Noel Casserly, Department of the Environment

Italy

Marina Baldi, National Research Council, Institute of Biometeorology
Roberto Bertollini, World Health Organization
Francesco Bosello, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan University
Stefano Bovo, ARPA Piemonte
Carlo Giupponi, University Ca' Foscari of Venice and Euro-Mediterranean Centre for Climate Change
Georg Kaser, University of Innsbruck
Valentina Pavan, ARPA Emilia-Romagna
Roberto Ranzi, University of Brescia
Carlo Scaramella, World Food Programme
Rodica Tomozeiu, ARPA Emilia-Romagna

Japan

Shiho Asano, Forestry and Forest Products Research Institute
Fumiaki Fujibe, Meteorological Research Institute
Koji Fujita, Nagoya University
Masahiro Hashizume, Institute ofTropical Medicine, Nagasaki University
Yasushi Honda, University ofTsukuba
Shinjiro Kanae, Tokyo Institute ofTechnology
Takehiro Kano, Division Ministry of Foreign Affairs
Miwa Kato, UNFCCC Secretariat
Hiroyasu Kawai, Port and Airport Research Institute
So Kazama, Tohoku University
Akio Kitoh, Meteorological Research Institute
Masahide Kondo, University ofTsukuba
Kazuo Kurihara, Meteorological Research Institute
Shoji Kusunoki, Meteorological Research Institute
Takao Masumoto, National Institute for Rural Engineering, National Agriculture and Food Research Organization
Nobuo Mimura, Ibaraki University
Hisayoshi Morisugi, Nihon University
Toshiyuki Nakaegawa, Meteorological Research Institute
Elichi Nakakita, Kyoto University
Motoki Nishimori, National Institute for Agro-Environmental Sciences
Taikan Oki, University ofTokyo
Rajib Shaw, Kyoto University
Hideo Shiogama, National Institute for Environmental Studies
Yasuto Tachikawa, Kyoto University
Kiyoshi Takahashi, National Institute for Environmental Studies
Izuru Takayabu, Meteorological Research Institute
Kuniyoshi Takeuchi, International Centre for Water Hazard and Risk Management
Tadashi Tanaka, University ofTsukuba
Makoto Tani, Kyoto University
Tsugihiro Watanabe, Research Institute for Humanity and Nature
Hiroya Yamano, National Institute for Environmental Studies

Kenya

Peter Ambenje, Kenya Meteorological Department
Samwel Marigi, Kenya Meteorological Department
Charles Mutai, Ministry of Environment and Mineral Resources
Christopher Oludhe, University of Nairobi, Department of Meteorology

Latvia

Olga Vilima, United Nations International Strategy for Disaster Reduction

Malaysia

Joy Jacqueline Pereira, Universiti Kebangsaan Malaysia
Salmah Zakaria, United Nations Economic and Social Commission

Mauritania

Gueladio Cisse, Swiss Tropical and Public Health Institute

Mexico

Victor Cardenas, Climate Change and Natural Disaster Risk Management
Tereza Cavazos, El Centro de Investigaci6n Cientffica y de Educaci6n Superior de Ensenada
Carolina Neri, Universidad Nacional Autonoma de Mexico
Ursula Oswald-Spring, Universidad Nacional Aut6noma de Mexico
Ricardo Zapata-Marti, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean

Mongolia

Ravsal Oyun, JEMR Consulting Company

Morocco
Abdalah Mokssit, Direction de la Meteorologie Nationale

Mozambique
Felipe Lucio, Global Framework for Climate Services Office, WMO

New Zealand
Reid Basher, Secretariat of the High-Level Taskforce on the Global Framework for Climate Services
Leonard Brown, Ministry for the Environment - Manatu Mo Te Taiao
John Campbell, University ofWaikato
John Hay, University of the South Pacific
Glenn McGregor, University of Auckland
Matthew McKinnon, DARA
Helen Plume, Ministry for the Environment - Manatu Mo Te Taiao
David Wratt, National Institute of Water and Atmospheric Research

Niger
Abdelkrim Ben Mohamed, University of Niamey

Norway
Torgrim Asphjell, Climate and Pollution Agency
Rasmus Benestad, The Norwegian Meteorological Institute
Tor A. Benjaminsen, Norwegian University of Life Sciences
Elzbieta Maria Bitner-Gregersen, Det Norske Veritas AS
Oyvind Christophersen, Climate and Pollution Agency
Solveig Crompton, Ministry of the Environment
Linda Dalen, Norwegian Directorate for Nature Management
Lars Ingolf Eide, Det Norske Veritas
Siri Eriksen, Norwegian University of Life Sciences
Christoffer Gronstad, Climate and Pollution Agency
Hege Haugland, Climate and Pollution Agency
Hege Hisdal, Norwegian Water Resources and Energy Directorate
Dag O. Heqvold, Directorate for Civil Protection and Emergency Planning
Linn Bryhn Jacobsen, Climate and Pollution Agency
Vikram Kolmannskog, Norwegian Refugee Council
Ole-Kristian Kvissel, Climate and Pollution Agency
Farrokh Nadim, International Centre for Geohazards
Lars Otto Naess, Institute of Development Studies
Karen O'Brien, University of Oslo
Ellen 0seth, Norwegian Polar Institute
MaritViktoria Pettersen, Ministry of Foreign Affairs
Asgeir Sorteberg, University of Bergen
Linda Sygna, University of Oslo
Kirsten Ulsrud, University of Oslo
Vigdis Vestreng, Climate and Pollution Agency

Pakistan
Muhammad Mohsin Iqbal, Global Change Impact Studies Centre
Jawed Ali Khan, Ministry of Environment
Maira Zahur; Women for Climate Justice

Palestinian National Authority
Nedal Katbeh-Bader, Environment Quality Authority

Peru
Eduardo Calvo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Encinas Carla, Intercooperation
Silvia Llosa, United Nations International Strategy for Disaster Reduction

Philippines
Imelda Abarquez, Oxfam Hong Kong
Sanny Jegillos, United Nations Development Programme
Rosa Perez, Manila Observatory

Poland
Janusz Filipiak, Institute of Meteorology and Water Management
Zbigniew Kundzewicz, Polish Academy of Sciences
Zbigniew Ustrnul, Institute of Meteorology and Water Management, Jagiellonian University
Joanna Wibig, University of Lodz

Republic of Korea
So-Min Cheong, University of Kansas
Tae Sung Cheong, National Emergency ManagementAgency
Soojeong Myeong, Korea Environment Institute

Republic of Maldives
Amjad Abdulla, IPCC Vice ChairWG II, Climate Change Energy Department, Ministry of Housing and Environment

Romania
Roxana Bojariu, National Meteorological Administration
Sorin Cheval, National Meteorological Administration

Russian Federation
E. M. Akentyeva, Main Geophysical Observatory
Sergey Borsch, Hydromet Center of Russia
N. V. Kobysheva, Main Geophysical Observatory
Boris Porfiriev, Institute for Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences
Vladimir Semenov, A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics
Boris Sherstyukov, All Russian Research Institute of Hydrometeorological Information World Data Center

Senegal
Cherif Diop, Senegalese Meteorological Agency
South Africa
Reinette (Oonsie) Biggs, Stockholm Resilience Centre, Stockholm University
Bruce Glavovic, Massey University
Bettina Koelle, Indigo Development and Change
Noel Oettle, Environmental Monitoring Group
Coleen Vogel, University of Witwatersrand
Gina Ziervogel, University of Cape Town

Spain
Enric Aguilar, Universitat Rovira i Virgili
Gerardo Benito, Spanish Council for Scientific Research
Jorge Bonnet Fernandez Trujillo, Government of the Canary Islands
Francisco Garcia Novo, University of Seville
José Manuel Gutiérrez, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Ana Iglesias, Universidad Politecnica de Madrid
José Antonio López-Díaz, Agencia Estatal de Meteorología
Concepcion Martinez-Lope, Spanish Bureau for Climate Change
José Moreno, University of Castilla-La Mancha
Francisco Pascual, Spanish Bureau for Climate Change
Jose Ramon Picatoste-Ruggeroni, Spanish Bureau for Climate Change
Ernesto Rodriguez-Camino, Spanish Meteorological Agency
Sabater Sergi, University Girona

Sudan
Ismail Fadl El Moula Mohamed, Sudan Meteorological Authority
Balgis Osman-Elasha, African Development Bank

Sweden
Cecilia Alfredsson, Swedish Civil Contingencies Agency
Lars Barring, Swedish Meteorological and Hydrological Institute
Sten Bergstrom, Swedish Meteorological and Hydrological Institute
Pelle Boberg, Swedish Meteorological and Hydrological Institute
Henrik Carlsen, Swedish Defence Research Agency
Carl Folke, The Beijer Institute, Stockholm University
Clarisse Kehler Siebert, Stockholm Environment Institute
Carina Keskitalo, Umea University
Richard Klein, Stockholm Environment Institute
Georg Lindgren, Lund University
Elin Lovendahl, Swedish Meteorological and Hydrological Institute
Barbro Naslund-Landenmark, Swedish Civil Contingencies Agency

Carin Nilsson, Swedish Meteorological and Hydrological Institute
Ulrika Postgard, Swedish Civil Contingencies Agency
Markku Rummukainen, Swedish Meteorological and Hydrological Institute
Johan Schaar, Ministry of Foreign Affairs
Lisa Schipper, Stockholm Environment Institute
Ake Svensson, Swedish Civil Contingencies Agency

Switzerland
Simon Allen, IPCC WGI Technical Support Unit
Walter J. Ammann, Global Risk Forum GRF Davos
Neville Ash, United Nations Environment Programme
Stefan Brönnimann, University of Bern
Carlo Casty, Partner Reinsurance Company
Nicole Clot, Intercooperation
Paul Della-Marta, Partner Reinsurance Company
Andreas Fischlin, Swiss Federal Institute of Technology, Systems Ecology
Markus Gerber, University of Bern, Climate and Environmental Physics
Peter Greminger, Federal Office for Environment
Christian Huggel, University of Zurich
Matthias Huss, University of Fribourg
Daniel Kull, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies
Juerg Luterbacher, Justus Liebig University
Joy Muller, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies
Urs Neu, Swiss Academy of Sciences
Boris Orlowsky, Swiss Federal Institute of Technology Zurich
Pascal Peduzzi, United Nations Environment Programme
Gian-Kasper Plattner, IPCC WGI Technical Support Unit
Dieter Rickenmann, Swiss Federal Research Institute WSL
Stephan Rist, Centre for Development and Environment, University of Bern
Jose Romero, Federal Office for the Environment
Sonia Seneviratne, Swiss Federal Institute of Technology Zurich
Andreas Spiegel, Swiss Re
Thomas Stocker, University of Bern
Philippe Thalmann, EPFL Swiss Federal Institute of Technology Lausanne
Heinz Wanner, University of Bern
Andre Wehrli, European Environment Agency
Heini Wernli, Swiss Federal Institute of Technology Zurich
Irina Zodrow, United Nations International Strategy for Disaster Reduction

Tanzania
Emmanuel Mpeta, Tanzania Meteorological Agency
Khamaldin Daud Mutabazi, Sokoine University of Agriculture
Pius Zebhe Yanda, University of Dar es Salaam

Thailand
Seree Supratid, Rangsit University

The Netherlands
Frans Berkhout, Vrije University
Laurens Bouwer, Institute for Environmental Studies, Vrije University
Hein W. Haak, The Royal Netherlands Meteorological Institute
Albert Klein Tank, The Royal Netherlands Meteorological Institute
Irene Kreis, Health Protection Agency
Adriaan Perrels, Finnish Meteorological Institute
Maarten van Aalst, Red Cross Red Crescent Climate Centre
Bart van den Hurk, The Royal Netherlands Meteorological Institute
Henny A.J. van Lanen, Wageningen University
Geert Jan van Oldenborgh, The Royal Netherlands Meteorological Institute
Jeroen Warner, Wageningen University
Trinidad and Tobago
Veronica Belgrave, Ministry of Planning, Housing, and the Environment

Turkey
Salahattin Incecik, Istanbul Technical University

United Kingdom
Neil Adger, Tyndall Centre, University of East Anglia
Alex Arnall, University of Reading
Nigel Arnell, University of Reading
Victoria Bell, Centre for Ecology and Hydrology
Enrico Biffis, Imperial College, London
Katrina Brown, University of East Anglia
Simon Brown, Met Office Hadley Centre
Sal Burgess, UK Department for Environment, Food, and Rural Affairs
Harriet Caldin, Health Protection Agency
Diarmid Campbell-Lendrum, World Health Organization
Catriona Carmichael, Health Protection Agency
Amanda Charles, UK Government Office for Science
Declan Conway, University of East Anglia
Tim Conway, UK Department for International Development
Anita Cooper, Health Protection Agency
Geoff Darch, Atkins Consultants and University of East Anglia
Ian Davis, Cranfield University
Ken De Souza, UK Department for International Development
Andrew Dlugolecki, Climatic Research UnitUniversity of East Anglia
Maureen Fordham, Northumbria University
Tim Forsyth, London School of Economics and Political Science
Clare Goodess, University of East Anglia Climatic Research Unit
Jim Hall, Newcastle University
Lucy Hayes, UK Department of Energy and Climate Change
Clare Heaviside, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, Health Protection Agency
Debbie Hillier, Oxfam International
Robert Hodgson, University of Exeter
Sari Kovats, London School of Hygiene and Tropical Medicine
Bo Lim, United Nations Development Programme
Andrew Maskrey, UN International Strategy for Disaster Reduction
Michael McCall, Universidad Nacional Autonoma de Mexico
William McGuire, University College London
Thomas Mitchell, Overseas Development Institute
John Morton, Natural Resources Institute, University of Greenwich
Alessandro Moscuzza, UK Department for International Development
Robert Muir-Wood, Risk Management Solutions
Virginia Murray, Health Protection Agency
Katherine Nightingale, Christian Aid
Geoff O'Brien, Northumbria University
Phil O'Keefe, Northumbria University
Jean Palutikof, Griffith University
Mark Pelling, King's College London
Emily Polack, Institute of Development Studies
Ben Ramalingam, Overseas Development Institute
Nicola Ranger, London School of Economics
John Rees, Natural Environment Research Council, UK
Hannah Rowlatt, Health Protection Agency and University of Sheffield
Sohel Saikat, Health Protection Agency
David Satterthwaite, International Institute for Environment & Development
Chris Sear, UK Department of Energy and Climate Change
A. Simmons, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
Robert Siveter, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association
David Smith, University of the West Indies
Stephen Smith, UK Committee on Climate Change
David Stephenson, University of Exeter
Peter Stott, Met Office Hadley Centre
Robert Sykes, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association
Thomas Tanner, Institute of Development Studies
Addis Taye, Health Protection Services
Emma Tompkins, University of Southampton, Highfield Campus
John Twigg, University College London
Sotiris Vardoulakis, Health Protection Agency
Emma Visman, Humanitarian Futures Programme, King's College, London
Tim Waites, UK Department for International Development
David Warrilow, UK Department of Energy and Climate Change
Paul Watkiss, Paul Watkiss Associates
Robert Wilby, University of Loughborough
Michelle Winthrop, UK Department for International Development

Philip Woodworth, National Oceanography Centre
Ronald Young, Young International Ltd / Knowledge Associates International Ltd

United States of America
David Allen, US Global Change Research Program
Tom Armstrong, US Global Change Research Program
Jeff Arnold, US Army Corps of Engineers
Margaret Arnold, The World Bank
Bilal Ayyub, University of Maryland
Donald Ballantyne, MMI Engineering
Ko Barrett, National Oceanic and Atmospheric Administration
Stephen Bender, Organization of American States (retired)
Lisa M. Butler-Harrington, The Wharton School, Kansas State University
JoAnn Carmin, Massachusetts Institute of Technology
Edward Carr, US Administration for International Development
DeWayne Cecil, National Oceanic and Atmospheric Administration
Christina Chan, US Department of State
David Cleaves, US Forest Service
Thomas Cronin, US Geological Survey
Susan Cutter, University of South Carolina
Kirstin Dow, University of South Carolina
David Easterling, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center
Kristie Ebi, IPCC WGII Technical Support Unit
Barbara Ellis, Center for Disease Control
Christopher Emrich, University of South Carolina
Sandy Eslinger, National Oceanic and Atmospheric Administration
Ross Faith, US Subcommittee on Disaster Reduction
Christopher Field, Carnegie Institution for Science
Stephen Gill, National Oceanic and Atmospheric Administration
Justin Ginnetti, United Nations International Strategy for Disaster Reduction
William Gutowski, Iowa State University
D.E. (Ed) Harrison, National Oceanic and Atmospheric Administration, Pacific Marine Environmental Laboratory
Jerry Hatfield, US Department of Agriculture
Robert Heilmayr, Emmett Interdisciplinary Program for Environment and Resources, Stanford University
Molly Hellmuth, International Research Institute for Climate and Society
Jeremy Hess, Centers for Disease Control and Prevention
Robert Hirsch, US Geological Survey
Robert Jarrett, US Geological Survey
Terry Jeggle, University of Pittsburgh
Mark Keim, Centers for Disease Control and Prevention
Paul Knappenberger, New Hope Environmental Services
Thomas Knutson, National Oceanic and Atmospheric Administration
James Kossin, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center
Howard Kunreuther, The Wharton School, University of Pennsylvania
David Lea, US Department of State
Arthur Lee, Chevron Services Company
Robin Leichenko, Rutgers University
Maria Carmen Lemos, University of Michigan
Robert Lempert, RAND Corporation
David Levinson, US Forest Service
Joanne Linnerooth-Bayer, International Institute for Applied Systems Analysis
Peter Liotta, Independent Scholar
Chris Little, Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Princeton University
David Lobell, Stanford University
Pat Longstaff, Syracuse University
Alexander Lotsch, The World Bank
Michael MacCracken, Climate Institute
Katharine Mach, IPCC WGII Technical Support Unit
Simon Mason, Columbia University
Michael Mastrandrea, IPCC WGII Technical Support Unit
Sabrina McCormick, US Environmental Protection Agency
Linda Mearns, National Center for Atmospheric Research
Jerry Meehl, National Center for Atmospheric Research
Chris Milly, US Geological Survey
James Mitchell, Rutgers University
Marcus Moench, Institute for Social and Environmental Transition
Susanne Moser, Susanne Moser Research and Consulting
Meredith Muth, National Oceanic and Atmospheric Administration
Robert J Naiman, University of Washington
Robert O'Connor, National Science Foundation
Ian O'Donnell, Asian Development Bank
Michael Oppenheimer, Princeton University
Jacob Park, Green Mountain College
Roger Pielke Jr., University of Colorado
David Pierce, Scripps Institution of Oceanography
Mark Powell, National Oceanic and Atmospheric Administration
Michael Prather, University of California, Irvine
Roger Pulwarty, National Oceanic and Atmospheric Administration
David Reidmiller, US Department of State
Dian Seidel, National Oceanic and Atmospheric Administration
Emil Simiu, National Institute of Standards and Technology
Anthony-Oliver Smith, Emeritus, University of Florida
Joel Smith, Stratus Consulting
Susan Solomon, National Oceanic and Atmospheric Administration
Doreen Stabinsky, College of the Atlantic
Amanda Staudt, National Wildlife Federation
Ronald Stouffer, National Oceanic and Atmospheric Administration
Trigg Talley, US Department of State
Wassila Thiaw, National Oceanic and Atmospheric Administration
John Tiefenbacher, Texas State University
Sezin Tokar, US Agency for International Development
Kevin E. Trenberth, National Center for Atmospheric Research
Thomas Wagner, National Aeronautics and Space Administration
Robert Webb, National Oceanic and Atmospheric Administration
Elke Weber, Columbia University
Michael Wehner, Lawrence Berkeley National Laboratory
Jason Westrich, University of Georgia, Odum School of Ecology
Thomas Wilbanks, Oak Ridge National Laboratory
Benjamin Wisner, Aon-Benfield UCL Hazard Research Centre, University College London
Richard Wright, American Society of Civil Engineers
Donald Wuebbles, University of Illinois
Tingjun Zhang, University of Colorado National Snow and Ice Data Center

Venezuela
Maria Teresa Abogado, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs
Jose Azuaje, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs
Salvano Briceno, United Nations
Claudia Salerno Caldera, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs
Isabel Di Carlo Quero, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs
Rafael Hernandez, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs
Federico Lagarde, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs
Alejandro Linayo, Research Center on Disaster Risk Reduction
Luis Jose Mata, International Monetary Fund
Yessica Pereira, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs
Reina Perez, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs
Rafael Rebolledo, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs
Dirk Thielen, Ministry of People's Powers for Foreign Affairs

Vietnam
Mai Trong Nhuan, Vietnam National University
Bach Tan Sinh, National Institute for Science and Technology Policy and Strategy Studies

Zambia
Raban Chanda, University of Botswana

부속서 II 용어집

이 부록을 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다:

IPCC, 2012: Glossary of terms. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 555–564.

돌발적 기후변화(Abrupt climate change)
기후시스템의 비선형성 때문에 소위 급속한 기후변화, 돌발 현상 또는 기습이라고도 하는 돌발적 기후변화가 일어날 수 있다. "돌발적(abrupt)"이라는 용어는 원인 강제력의 전형적인 시간범위보다 급속한 시간범위를 말한다. 그러나 모든 돌발적 기후변화에 외부 강제력이 필요한 것은 아니다. 비선형 시스템의 급속히 변화하는 강한 강제력으로 인해 전혀 예상하지 못한 변화가 있을 수 있다.

적응(Adaptation)
인간 시스템에서 위험을 저감하거나 이로운 기회를 활용하기 위하여 실제, 또는 예상 기후와 그 효과에 적응하는 과정. 자연계에서 실제 기후와 그 효과에 적응하는 과정을 뜻한다. 인간의 중재로 예상 기후에 대한 적응이 촉진될 수도 있다.

적응 평가(Adaptation assessment)
기후변화에 적응할 옵션을 확인하고 그것들을 가용성, 이익, 비용, 효과, 효율, 타당성 같은 기준 측면에서 평가하는 것.

적응 능력(Adaptive capacity)
개인, 커뮤니티, 사회 또는 조직이 악영향 저감, 위험 완화 또는 유리한 기회 활용에 대비하고 이행을 취하기 위해 사용할 수 있는 이용 가능한 강점, 속성, 자원들의 조합.

에어로졸(Aerosols)
전형적인 크기는 0.01~10 ㎛(1 mm의 1/1000)이고 대기에 수 시간 동안 체류하는 공중 고체 또는 액체 입자들. 에어로졸은 자연적으로 또는 인위적으로 발생할 수 있다. 에어로졸은 몇 가지 방식으로 기후에 영향을 줄 수 있다: 직접적으로는 복사를 산란시키고 흡수하며, 간접적으로는 구름의 응결핵으로 작용하거나 구름의 광학적 특성과 존재 기간을 변경시켜 기후에 영향을 준다.

알베도(Albedo)
표면이나 물체에 반사되는 태양복사(solar radiation) 분율이며 종종 백분율로 표현한다. 눈에 덮인 표면은 알베도가 높고, 토양 표면의 알베도는 높은 곳부터 낮은 곳까지 다양하며, 식생으로 덮인 표면과 해양은 알베도가 낮다. 지구의 알베도는 주로 구름의 양, 눈, 얼음, 나뭇잎, 토양피복의 변화에 따라 달라진다.

인위적(Anthropogenic)
인간에게서 기인하거나 인간에 의해 만들어짐.

인위적 배출물(Anthropogenic emissions)
인간 활동으로 인한 온실가스, 온실가스 전구체(precursor) 및 에어로졸 배출물. 이러한 활동에는 화석연료 연소, 산림벌채, 토지 이용의 변화, 가축, 비료 등이 있으며 배출량의 순증가를 초래한다.

북대서양 수십 년 진동(Atlantic Multi-decadal Oscillation: AMO)
북대서양에서 수십 년(65-75년) 주기를 가진 해수면 온도의 변동. 북대서양 해수면 온도는 0.4℃의 범위를 보이며 1860-1880년과 1930-1960년에 해수면 온도의 상승기, 1905-1925년과 1970-1990년에는 해수면 온도의 하강기를 보였다.

대기(Atmosphere)
지구를 둘러싸고 있는 기체. 건조 공기는 체적 혼합비(volume mixing ratio) 기준으로 질소(78.1%)와 산소(20.9%)가 대부분을 차지하고, 나머지는 다수의 미량 기체들, 예를 들면, 아르곤(0.93%), 헬륨, 복사강제력에 영향이 큰 CO2(0.03%)와 오존 등의 온실가스가 차지한다. 또한 대기는 온실가스인 수증기를 포함하는데 매우 가변적이지만 일반적으로 대략 1%를 포함한다. 대기에는 구름과 에어로졸도 포함되어 있다.

유효 위치에너지(Available potential energy)
단열적으로 닫힌 시스템에서 운동에너지로 전환될 수 있는 총 위치에너지의 분율.

기준(Baseline/reference)
기준은 변화를 측정하는 데 기준으로 삼는 상태이다. 이것은 '현재 기준(current baseline)'일 수도 있는데 이 경우에는 관측 가능한 현재 상태를 의미한다. 또한 '미래 기준(future baseline)'일 수도 있는데 이 경우에는 동인을 제외한 미래에 전망되는 조건들을 의미한다. 기준 조건을 다른 식으로 해석하면 여러 가지 기준이 나올 수 있다.

능력(Capacity)
좁은 의미로는 평균적인 기상 상태, 보다 엄밀히 말하면, 수 개월에서 수천 년, 혹은 수백만 년에 걸친 관련 양의 평균과 변동성을 통계적으로 표현한 것이라고 정의된다. 세계기상기구(WMO)가 정한 이 요소들에 대한 평균의 산출 기간은 30년이다. 관련된 양은 온도, 강수, 바람 같은 지표의 요소들이다. 넓은 의미의 기후는 통계적 표현을 포함하여 기후시스템의 상태를 말한다. 이 보고서에서는 20년 등 여러 기간의 평균이 사용되었다.

탄소 순환(Carbon cycle)
대기, 해양, 육상 생물권, 암권(lithosphere)을 통한 탄소(CO2 등 여러 형태의 탄소)의 흐름을 이르는 용어.

이산화탄소(CO2)
유기물에서 광합성에 의해 자연적으로 발생하는 가스. 화석연료의 연소와 바이오매스 연소의 부산물이며 토지사용 변화, 기타 산업공정에서도 배출된다. CO2 는 지구의 복사 균형에 영향을 주는 주요한 인위적 온실가스이다. 다른 온실가스를 측정하는 데 기준이 되는 가스이므로 지구 온난화 지수(global warming potential)을 갖는다.

집수지(Catchment)
우수를 수집하고 배수하는 구역.

클라우시우스-클라페이론 관계(식)(Clausius-Clapeyron relationship (or equation)
물질(물)의 두 상이 평형상태에 있는 시스템에서 물질(보통은 수증기)의 압력과 온도의 관계에 관한 미분 방정식.

기후(Climate)
좁은 의미로는 평균적인 기상 상태, 보다 엄밀히 말하면, 수 개월에서 수천 년, 혹은 수백만 년에 걸친 관련 양의 평균과 변동성을 통계적으로 표현한 것이라고 정의된다. 세계기상기구(WMO)가 정한 이 요소들에 대한 평균의 산출 기간은 30년이다. 관련된 양은 온도, 강수, 바람 같은 지표의 요소들이다. 넓은 의미의 기후는 통계적 표현을 포함하여 기후시스템의 상태를 말한다. 이 보고서에서는 20년 등 여러 기간의 평균이 사용되었다.

기후변화(Climate change)
기후 특성의 평균이나 변동성의 변화를 통하여(예: 통계 분석) 확인할 수 있고 보통 수십 년 이상 장기적으로 지속되는 기후상태의 변화. 기후변화는 자연적 내부 과정 혹은 외부 강제력으로 인해 일어나거나, 대기 조성이나 토지 이용에서 인위적 변화가 지속되어 일어날 수도 있다.[1] 기후변동성, 탐지 및 원인규명 참고.

극한기후(극한기상 또는 기후 현상(Climate extreme; extreme weather or climate event))
기상 또는 기후 요소와 관련한 범위의 상한(또는 하한) 부근에서 기준값보다 높은(또는 낮은) 값이 발생하는 것. 간단히 극한기상 현상과 극한기후 현상을 '극한기후'라고 통칭한다. 자세한 설명은 3.1.2절 참고.

기후 되먹임(Climate feedback)
최초 과정의 결과가 2차 과정에 변화를 일으키고 그것이 다시 초기 과정에 영향을 주는 식의 기후시스템 과정들 간의 상호작용 메커니즘. 양의 되먹임은 초기의 과정을 강화하고 음의 되먹임은 약화시킨다.

기후 모델(Climate model)
기후시스템 구성요소들의 물리적, 화학적 및 생물학적 특성, 구성요소 간 상호작용, 되먹임 과정을 토대로 이미 알려진 특성의 전부나 일부를 고려하여 기후시스템을 수치로 표시한 것. 기후시스템은 복잡성을 달리한 모델들을 통해 표현될 수 있다. 즉, 구성요소 혹은 복합적 구성요소에 대해 공간 차원의 개수, 물리적, 화학적 및 생물학적 과정을 명확히 표현할 수 있는 정도, 경험적 모수화(parameterization)가 포함되는 수준 등의 특성이 다른 다양한 계층적 모델을 세울 수 있다. 일명 대기-해양 일반 순환 모델(Atmosphere-Ocean General Circulation Models)이라고도 칭하는 대기-해양 지구 순환 모델(Coupled Atmosphere-Ocean Global Climate Models: AOGCMs)은 현재 유효한 스펙트럼 내에서 최대한 반영할 수 있는 기후시스템을 표현한다. 화학과 생물학의 상호작용을 포함하는 좀 더 복잡한 모델 쪽으로 진화하는 중이다. 기후 모델은 기후를 연구하고 모의하기 위한 연구도구로서 사용되고 월, 계절 및 연내 기후예측을 비롯한 운영 목적에 사용된다.

기후 전망(Climate projection)
흔히 기후모델 시뮬레이션에 기초하여 온실가스와 에어로졸의 배출 또는 농도 시나리오와 복사강제력 시나리오에 대한 기후시스템의 반응을 전망한 것. 기후 전망은 기후 예측과는 다르다. 기후 전망은 사용된 배출/농도/복사강제력 시나리오에 좌우된다. 이 시나리오들은 미래의 사회경제적, 기술적 발달에 관한 가정들에 기초하는데 이 가정들은 미래에 실현될 수도 실현되지 않을 수도 있으므로 상당히 높은 불확실성이 적용된다.

기후 시나리오(Climate scenario)
인위적 기후변화의 잠재적 결과를 연구하는 데 사용하기 위해 구축되고 종종 영향에 대한 모델의 입력 자료로 사용되는 내부적으로 모순이 없는 기후학적 관계를 토대로 하여 미래의 기후를 타당하고 간단하게 표현한 것. 기후전망은 기후 시나리오를 구성할 때 원시 자료로 사용되기도 한다. 그러나 기후 시나리오는 관측된 현재 기후에 대한 정보 같은 추가 정보를 필요로 하는 경우가 많다.

기후시스템(Climate system).
기후시스템은 5가지 주 요소, 즉 대기, 수권(hydrosphere), 빙권(cryosphere), 지표면(land surface) 및 생물권(biosphere)과 이들의 상호 작용으로 이루어진 매우 복잡한 시스템이다. 기후시스템은 자체의 본질적 역학의 영향 아래 화산분출, 태양 변동 같은 외부 강제력과 대기 조성변화, 토지 이용 변화 같은 인위적인 강제력으로 인하여 시간이 지나면서 점진적으로 변화한다.

기후 기준값(Climate threshold)
기후시스템 내에서 어떤 주어진 강제력에 비선형적 반응을 유도하는 임계 한계치. 돌발적 기후변화 참고.

기후변동성(Climate variability)
개별적인 기상 현상이 모든 시·공간 규모에서 기후의 평균 상태와 통계값(표준편차, 극한 현상의 발생 횟수 등)이 변동하는 것. 변동성은 기후시스템 내의 자연적인 내부 과정(내부 변동성) 때문일 수도 있고, 자연적 혹은 인위적 외부 강제력(외부 변동성) 때문일 수도 있다. 기후변화 참고.

한랭일/한랭야(Cold days/cold nights)
주간의 최고기온 또는 야간의 최저기온이 10 퍼센타일 미만으로 나타나는 주간과 야간. 이 경우 비교를 위한 값은 일반적으로 기준 기간인 1961-1990년의 평균으로 정의된다.

커뮤니티 기반 재해 위험 관리(Community-based disaster risk management)
지방 재해 위험 관리 참고.

신뢰수준(Confidence)
증거의 유형, 양, 품질 및 일관성과 동의수준을 토대로 결과의 유효성에 대한 신뢰수준. 신뢰수준은 정성적으로 표현된다.

대조 모델링(Control run)
기후변화 실험과 비교할 '기준'을 제공하기 위해 수행된 모델링. 대조 모델링은 산업화 이전 상태에 해당하는 온실가스와 인위적 에어로졸로 인한 복사

---

1 이 정의는 유엔 기후변화 협약(United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC)에서 다음과 같이 정의한 기후변화 정의와는 다르다. "지구 대기의 조성을 변경시키는 인간 활동에서 직간접으로 기인할 뿐 아니라 비교 가능한 기간 동안 관측된 자연적 기후변동성에서도 기인하는 기후변화". 따라서 UNFCCC는 대기 조성을 변경시키는 인간 활동에서 기인하는 기후변화를 자연적 원인에서 기인하는 기후변동성과 구분한다.

강제력에 상수값을 사용한다.

대류(Convection)
정역학적 불안정성에서 기인한 부력에 의해 일어나는 수직 운동으로서, 대체로 해수에서는 표층 수온의 하강 또는 염분 증가로 인해, 대기에서는 지표 부근 기온상승으로 인해 일어난다. 대기대순환에서 수평 범위와 수직 범위 사이에 큰 차이가 있는 것과는 달리 대류 지점에서 수평 범위는 수직 범위와 대략 같다. 순 수직 질량수송은 대체로 상향 및 하향 교환보다 훨씬 작다.

대응(Coping)
단기 및 중기적으로 기본 기능을 달성하기 위해 악조건을 다루고 관리하고 극복하기 위해 가용 기술, 자원 및 기회를 사용하는 것.

대응 능력(Coping capacity)
인간, 조직 및 시스템이 기술, 자원 및 기회를 사용하여 악조건을 다루고 관리하며 극복하는 능력.

탐지와 원인규명(Detection and attribution)
기후는 모든 시간 범위에서 계속적으로 변한다. 기후변화 탐지는 변화의 근거를 제시하지는 않은 채 기후가 통계적 의미에서 변화했다는 것을 증명하는 과정이다. 기후변화의 원인규명은 탐지된 변화의 가장 가능성 있는 원인을 정해진 일정한 신뢰수준에서 확립하는 과정이다.

비단열(Diabatic)
시스템이 외부로부터 열을 얻거나 잃는 과정.

재해(Disaster)
취약한 사회 조건과 상호작용 하는 위험한 물리적 요소들로 인해 커뮤니티나 사회의 정상 기능이 심각하게 변하고 그로 인해 중요한 인간의 수요를 충족하기 위하여 즉각적인 긴급 대응이 필요하고 회복을 위해 외부 지원이 필요할 수 있는 인간, 물질, 경제 또는 환경에서의 폭넓은 악영향이 발생하는 것.

재해 관리(Disaster management)
개별적인 조직 및 사회 수준에서 재해 대비, 대응 및 복구 방식을 설계, 이행 및 평가하기 위한 사회적 과정.

재해 위험(Disaster risk)
취약한 사회 조건과 상호작용 하는 위험한 물리적 요소들로 인해 커뮤니티나 사회의 정상 기능이 특정 기간 동안 심각하게 변하고 그로 인해 중요한 인간의 수요를 충족하기 위해 즉각적인 긴급 대응이 필요하고 회복을 위해 외부 지원이 필요할 수 있는 인간, 물질, 경제 또는 환경에서의 폭넓은 악영향이 발생하는 것.

재해 위험 관리(Disaster risk management: DRM)
인간의 안전, 복지, 삶의 질, 지속 가능한 발전을 증대시킨다는 명확한 목적을 가지고, 재해 위험에 대한 이해를 향상시키고 재해 위험의 저감을 촉진하고 재해 대비, 대응 및 복구 방식의 지속적인 향상을 촉진하기 위한 전략, 정책, 대책을 설계, 이행, 평가하는 과정.

재해 위험 저감(Disaster risk reduction: DRR)
미래 재해 위험을 예상하고 기존의 노출, 위험 또는 취약성을 저감하고 복원력을 개선하기 위해 동원된 정책 목표와 전략적 제도적 대책.

일교차(Diurnal temperature range)
24시간 동안의 최고기온과 최저기온의 차.

상세화(Downscaling)
국지 또는 지역 규모(100km 이하)의 정보를 그보다 공간 해상도가 큰 규모의 모델이나 자료 분석으로부터 도출하는 방법을 말한다. 자세한 설명은 3.2.3절 참고.

가뭄(Drought)
심각한 수문 불균형을 야기할 정도로 오래 동안 비정상적인 건조한 날씨가 이어지는 기간. 가뭄은 상대적인 용어이므로 (Box 3-3 참고), 강수 부족 측면에서의 고찰은 강수와 관련된 특정 과정을 고려해야 한다. 예를 들어, 생장기간 동안 강수 부족은(토양수분 가뭄(soil moisture drought), 일명 농업 한발(agricultural drought)로 인해) 작물 생산량이나 생태계 기능에 지장을 주고 유출 및 침투가 발생하는 기간에는 주로 물 공급에 영향을 준다 (수문학적 가뭄). 토양 수분 및 지하수 저장의 변화도 강수의 감소뿐 아니라 실제 증발산 증가에 의해 영향 받는다. 비정상적 갈수기는 기상학적 가뭄으로 정의된다. 대가뭄(megadrought)은 일반적인 수준을 웃도는 오랜 기간, 약 10년 이상 지속되는 매우 길고 지속적인 가뭄이다.

조기경보시스템(Early warning system)
위험에 위협 받는 개인, 커뮤니티 및 조직이 위험이나 손실 가능성을 줄이기 위해 충분한 시간으로 적절히 준비하고 이행할 수 있도록 시기 적절하고 유의미한 경고 정보를 생산하고 보급하기 위해 필요한 능력.

엘니뇨-남방 진동(El Niño–Southern Oscillation: ENSO)
엘니뇨란 단어는 에콰도르와 페루 해안을 따라 주기적으로 흐르면서 그 지역의 어업에 피해를 주던 난류를 설명하기 위해 사용되었다. 그 후, 날짜 변경선의 열대 태평양 동부 전 유역이 온난화 되면서 확인되었다. 이 해양 현상은 남방 진동이라 불리는 전지구적 규모의 열대 및 아열대 해면기압 패턴과 관련 있다. 이 대기-해양 복합 현상은 2년에서 약 7년에 걸쳐 일어나고, 총칭해서 엘니뇨-남방진동이라고 부른다. ENSO는 다윈(Darwin)과 타히티(Tahiti) 간의 해면기압 편차(surface pressure anomaly)의 차이와 중부 및 적도 태평양 상의 해수 온도를 통해 측정된다. ENSO가 발생하면 주된 무역풍이 심하게 약화되어 해수의 용승이 감소되고 해류가 변경되어 해수 온도가 따뜻해지는데 이것이 더욱 무역풍을 약화시킨다. 이 현상은 열대 태평양의 바람, 해수 온도, 강수 패턴에 큰 영향을 준다. ENSO는 지구적 원격상관(teleconnection)을 통해 태평양 전 지역과 세계의 여러 지역의 기후에 영향을 준다. ENSO의 한랭 단계를 라니냐(La Niña)라고 부른다.

배출 시나리오(Emissions scenario)
발전 동력(인구 및 사회경제적 발달과 기술 변화 같은)과 이들의 주요한 관련성에 대한 일관적이고 내부적으로 모순이 없는 일련의 가정에 기초하여, 잠재적으로 복사력이 있는 물질들(예: 온실가스, 에어로졸)의 배출량이 미래에

어떻게 변할지를 표현한 것. 농도 시나리오(Concentration scenario)는 배출 시나리오에서 유도된 것으로, 기후 전망을 산출하기 위해 기후 모델의 입력 자료로서 사용된다. IPCC(1992)에서 제시한 배출 시나리오는 IPCC 기후 전망(1996)의 입력 자료로 사용되었다. 이 배출 시나리오들을 흔히 IS92 시나리오라고 부른다. 〈배출 시나리오에 관한 IPCC 특별 보고서(IPCC Special Report on Emission Scenarios)〉(Nakicenovic와 Swart, 2000)에서는, SRES 시나리오가 발표되었다. SRES 시나리오(예: A1B, A1FI, A2, B1, B2)는 이 보고서 3장에 제시된 기후 전망 중 일부에 기초 자료로 사용되었다.

앙상블(Ensemble)
기후 전망에 사용되는 집단 병렬 모델을 통한 모의. 앙상블 멤버들에서 결과의 편차는 불확실성의 추정값을 제공한다. 모델은 같고 초기 조건이 다른 앙상블은 내부 기후변동성과 관련된 불확실성만 포함하지만 복수의 모델을 통한 모의를 포함한 다중모델 앙상블은 모델 간 차이의 영향도 포함한다. 모델 파라미터를 체계적으로 변화시키는 섭동 파라미터(Perturbed parameter) 앙상블은 일반 다중모델 앙상블보다 더 객관적인 불확실성의 추정치를 생산하는 것을 목적으로 한다.

증발산(Evapotranspiration)
지구표면에서 물의 증발과 식생에서 발산의 복합 과정.

노출(Exposure)
극한기후에 악영향 받을 수 있는 곳에 인간, 생계, 환경 서비스, 자원, 기반 시설, 그리고 사회적, 경제적, 문화적 자산이 존재하는 것.

외부 강제력(External forcing)
기후시스템 밖에서 기후시스템에 변화를 야기하는 강제력의 요소. 화산 분출, 태양 변동, 대기 조성의 인위적 변화, 토지 이용 변화는 모두 외부 강제력이다.

온대저기압(Extratropical cyclone)
열대저기압이 아닌 모든 저기압 규모의 폭풍. 보통은 수평기온 편차가 큰 지역에서 형성된 중위도 또는 고위도 이동성 폭풍(migratory storm system)을 말한다. 때로는 온대 폭풍(extratropical storm) 또는 온대 저기압(extratropical low)이라고도 한다.

연안 최고수위 극값(Extreme coastal high water) 또는 극한 해수면(extreme sea level)
연안 최고수위 극값은 평균 해수면, 조류, 지역 규모의 기상에 좌우된다. 연안 최고수위 극값은 대개 한 관측소에서 어떤 기준 기간 동안 관측된 시간 당 해수면 값에 대한 분포의 상위 퍼센타일(예: 90-99 퍼센타일)로 정의된다.

극한기상 또는 기후 현상(Extreme weather or climate event)
극한 기후 참고.

기근(Famine)
장기간의 방대한 지역(예: 국가)에서 식량 부족. 기근은 가뭄이나 홍수 같은 극한기후 현상에 의해 시작될 수도 있지만 질병, 전쟁, 기타 요인들에 의해서도 일어날 수 있다.

홍수(Flood)
정상적으로는 침수되지 않는 지역에 하천이나 기타 수계의 물이 범람하거나 축적되는 것. 홍수에는 강물 (하천) 홍수, 돌발 홍수, 도시 홍수, 강우 홍수, 하수 홍수, 해안 홍수, 빙하 홍수가 있다.

동토(Frozen ground)
공극수(pore water)의 일부 혹은 전부가 얼어있는 토양이나 암석. 영구적으로 얼어 붙은 땅을 영구동토(permafrost)라고 부른다. 해마다 얼었다가 녹는 땅은 계절 동토(seasonally frozen ground)라고 부른다.

빙하 홍수(Glacial lake outburst flood: GLOF)
빙하호의 붕괴로 인한 홍수. 빙하 홍수는 대체로 인위적인 개발이 누적된 결과이며, (i) 단 한 번 발생하거나(예: 빙퇴석으로 이루어진 호수(moraine-dammed lake)의 완전한 붕괴까지는 아닌), (ii) 처음으로 발생하거나(예: 빙하호가 새로 형성되고 붕괴), 또는 (iii) 반복적으로 발생한다(예: 배수 순환이 발생하는 얼음이 댐 역할을 하고 있는 호수, 또는 빙하의 붕괴).

빙하(Glacier)
중력을 받아 (내부 변형과 기저부의 미끄러짐을 통해) 아래로 흐르고 내부의 응력과 기저부 및 측면의 마찰에 의해 제약을 받는 육지의 얼음 덩어리. 빙하는 고도가 높은 곳은 눈이 축적되고 고도가 낮은 곳은 녹거나 바다로 방출되어 균형이 유지된다.

전지구 기후 모델(Global climate model: GCM) 또는 대기대순환 모델
기후 모델 참고.

전지구 표면 온도(Global surface temperature)
전지구 표면 온도는 지표면 부근 기온의 전지구 평균값이다. 그러나 시간에 따른 변화에 관해서는 지역에 따라 가중치를 적용한 전지구 평균 해수면 온도 편차와 지표면 기온 편차에 기초하여 기후 평균에서 벗어난 기온 편차(temperature anomaly)만 사용한다

거버넌스(Governance)
정부(government)를 이해하는 방식은 최근 수십 년 동안 사회적, 경제적, 기술적 변화에 대응하여 변화하였다. 다양한 수준의 정부(지구, 국제, 지역 및 지방 정부)의 기여도와 민간 부문, 비정부 부문 및 커뮤니티의 역할을 인정하면서, 국가정부에 의해 엄격히 정의된 정부에서 좀더 포괄적인 개념의 거버넌스로 이동되었다.

온실 효과(Greenhouse effect)
온실가스는 지표, 대기, 구름에 의해 방출된 열 적외 복사를 효과적으로 흡수한다. 대기 복사는 지표로의 방출을 포함하여 사방으로 방출된다. 따라서 온실가스는 지표-대류권 시스템 안에 열을 가두게 한다. 이것을 온실효과라고 부른다. 대류권의 열 적외 복사는 그 복사가 방출된 고도의 기온과 강한 연관성이 있다. 대류권에서는 일반적으로 고도가 높아질수록 기온이 감소한다.

우주로 방출되는 적외 복사는 평균 기온이 −19℃인 고도에서 기원하여 태양 복사의 순 입사량과 균형을 이루는 반면에, 지표는 그보다 훨씬 높은 온도, 평균적으로 +14℃의 온도를 유지한다. 온실가스 농도가 증가하면 대기의 적외선 불투명도가 증가되고 그리하여 온도가 더 낮은 더 높은 고도에서 유효 복사가 우주로 방출된다. 이것은 온실효과를 강화시키는, 소위 강화된 온실효과(enhanced greenhouse effect)를 일으키는 복사강제력을 야기한다.

온실가스(Greenhouse gas)
온실가스는 대기의 자연적 및 인위적 가스 성분이며 지구 표면에 의해, 대기 자체에 의해, 구름에 의해 방출된 열 적외 복사의 스펙트럼 내 특정 파장의 복사를 흡수하고 방출한다. 이 특성이 온실가스 효과를 일으킨다. 수증기(H20), 이산화탄소(CO2), 아산화질소(N20), 메탄(CH4) 및오존(O3)이지구대기의주요한온실가스이다. 대기에는할로카본과기타염소계및브롬계물질같이전적으로인위적인온실가스도있으며이것들은몬트리올의정서에따라관리된다. 교토의정서는 CO2, N20, CH4외에도육불화황(SF6), 수소화불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs) 같은온실가스를다룬다.

Hazard(위험)
인명 손실, 부상, 기타 건강에의 영향뿐 아니라 재산, 기반시설, 생계, 서비스 제공, 환경 자원의 피해 및 손실을 야기할 수 있는 자연적 또는 인위적 물리 현상이 발생할 가능성.

열파(Heat wave) 또는 극한 열 현상
날씨가 비정상적으로 뜨거운 기간. 열파와 온파의 정의는 다양하고 일부 경우에는 정의가 서로 겹치기도 한다. 온파 참고.

홀로세(Holocene)
홀로세의 지질학적인 구분은(Holocene geological epoch) 약 11,600년 전부터 현재까지인 제4기의 두 지질시대 중 후자에 속한다.

인간 안전(Human security)
인간 안전은 두 가지 측면이 있다고 말할 수 있다. 첫째, 인간 안전은 기아, 질병, 억압 같은 만성적 위협으로부터의 안전을 의미한다. 둘째, 인간 안전은 가정, 직장 또는 커뮤니티에서 일상 생활 패턴의 갑작스럽고 위해적인 붕괴로부터의 보호를 의미한다. 그러한 위협은 선진국이든 개발도상국이든 모든 국가 수준에서 존재할 수 있다.

수문 순환(Hydrological cycle) 또는 물 순환
물이 바다와 지표면에서 증발되어 전지구 규모의 대기 순환에서 수증기로 운반되고, 응결하여 구름이 형성된 후 비나 눈이 되어 내리고, 이는 나무와 식생에 흡수된다. 또한 비나 눈은 지면에 유출수를 제공하고, 토양에 흡수되며, 지하수를 채우고, 하천에 방출되어 바다에 흘러 들어간다. 궁극적으로 물이 다시 바다나 지표면에서 증발되는 순환이 발생한다. 수문 순환에 포함된 다양한 시스템을 일반적으로 수문 시스템이라 한다.

영향(Impacts)
자연계와 인간 시스템에 미치는 영향. 이 보고서에서 '영향'이라는 용어는 물리적 현상, 재해 및 기후변화가 자연계와 인간 시스템에 끼치는 영향을 말한다.

인도양 쌍극자 모드(Indian Ocean Dipole: IOD)
인도양에서 해수면 온도의 대규모 경년변동성. 이 패턴은 열대 해역 해수면 온도의 동서 차이에 의해 나타나는데, 북반구 가을철에 인도양 동서 해수면 온도 차가 커지면 이 지역 적도에 이상 동풍이 발생하여 인도양 서부에 위치한 소말리아에서는 기온이 상승하고 수마트라 섬에서는 기온이 낮아지는 현상이 나타난다.

보험/재보험(Insurance/reinsurance)
위험에 처한 가구, 기업 또는 정부들 사이에 위험을 공유하고 이전하는 금융 수단. 위험 이전 참고.

산사태(Landslide)
물질이 포화될 때 중력에 의해(종종 물의 힘이 더해짐) 아래쪽으로 이동한 물질 덩어리. 토양, 바위 또는 파편이 사면 아래로 내려가면 급격히 또는 서서히 점진적으로 피해가 발생할 수 있다.

지표면 기온(Land surface air temperature)
육상 1.5~2m 높이의 통풍이 잘되는 백엽상에서 측정한 기온.

토지 이용과 토지 이용 변화(Land use and land use change)
토지 이용이란 특정한 토지 피복 유형(일련의 인간 활동에 의해)에서 이루어지는 모든 준비, 활동, 투입을 뜻한다. 토지 이용이란 용어는 토지를 관리하는 사회적, 경제적 목적이라는 의미로도 사용된다(예: 방목, 벌채, 보존). 토지 이용 변화는 인간에 의해 토지의 이용 또는 관리가 변한 것을 말한다. 토지 이용 변화는 토지 피복(land cover)의 변화로 이어질 수도 있다. 토지 피복과 토지 이용 변화는 지표면의 알베도, 증발산, 온실가스 발생원과 제거원, 기후시스템의 기타 특성에 영향을 줄 수 있으므로 지역적으로 또는 전지구적으로 기후에 복사강제력 및 기타 영향을 줄 수 있다.

감률(Lapse rate)
고도에 따른 대기의 요소, 흔히 기온의 변화율. 감률은 고도에 따라 요소의 값이 감소하면 양수로 간주한다.

잠열 플럭스(Latent heat flux)
지구 표면에서 수증기의 증발 또는 응결과 관련 있는, 지구 표면에서 대기로의 열 플럭스. 지표면 에너지 수지의 한 성분이다.

가능성(Likelihood)
단일의 현상이나 어떠한 결과, 예를 들어, 어떠한 범위 안에 있는 기후 파라미터, 관측된 추세, 또는 예상되는 변화가 발생할 확률적 추정치. 가능성은 통계적 또는 모델링 분석, 전문가의 견해, 또는 기타 정량적인 분석에 기초할 수 있다.

지방 재해 위험 관리(Local disaster risk management: LDRM)
지방의 행동 주체(시민, 커뮤니티, 정부, 비영리 조직, 기관, 기업)이 위험, 노출 또는 취약성을 저감 또는 예측하고; 위험을 이전하며; 재해 대응 및 복구를 개선하고; 능력의 전반적인 증진을 촉진하는 대책을 통해, 재해 위험과 재해의 식별, 분석, 평가, 감시 및 처리에 참여하고 그에 대한 소유권을 갖는 과정. LDRM은 대체로 지역, 국가 또는 국제 수준의 외부 행동 주체들과의 협력 및 그들의 지원을 필요로 한다. 커뮤니티에 기반한 재해 위험 관리는 LDRM의 하위 수준이며 커뮤니티 구성원과 조직들이 의사결정의 중심에 있다.

매스무브먼트(Mass movement)
산지에서 발생하는 매스무브먼트란 산사태, 눈사태, 암석 붕괴, 파편의 흐름을 비롯한 다양한 질량수송 과정을 말한다.

평균 해수면(Mean sea level)
해양과 접한 육지에서 조위계로 측정한 해수면. 평균 해수면은 보통 한 달 또는 1년처럼 파도와 조석 같은 변화에 대한 평균을 산출하기에 충분히 긴 기간을 평균한 해수면으로 정의된다. 해수면 변화 참고.

자오면 순환(Meridional overturning circulation: MOC)
대양에서 심층 또는 밀도층에서 일어나는 질량수송의 수평(동서) 합계로 산출한 대규모 자오면(남북) 순환을 말한다. 아한대 지역에서 떨어진 북대서양에서 MOC는(이것은 원칙적으로 관측 가능한 양이다) 열염 순환을 통해 확인할 수 있다. 그러나 MOC는 극쪽으로 이동하는 온수(상대적으로 밀도가 낮은)가 약간 더 밀도가 높게 되고 심층에서 적도 쪽으로 섭입(subducted)되어 열대 및 아열대 지역의 상층 해양과 같이 얕고 바람에 의해 발생하는 역전 구역을 포함할 수 있다는 점을 유념해야 한다.

(재해 위험 및 재해) 완화(Mitigation (of disaster risk and disaster))
위험, 노출, 취약성을 저감하는 조치를 통해 물리적 위험(인위적 위험 포함)의 잠재적인 악영향을 줄이는 것.

(기후변화의) 완화(Mitigation (of climate change))
온실가스 배출원을 저감하거나 흡수원을 증대하기 위한 인위적인 중재.

기후변동성 패턴(Modes of climate variability)
기후시스템에서 계절이나 그보다 긴 시간범위의 자연적 변동성은 대기순환의 역학적 특성과 육지 및 해양 표면의 상호작용을 통해 주로 우선적 공간 패턴과 시간범위에서 발생한다. 그러한 패턴을 기후레짐(regime), 모드(mode) 또는 원격상관(teleconnections)이라고 부른다. 예를 들면, 북대서양 진동(NAO), 태평양–북아메리카 패턴(PNA), 엘니뇨–남방진동(ENSO), 북반구 극진동[(NAM, 전에는 북극진동 Arctic Oscillation(AO)라고 불렸음)], 남반구 극진동[(SAM, 전에는 남극진동 Antarctic Oscillation(AAO)라고 불렸음)]이 있다.

몬순(Monsoon)
몬순은 대륙 규모의 육지와 주변 대양 간의 차별적 가열로 인해 열대 및 아열대 지역에서 지상풍과 그로 인한 강수가 계절적으로 바뀌는 현상이다. 몬순 강우는 주로 여름에 육지에서 발생한다.

비선형성(Nonlinearity)
원인과 결과 사이에 단순히 비례적인 관계가 없으면 비선형 과정이라고 부른다. 기후시스템은 이러한 비선형 과정을 많이 포함하고 있어서 매우 복잡한 양상을 보일 가능성이 있다. 이러한 복잡성은 돌발적 기후변화를 일으킬 수 있다. 예측성 참고.

북대서양 진동(North Atlantic Oscillation: NAO)
북대서양 진동은 서로 반대로 진동하는 특징을 나타내는 아이슬란드 근처의 대기압과 아조레스 인근의 대기압으로 이루어진다. 그러므로 대서양에서 유럽으로 부는 편서풍 강도의 변동성에 영향을 미치고 그리하여 전선과 연관된 저기압의 변동성에도 영향을 미친다.

북반구 극진동(Northern Annular Mode: NAM)
북극의 낮은 지상기압과 강한 중위도 편서풍이 특징인 패턴의 진폭이 겨울철에 변동하는 것. NAM은 성층권에서의 북극 소용돌이(northern polar vortex)와 관련이 있다. 이것의 패턴은 북대서양쪽으로 편의되어 있고 북대서양 진동과 큰 상관관계가 있다.

태평양 십 년 진동(Pacific Decadal Oscillation: PDO)
20° N 북쪽의 북태평양에서 해수면 온도에 대한 경험적 직교함수(Empirical Orthogonal Function: EOF)의 패턴과 시계열. 영역이 태평양 전체로 확장된 PDO는 Inter-decadal Pacific Oscillation(IPO)로 알려져 있다. PDO와 IPO는 사실상 동일한 시간적 경과를 나타낸다.

모수화(Parameterization)
기후 모델에서 이 용어는 모델의 시·공간 해상도(아격자 규모 과정(sub-grid scale process))에서 모델이 분해한 보다 큰 규모의 흐름과 그러한 아격자 규모 과정에서의 지역 평균 또는 시간 평균 간 관계에 의해 명확하게 해석될 수 없는 과정을 표현하는 기법을 말한다.

퍼센타일(Percentile)
어떠한 자료에서 그 값보다 작거나 같은 값들의 백분율을 의미하는 백분위수. 퍼센타일은 종종 분포의 양 극단을 추정하는 데 사용된다. 예를 들면, 90 퍼센타일(10 퍼센타일)을 양 극단에 대한 상한(하한)의 기준치로 사용할 수 있다.

영구동토(Permafrost)
최소 2년 연속 0℃ 이하인 지면(토양, 혹은 암석, 포함된 얼음과 유기물).

예측가능성(Predictability)
시스템의 현재 및 과거 상태에 대한 정보를 토대로 시스템의 미래 상태를 예측할 수 있는 정도.

확률 밀도 함수(Probability density function: PDF)
변수의 여러 결과의 상대적 발생 가능성을 나타내는 함수. PDF는 정의된 영역에서 1로 적분하고, 하위영역의 적분치는 변수의 결과가 그 하위영역 내에 있을 확률과 같다. 예를 들어, 특정하게 정의된 이상 기온이 0보다 클 확률은 그것의 PDF를 0보다 큰 모든 이상 기온에 대해 적분하여 구한다. 2개 이상의 변수를 동시에 다루는 PDF는 서로 유사하게 정의된다.

전망(Projection)
어떤 양(들)이 잠재적으로 미래에 어떻게 전개될 것인가를 흔히 모델을 이용

해 산출하는 것. 전망은 예측과는 다르다. 전망은 실현될 수도 실현되지 않을 수도 있는 미래의 사회경제적, 기술적 발달에 관한 가정을 포함하며, 그래서 상당한 불확실성이 적용된다. 기후전망과 기후예측 참고.

프록시 기후 지표(Proxy climate indicator)
프록시 기후 지표(proxy climate indicator)는 과거에 기후와 관련한 변동성을 표현하기 위하여 물리적, 생물학적 원리를 이용하여 해석할 수 있는 국지적인 규모에서 나타나는 기록이다. 이러한 방법으로 산출된 기후자료를 프록시 자료라고 부른다. 프록시의 예로는 화분 분석, 나이테 기록, 산호의 특성, 아이스코어(icecore)를 통해 산출된 여러 자료가 있다. '프록시'라는 용어는 관측치가 없을 때 현재 상태의 조건에 대한 간접적인 추정치를 일컫는 데도 사용된다.

복사강제력(Radiative forcing)
복사강제력은 대류권에서 CO2 농도 변화나 태양복사 같은 외부적 기후변화로 인해 생긴 순 복사(하향복사-상향복사)의 변화이다. 복사강제력은 대기의 모든 속성을 비섭동 값에 고정시키고 성층권의 온도를 감안하여 만약, 섭동된 경우에는 역학적 복사 평형으로 재조정 한 후 산출된다. 성층권 온도에 변화가 없다는 것을 고려하여 복사강제력은 순간적(instantaneous)이라고 한다. 이 보고서를 위해 복사강제력을 추가로 정의하자면, 달리 언급하지 않는 한 1750년과 비교한 변화량이고, 전지구 연평균 값이다. 복사강제력을 구름 복사강제력과 혼동해서는 안 된다. 구름 복사강제력은 대기 상층부의 복사량에 대한 구름의 영향을 나타내는 척도로서, 비슷해 보이기는 해도 복사강제력과는 관계가 없다.

재분석(Reanalysis)
재분석은 고정된 첨단 기상 예측 모델과 자료 동화 기법을 사용해서 과거의 기상 및 해양 자료를 처리하여 산출된 기온, 바람, 해류, 기타 기상 및 해양과 관련한 정량적인 값을 분석하는 것이다. 자료 동화에서 고정값을 사용하면 운영분석에서 발생하는 분석시스템 변화로 인한 영향을 피할 수 있다. 연속성이 향상되지만 전지구 규모에서의 재분석은 관측시스템의 공간 범위 및 편의의 변화 때문에 여전히 애를 먹고 있다.

상대적 해수면(Relative sea level)
평균 해수면 참고.

복원력(Resilience)
시스템 또는 그 구성요소들이 필수 기본 구조 및 기능의 보존, 복원 또는 개선을 통해 시기 적절하고 효율적으로 위험 현상의 영향을 예측, 흡수, 수용하거나 영향으로부터 회복할 능력.

재현 기간(Return period)
정의된 규모나 강도로(또는 그보다 심하거나 약한) 나타나는 현상(예: 홍수 또는 극한 강수)이 발생하는 평균 시간 간격의 추정치.

재현값(Return value)
주어진 기간 동안(예: 10년 동안) 평균적으로 한 번 발생하는, 변수의 최고치(혹은 최저치).

위험 이전(Risk transfer)
특정 위험의 재정적 영향을 한 당사자에서 다른 당사자에게 공식 또는 비공식적으로 전환하는 과정. 이를 통해 가구, 커뮤니티, 기업, 또는 정부 당국은 재해 발생 후에, 상대방에게 제공된 지속적 또는 보상적 사회 또는 재무 혜택과 교환하여 그 상대방에게서 자원을 획득한다.

유출수(Runoff)
강수량 중에서 증발하거나 발산되지 않고 지표 위로 흘러 수계로 돌아가는 부분. 수문 순환 참고

시나리오(Scenario)
발전 동력과 이들의 관련성에 대한 일관적이고 내부적으로 모순이 없는 가정에 기초하여 미래가 어떻게 전개될 것인가를 타당성 있고 단순하게 기술한 것. 시나리오는 전망으로부터 도출될 수 있지만 다른 출처를 통한 추가적인 정보에 기초하기도 하며, 과정을 포함하기도 한다. 기후 시나리오와 배출 시나리오 참고.

해수면 변화(Sea level change)
(i) 해양분지 형태의 변화, (ii) 총 수괴 및 물과 육상 얼음의 분포에 대한 변화, (iii) 해수 밀도의 변화로 인한 전지구적 또는 국지적 해수면 변화. 해수 밀도의 변화로 인한 해수면 변화를 팽창(steric)이라고 부른다. 온도 변화에 의해서만 유발된 밀도변화는 열 팽창(thermosteric), 염분 변화에 의해 유발된 밀도변화는 염분 팽창(halosteric)이라고 한다. 평균 해수면 참고.

해수면 온도(Sea surface temperature: SST)
해수면 온도는 선박, 부표, 드리프터(drifter)로 측정한 대양의 상층부 수 미터 아래의 해수 온도이다. 선박에서 해수 표본을 물통에 담아 측정하던 방법은 1940년대에 대부분 엔진을 이용한 표본 추출 방식으로 바뀌었다. 위성에서 자외선으로 대양의 표층 온도(skin temperature)(최상층, 1mm 깊이)를 측정하거나 마이크로파로 최상층 1cm 정도를 측정하는 방법도 사용되는데 해수 온도와 잘 일치하도록 조정해야 한다.

현열 플럭스(Sensible heat flux)
물의 위상변화에 관련 없이 지구 표면에서 대기로 방출되는 열 플럭스. 지표 에너지 수지의 한 성분이다.

유효 파고(Significant wave height)
바다와 너울에서 특정 기간 동안 발생한 파고(골부터 마루까지)의 상위 1/3의 평균 파고.

토양 수분(Soil moisture)
육지 표면에 저장되어 있어 증발산 될 수 있는 수분.

남반구 극 진동(Southern Annular Mode: SAM)
NAM과 비슷한 패턴이지만 남반구에서 일어나는 변동.

SRES 시나리오
배출 시나리오 참고.

폭풍 해일(Storm surge)
극단적인 기상조건(저기압이나 강풍)으로 인해 특정 지역에서 해수면이 일시적으로 높아진 것. 폭풍 해일은 시간과 장소에서 조석 변동만으로 예측되는 수준을 초과하는 해일이라고 정의된다.

폭풍 경로(Storm tracks)
원래는 저기압의 경로를 칭하는 용어였으나 현재는 온대저기압(extratropical cyclone)의 주 경로에서 저기압과 고기압이 연속으로 발생하는 지역을 칭하는 용어로 일반화 되었다.

하천유량(Streamflow)
하도(river channel)에서 흐르는 유량. ms^{-1}로 표현한다. 하천 수위(river discharge)와 동의어이다.

보완성(Subsidiarity)
정부(이와 동일한 다른 형태)의 결정은 가급적이면 시민과 가장 가까운 가장 분권된 수준에서 가장 잘 내리고 이행해야 한다는 원칙. 보완성은 책임성을 강화하고, 적용대상과 동떨어진 곳에서 의사를 결정할 위험을 줄이기 위한 것이다. 이 원칙은 상위 정부의 조치를 제한 또는 구속하지 않으며, 단지 불필요하게 상위 수준에서 책임을 상정하지 않도록 조언할 뿐이다.

표면 온도(Surface temperature)
지구 표면 온도, 지표면 온도, 해수 온도 참고.

지속 가능한 발전(Sustainable development)
미래 세대의 필요 충족 능력을 훼손하지 않고 현재의 필요를 충족하는 발전.

증산(Transpiration)
나뭇잎 표면에서 기공을 통해 수증기가 증발하는 것.

변환파(Transformation wave)
시스템(가치 시스템; 규제, 법률 및 관료 시스템; 금융기관; 기술적 또는 생물학적 시스템 포함)의 기본 속성이 바뀌는 것.

열대저기압(Tropical cyclone)
열대 해양에서 발원하여 강한 요란(disturbance)을 가진 저기압을 일컫는 일반 용어. 기준 풍속을 초과함으로써 보다 약한 시스템 (명명된 열대 요란(tropical disturbance) 또는 저기압(depression))과는 구분된다. 열대 폭풍은 1분 평균 지상풍이 18-32 ms^{-1}인 열대저기압이다 32ms^{-1} 이상인 열대저기압은 지역에 따라 허리케인, 태풍, 사이클론으로 불린다.

불확실성(Uncertainty)
값이나 관련성이 알려지지 않은 정도. 불확실성은 정보의 부재로부터 또는 알고 있는 것이나 알 수 있는 것에 대한 의견의 불일치에서 기인할 수 있다. 불확실성은 관측 자료의 오류, 모호하게 정의된 개념이나 용어, 또는 인간 행동의 불확실한 전망 같은 다양한 것에서 기인할 수 있다. 그러므로 불확실성은 다양한 모델로 계산된 값들의 범위인 정량적 척도로, 또는 정성적 진술로, 예를 들어, 전문가팀의 판단을 반영하는 정성적 진술로 표현할 수 있다. 가능성과 신뢰수준 참고.

도시 열섬(Urban heat island)
강우 유출의 변화, 콘크리트 숲이 열의 보존에 미치는 효과, 지표 알베도의 변화, 오염과 에어로졸의 변화 등으로 인해 도시 기온이 주변의 교외 지역보다 상대적으로 높은 현상.

취약성(Vulnerability)
악영향을 받기 쉬운 성향 또는 소인.

온난일/온난야(Warm days/warm nights)
주간의 최고기온 또는 야간의 최저기온이 90 퍼센타일을 초과하여 나타나는 주간과 야간. 이 경우 비교를 위한 값은 일반적으로 기준 기간인 1961-1990년의 평균으로 정의된다.

온파(Warm spell)
날씨가 비정상적으로 따뜻한 기간. 열파와 온파의 정의는 다양하고 일부 경우에는 정의가 서로 겹치기도 한다. 열파 참고.

부속서 III

약어

AAO	Antarctic Oscillation
ADAPT	Assessment & Design for Adaptation to Climate Change: A Prototype Tool
AMO	Atlantic Multi-decadal Oscillation
AO	Arctic Oscillation
AR5	Fifth Assessment Report
CAPE	Convective Available Potential Energy
CAT	catastrophic risk
CBA	cost-benefit analysis or community-based adaptation
CBD	Convention on Biological Diversity
CBDR	common but differentiated responsibilities and respective capabilities
CBO	community-based organization
CCA	climate change adaptation
CCRIF	Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility
CCSP	Climate Change Science Program (US)
CDD	Consecutive Dry Days
CDM	Clean Development Mechanism
CEE	Centre for Environment Education
CEI	Climate Extremes Index
C-ERA-40	Corrected ERA-40 reanalysis
CFR	case fatality rate
CH4	methane
CMIP3	Coupled Model Intercomparison Project 3
CO2	carbon dioxide
COP	Conference of the Parties
CPP	cyclone preparedness program
CRED	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
CSA	Canadian Standards Association
CSO	civil society organization
CSR	corporate social responsibility
DDI	Disaster Deficit Index
DFID	Department for International Development (UK)
DJF	December-January-February
DRM	disaster risk management
DRR	disaster risk reduction
DRRM	disaster risk reduction management
EbA	ecosystem-based adaptation
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development
EDI	Ethiopia Drought Index
ELF	Emergency Liquidity Facility
EM-DAT	Emergency Events Database
ENSO	El Niño-Southern Oscillation
ERA-40	European Centre for Medium Range Weather Forecasts 40-year reanalysis
EVT	extreme value theory
EWS	early warning system
FAO	Food and Agriculture Organization
FONDEN	Fund for Natural Disasters
GAR	Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction
GCM	global climate model
GDP	gross domestic product
GEC	global environmental change
GEF	Global Environment Facility
GFCS	Global Framework on Climate Services
GFDRR	Global Facility for Disaster Reduction and Recovery
GHG	greenhouse gas
GIS	geographic information system
GLOF	glacial lake outburst flood
GNCSODR	Global Network of Civil Society Organisations for Disaster Reduction
GPS	Global Positioning System
GSDI	Global Spatial Data Infrastructure
H2O	water
HARS	Heat Action Response System
HDI	Human Development Index
HEP	hydroelectric power
HFA	Hyogo Framework for Action
HFC	hydrofluorocarbon
HWDI	Heat Wave Duration Index
HWS	Heat Warning System
IADB	Inter-American Development Bank
IAM	integrated assessment model
ICSU	International Council for Science
ICT	information and communication technology
ICZM	integrated coastal zone management
IDMC	Internal Displacement Monitoring Centre
IDNDR	International Decade for Natural Disaster Reduction
IDP	internally displaced person
IDRL	International Disaster Response Law
IHL	international humanitarian law
IOD	Indian Ocean Dipole
IPO	Inter-decadal Pacific Oscillation
IRDR	Integrated Research on Disaster Risk program
ISSC	International Social Science Council
ITCZ	Inter-Tropical Convergence Zone
IWRM	integrated water resource management
JJA	June-July-August
LA RED	Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina
LDC	least-developed country
LDCF	Least Developed Countries Fund
LDRM	local disaster risk management
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LIDAR	Light Detection and Ranging
MDGs	Millennium Development Goals

MFI	micro-finance institution
MJO	Madden-Julian Oscillation
MLP	multi-level perspective
MME	Multi-Model Ensemble (CMIP3)
MOC	meridional overturning circulation
MPBI	Indonesian Society for Disaster Management
MSLP	mean sea level pressure
N2O	nitrous oxide
NAM	Northern Annular Mode
NAO	North Atlantic Oscillation
NAPA	National Adaptation Programme of Action
NaTech	Natural Hazard Triggering a Technological Disaster
NDMO	National Disaster Management Office
NECJOGHA	Network of Climate Journalists of the Greater Horn of Africa
NGO	nongovernmental organization
NHC	National Hurricane Committee
NIDM	National Disaster Management Institute
NMHS	national meteorological and hydrological service
NTR	non-tide residuals
NU	Nunavut
NWP	Nairobi Work Programme
NWT	Northwest Territories
O3	ozone
OCHA	United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
ODA	official development assistance
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OFDA	Office of Foreign Disaster Assistance
OLR	outgoing longwave radiation
PAR	pressure and release
PDF	probability density function
PDO	Pacific Decadal Oscillation
PDSI	Palmer Drought Severity Index
PESET	A Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on boTtom-up Analysis
PFC	perfluorocarbon
PICs	Pacific Island Countries and Territories
PNA	Pacific North American pattern
POPs	persistent organic pollutants
PPEA	Precipitation Potential Evaporation Anomaly
PPP	public-private partnership
Pr	precipitation
PSNP	Productive Safety Net Programme
PTSD	post-traumatic stress disorder
PVI	Prevalent Vulnerability Index
RAC	Regional Adaptation Collaborative
RANET	RAdio and InterNET
RCM	regional climate model
REDD	reduced carbon emissions from deforestation and forest degradation
REDD+	reduced carbon emissions from deforestation and forest degradation, maintaining/enhancing carbon stocks, and promoting sustainable forest management
RMI	Republic of the Marshall Islands
SAM	Southern Annular Mode
SAMS	South American Monsoon System
SCCF	Special Climate Change Fund
SDLE	Prepare, Stay and Defend, or Leave Early
SDMP	School Disaster Management Plans
SECO	Swiss State Secretariat for Economic Affairs
SF6	sulfur hexafluoride
SHELDUS	Spatial Hazard Events and Losses Database for the United States
SIDS	small island developing states
SIS	small island states
SMA	soil moisture anomaly
SMEs	small- and medium-sized enterprises
SOI	Southern Oscillation Index
SPA	Strategic Priority 'Piloting an Operational Approach to Adaptation'
SPEI	Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index
SPI	Standard Precipitation Index
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
SST	sea surface temperature
SWH	significant wave height
UN	United Nations
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification
UNDP	United Nations Development Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction
WDSI	Warm Spell Duration Index
WFP	World Food Programme
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization
YT	Yukon Territory

부속서 IV

주요 IPCC 보고서 목록

Climate Change: The IPCC Scientific Assessment
Report of the IPCC Scientific Assessment Working Group
1990

Climate Change: The IPCC Impacts Assessment
Report of the IPCC Impacts Assessment Working Group
1990

Climate Change: The IPCC Response Strategies
Report of the IPCC Response Strategies Working Group
1990

Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment
Report of the IPCC Scientific Assessment Working Group
1992

Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Impacts Assessment
Report of the IPCC Impacts Assessment Working Group
1992

Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments – IPCC First Assessment Report Overview and Policymaker Summaries, and 1992 IPCC Supplement
1992

Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios
IPCC Special Report
1994

Climate Change 1995: The Science of Climate Change
Contribution of Working Group I to the IPCC Second Assessment Report
1996

Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses
Contribution of Working Group II to the IPCC Second Assessment Report
1996

Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change
Contribution of Working Group III to the IPCC Second Assessment Report
1996

Climate Change 1995: IPCC Second Assessment Synthesis of Scientific-Technical Information Relevant to Interpreting Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change
1996

Technologies, Policies, and Measures for Mitigating Climate Change
IPCC Technical Paper I
1996

An Introduction to Simple Climate Models used in the IPCC Second Assessment Report
IPCC Technical Paper II
1997

Stabilization of Atmospheric Greenhouse Gases: Physical, Biological, and Socio-Economic Implications
IPCC Technical Paper III
1997

Implications of Proposed CO2 Emissions Limitations
IPCC Technical Paper IV
1997

The Regional Impacts of Climate Change
IPCC Special Report
1998

Aviation and the Global Atmosphere
IPCC Special Report
1999

Methodological and Technological Issues in Technology Transfer
IPCC Special Report
2000

Land Use, Land-Use Change, and Forestry
IPCC Special Report
2000

Emissions Scenarios
IPCC Special Report
2000

Climate Change 2001: The Scientific Basis
Contribution of Working Group I to the IPCC Third Assessment Report
2001

Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability
Contribution of Working Group II to the IPCC Third Assessment Report
2001

Climate Change 2001: Mitigation
Contribution of Working Group III to the IPCC Third Assessment Report
2001

Climate Change 2001: IPCC Third Assessment Synthesis Report
2001

Climate Change and Biodiversity
IPCC Technical Paper V
2002

Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons
IPCC Special Report
2005

Carbon Dioxide Capture and Storage
IPCC Special Report
2005

Climate Change 2007: The Physical Science Basis
Contribution of Working Group I to the IPCC Fourth Assessment Report
2007

Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability
Contribution of Working Group II to the IPCC Fourth Assessment Report
2007

Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change
Contribution of Working Group III to the IPCC Fourth Assessment Report
2007

Climate Change 2007: Synthesis Report
2008

Climate Change and Water
IPCC Technical Paper VI
2008

Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation
IPCC Special Report
2011

Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation
IPCC Special Report
2012

Enquiries: IPCC Secretariat, c/o World Meteorological Organization, 7 bis, Avenue de la Paix, Case Postale 2300, CH - 1211 Geneva 2, Switzerland

색인

Index | Key

Terms defined in the glossary are marked with an asterisk(*). Bold page numbers indicate page spans for entire chapters. Italicized page numbers denote tables, figures, and boxed material.

A

Abrupt climate change[*], 122, 458
Access
  to resources, 454-456
  to technology, 447-448
ADAPT (Assessment & Design for Adaptation Tool), 417
Adaptation[*], 6, 36, 443
  barriers to, 451-453
  community-based, 295, 300, 321, 322
  continuum/process, 323, 324
  coping and, 50-56
  dimensions of, 51
  DRM and, 37-39, 47-48, 398, 408-409, 443-462
  DRM as, 443-450
  DRR and, 237, 396-397, 423-424, 443-446
  ecosystem-based, 343, 352, 357, 370-371, 371, 445-446
  effectiveness and tradeoffs, 439-440, 448-450
Adaptation, inequalities, 10, 294, 313-317
Adaptation[*]
  integration with DRM, 11, 28, 50, 355-357, 396-397, 425-427, 439, 450-454, 469-471
  interactions with DRM and mitigation, 20, 440, 458-462
  international level, 396-397, 411
  learning and, 27-28, 50, 53-56
  local knowledge and, 293, 311-312
  local level, 293-295, 319-320, 319
  mainstreaming, 348, 355-357
  maladaptative actions, 55, 368
  management options, 16-20, 18-19
  past experience and, 10-11, 38-39
  portfolio of approaches, 17, 295
  robust, 56
  sector-based, 352-354, 357
  sustainability and, 444
  synergies with DRM, 48-50, 68, 357, 469-471
  technology and, 414-415, 415
  UNFCCC commitments on, 407
Adaptation costs, 264-269, 412-414
  assessment of, 273-274, 273, 274
  in developing countries, 412, 412
  evaluation of, 236, 266-269
  funding for, 406-407, 411
Adaptation deficit, 265
Adaptation Fund, 406-407, 411, 413
Adaptation limits, 319-320, 319
Adaptation options, 352-354
Adaptation planning, 349-357, 443-444
Adaptive capacity[*], 6-7, 33, 72-76, 73, 443
  local, 294, 308-313, 315
  post-disaster recovery/reconstruction and, 293, 439
Adaptive management, 343, 377-379, 467
Adjustments, 450-454
Afforestation, 352, 355
Africa, 253-254
  adaptation costs, 274, 274
  agricultural impacts, 246-247, 253
  drought, 19, 170, 171, 172, 174, 175, 253
  floods, 176, 253-254, 297
  food security, 368
  monsoons, 153, 154
  precipitation, 142, 143, 145-146, 147, 193, 199, 253-254
  sand/dust storms, 190, 254
  temperature, 134, 135, 139-140, 141, 193, 199
Africa Union, 401
Age/aging, 234-235, 314, 315
Agriculture
  crop insurance, 323
  DRM/adaptation options, 352
  food security and, 368-369
  impacts, 235, 246-247, 272-273
  regional impacts, 253, 259
  temperature impacts, 247, 255
  vulnerability/exposure, 235
Alaska, 191, 197
  drought, 170
  precipitation, 145-146, 191, 197
  temperature, 135, 139-140, 191, 197
Alpine regions, 251
Amazon region, 194, 200, 371
Antarctica, 261-263
  ice sheet, 179, 188
Anthropogenic influences
  changes in extremes, 9, 112, 125-126, 268
  changes in precipitation, 143-144, 149
  changes in temperature, 135-136, 141
  climate change, 40
Aral Sea basin, 239
Arctic region, 261-263
Arid environments, 143, 149, 167, 190
  case studies, 498-502
Asia, 254-255
  adaptation costs, 273, 274
  adaptation technologies, 415, 415
  Disaster Reduction Hyperbase, 415
  drought, 171, 255
  floods, 176, 177, 254-255
  monsoons, 154
  precipitation, 142-143, 145-146, 147-148, 194-195, 201-202
  sand/dust storms, 190
  temperature, 135, 135, 139-140, 141, 194-195, 201-202, 255
  wildfires, 255
Assets, 315-316
Assistance
  humanitarian, 10, 293, 299-300
  international, 400
Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO)[*], 153, 157
Atolls, 263-264, 263
  community relocation, 300-301
Attribution
  of changes in extremes, 112, 119-120, 125-128, 268
  of changes in precipitation, 143-144
  of changes temperature, 135-136, 141
  of extreme events, 40
  human-induced changes, 9, 12, 125-126
  of impacts, 9, 268-269
  multi-step, 127-128
  single-step, 127-128
Auckland, 260, 261
Australia, 260-261
  case study (Victoria), 496-498
  coastal impacts, 183, 185, 186, 261
  drought, 170, 171, 172, 174, 261-262
  heat waves, 496-498
  land use change, 261
  precipitation, 142, 143, 145-146, 147, 148-149, 195, 202, 261
  temperature, 134, 135, 135, 139-140, 141, 195, 202
  waves, 182
  wildfire, 239, 261, 496-498
  wind, 150
Avalanches, 187-188, 189
  See also Landslides

B

Bali Action Plan, 398, 403, 407, 414
Bangladesh
  cyclones, 502-505, 503
  disaster preparedness, 305, 465
  early warning system, 405
  floods, 254, 461
Barriers to adaptation, 451-453
Baseline/reference[*], 117, 364
Belmont Challenge, 425-426
Bilateral/multilateral agencies, 348-349
Biodiversity, 343, 370, 371, 410, 446
Bottom-up mechanisms/approach, 266-267, 346, 350-351, 350, 396, 427
Brazil, 194, 200
  dams, 304
  drought, 172, 174, 175
  precipitation, 145-146, 148, 194, 200
  public awareness initiative, 527-528
  temperature, 139-140, 194, 200
Building codes, 305, 317, 353
  LEED standards, 461
  national, 347, 367-368
Building measures, 304-305
  wind-resistant building, 416

C

Cambodia, 526
Canada, 258-260
  case study, 514-517
  coastal impacts, 183
  CSA (Infrastructure in Permafrost) guide, 367
  drought, 170
  floods, 176, 177
  forest fires, 252, 259
  precipitation, 142, 143, 145-146, 148, 191, 197
  temperature, 135, 138, 139-140, 191, 197
  wind, 150
Cancun Agreements, 397, 398, 403, 408, 413, 414
Capabilities, 33
Capacity[*], 33, 72-76, 73
  availability and limitations, 454-456
Capacity building, 33, 308-313, 415
Capacity needs, 74-76
Carbon dioxide (CO2)[*], 244
Carbon sequestration, 307, 370
Carbon sink/source, 244
Caribbean, 184, 263
  adaptation costs, 273, 274
  adaptation strategies, 371
  coastal impacts, 183
  hurricanes, 19
  insurance/risk pool, 372, 400, 419, 524-525
  resilience building, 378
  tourism impacts, 251, 251
Case studies, 487-542
  synthesis of, 491-492, 529-530
Caste/class, 454
Catastrophic risk bonds, 419-420, 465
Catchments[*], 41, 113, 177-178, 242
Cayman Islands, 378
Central America, 255-256
  disaster losses, 256
  drought, 172, 175
  hurricanes, 503, 504-505
  precipitation, 142, 145-146, 191, 196-197, 201
  temperature, 135, 139-140, 191, 196-197, 201
Central Asia, 195
Children, 314, 454, 455
China
  adaptation technologies, 415
  drought, 174
  floods, 254-255
  national disaster management, 374
  precipitation, 143
  sand/dust storms, 190
  temperature, 135
  tropical cyclones, 254
  vulnerability/exposure, 347-348
  wind, 150, 152
Cholera, 316, 410, 507-510
Circulation (Walker/Hadley), 149, 151, 154
Cities, 248, 317, 460-461
  DRM/adaptation options, 353
  megacities, 294, 317, 510-512
  See also Urban areas
Civil society organizations, 348, 404, 409-410
Clausius-Clapeyron relationship[*], 126, 143-144
Clean development mechanisms, 411, 413
Climate[*]
  global mean, 121-122
  is it becoming more extreme? (FAQ), 124-125
Climate change[*], 25-64, 444
  abrupt, 122
  attribution of impacts to, 9, 268-269
  changes in extremes and, 7, 111, 115, 127
  concepts/definitions, 30-37
  defined, 5, 29
  DRM and, 27-28, 37-39, 375-380, 376-377
  DRM challenges, 46-47
Climate change adaptation. See Adaptation
Climate Change Green Fund, 397
Climate change mitigation. See Mitigation
Climate events
  categories of, 115
  disasters and, 115-118
  interactions of, 238-239, 239
Climate extremes[*], 65-290
  changes in, 8-9, 109-230
  context, 4-7, 4
  costs of, 264-274
  definition and analysis, 5, 111, 116-117, 237
  factors and confidence in, 111-112, 120-121
  impacts on humans and ecosystems, 231-290
  impacts on physical environment, 8-9, 167-190
  indices of, 116-117, 125
  managing changing risks, 16-20
  methods and requirements, 122-133
  natural and socioeconomic systems, 237-239
  observed changes, 7-9, 111-112, 119-120, 133-152
  past experience with, 10-11
  phenomena related to, 119, 152-166
  projected changes, 11-16, 112-114, 119-120, 133-152
  regional and global climate, 121-122
  regionally based impacts, 252-264
  unprecedented, 7, 111
  vulnerability/exposure and, 65-108, 239-264
  See also Extreme events
Climate feedback[*], 112, 118-120
Climate information, 421-422
Climate models[*], 13, 112-113, 128-133, 147
  ensembles, 131-133
  modeling tools, 464
  planning approach, 350-351, 350
  See also Projections
Climate modes[*], 113, 155-158
  observed and projected changes, 15-16, 119
  uncertainty in projections of, 113
  See also El Niño-Southern Oscillation
Climate projections[*], 119-120
Climate scenarios[*]. See Scenarios
Climate services, 409, 422
Climate variability, 7, 115, 155-158
Coastal erosion, 113, 182-183, 185, 186
Coastal floods, 259-260
Coastal impacts, 182-186
  case study, 510-512
  DRM/adaptation options, 352
  exposure and, 249, 258
  extreme high water, 9, 15, 18, 113, 178, 182
  observed changes, 120, 183
  projected changes, 113, 120, 183-186
  regional impacts, 254-255, 256-257, 259-260, 263
  sea level and, 182, 183, 184, 185
  waves and, 180-182
Coastal inundation, 18, 113, 182-183, 184-185, 185, 248, 249
Coastal settlements, 7-8, 235, 248, 249, 258, 460
  megacities (case study), 510-512
Cold climate regions (case study), 514-517
Cold days/cold nights[*], 8, 116, 134, 135, 137, 138, 141
  regional projections, 191-202
Cold spell, 134
Collective action, 309-310, 309, 321
Colombia, 519-522
Communication, 302-304
  gaps, 425
  national systems, 349, 376
  of risk, 17, 67, 95, 294, 302-304, 303, 376
  technologies, 422-423
Community-based adaptation, 295, 300, 321, 322
Community-based DRM[*], 308-313
Community-based DRR, 310, 321
Community-based organizations, 348
Complex Bayesian framework, 133
Complex systems, 46, 48, 53
Complexity, 27, 42-44, 53
Compound events, 118
Conference of the Parties (COP), 406
Confidence[*], 8, 21, 112, 120-121, 132
Conflict/warfare, 297
Contingent credit, 523
Contingent liabilities, 361, 361
Cooperation, 401, 402
Coordination (across scales and sectors), 342, 356, 358-360, 360, 439
  international, 408-409
  national, 358-360, 360
Copenhagen Accord, 408, 413
Coping[*], 33, 50-56, 450-451
  dimensions of, 51
  local, 294, 298-301
Coping capacity[*], 6-7, 51-53, 72-76, 73
Coping range, 52-53
Coral reefs, 185, 263
Corporate social responsibility, 347
Cost-benefit analysis, 267-268
Costa Rica, 252
Costs, 264-274
  adaptation costs, 264-265, 266-269, 273-274, 273, 274
  assessment of, 269-274
  damage costs, 264
  direct costs, 264, 266, 317
  DRM costs, 317-319
  economic costs, 267
  evaluating (estimating), 236, 266-269
  financial costs, 267
  framing of, 264-265
  global and regional costs, 269-271, 270, 271, 272
  indirect costs, 264, 266, 317
  intangibles, 264, 266, 317
  investment costs, 267
  local DRM costs, 317-319
  methods for evaluating, 266-269
  observed increase in, 270-271, 271
  potential damage costs, 264
  regional costs, 256, 270, 270
  residual damage costs, 264
  top-down vs bottom-up approach, 266-267
  uncertainty and, 274
Crop insurance, 524
Cultural dimensions, 7, 84-85
Cultural heritage loss, 317, 318, 319
Cultural norms and values, 84-85, 309, 310-311
Culture of safety, 362-366
Cumulative impacts, 6-7, 38, 67, 69
Customary law, 402
Cyclones, 41, 158-166
  case study, 502-505
  extratropical[*], 119, 163-166
    economic losses, 272, 272
    observed changes, 163-166
    poleward shift of, 8, 164-166
    projected changes, 13, 272, 272
  tropical[*], 119, 150, 151, 158-163, 502-505
    economic losses, 235, 254, 271, 272
    exposure to, 240
    forecasting/warnings, 416-417
    impacts, 248
    observed changes, 159-161, 163
    projected changes, 13, 161-163, 271, 272
    regional impacts, 254

D

Dams, 176, 304, 415
Databases, 364, 415, 423-424, 464
Debt, 93
Decentralization, 28, 46, 312-313, 360, 464
Decisionmaking, 67, 342

decentralized, 28
local, 305-306, 308, 310
maps of, 325
support tools, 463-466
tradeoffs in, 448
Definitions, 5
See also Glossary
Deforestation, 238, 252, 446
Demographic changes, 80, 234-235
Desertification, 190, 402
DesInventar database, 423-424
Developed countries
economic/disaster losses in, 9, 234, 265
mainstreaming, 356-357
urban capacities, 460
vulnerability, 78, 265
Developing countries
adaptation costs, 412, 412
adaptation funding, 406-407, 411, 413
disaster preparedness, 369
economic/disaster losses in, 9, 234, 265, 269-270, 400
infrastructure, 367-368
insurance (case study), 522-525
macroeconomic issues, 344, 412
mainstreaming, 357
urban capacities, 460
vulnerability, 77-78, 265, 269, 441
Development, 10, 11, 27
disaster risk and, 10, 27-28, 265-266
extreme events/impacts and, 265-266
international, 410
land use changes and, 238
planning, 439, 443-444, 460-461
post-disaster, 293, 439
setbacks, 410
skewed, exposure/vulnerability and, 10, 67, 70
sustainability and, 20, 437-486
values and interests in, 440, 446-447
vulnerability and, 67, 70, 78-80, 265
See also Sustainable development
Development pathways
disaster risk and, 27, 293
global, 10, 396
vulnerability/exposure and, 78-80
Dhaka, 252, 461, 511
Diarrhea, 252, 297, 506
Dikes/levees, 11, 52, 55, 68, 305
Direct losses, 264, 266, 317
Disaster[*], 27, 31, 39-44
cycle, 35
defined, 5, 31, 237
humanitarian relief for, 10, 293, 299-300
impacts of, 31, 32, 42
weather/climate related to, 115-122
Disaster costs, 264-274, 270, 271, 272
Disaster databases, 364, 423-424
Disaster Deficit Index (DDI), 93
Disaster losses, 9, 11-16
See also Economic losses/impacts
Disaster management[*], 35
Disaster mitigation, 36
Disaster preparedness, 36, 364-366, 376-377
Disaster prevention, 36, 69
Disaster Reduction Hyperbase, 415
Disaster risk[*], 10, 25-64
concept/relationships, 31-32, 31, 44, 444
continuum, 35, 69
defined, 5
development and, 27-28
future, anticipating and responding to, 302
increase in, 29, 405
risk accumulation, 95-96
Disaster risk management (DRM)[*], 16-20, 291-435
adaptation and, 37-39, 47-48, 295, 408-409, 443-462
allocation of efforts, 44-50
bottom up mechanisms, 396
challenges and opportunities, 46-47, 302, 313
climate change and, 27-28, 46-47, 49, 375-380, 376-377
climate variability and, 297
community participation, 28, 295, 300
context, 4-7, 4
coordination, 342, 356
corrective, 36
costs of, 317-319
cycle, 35
defined, 5, 34
effective strategies, 17, 27, 67, 342, 439-440
effectiveness, assessment of, 375-377
implementation, national level, 341-342
information and, 421-425
integration with adaptation, 11, 28, 50, 355-357, 396-397, 425-427, 439, 450-454, 469-471
international level, 393-435
legislation, 342, 358, 359, 519-522
local knowledge and, 293, 311-312
local level, 291-338
mainstreaming, 348, 355-357, 380
national level, 339-392
options/strategies, 6, 16-20, 18-19, 320-323, 439-440
past experience, 10-11
policies and options, 352-354, 361
prospective, 36
public policies/components, 89-90
sector-based strategies, 352-354, 357
short- and long-term responses, 450-454
synergies with adaptation, 36, 48-50, 68, 357, 469-471
top down mechanisms, 396
tradeoffs in, 20, 439-440, 448-450
See also Risk management
Disaster risk reduction (DRR)[*], 34, 366-371
as adaptation, 237, 443-446
adaptation and, 423-424
community/local knowledge and, 28
ecosystem-based solutions, 343
integration with adaptation, 396-397
international level, 396-397, 403-425
investment in, 529
post-disaster recovery/reconstruction, 293, 301, 315, 439
short-term strategies, 305-306
sustainable land management, 293
technical and operational support, 409-410
Discounting, 268, 319, 376
Disease, 252, 259, 410, 507-510
Disease vectors, 252, 253, 259, 316, 506
Displaced people/refugees, 80-81, 238, 457
international refugee law, 396, 402, 412
Displacement, 80-81, 300-301
Distribution
of climate variables, 40, 41, 121, 130
probability distribution, 40, 41, 116-117, 117, 121
Diversity, cultural, 84-85, 456
See also Biodiversity
Downscaling[*], 129-131, 133, 147, 416
Drivers
of capacity, 76
of disaster risk, 10
of economic losses, 16, 235
underlying, need to address, 20, 425, 440, 470
of vulnerability, 70-72, 379
Drought[*], 167-175
agricultural impacts, 247, 252
attribution of, 171-172, 174-175
case study, 498-500
defined, 167-169
drivers of, 168
ecosystem impacts, 246, 252
impacts, 242
indicators/indices, 168-169, 242, 245
management/adaptation options, 19
megadroughts, paleoclimatic, 170
observed changes, 8, 19, 119, 170-171, 174
projected changes, 19, 113-114, 119, 172-175, 173, 191-195, 242
regional impacts, 253, 255, 256, 259, 260-261, 264
regional projections, 191-195
socioeconomic impacts, 238-239
technological management, 415
Dust storms, 190, 254
Dynamical downscaling, 129-130, 133, 147
Dzud, 500-502

E

Early warning systems[*], 303-304, 342, 364-366, 405, 416-417
case study, 517-519
Heat Warning System, 495
strategy of, 517-519
Economic costs of disasters, 264-274
See also Costs; Economic losses/impacts
Economic efficiency, 399-400, 420
Economic growth, 445
Economic losses/impacts, 9, 234, 264-274
assessment of, 269-273
attribution of, 268-269
developed vs developing countries, 234, 265
direct, indirect, intangible, 264, 266, 317
Disaster Deficit Index (DDI), 93
drivers of, 16, 235
exposure and, 9, 16, 234-235, 269, 273
global and regional, 269-271, 270, 271, 272, 441
percent of GDP, 234, 270, 344, 441
Probable Maximum Loss (PML), 93
projected changes, 16
top-down vs. bottom-up approach, 266-267
types of, 264
See also Costs
Economic vulnerability, 86-87
Ecosystem-based adaptation, 343, 352, 357, 370-371, 371, 445-446
Ecosystem management and restoration, 294, 306-307, 315, 404
Ecosystem services, 370, 370, 445-446
Ecosystems, 231-290
DRM and adaptation, 343, 352, 370-371
impacts, 244-246
local management/protection, 294, 306-307, 315
reproduction, climate extremes and, 238
Education, 364-366, 526-529
case study, 526-529
vulnerability/exposure, 81-82
Efficiency, 399-400, 420
El Niño-Southern Oscillation (ENSO)[*], 155-157, 255, 459
observed changes, 119, 155-156
projected changes, 15-16, 113, 119, 156-157
El Salvador, 504, 520
Elderly, 454
Electrical networks, 257, 307
EM-DAT database, 364
Emissions scenarios[*], 11-12, 112-113
precipitation projections, 145-146, 147-149
SRES, 112-113, 136-137, 137-140, 141
temperature projections, 137-138, 139-140, 141
Empowerment, 310, 316
Energy systems, 353
Ensembles, 131-133
Entitlements, 315-316
Environment, physical, 109-230
impacts on, 167-190
Environmental dimensions of vulnerability, 76-80
Environmental justice, 320
Epidemic disease, 507-510
Equity, 320, 401, 454-456
Ethiopia, 365, 420, 524
Ethnicity. See Race/ethnicity
Europe, 256-258
adaptation costs, 274
case study (heat waves), 492-496
coastal impacts, 183, 185, 186, 256-257
drought, 170-171, 172-174, 175, 242, 243, 246, 256
ecosystem-based adaptation, 371
floods, 176, 177, 256-257, 258
heat waves, 19, 133, 192, 256, 257, 492-496
landslides, 258
precipitation, 142, 145-146, 148, 149, 192, 198-199
snow, 258
temperature, 133-135, 135, 139-140, 141, 192, 198-199
waves, 181, 182
wildfires, 256
wind, 150, 151, 152, 257
Evapotranspiration[*], 113-114, 118, 167, 167-169
Ex post vs ex ante actions, 74, 90
Exposure[*], 4-7, 32, 65-108
concept/definition, 5, 32, 69, 237, 444
development and, 10, 67, 70
dimensions and trends, 76-89
economic losses and, 9, 16, 234-235, 269, 273
interactions of, 238-239, 239
management options, 18-19
observations of, 7-9, 18-19
regionally based aspects, 252-264
risk and, 69
scales and factors in, 67, 237
system- and sector-based aspects, 239-252
See also Vulnerability
External forcing, 5, 29
Extratropical cyclones. See Cyclones
Extreme events[*], 39-44
anthropogenic influences and, 9, 112, 125-126, 268
case studies, 492-507
climate change and, 40, 127
compound events, 118
comprehensive/integral/holistic focus, 38
context, 4-7
costs, 264-274
defined, 30, 40-41, 111, 116-117
extreme weather vs climate, 117
factors in, 4, 111
impacts on humans and ecosystems, 231-290
impacts on physical environment, 109-230
observed changes, 111-112, 119-120, 133-152
physical aspects, 38, 40-41
projected changes, 112-113, 119-120, 133-152
risk management, 16-20
short- and long-term responses to, 450-454
technologies for, 416-417
vulnerability/exposure and, 65-108, 239-264
See also Climate extremes; Extremes; Impacts
Extreme impacts, 27, 41-44, 237
Extreme indices, 116-117
Extreme value theory, 116-117
Extremes
changing climate and, 40, 124-125, 127
defined, 5, 40
diversity of, 40-41
methods and requirements, 122-133
observed changes, 119-120, 133-152
projected changes, 119-120, 133-152
traditional adjustment to, 43-44
See also Climate extremes; Extreme events

F

Fairness, 320
Faith-based organizations, 296, 346, 348
FAQs (frequently asked questions)
climate: is it becoming more extreme?, 124-125
DRM strategies: in changing climate, 49
government: preparedness measures, 376-377
local context: importance of, 298
local level: adaptation limits, 319
local level: cost estimation, 318
local level: lessons learned, 300
relationship: climate change and individual extreme events, 127
relationship: extreme events and disasters, 33
resilience: practical steps for, 470
technology: emphasis on, 448
transformational changes, 466
Fatality rates, 9, 234, 344, 400
Feedbacks, 112, 118-120
Finance/budgeting, 523
adaptation in developing countries, 406-407, 411, 413
international, 17, 357, 397, 410-411, 412-414
national, 360-362, 523
technology transfer, 417
See also Costs
Fire. See Forest fires; Wildfire
Fisheries, 352
Flexibility, 343, 355, 380
Flood control, 11, 52, 55, 68, 305
Floods[*], 41, 175-178
case studies, 505-507, 510-512
climate change and, 245
costs, 256-257, 272
ecosystem impacts, 246
exposure and, 241, 245
flash floods, 18, 175
floodplains, 77
fluvial (river) floods, 113, 175, 178, 242-244
glacial lake outburst floods[*], 114, 175, 186, 258
observed changes, 8, 119, 175-177, 178
projected changes, 13, 113, 119, 177-178
regional impacts, 253-254, 256-257, 258, 259-260, 261, 262
FONDEN, 362
Food security, 235, 246-247, 368-370
DRM/adaptation options, 352
Forest fires, 252, 256, 259
See also Wildfire
Forestry sector, 235, 446
costs, 273
deforestation, 238, 252, 446
DRM/adaptation options, 352
Frameworks, 403-411
See also UNFCCC; UNISDR
France, 176, 185
Frequently asked questions. See FAQs
Funds for adaptation, 406-407, 411

G

Garifuna women, 82
GDP, 234, 270, 344, 441
Gender, 91, 313, 315
Geographic information systems (GIS), 416
Glaciers[*], 186-189
glacial lake outburst floods (GLOFs)[*], 114, 175, 186, 258
glacier melting, 15, 114, 188
Global Assessment Reports (GARs), 404-405, 408, 425
Global climate models[*], 128-133
Global costs
of adaptation, 273-274, 273
of disasters, 269-271, 270, 271, 272
Global Environment Facility (GEF), 410-411, 413, 417
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 411
Global Framework on Climate Services (GFCS), 409, 464
Global interdependence, 10, 396, 399
Global mean climate, 121-122
Global Network of Civil Society Organisations for Disaster Reduction (GNDR), 404
Global Platforms, 404, 405
Governance[*]
case study, 519-522
international, 403-411
local, 312-313
national, 341, 346-347
preparedness and, 376-377
risk governance framework, 27, 44
risk-neutral approach, 360-361
sub-national governments, 346-347
vulnerability and, 85-86
Grand Challenges, 426
Green Climate Fund, 408, 414
Greenhouse gases[*], 9, 112, 124, 126
ENSO and, 156
mitigation, 446, 458-462
Greenland, 191, 197
ice sheet, 179, 188
precipitation, 145-146, 191, 197
temperature, 135, 139-140, 191, 197
Grenada, 512-514

Gross domestic product. See GDP
Groundwater, 42, 167-168, 242
salinization of, 250, 256
Growing season, 247
Guatemala, 504

H

Hadley/Walker circulation, 149, 151, 154
Hail, 141-142, 143, 148-149
Hazards[*], 31, 69, 444
'creeping', 365
multi-hazard risk management, 17, 439, 450
preparedness and, 364-366
Health and well-being, 251-252
DRM/adaptation options, 354
impacts, 235, 251-252, 259, 316
inequalities in, 316
regional impacts, 259
vulnerability, 82-84
Heat waves[*]
case study, 492-496
ecosystem impacts, 244-246
human impacts, 248, 251-252, 316
observed changes, 8, 133, 134
projected changes, 15, 114, 191-202
regional impacts, 253, 256, 258-259
Australia, 239, 496-498
Europe, 19, 256, 257, 492-496
regional projections, 191-202
vulnerability to, 234
High-income countries, 9, 234, 270, 343, 344, 347
High-latitude changes, 189-190
Holistic approaches, 379-380
Honduras, 82, 314
Housing options, 352-354
Human development index, 266
Human health. See Health and well-being
Human rights, 401, 403, 447, 457
Human rights law, 396, 401
Human security[*], 293, 297-298, 440, 457-458
Human settlements, 7-8, 247-251, 316-317
coastal, 7-8, 235, 248, 249, 258, 460, 510-512
informal, 237, 247, 460
vulnerability/exposure, 234-235, 247-251
vulnerability reduction, 368-370
See also Cities; Urban areas
Human systems, impacts on, 231-290
Humanitarian/disaster relief, 10, 293, 299-300, 452
Humanitarian sector, research in, 468
Hurricanes, 19, 181, 260
economic losses, 19, 256, 260
ecosystem impacts, 246
Katrina, 9, 55, 158, 260, 308, 315, 457
local response to, 297
management/adaptation options, 19
Mesoamerican (case study), 504-505
storm surge, 158
Hydroclimatic extremes, 41
Hyogo Framework for Action, 398, 403-406
national systems and, 341-342, 344
Strategic Goals, 404

I

Ice cover, 262
Ice sheets, 179, 188
Iceland, 191
Impacts[*], 8-9, 16, 109-290, 441
cascading, 399
costs/economic losses, 234-236, 264-274
cumulative, 6-7, 38, 67, 69
databases, 364
extreme, 6, 27, 41-44, 237
extreme and non-extreme events, 6, 234
global, 399, 441
human systems and ecosystems, 16, 231-290
international, 399
local, 293
management of, 373-375
physical environment, 8-9, 119-120, 167-190
projected, 11-16
regionally-based, 252-264
resistance to, 38
sector-based, 235, 239-252
social, 42-43
system-based, 239-252
trends in, 271-273, 272
uncertainty and, 239
vulnerability/exposure and, 10, 67, 234-235, 238-239, 271
Impacts-first approach, 350-351, 350
Incremental change, 20, 439, 442
Index-based contracts, 323
Indexes (indices), 92-93, 116-117, 125, 168-169
India
adaptation technologies, 415
floods, 254, 457
wetlands, 370
Indian Ocean, 181, 184
cyclones, 503-504, 503
tsunami (2004), 307, 457
Indian Ocean Dipole (IOD)[*], 157-158
Indigenous peoples, 80-81, 82, 84-85, 298, 311-312
Indirect losses, 264, 266
Individual scale, 38, 39
Indonesia, 359, 457, 526
Inequalities, 10, 294, 313-317, 405, 447, 454
Informal settlements, 237, 247, 460
flash floods and, 18
Information, 342, 356, 363-364, 365, 529
access to, 82
acquisition, 421-422
international level support, 409, 421-425
on scale/nature of events, 416
sharing and dissemination, 422-425
See also Communication
Information and communication technologies (ICT), 422-423
Information gap, 409
Infrastructure, 16, 248-250, 366-368
adaptation costs, 412
DRM/adaptation options, 353, 366-368
education, 81-82
permafrost and, 367, 515-517
risk reduction, 304-306
technology and, 447, 448
tipping points, 366
transport, 235, 248-249, 249, 250, 348
vulnerability, 235
Infrastructure thresholds, 366
Innovation, 20, 294, 439, 447, 468, 469
Institutional approaches, 464-465
Institutional/governance dimensions, 85-86, 294, 308-313
Insurance[*], 294-295, 343, 371-373, 465, 523
case study, 522-525
crop insurance, 524
distribution of, 343
index-based/index-linked, 323
international programs, 419-420
local level, 322-323
micro-insurance, 322-323, 420, 523, 524
national systems, 343, 346, 360, 371-373
regional pools, 372, 400, 419, 420, 523, 524-525
Intangibles, 264, 266, 317, 446
Integrated models, 131-133
Integrated systems approach, 27, 38, 50
Integration
across scales, 17, 397, 426-427
of DRM and adaptation, 11, 28, 50, 355-357, 396-397, 425-427, 439, 450-454, 469-471
international level, 396, 425-427
short- and long-term responses, 450-454
Intellectual property rights, 414, 448
Interdependence, 10, 396, 399
International Bill of Rights, 411
International conventions, 402
International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), 397, 403
International development, 410
International Disaster Response Law, 411
International finance, 357, 397, 410-411
International humanitarian law, 411
International institutions, 348
See also UNFCCC; UNISDR
International instruments, 402-403
International law, 396, 401-403, 411-412
hard law, 401
limits and constraints, 411-412
soft law, 401, 402, 403-404
International refugee law, 396, 402, 412
International risk management, 393-435
adaptation and, 396-397
context, 398
current actors, 408-411
current governance and institutions, 403-411
economic efficiency, 399-400
finance, 17, 357, 397, 410-411, 412-414
future policy and research, 425-426
integration across scales, 426-427
knowledge/information, 421-425
options, constraints, and opportunities, 411-425
rationale for, 398-403
risk sharing and transfer, 418-421
shared responsibility, 400-401
subsidiarity, 401
systemic risks, 399
technology transfer and cooperation, 414-418
International technical support, 409-410
Irrigation, 448
Island states. See Small island states

J

Japan
disaster risk reduction, 424
precipitation, 148
public awareness campaign, 528
storm surge, 254
waves, 182
Judgments about risk, 45, 46-47
Justice, 320
See also Equity

K

Katrina (hurricane), 55, 158, 308, 457
economic losses, 9, 260
international impacts, 399
recovery and reconstruction, 315
Kenya, 360, 374
Knowledge acquisition, 421-422
Knowledge/information sharing, 422-425, 526-529
Kyoto Protocol, 402, 403, 406, 411

L

Land use/land use change, 69, 238, 293
Land use, land use change, and forestry (LULUCF), 370
Land use planning, 306-307
Landslides[*], 41, 114, 120, 187-189, 255
regional impacts, 258
Leadership, 469
Learning, 27-29, 53-56, 439, 467-468
humanitarian sector, 468
'learning by doing', 378-379, 380
learning loops, 53-54, 56
transformation and, 324
See also Case studies
Least Developed Countries Fund (LDCF), 357, 406, 413, 417
Legislation, 358, 359
case study, 519-522
Lessons learned, 469-470, 529-530
local level, 295, 300
See also Case studies
Levees, 55, 254-255, 305
Liabilities, 361, 361
Light Detection and Ranging (LIDAR) data, 186
Likelihood[*], 21, 112, 120-121
Limpopo River/Basin, 253, 309, 506
Livelihoods, 314-315
agricultural sector, 246
ecosystem management and restoration, 294
tourism sector, 251, 251
vulnerability and, 87
Livestock, 237, 253, 259
Local adaptation, 293-295
limits to, 319-320, 319
Local coping, 294, 298-301
differences/inequalities in, 313-317
Local decisionmaking, 305-306, 308, 310, 325
Local disaster risk management (LDRM)[*], 291-338
anticipating future risk, 302-307
capacity building, 308-313
challenges and opportunities, 295, 313-320
community participation, 28, 295, 300, 321, 322
context and, 298, 298
costs, 295, 317-319, 318
current coping, 298-301
differences/inequalities in, 10, 294, 313-317
disaster relief and assistance, 299-300
gaps in information, 323-325
importance of local level, 296-298
insurance, 294-295, 322-323
lack of data, 295
lessons learned, 295, 300
links to global/national levels, 296
risk communication, 294, 302-304, 303
risk sharing, 321-323
strategies, 293, 320-323
Local government, 312-313
Local knowledge, 17, 293, 311-312
Local-level institutions/planning, 294, 308-313
Local recovery and reconstruction, 301, 315
Localized social networks/norms, 310-311
Loss of life/fatalities, 9, 234, 344, 400
Low-income countries, 9, 234, 343, 344, 347
Low regrets strategies, 16-17, 56, 342, 351, 352-354, 376

M

Maastricht Treaty, 401
Mainstreaming, 348, 355-357, 380, 411
Maladaptative actions, 54, 55, 368, 448
Malaria, 252, 253, 316
Maldives, 370, 512-514
Mangroves, 343, 370, 370, 450
Mass media, 422-423
Media coverage, 422-423
Mediterranean region, 192, 198-199
drought, 172-174, 175, 256, 498-500
precipitation, 142, 145-146, 192, 198-199
temperature, 133-134, 135, 138, 139-140, 192, 198-199
tourism, 251, 251
waves, 182
wind, 150
Mega-deltas, 254
Megacities, 294, 317, 510-512
Melbourne, 239, 497
Mental health impacts, 252, 316
Meridional overturning circulation (MOC)[*], 122
Mesoamerican hurricanes, 503, 504-505
Mexico, 258-260
drought, 170, 172, 174, 175, 259
fund for disasters (FONDEN), 362
hurricanes, 503, 504-505
insurance, 372
precipitation, 142, 145-146, 191, 197
temperature, 135, 139-140, 191, 197
Micro-finance, 419
Micro-insurance, 322-323, 420, 523, 524
Microsatellites, 416
Migration, 16, 80-81, 293, 300-301, 457
as adaptive, 237, 300, 399
destination area issues, 399
Millennium Declaration, 400, 410
Millennium Development Goals (MDGs), 369, 398, 400, 410, 458
Mitigation (climate change), 36, 446
interactions of, 20, 458-462
Mitigation (disasters and disaster risk)[*], 36
Models. See Climate models
Modes. See Climate modes
Moisture content
atmospheric, 126
soil, 118-119, 167-175, 167-169
Mongolia, 419, 500-502
Monsoons[*], 119, 152-155
Moral economy, 309, 309, 447
Mountain environments, 8, 15, 114, 186-189, 248
Mozambique, 253, 297, 405, 505-507
Mudslides, 158, 255
See also Landslides
Multidisciplinary management, 36, 37
Mumbai, 461, 510-512
Myanmar, 502-505, 503

N

Nairobi floods, 18
Nairobi Work Programme, 407, 409, 529
Namibia, 253-254
National adaptation plans, 349-355, 356, 370
National Adaptation Programme of Actions (NAPA), 369-370, 406
National building standards, 347, 367-368
National Platforms, 359, 360
National systems, 11, 36, 339-392, 346
adaptation options, 352-354, 361
adaptive management, 377-379
aligning with climate change, 342, 351-355, 375-380
communication, 349, 376
coordination, 358-360, 360
culture of safety, 362-366
disaster risk management, 341-343, 352-354, 361
disaster risk reduction, 366-371
finance and budget, 360-362
flexibility in, 343, 355, 380
holistic approaches, 379-380
impact management, 373-375, 374
implementation of DRM, 341-342
insurance, 343, 346, 371-373
legislation and compliance, 358, 359
planning and policies, 349-357, 352-354
practices, methods, and tools, 362-375
preparedness, 364-366, 376-377
public goods, 341, 363
risk assessments, 380
risk pooling, 343
risk transfer, 355, 371-373, 376
sector-based risk management, 352-354, 357
strategies, 357-362, 376-377
systems and actors, 345-349, 346
top-down vs bottom-up approaches, 350-351, 350
uncertainties, managing, 377-379
Natural physical environment. See Physical environment
Nepal, 526
Netherlands, 52, 257
flood impacts, 272-273, 272
flood management, 469
Networks, 309-311, 309, 404
New Orleans, 55, 158, 260, 308, 315
New York, 303
New Zealand, 260-261
drought, 172, 261
precipitation, 143, 145-146, 195, 202, 261
temperature, 139-140, 195, 202
wildfire, 261
No regrets/low regrets options, 16-17, 56, 351, 352-354, 376
Nongovernmental organizations (NGOs), 313, 403
Normative dimension, 426
Norms, 310-311
North America, 258-260
adaptation costs, 274
drought, 170, 174, 175, 259
floods, 177, 259-260
forest fires, 252
heat waves, 258-259
hurricanes, 19, 260, 315
monsoons, 153, 154
precipitation, 142, 145-146, 149, 191, 196-197
temperature, 134, 135, 135, 139-140, 141, 191, 196-197
wildfire, 259

North Atlantic Oscillation (NAO)[*], 119, 149, 157-158
Northern Annular Mode (NAM)[*], 150
Northwest Territories, 514-517
Nunavut, 514-517

O

Observed changes, 7-9, 18-19, 111-112, 119-120, 133-152
coastal impacts, 120, 183
drought, 19, 119, 170-171, 174
ENSO, 119, 155-156
extratropical cyclones, 163-166
floods, 119, 175-177, 178
glaciers and mountains, 186-188
heat waves, 19
methods for analyzing, 122-125
monsoons, 152-153
permafrost, 120, 186-188, 189-190
sand/dust storms, 190
sea level, 120, 178-179
temperature, 119, 133-136, 141
tropical cyclones, 159-161, 163
wind, 119, 149-150
Ocean acidification, 185, 261
Oceania, 260-261
Open oceans, 261

P

Pacific Decadal Oscillation (PDO)[*], 153, 157
Pacific Island Countries, 183, 263-264
Pacific Ocean, 181, 184, 263
Pakistan, 457
Palmer Drought Severity Index (PDSI), 168-169
Permafrost[*], 189-190
case study, 514-517
infrastructure and, 367
observed changes, 120, 186-188, 189-190
projected changes, 15, 114, 120
regional impacts, 263
Perturbed-physics ensembles, 131-133
Philadelphia, 495
Philippines, 239, 519-522, 526
Physical environment, 109-230
impacts on, 119-120, 167-190
Planning, 10, 462-469
adaptation planning, 349-357, 443-444
community participation in, 28
development, 439
local level, 308-313
national level, 349-357, 380
risk reduction, 69
urban planning, 460-461
Polar regions, 261-263
Politician's dilemma, 452
Polluter pays principle, 400
Population growth, 237, 238
Population movements. See Migration
Post-disaster credit, 419
Post-disaster recovery and reconstruction, 10, 293, 301, 315, 439, 457
Post-traumatic stress disorder, 252
Poverty, 20, 314, 344
rural, 238
vulnerability/exposure and, 87, 247, 400, 441
Poverty reduction strategies, 410
Poverty traps, 451, 452
Precautionary principle, 402
Precipitation, 8, 141-149
attribution of changes, 143-144, 149
observed changes, 41, 119, 142-144, 149
projected changes, 13, 14, 15, 113, 119, 144-149, 144-146, 191-202
rainfall, 113, 119, 142-144, 148, 149
regional impacts, 253-254, 255
regional projections, 191-202
snowfall, 141, 189
uncertainties, 148-149
See also Drought; Floods
Preparedness, 36, 364-366, 369, 376-377, 517-519
Prevention, 36, 69
See also Disaster risk reduction
PreventionWeb, 404, 405, 424
Private sector organizations, 347-348
Probabilistic risk analysis, 42, 43, 44-45, 446
Probability distributions, 7, 7, 40, 41, 116-117, 117, 121
Probability of occurrence, 40, 41
See also Return period; Return value
Projected changes, 11-16, 18-19, 112-114, 119-120, 133-152
coastal impacts, 113, 120, 183-186
cyclones, extratropical, 13, 272
cyclones, tropical, 161-163, 271, 272
drought, 19, 113-114, 119, 172-175, 173
ENSO, 113, 119, 156-157
floods, 13, 113, 119, 177-178
glaciers and mountains, 189
heat waves, 15, 19, 114
monsoons, 153-157
permafrost, 114, 120, 190
precipitation, 13, 14, 15, 113, 144-149, 191-202
sand/dust storms, 190
sea level, 15, 120, 179-180
temperature, 12, 13, 112-113, 119, 133-152, 137, 138, 191-202
wind, 13, 113, 119, 151-152, 151, 248
Projections[*], 11-16, 119-120, 462-463
likelihood/confidence in, 112, 120-121
time scale of, 112
uncertainty and, 112, 130-133
See also Climate models; Scenarios
Property, 293
Property rights, 306
Psychological/mental health, 252, 316
Public awareness, 364-366, 526-529
Public goods, 341, 363, 399-400
Public health, 83, 529
heat waves and, 492-493
infectious diseases, 252, 253, 259, 316, 507-510
Public-private partnerships, 343, 347

R

Race/ethnicity, 84, 315
RANET, 423, 424
Rationing, 307
Reconstruction, 10, 301, 457
Recovery and reconstruction, 10, 293, 301, 315, 439, 457
funding for, 417
Red Cross/Red Crescent, 348, 359, 403, 409, 410
Refugees, 238, 412
international refugee law, 396, 402, 412
Regime shifts (ecosystems), 122, 170, 445, 448
Regional climate models, 129-133
Regional climate projections, 121-122, 191-202
cyclones and floods, 240-241
precipitation, 145-146, 147-149, 191-202
temperature, 135, 138, 139-140, 141, 191-202
Regional costs/economic losses, 256, 270, 270
adaptation costs, 273-274, 274
Regional development banks, 411
Regional impacts, 252-264
Regional risk pools, 372, 400, 419, 420, 524-525
Regrets/low regrets, 16-17, 56, 342, 351, 352-354, 376
Reinsurance, 323, 362, 364, 524-525
ReliefWeb, 423
Relocation, 293, 300-301
Remittances, 418-419
Republic of Korea, 201, 246
Republic of the Marshall Islands, 512-514
Resilience[*], 20, 34, 437-486
access to resources, 454-458
adaptation and, 443-450
building, 376, 378
concept/definition, 5, 34, 238
disaster risk management and, 443-450, 458-462
equity and, 454-456
integration of policies, 11, 439, 450-454, 469-471
interactions among processes, 324, 440, 458-462
long-term options, 462-469
multi-hazard risk management, 439, 450
multiple approaches and pathways, 17, 440
national/government actions, 376
pathways to, 442
planning and proactive actions, 462-469
practical steps for, 470
questioning assumptions and, 20, 439
risk and uncertainty and, 442
risk sharing/transfer and, 10-11, 465
short- and long-term responses, 450-454
sustainable development, 454-458
synergies of DRM and adaptation, 469-471
thresholds and tipping points, 458-459
transformation and, 442
vulnerability and, 72
Resilience thinking, 453-454
Resistance, 38
Resources
access to, 454-456
scarcity of, 297, 316
storage and rationing, 307
Responsibility
common but differentiated, 400
corporate, 347
responsibility to protect, 396, 412
shared, 400-401
Return period[*], 46, 113
precipitation projections, 142, 146, 147, 198
temperature projections, 135, 137, 140
Return value[*], 117, 121
precipitation projections, 141, 145-146, 147, 196
temperature projections, 135, 139-140, 141, 196
Rights, 401, 403, 447
International Bill of Rights, 411
Rio Earth Summit, 400-401
Risk, 65-108, 444
acceptability of, 361, 362
factors in, 69-70
judgments about, 45, 46-47
social construction of, 36-37, 45
systemic, 399
unacceptable, 442
underestimation of, 452
Risk acceptance threshold, 361
Risk accumulation, 95-96
Risk assessment, 27, 67, 90-95
challenges in, 27, 46
local level, 294
methods, 274
uncertainty and, 274
Risk awareness, 364-366
Risk communication, 17, 67, 95, 294, 302-304, 303, 376
Risk governance framework, 27, 44
Risk identification, 90, 369
Risk-linked securities, 419-420
Risk management, 16-20, 34, 376
effective, 17, 67, 439
integrated systems approach, 27
international, 393-435
iterative, 47-48
local, 291-338
multi-hazard approaches, 17, 439, 450
national, 339-392
sector-based, 352-354, 357
short-term strategies, 305-306
See also Disaster risk management
Risk-neutral approach, 360-361
Risk pooling, 11, 343, 372, 400, 419, 523, 524-525
Risk sharing, 10-11, 397, 523
international level, 397, 418-421
local level, 321-323
national level, 371-373, 376
Risk transfer[*], 10-11, 35, 294-295, 371-373, 465
case study, 522-525
international level, 397, 419-421, 523
local level, 294-295, 321-323, 523
national and sector-based programs, 352-354
national systems, 341, 355, 371-373, 376, 523
River discharge/runoff, 176-178
River regulation, 176, 238
dams, 176, 304, 415
Robustness, 56
Runoff[*], 177, 238, 262
Rural areas, 79-80, 461-462
continuum with urban areas, 298
Russian Federation, 262

S

Safety, culture of, 362-366
Saffir-Simpson scale, 149, 158, 162, 502
Sahara, 193, 199
drought, 174
precipitation, 145-146, 193, 199
sand/dust storms, 190
temperature, 139-140, 193, 199
Sahel, 171, 190
Saijo City, 528
Saltwater intrusion, 114, 184-185
Samaritan's dilemma, 452
Sand and dust storms, 190, 254
Satellite-based technologies, 416, 423
Saudi Arabia, 415
Scale, 111-112, 132
coordination/linking across, 358-360, 360
exposure and, 237
individual, 38, 39
integration across scales, 397, 426-427
multiple scales, 448-450
small- and medium-scale, 38
territorial, 39
timescales, 88-89, 112
Scenario development, 462-463
Scenarios, 11-12, 112-113
precipitation projections, 145-146, 147-149
SRES, 112-113, 136-137, 137-140, 141
temperature projections, 137-138, 139-140, 141
Scenarios-impacts approach, 350-351, 350
School curricula, 526
Science and technology, 89
Sea ice, 122, 261, 262
Sea level, 178-180
change[*], 120
coastal impacts, 18, 182, 183, 184, 185
extreme, 18, 178-180
mean[*], 178
observed changes, 120, 178-179
projected changes, 15, 120, 179-180
small island states and, 184, 263
Sea level rise, 113, 178-179
impacts, 18, 184, 248, 263
observed changes, 178-179
projected changes, 15, 113, 179-180
Sea surface temperature[*], 185, 261
Sector-based organizations, 357
Sectors, 235, 239-252
DRM/adaptation, 352-354, 357
See also specific sectors
Settlement patterns, 7-8, 78-80, 234, 235, 247-251
See also Human settlements
Shared responsibility, 400-401
Shelter-in-place, 308-309
Simulations, 462-463
Skewed development processes, 10, 67, 70
Slums. See Informal settlements
Small island states, 18, 184-185, 263-264
case study, 512-514
coastal impacts, 183
drought, 264
impacts, 15, 183, 248, 251
relocation issues, 300-301, 368
sea level and, 184, 263
small island developing states (SIDS), 18, 512-514
tourism impacts, 251, 251
vulnerability/exposure, 114, 184, 235, 248, 263, 263
Snow load, 514, 515
Snowmelt, 113, 119, 175-178
Snowpack, 176-177
Social capital, 310, 315
Social construction, 36-37, 45, 70
Social groups, vulnerability, 81
Social impacts, 42-43
Social justice, 320
Social networks, 310-311, 315
web-based, 423
Social norms, 310
Socio-ecological systems, 441
Socio-political networks, 309, 309
Socioeconomic change/inequities, 10, 238
Socioeconomic conditions, 16, 234, 235, 238, 410
Socioeconomic systems, 237-239
Soft law, 401, 402, 403-404
Soft vs hard engineering, 448
Soil moisture[*], 118-119, 124, 167-175, 167-169, 173
soil moisture anomalies (SMA), 15, 169, 172, 173
soil moisture drought, 168-169, 171-172
Solidarity, 400-401, 420-421, 523
South Africa, 193, 199
case study (DRM legislation), 519-522
collective action in, 322
precipitation, 145-146, 147, 193, 199
temperature, 139-140, 193, 199
South America, 255-256
adaptation costs, 273, 274
drought, 171, 174
floods, 176
precipitation, 142, 145-146, 148, 194, 200, 255
temperature, 134, 135, 135, 138, 139-140, 141, 194, 200
waves, 181
wildfires, 255-256
South Asia, 195, 201
Southern Annular Mode (SAM)[*], 150, 157-158
Space-based monitoring, 416
Special Climate Change Fund (SCCF), 406
SRES emissions scenarios, 112-113, 136-137, 137-140, 141
Stationarity/non-stationarity, 46, 131
Statistical downscaling, 129-131, 147
Storm surge[*], 158, 179-180
regional impacts, 254, 260, 261
Storm tracks[*], poleward shift in, 8, 164-166
Streamflow[*], 176-177
Structural measures, 293, 304-306, 415
Sub-Saharan Africa
adaptation costs, 273, 274
floods, 176
food security, 368
MDGs, 410
Subsidiarity[*], 401
Surprises, 122
Susceptibility, 72, 183
Sustainability, 20, 437-486
adaptation and, 444
DRM and, 440, 443-450, 458-462
of ecosystem services, 445-446
incremental steps, 439, 442
interactions of mitigation, adaptation, and DRM, 20, 440, 458-462
multiple approaches, 440
practical steps for, 470
prerequisites for, 440
synergies of DRM and adaptation, 469-471
thresholds and tipping points, 20, 458-459
transformational change, 20, 439, 465-469
See also Resilience
Sustainable development[*], 20, 439-440
climate change and, 444
DRM and, 440, 443-446
questioning assumptions in, 20, 439
technology and, 414-418
Sustainable land management, 293
Synergies, 48-50, 68, 357, 397, 469-471
Syria, 498-500
Systemic risks, 399

T

Tampere Convention, 402, 411
Tanzania, 39
Teacher training, 526-527
Technology, 89, 366-368, 447-448
adaptation and, 414-415, 415
emphasis on (FAQ), 448
extreme events and, 416-417
hard vs soft, 448
international technical support, 409-410
Technology choices, 447-448
Technology Mechanism, 408
Technology transfer, 397, 414-418, 448
financing for, 417
Temperature, 133-141

agricultural impacts, 247
attribution of changes, 135-136, 141
case studies, 492-498, 514-517
extremes, 135, 137, 138, 141
extremes, projected, 13, 112-113, 119, 133-152, 137, 138
global surface[*], 126
observed changes, 119, 133-136, 141
polar regions, 262-263
projected changes, 12, 13, 119, 135, 136-141, 137-140, 191-202
regional projections, 191-202
sea surface[*], 185, 261
summary, 141
uncertainties, 141
See also Heat waves

Thailand, 448
Thermohaline circulation, 122
Three Mile Island, 45
Thresholds, 20, 458-459
abrupt climate change, 122
absolute, 116
extreme events, 116
infrastructure, 366
risk acceptance, 361
tipping points, 122, 351, 458-459
vulnerability/thresholds approach, 350-351, 350
Thunderstorms, 123, 141, 143
Tibetan plateau, 195, 202
precipitation, 143, 145-146, 195, 202
temperature, 139-140, 195, 202
wind, 150
Timescales, 88-89, 112
Tipping points, 122, 351, 366, 458-459
Top-down mechanisms/approach, 266, 346, 350-351, 350, 396, 427
Tornadoes, 151, 152
Tourism, 235, 250-251, 251
Tradeoffs, 20, 440, 448-450
Traditional behaviors, 84-85
Traditional knowledge, 311-312, 456
Transformation[*], 324, 441, 465-469
context, 441-442
defined, 5
local framework, 323
pathways, 442
Transformational change, 20, 439, 442, 465-469, 466
facilitating, 466-469
Transpiration[*], 113-114, 118, 167, 167-169
Transportation sector, 83, 88, 235, 246, 259, 353
infrastructure, 235, 248-249, 250, 348
Tropical cyclones. See Cyclones
Tsunami (2004), 307, 457

U

Uncertainty[*], 21, 47-48, 112, 130-133, 132
UNFCCC, 344, 396, 406-408, 411-412
adoption of, 403
commitments on adaptation, 407
finance and, 412-413
technology transfer, 397
UNISDR, 396, 397, 403, 408-409
evaluation of, 405-406
United Kingdom
coastal impacts, 185, 186
floods, 176, 177
precipitation, 142, 148
United Nations Development Programme (UNDP), 404
United Nations Framework Convention on Climate Change. See UNFCCC
United Nations International Strategy for Disaster Reduction. See UNISDR
United States, 258-260
drought, 170, 174, 259
floods, 176
heat waves, 258-259
hurricanes, 19, 55, 158, 260, 308, 315, 457
precipitation, 142, 143, 148
temperature, 134, 138
waves, 181, 182
wetlands, 370
wind, 152
Urban areas, 460-461
continuum with rural areas, 298
growth in, 294, 317, 366
infrastructure, 250, 366-367
vulnerability/exposure, 78-79, 238, 247-248, 317
See also Cities
Urban floods, 175
Urban heat islands[*], 235, 248, 493
Urban planning, 460-461
Urbanization, 294, 317, 460
exposure/vulnerability and, 67, 78, 234, 248, 294
migration and, 238
Utilitarian approach, 447

V

Values and perceptions, 443, 446-447
Vanuatu, 309
Variability
climate, 7, 15, 115, 157
climate modes, 15-16, 155-158
Vectors of disease, 252, 253, 259, 316, 506
Victoria, Australia, 496-498
Vietnam, 317, 358, 370, 371
Violent conflict, 297, 457
Volcanoes, 188-189
Vulnerability[*], 4-7, 65-108
age/aging and, 234-235
capacity and, 72-74
concept/definition, 5, 32-33, 69-70, 237-238, 444
conceptual frameworks, 71-72
dimensions and trends, 76-89
drivers of, 70-72, 379
economic dimensions, 86-87
environmental dimensions, 76-80
extreme and nonextreme events and, 67
interactions and integration, 87-88, 238-239, 239
management options, 18-19
observations of, 7-9, 18-19
Prevalent Vulnerability Index (PVI), 92
regionally based aspects, 92-93, 252-264
risk and, 69-70
risk identification and assessment, 89-95
scales and factors in, 67, 69-72
sector-based aspects, 235, 239-252
skewed development and, 10, 67, 70
social dimensions, 80-86
socioeconomic systems and, 237-239, 410
system-based aspects, 239-252
timing and timescales, 88-89
underlying causes, need to address, 20, 425, 440, 470
urbanization and, 67, 78, 234, 248, 294
Vulnerability assessments, 320-321
Vulnerability thresholds approach, 350-351, 350

W

Warm days/warm nights[*], 8, 134-135, 137-138, 137, 138, 141
regional projections, 191-202
Warm spells[*], 134, 141, 191-202
Warning systems, 303-304, 364-366, 416-417
Water management, 16, 469
Water scarcity, 167, 238-239, 255
Water sector, 241-244
DRM/adaptation options, 353
impacts, 235, 241-244
vulnerability/exposure, 235, 241-244
water supply system, 242
Watersheds. See Catchments
Waves/wave height, 180-182
WeAdapt/WikiAdapt, 424
Wealth, 314
Weather derivatives, 523, 524
Weather events
categories of, 115
disasters and, 115-118
Weather extremes
defined, 40, 116-117
impacts on humans and ecosystems, 231-290
impacts on physical environment, 109-230
observed changes, 119-120, 133-152
phenomena related to, 119, 152-166
projected changes, 119-120, 133-152
vs climate extremes, 117
See also Climate extremes; Extreme events; Impacts
Weather forecasting, 416-417
Weather indices, 116-117, 125, 168-169
Wetland reduction, 238, 444, 461
Wetland services, 248, 255, 370, 370, 445
Wildfire
Australia, 239, 496-498
case study (Victoria), 496-498
regional impacts, 255-256, 259, 261
See also Forest fires
Win-win options, 352-354, 355, 357
Wind, 149-152
impacts, 248
observed changes, 119, 149-150
projected changes, 13, 113, 119, 151-152, 151, 248
regional impacts, 257
technologies for, 416
Winners and losers, 456-457
Women, 81, 313, 454-456
Garifuna women, 82
proactive role (Honduras), 314
World Bank, 361, 404, 409, 411, 417, 419, 420
World Climate Conference-3 (2009), 409
World Conference on Disaster Reduction (Kobe), 398, 403
World Food Programme, 419, 420, 524
World Trade Organization, 410

Y

Yangtze Basin, 147, 148, 176
Yucatan Peninsula, 503, 504
Yukon, 514-517

Z

Zambezi River/Basin, 253, 506, 507
Zimbabwe, 506, 508-509

전 문 감 수

명수정(한국환경정책·평가연구원) 김성준(건국대학교) 권원태(국립기상연구소) 이명인(울산과학기술대학교)
공우석(경희대학교) 고재경(경기개발연구원) 김맹기(공주대학교) 이병국(한국환경정책·평가연구원)
정회성((사)환경과문명) 정태성(국립방재연구원) 최영은, 박창용(건국대학교/감수총괄)

IPCC 특별보고서

기후변화 적응을 위한 극한현상 및 재해 위험 관리

IPCC Special Report on
Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to
Advance Climate Change Adaptation

발 행 : 기상청
발행일 : 2012년 12월
편 집 : 기상청 기후과학국 기후정책과

서울특별시 동작구 기상청길 45
- **전 화**: 02-2181-0392
- **팩 스**: 02-2181-0469
- **이메일**: kmacp@korea.kr