

발간등록번호

11-1360000-001137-14

ipcc

기후변화에 관한 정부간 협의체

기후변화 2014

종합보고서



기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 제5차 평가 종합보고서

이 보고서는 제40차 IPCC 총회(2014.11.1., 덴마크 코펜하겐)에서 최종 승인·채택된 보고서를 기상청에서 번역한 것입니다.



2014 기후변화 종합보고서

저자

주저자팀

종합보고서
IPCC

Rajendra K. Pachauri

의장
IPCC

Leo Meyer

기술지원팀장
IPCC

주저자팀

Myles R. Allen (영국), Vicente Ricardo Barros (아르헨티나), John Broome (영국), Wolfgang Cramer (독일/프랑스), Renate Christ (오스트리아/WMO), John A. Church (오스트레일리아), Leon Clarke (미국), Qin Dahe (중국), Purnamita Dasgupta (인도), Navroz K. Dubash (인도), Ottmar Edenhofer (독일), Ismail Elgizouli (수단), Christopher B. Field (미국), Piers Forster (영국), Pierre Friedlingstein (영국), Jan Fuglestad (노르웨이), Luis Gomez-Echeverri (콜롬비아), Stephane Hallegatte (프랑스/세계은행), Gabriele Hegerl (영국), Mark Howden (오스트레일리아), Kejun Jiang (중국), Blanca Jimenez Cisneros (멕시코/UNESCO), Vladimir Kattsov (러시아 연방), Hoesung Lee (대한민국), Katharine J. Mach (미국), Jochem Marotzke (독일), Michael Mastrandrea (미국), Leo Meyer (네덜란드), Jan Minx (독일), Yacob Mulugetta (에티오피아), Karen O'Brien (노르웨이), Michael Oppenheimer (미국), R.K. Pachauri (인도), Joy J. Pereira (말레이시아), Ramón Pichs-Madruga (쿠바), Gian-Kasper Plattner (스위스), Hans-Otto Pörtner (독일), Scott B. Power (오스트레일리아), Benjamin Preston (미국), N.H. Ravindranath (인도), Andy Reisinger (뉴질랜드), Keywan Riahi (오스트리아), Matilde Rusticucci (아르헨티나), Robert Scholes (남아프리카공화국), Kristin Seyboth (미국), Youba Sokona (Mali), Robert Stavins (미국), Thomas F. Stocker (스위스), Petra Tschakert (미국), Detlef van Vuuren (네덜란드), Jean-Pascal van Ypersele (벨기에)

기술지원팀

Leo Meyer, Sander Brinkman, Line van Kesteren, Noemie Leprince-Ringuet, Fijke van Boxmeer

이 보고서를 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀주시기 바랍니다.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

기후변화에 관한 정부간 협의체

© 기후변화에 관한 정부간 협의체, 2015

초판 2015

ISBN 978-92-9169-143-2

본 발행물은 2014년 11월 1일 덴마크 코펜하겐에서 열린 제 40차 기후변화에 관한 정부간 협의체에서 승인하고(정책결정자를 위한 요약보고서) 채택한(본문) 보고서와 기본적으로 내용은 동일한 것이다. 다만 교열과정을 거쳤으며 오탈자 수정 후 최종판을 발행하였다. 본 발행물을 출판하기 전의 정호표는 웹사이트(<http://www.ipcc.ch>)에서 확인 가능하다.

본 보고서에 제시된 지명이나 지도 내 표기 및 명칭 방법 등은 특정 국가, 영역, 도시 혹은 지역의 법적 상황이나 주권 및 국경 혹은 지역 경계와 관련하여 기후변화에 관한 정부간 협의체의 의견을 반영하는 것이 아님을 밝힌다.

또한 본 보고서에 언급된 특정 기업 및 상품은 언급되지 않은 기타 유사 기업 및 상품의 것과 비교하여 IPCC가 선호 혹은 권장하는 것이 아님을 밝힌다.

본 출판물의 권한은 출판 유형(책 및 전자를 포함한 모든 형태)이나 번역된 언어에 상관없이 IPCC에 있다. 본 출판물에서 인용하여 재구성한 문장들이 짧은 것일 경우 자료의 공식적 출처 전체를 밝혀 권한 사항을 명확히 하지 않아도 된다. 편집 관련 문의나 보고서 일부 혹은 전체의 발행, 재구성 및 번역에 대한 문의와 요청은 서신으로 한다. 주소는 다음과 같다.

IPCC

c/o 세계기상기구 (World Meteorological Organization, WMO)

7bis, avenue de la Paix

Tel.: +41 22 730 8208

P.O. Box 2300

Fax: +41 22 730 8025

CH 1211 Geneva 2, Switzerland

E-mail: IPCC-Sec@wmo.int

www.ipcc.ch

표지사진: 로라 비아지오니(Laura Biagioni) 디자인, IPCC 사무국, WMO

사진:



I – Folgefonna glacier on the high plateaus of Sec@wmo.int Norway (60° 03' N–6° 20' E).

© Yann Arthus-Bertrand / Altitude | www.yannarthusbertrand.org | www.goodplanet.org

II – Planting of mangrove seedlings in Funafala, Funafuti Atoll, Tuvalu. © David J. Wilson

III – China, Shanghai, aerial view. © Ocean/Corbis

서문, 머리말 및 헌정사

서문

본 종합보고서(Synthesis Report, 이하 SYR)는 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 IPCC)의 제 5 차 평가보고서(AR5)에 세 실무그룹이 제출한 보고서 결과를 선별하여 취합하고 요약한 것으로 지금까지 IPCC 가 수행한 기후변화 평가 중에서 가장 포괄적인 내용을 다루고 있다. 현재까지 IPCC 가 발행한 기후변화 2013(과학적 근거), 기후변화 2014(영향, 적응 및 취약성), 기후변화 2014(기후변화 완화) 평가보고서와 두 개의 IPCC 특별 보고서 '재생에너지원과 기후변화 완화 (2011)'와 '기후변화적응 개선을 위한 극한 현상 및 재해위험관리 (2011)'의 결과를 취합 및 요약했다.

본 종합보고서에서는 '인간이 기후 시스템에 영향을 미치고 있다는 점이 확실하며, 그 정도가 점차 심화되고 있을 뿐만 아니라, 지구상 전 대륙과 해양에 걸쳐 관측되고 있다는 것'을 확인하였다. 1950년대 이래로 관측된 변화 중 상당수는 수십 년에서 수천 년 내 전례가 없던 것이었다. IPCC 는 최근 나타나고 있는 지구온난화의 주 원인이 인간이라는 것에 95%의 확신을 가지고 있다. 또한, 본 종합보고서에서는 기후 시스템을 방해하는 인간 활동이 많아질수록 관련 위험은 더욱더 심각하고, 만연하며 돌이킬 수 없는 영향을 인간 및 생태계에 가져올 뿐만 아니라 기후 시스템의 모든 요소가 장기적으로 변화할 수 있다는 점을 밝혔다. 그러나 기후변화와 그 위험을 제한할 방법이 있으며, 다양한 수단을 마련하여 경제 및 인간의 개발을 지속할 수도 있다는 점 또한 본 보고서에서 제시하였다. 그럼에도, 기온 상승 정도를 산업화 이전 수준과 비교하여 2°C 이내로 안정화시키기 위해서는 즉각적이면서도 근본적으로 BAU (business as usual)에서 벗어나야 한다. 또한, 우리가 관련 조치를 늦춘다면, 미래에 감당해야 할 기술, 경제, 사회 및 제도적 문제와 비용은 더욱 증가할 것이다.

이러한 발견점뿐만 아니라 SYR 에서 밝힌 기타 시사점들을 바탕으로 기후변화와 관련된 가장 핵심적 사항에 대한 이해의 폭과 정확도를 높일 수 있을 것이다. 여기서, 기후변화 관련 핵심 사항들은 다음과 같다: 온실가스 배출의 역할, 잠재적 위험 및 영향의 심각성 (특히 대처 능력이 제한적인 최빈개발도상국 및 취약 집단에 대한 영향), 기후변화 영향을 관리하는 데 필요한 근본적 요건. 이에, 본 종합보고서는 정책결정자뿐만 아니라 전 세계 시민들이 기후변화와 지구온난화를 늦추기 위해 즉각적으로 노력해야 한다는 점을 강조한다.

2014년 11월 2일 코펜하겐에서 본 종합보고서가 승인될 즈음은 매우 중요한 시기였다. 2014년 12월 리마에서 개최된 UN 기후변화협약 (UNFCCC) 제 20차 당사국 총회에서는 각국의 정책결정자들이 모여 기후변화에 대처할 새로운 협약을 결정하는 등, 2015년 파리에서 열릴 제 21차 총회 준비를 위한 초석을 다졌다. 바라건대, 본 종합보고서의 과학적 시사점을 바탕으로 관련자들이 의사결정을 내리고, 그 행동에 대한 당위성을 뒷받침할 핵심적인 정보원(information source)을 확보하며, 관련 행동 지침을 실질적이고 본격적으로 추진하는 데에 도움이 되었으면 한다. 이와 더불어, 이들이 전 세계가 수용 가능한 합의점을 이끌어냄으로써 기후변화를 관리 가능한 범위 내로 제한할 수 있는 방법을 찾도록 본 보고서가 동기부여의 계기가 되었으면 한다. 어떠한 이유에서도, 기후변화에 대해 묵인하는 것은 납득할 수 없는 일이다.

정부간 협의체는 세계기상기구(WMO) 및 UN 환경프로그램 (UNEP)이 1988년에 공동으로 창립하였으며, 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)는 정책결정자들에게 가장 신뢰할만하고 객관적인 기후변화 관련 과학 및 기술적 평가를 제공하였다. 1990년부터 출판하기 시작한 IPCC 평가보고서 시리즈, 특별보고서, 기술보고서, 방법론 보고서 및 기타 보고서들은 기후변화 관련 연구를 위한 참조 및 인용의 기준이 되고 있다.

본 종합보고서는 전 세계의 광범위한 학계 및 의견을 대표하는 수천 명의 전문가 및 과학자가 자발적 참여, 헌신 및 기여를 했기에 완성할 수 있었다. 우리는 본 보고서의 주저자팀(Core Writing Team, CWT)과 확장 저자팀 (Extended Writing Team, EWT)의 팀원 및 감수자들, 그리고 어려운 숙제와도 같았던 종합보고서를 완성하는 데에 AR5 전반에 걸쳐 열정을 보여준 분들께 감사를 전한다. 우리는 또한 종합보고서 기술지원팀과 본 IPCC 보고서 작성을 계획하는데 기여한 IPCC 사무국에도 감사를 표한다.

본 보고서를 발행하기 위해 과학자들을 지원해 준 IPCC 회원국 정부에게 감사를 표한다. 또한 개발도상국과 경제적으로 과도기의 시점에 있는 국가의 전문가들이 참여하는데 IPCC 신용기금은 핵심적인 기여를 하였다. SYR 범위 설정 회의(Scoping

Meeting)를 주최한 벨기에의 왈로니아 (Wallonia) 정부, SYR 기초회의 (drafting session)를 주최한 노르웨이, 네덜란드, 독일 및 말레이시아 정부, SYR 의 승인을 위해 IPCC 제 40 차 회의를 주최한 덴마크 정부에 감사를 전한다. 또한 노르웨이와 네덜란드 정부 및 한국 에너지경제연구원의 너그러운 재정적 지원과 네덜란드 환경평가국 및 인도 뉴델리의 에너지자원연구소의 현물지원이 있었기에 SYR 기술지원팀을 원활하게 운영할 수 있었음에 감사한다. 다시 한번 진심으로 감사의 말씀 전하고 싶다.

특히 IPCC 의장 Dr. Rajendra K. Pachauri 께 감사한다. 박사는 본 보고서 발행 과정 전반을 훌륭한 리더십으로 이끌었으며 지속적인 도움을 주었다.



Michel Jarraud
Secretary General
World Meteorological Organization



Achim Steiner
Executive Director
United Nations Environmental Programme

머리말

본 종합보고서(Synthesis Report, 이하 SYR)는 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 IPCC)의 제 5 차 평가보고서(Fifth Assessment Report, AR5) '기후변화 2014 (Climate Change 2014)' 를 구성하는 보고서들의 마지막 보고서이다. 본 종합보고서는 정부, 민간 및 공공 부문의 광범위한 의사 결정자들의 이익을 위해 간결한 보고서 형태로 제 5 차 평가에 기여한 세 실무그룹 ('과학적 근거', '영향, 적응 및 취약성', '기후변화 완화')의 주요 시사점을 선별, 취합 및 종합하였으며, 또한 2011 년에 발행된 2 개의 IPCC 특별보고서 '재생에너지원과 기후변화 완화(2011)' 그리고 '기후변화적응 개선을 위한 극한 현상 및 재해위험관리'에서 발견된 사실을 토대로 작성되었다. 따라서 SYR 은 기후변화와 관련하여 가장 최신의 과학적, 기술적, 사회 경제적 문헌을 아울러 종합한 기후변화 평가 편집본의 최신판이라 할 수 있다.

보고서 범위

본 보고서는 기후변화 관련 다양한 측면들에 대한 정보를 일관적이고 종합적으로 편집하고자, 실무그룹들 간의 노력을 세심하게 조정하고 연계하여 발간한 것이다. 본 SYR 에는 다음의 내용들이 포함된다: 불확실성과 위험에 대한 일관적 평가 (evaluation & assessment), 통합적인 비용 경제 분석, 지역적 측면, 수자원 및 지구시스템, 탄소 순환(해양 산성화 등), 빙권(cryosphere) 및 해수면 상승과 관련된 변화, 영향 및 대응, 지속 가능한 발전 체계 내 완화 수단 및 적응 옵션 등이 있다. SYR 전반에 걸쳐 UN 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 UNFCCC)의 궁극적 목표인 제 2 조(Article 2)와 관련된 정보를 제공한다.

본 보고서에서 다루는 기후변화의 기타 측면에는 자연계에 대한 기후변화의 직접적 영향과 인간계(인간건강, 식량 안보, 사회적 상황의 안보)에 대한 직간접적인 영향이 포함된다. SYR 은 기후변화 위험과 적응 및 완화를 지속 가능한 발전 체제에 포함시키는 것과 관련하여 지구상 거의 모든 시스템이 기후변화의 영향에 노출되어 있다는 사실과 기후변화, 관련 위험 및 영향들의 경계를 짓는 것이 불가능하다는 사실, 미래세대의 개발 욕구 충족 능력에 피해를 주지 않고 현재세대의 욕구를 만족시키는 개발을 하는 것이 불가능하다는 사실을 강조한다. 본 보고서는 이러한 측면들 간 연결관계를 집중 조명하며, 기후변화를 기타 개발 관련 문제에 중첩 혹은 통합시키는 방안에 대한 정보를 제시한다.

보고서 구성

본 보고서는 정책결정자를 위한 요약보고서 (Summary for Policymakers, SPM) 및 이를 발췌한 본문, 그리고

부속서로 구성되어 있다. SPM 의 구성과 흐름은 본문과 유사하지만, 본문 내에서는 하나 이상의 주제에 걸쳐 다른 특정한 측면들 중 일부를 SPM 에서는 하나의 절(section)로 통합하여 요약하였다. SPM 각각의 구절 뒤에는 본문 내 어느 부분에서 발췌되었는지를 나타내는 참조문헌을 기재하였다. 즉, 실무그룹의 보고서들 혹은 위에서 언급한 두 가지의 특별보고서 중 어느 장 (chapter)에서 참조 내용이 발췌하였는지를 각 구절의 뒷부분에 제시하였다. 기본적으로는 SYR 은 하나의 독립된 보고서이며, SYR 의 본문 및 AR5 전 보고서 내 정책과 관련하여 가장 중요한 내용들을 포함한 것이 SPM 이다.

세 실무그룹 (WG I, WG II, WG III)의 AR5 보고서, 각 보고서 내 정책결정자를 위한 요약보고서(SPM), 기술 요약보고서(TS) 및 자주 묻는 질문(FAQ)과 종합보고서(SYR)는 공식 UN 언어들로 확인할 수 있으며, 온라인 IPCC 웹사이트와 오프라인 전자 버전으로 볼 수 있다. 전자 버전에서는 SYR 이 참조 및 인용한 참고문헌 원본을 하이퍼링크를 통해 제시하므로, 관련 과학, 기술 및 사회경제적 정보를 좀 더 자세하고 쉽게 찾을 수 있다. 사용자 지침, 사용한 용어의 목록(용어집) 및 약어 목록, 감수자 및 과학 검토자는 보고서의 부속서로 제공한다.

좀 더 많은 독자들의 SYR 시사점에 대한 접근성 및 가독성과 이해관계자들의 보고서 활용도를 높이기 위해서 SPM 의 각 절(section)에서는 표제 (headline) 문구를 강조하여 나타냈다. 이에, 21 개의 표제 문구는 간단한 형태로 핵심사항을 추린 요약문이며, 여기서 기술 및 전문적인 언어는 완전히 배제하여 다양한 계층 및 분야의 독자들이 쉽게 이해할 수 있도록 하였다. 이들 표제 문구는 본 보고서의 저자들이 작성한 것이며, IPCC 회원국 정부의 승인을 거친 것이다.

본문은 기본적으로 협의체가 지정한 네 개의 주제 (topic)로 구성되어 있다.:

'*관측된 변화 및 그 원인(주제 1)*에서는 세 개의 실무그룹이 다음에 대해 밝힌 새로운 정보들을 통합하였다: 대기, 해양, 빙권 및 해수면에서의 변화 등을 포함하여 기후 시스템에서 관측된 변화; 현재와 과거의 배출 동인(driver) 및 인간이 배출 동인에 미치는 영향; 극한기상 및 극한 현상에서의 변화를 포함한 관측된 변화; 기후변화 및 영향의 원인 규명이 있다.

'*미래 기후변화와 위험, 영향(주제 2)*에서는 미래 기후변화와 위험, 영향에 대한 정보를 제시한다. 미래의 기후를 결정짓는 주요 동인, 누적 배출량과 기온 변화 간의 관계, 21 세기 이후의 기후 시스템에서 예상되는 변화에 대한 정보를 통합한다. 또한, 기후 변화가 초래하는 미래 위험 및 영향, 기후 관련 및 기타

위해(hazard) 간 상호관계 등을 평가한다. 해수면 상승 및 해양 산성화 등 장기변화와 비가역적이고 갑작스러운 변화가 가져올 위험에 대한 정보 또한 제시한다.

‘적응, 완화 및 지속 가능한 발전을 위한 미래 경로(주제 3)’에서는 기후변화 위험의 저감 및 관리를 위한 상호보완적 전략으로서 적응 및 완화 경로를 설명하고 적응 및 완화와 지속 가능한 발전 간 존재하는 상호작용을 평가한다. 이와 더불어 시간 범위, 규모 및 영속성 측면에서의 효율적인 의사결정, 기후변화 위험들 간 차이점, 적응 및 완화에 대해 분석적 접근을 수행하고, 적응 및 완화 경로의 특징과 미래 온난화의 다양한 수준 등 관련 도전, 제한 및 편익을 분석한다.

주제 4에서는 제 2, 3 실무그룹이 밝힌 특정 적응 및 완화 옵션에 대한 정보를 취합하였다. 적응과 완화 옵션에는 환경적으로 건강한 기술 및 기반시설과 지속 가능한 생활, 행동 및 라이프스타일의 선택 등이 포함된다. 주제 4에서는 적응 및 완화를 장려하거나 제약하는 인자들을 설명하고, 대응방안의 효율성에 상당한 영향을 미치는 정책 접근법, 재정 및 기술을 다룬다. 또한 통합 대응 기회 및 적응과 완화가 기타 사회적 목표와 갖는 연관관계에 대해 설명한다.

보고서 작성 절차 및 경과

IPCC AR5의 SYR 작성과정 전반에 걸쳐 IPCC는 모든 노력과 열정을 다했다. AR5에서는 제 4차 평가보고서(Fourth Assessment Report, AR4)의 경우보다 1년 빠르게 SYR 준비 작업을 시작하였다. 이는 실무그룹 보고서가 완성되지 않았음에도 SYR 준비를 시작하여 종합보고서에 충분한 정보를 확실히 담고자 했기 때문이다. 2010년 8월 벨기에의 리에주(Liege)에서 개최된 범위설정회의(scoping meeting)에서는 AR5 종합보고서의 세부 개요가 제안되었고, 이 회의에서 결정된 개요는 2010년 10월 한국의 부산에서 협의체의 승인을 받았다. IPCC 절차에 따라 IPCC 의장은 실무그룹의 공동 의장들과 협의를 거쳐 SYR 주저자팀(Core Writing Team, CWT)의 저자를 지명하였고, 이에 2012년 3월 IPCC 사무소가 45명의 CWT 저자 및 9명의 감수자를 선출 및 승인하였다. 또한 14명의 확장 저자팀(Extended Writing Team, EWT)의 저자가 선출되어 IPCC 의장의 승인을 받았다. EWT는 본 보고서의 자료 및 글을 준비하는 데 상당히 큰 도움을 주었다. SYR 내용을 전면적으로 수정하는 과정에서, IPCC 사무소는 CWT에 포함할 6명의 저자와 한 명의 감수자를 추가로 선출 및 승인하였다. 이로써, 보고서 준비에 필요한 좀 더 전문적 지식을 더할 수 있게 되었다. 본 최종본은 전문가 및 정부 관계자의 통합적 감수를 거친 뒤, 2014년 10월 27일에서 11월 1일까지 개최된 IPCC 제 40차 총회에 제출되었다. 이 총회에서 각 정부는 SPM을 한 줄씩 검토 후 승인하였고 본문이 경우 모든 절(section)을 하나씩 검토하여 채택하였다.

감사의 말씀

주저자팀원들과 확장 저자팀원들의 많은 도움에 깊은 감사를 전하고 싶다. 이들은 SYR 발행 전반에 걸쳐 끊임없는 노력을 하였고, 전문적 지식을 바탕으로 놀라운 도움을 주었다. 뿐만 아니라 이들이 보고서의 완성도를 높이기 위해 진정으로 노력하고 세심한 부분도 놓치지 않고 심혈을 기울인 덕분에 SYR을 성공적으로 마무리 할 수 있었다. 또한 감수자들은 SYR이 기후변화 관련 최신 정보에 대한 균형 있고 완성도 높은 평가를 할 수 있도록 값진 도움을 주었고, IPCC가 SYR 보고서에 대한 확신을 가질 수 있도록 과정의 투명성을 확보하는 데에도 핵심적인 역할을 하였다. AR5와 특별보고서의 모든 저자들에게도 감사의 말씀을 전한다. 이들은 기후변화의 다양한 측면에 대한 방대한 양의 문서를 자세하게 평가하였고 기초보고서에 대한 의견을 제시하여 SYR을 준비하는 데 상당한 도움을 주었다.

AR5 전반에 걸쳐, IPCC의 리더그룹, 특히 제 1 실무그룹 공동의장인 Thomas Stocker 박사와 Qin Dahe 박사, 제 2 실무그룹의 공동의장인 Chris Field 박사와 Vicente Barros 박사, 제 3 실무그룹의 공동의장인 Ottmar Edenhofer 박사, Ramon Pichs-Madruga 박사와 Youba Sokona 박사의 통찰력과 현명함이 큰 도움이 되었다. 이들은 협력적으로 세 실무그룹 보고서의 지식 관련 사항을 통합하여 높은 수준의 최종 보고서를 만드는 데 귀중한 도움을 주었다.

우리는 또한 감수자로서 SYR의 승인 과정 전반에 걸쳐 도움을 준 Fredolin Tangang, David Wratt, Eduardo Calvo, Jose Moreno, Jim Skea 및 Suzana Kahn Ribeiro에게 감사를 전하고 싶다. 이들은 승인 과정 중 SPM을 교정한 사항이 본문에 확실히 반영되었는지 확인하였다. 이들의 도움과 수고가 있었기에 과학자와 정부 사이의 신뢰가 견고히 형성될 수 있었고, 이에 IPCC가 지향하는 공생과 믿음 하에서 수월하게 일을 진행할 수 있었다.

기술지원팀 또한 열정과 헌신 그리고 전문적 수준의 도움을 주었다. 특히 제 1 실무그룹 기술지원팀의 Gian-Kasper Plattner, Melinda Tignor 와 Judith Boschung, 제 2 실무그룹 기술지원팀의 Katie Mach 와 Eren Bilir, 제 3 실무그룹 기술지원팀의 Ellie Farahani, Jussi Savolainen 과 Steffen Schlomer에게 감사드리며, SYR 승인세션(approval session) 중 SYR의 기술지원팀과 협동하여 해당 세션을 성공적으로 이끄는 데 도움을 준 포츠담 기후영향 연구소의 Gerrit Hansen에게 감사를 전한다. 특히 SYR의 그림(figure)들을 작업한 제 1 실무그룹 기술지원팀의 Adrien Michel에게도 감사드린다.

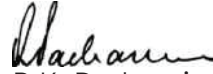
종합보고서의 기술지원팀장인 Leo Meyer 와 Sander Brinkman, Line van Kesteren, Noemie Leprince-Ringuet 과 Fijke van Boxmeer는 각자의 강점을

최대한 살려 SYR 작성 전개과정부터 최종 마무리까지 협력을 통해 이루 말할 수 없을 정도로 많은 도움을 주었다. 이들 각자는 모두 끊임없는 노력과 진정한 도움 및 희생을 보여주었고 SYR 가 확실히 성공적으로 발행될 수 있도록 도왔다.

또한 셀 수 없이 많았던 업무들을 도맡아 하여 본 보고서의 준비, 발표 및 발행을 지원한 IPCC 사무국의 직원들, Gaetano Leone, Carlos Martin-Novella, Jonathan Lynn, Brenda Abrar-Milani, Jesbin Baidya, Laura Biagioni, Mary Jean Burer, Annie Courtin, Judith Ewa, Joelle Fernandez, Nina Peeva, Sophie Schlingemann, Amy Smith, Werani Zabula 에게도 감사를 전하고 싶다.

SYR 기초회의, 네 번의 핵심작성회의 그리고 제 40 차 IPCC 총회를 기꺼이 개최해 준 IPCC 의 회원국 정부들에게도 감사 말씀을 전한다: 네덜란드, 독일, 말레이시아, 덴마크. 또한 WMO, UNEP 그리고 UNFCCC 가 신용기금을 통하여 보고서 작성에 필요한 다양한 부분들을 재정적으로 지원한 것에 감사드린다. 특히 노르웨이 및 네덜란드 정부와 한국

에너지경제연구원은 SYR 기술지원팀에 관대한 재정적 지원을 하였고, 네덜란드 환경평가국 PBL 과 뉴델리의 에너지자원연구소는 SYR 기술지원팀에 현물지원을 하였음에 감사드린다. 더불어, IPCC 의 모(母) 기관인 UNEP 와 WMO 의 지원에 감사하는 바이다. 특히 WMO 는 IPCC 사무국 및 첫 번째 주저자팀 회의를 주최하였다. 또한, UNFCCC 가 본 보고서의 여러 단계에 걸쳐 많은 협조를 주고, 다수의 적절한 포럼을 개최하는데 주목할 만한 도움을 준 점에 감사드린다.



R.K. Pachauri
Chairman of the IPCC



Renate Christ
Secretary of the IPCC

헌정사



Stephen H. Schneider
(1945.02.11-2010.07.19)

위대한 기후 과학자 스티븐 H. 슈나이더(Stephen H. Schneider)를 기리며 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)의 제 5 차 평가 종합보고서를 헌정한다.

플라스마 과학자였던 스티븐 슈나이더(Steve Schneider)는 약 40 년 전 기후 과학 분야를 접한 후, 당 분야의 새로운 지식을 창조하며 점점 증가하는 기후변화 문제와 그 해결책을 정책결정자와 대중에게 모두 알리기 위해 꾸준히 노력하였다. 스티븐 슈나이더는 그의 의견을 표현하는 데 언제나 대담하며 직설적이었고 그 기반에는 뛰어난 과학적 지식을 강점으로 한 확신이 있었다. 슈나이더는 수많은 저서와 출판물, 기후변화에 관한 학제간 연구 저널에서 존경받는 편집자로 일했으며 그중 다수는 다양한 분야의 과학자들과 공동 집필한 것이었다. IPCC 와 슈나이더와의 관계는 1990 년 발간되고 UN 기후변화협약의 과학적 근간으로서 중요한 역할을 한 제 1 차 평가보고서와 함께 시작되었다. 후일 그는 다양한 평가보고서의 주저자이자 총괄 주저자, 그리고 전문 감수자로 일했으며, 제 4 차 평가보고서에서도 주저자팀으로 활동하였다. 본 보고서 주저자팀은 슈나이더의 인생과 업적으로부터 영감과 동기를 부여받았다. 스티브 슈나이더의 지식은 기후과학 고유의 다양성을 위해 꼭 필요한, 수많은 학문의 살아있는 종합보고서라 칭할 수 있다.

목차

서문	v
머리말	vii
헌정사	xi
정책결정자를 위한 요약보고서.....	2
SPM 1. 관측된 변화와 그 원인.....	2
SPM 2. 미래의 기후변화와 위험, 영향.....	8
SPM 3. 적응, 완화 및 지속 가능한 발전에 대한 미래 경로.....	17
SPM 4. 적응 및 완화.....	26
서론.....	36
박스 서론.1 불확실한 미래의 위험 및 관리.....	36
박스 서론.2 평가 결과의 확실성의 정도에 대한 이해.....	37
주제 1: 관측된 변화와 그 원인.....	40
1.1 기후 시스템에서 관측된 변화.....	40
1.1.1 대기.....	40
1.1.2 해양.....	40
1.1.3 빙권.....	42
1.1.4 해수면.....	42
박스 1.1 최근의 기온 경향과 그 시사점.....	43
1.2 과거와 최근 기후변화의 동인.....	44
1.2.1 자연 및 인위적 복사강제력.....	44
1.2.2 배출 동인에 영향을 미치는 인간 활동.....	45
1.3 기후변화와 영향의 원인 규명.....	47
1.3.1 기후 시스템에서 인간과 자연의 영향에 대한 기후변화의 원인규명.....	48
1.3.2 기후변화에서 기인한 관측된 영향.....	49
1.4 극한 현상.....	53
1.5 노출 및 취약성.....	54
1.6 기후변화에 대한 인류의 대응: 적응 및 완화.....	54
주제 2: 미래의 기후변화와 위험, 영향.....	56
2.1 미래 기후의 주요 동인과 전망이 만들어진 기반.....	56
박스 2.1 지구 기후 시스템 모델링의 개선 사항, 신뢰성 및 불확실성.....	56
박스 2.2 '대표농도경로(Representative Concentration Pathways)'.....	57
박스 2.3 기후변화 위험, 취약성 및 영향을 추산하는 데 사용한 모델 및 방법.....	58
2.2 기후 시스템에서 전망되는 변화.....	59
2.2.1 기온.....	60
2.2.2 물 순환.....	60
2.2.3 해양, 빙권, 해수면.....	62
2.2.4 탄소 순환과 생지화학.....	62
2.2.5 기후 시스템 반응.....	63
2.3 기후변화에 의한 미래 위험 및 영향.....	65
2.3.1 생태계와 해양, 연안, 육지 및 담수 자원의 생태계서비스.....	67
박스 2.4 기후변화를 고려한 우려 요인.....	72
2.3.2 수자원, 식량 및 도시 시스템, 인류 건강, 안보 및 생계.....	73
2.4 2100년 이후의 기후변화, 비가역적이고 갑작스러운 변화.....	75

주제 3: 적응, 완화 및 지속 가능한 발전에 대한 미래 경로	78
3.1 기후변화 정책 결정의 기반	79
박스 3.1 경제 지표를 이용한 기후변화 위험 측정의 한계	80
3.2 적응 및 완화를 통한 기후변화 위험 감소	80
3.3 적응 경로의 특성.....	84
박스 3.2 온실가스 배출량 산정법 및 완화 경로	87
박스 3.3 지구 공학 기술인 이산화탄소제거(CDR) 및 태양복사관리(SRM)-역할, 방법, 위험 및 현황	89
박스 3.4 부수적 이익과 부작용.....	91
3.4 완화 경로의 특성.....	91
3.5 완화, 적응 및 지속 가능한 발전의 상호 작용	94
주제 4: 적응 및 완화	96
4.1 적응 및 완화 대응의 공동 장려 요인 혹은 공동 제약 요인	96
4.2 적응 방안	99
4.3 완화 방안	105
4.4 적응, 완화, 기술 및 재정 부문의 정책 접근법	109
4.4.1 적응과 완화를 위한 국제 및 지역적 협력	109
4.4.2 국가 및 하위-국가 정책.....	111
4.4.3 기술 개발 및 이전	114
4.4.4 투자 및 재정.....	114
4.5 트레이드오프, 시너지 및 통합 대응	115

부속서	117
I. 사용자 지침	119
II. 용어집	121
III. 약어, 화학 기호 및 과학 단위	135
IV. 저자 및 감수자	139
V. 전문 감수자	143
VI. IPCC 간행물	147
색인	151

종합보고서 인용 출처

본 보고서에 포함된 문헌 참고자료의 출처는 각 단락의 끝 중괄호 } 안에 이탤릭체로 표시하였다.

정책결정자를 위한 요약보고서에서 참고자료의 출처는 종합보고서 본문의 서론 및 주제(topic)내 절, 그림과 표 및 박스의 숫자로 표시하였다.

본문의 서론 및 주제에서 참고문헌은 제 1,2 및 3 실무그룹 (WGI, WGII, WGIII)의 제 5 차 평가보고서 및 IPCC 보고서에서 참조한 것(중괄호 내 이탤릭체로 표시) 혹은 종합보고서 자체 내 기타 절에서 참조한 것 (동근 괄호 내에 표시)이다.

본 보고서에는 다음과 같은 약어가 사용되었다.:

SPM: 정책결정자를 위한 요약보고서 (Summary for Policymakers)

TS: 기술 요약보고서 (Technical Summary)

ES: 장별 종합 요약보고서(Executive Summary of a chapter)

숫자는 보고서 내의 특정 장(chapter) 및 절(section)을 의미한다.

본 종합보고서에서 인용한 기타 IPCC 보고서:

SREX: 기후변화 적응 개선을 위한 극한 현상 및 재해위험관리에 관한 특별보고서(Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation)

SRREN: 재생에너지원과 기후변화 완화에 관한 특별보고서 (Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation)

AR4: 제 4 차 평가보고서 (Fourth Assessment)

기후변화 2014
종합보고서
정책결정자를 위한
요약보고서

서론

본 종합보고서는 세 실무그룹이 기후변화에 관한 정부간 협의체 (IPCC)에 제출한 보고서와 기후변화 관련 특별 보고서를 기반으로 하여 작성하였다. 본 보고서는 IPCC 제 5 차 평가보고서(AR5)의 마지막 보고서로서 기후변화를 통합적인 관점에서 접근한다.

요약보고서의 구조는 종합보고서 본문의 것과 같으며, 다음의 항목을 다룬다: 관측된 변화와 그 원인; 미래의 기후변화와 위험, 영향; 적응, 완화 및 지속 가능한 발전에 대한 미래 경로; 적응 및 완화

실무그룹 보고서 및 특별 보고서에서와 마찬가지로, 종합보고서에서 제시한 주요 평가 결과의 확실성은 다음과 같이 표현한다. 여기서 확실성이란 기준에 이루어졌던 과학적 이해에 대한 저자 팀의 평가를 기반으로, 해당 평가를 신뢰할 수 있는 수준을 정성적으로 표현한 것이지만(매우 낮음에서 매우 높음까지), 가능할 경우 가능성에 대한 정량적 표현도 함께 나타낸다(가능성이 매우 희박함부터 사실상 확실함까지)¹. 적절하다고 판단되는 경우에는 평가 결과에 대한 불확실성 등급 없이 사실의 서술만을 제시하였다.

본 보고서는 UN 기후변화협약(UNFCCC) 제 2 조의 내용을 포함하고 있다.

SPM 1. 관측된 변화와 그 원인

인간은 기후 시스템에 명백한 영향을 미치고 있다. 최근 배출된 인위적 온실가스의 양은 관측 이래 최고 수준이며, 기후변화는 최근 인간계와 자연계에 광범위한 영향을 주고 있다. {1}

SPM 1.1 기후 시스템의 관측된 변화

기후 시스템이 온난해지고 있다는 것은 자명한 사실이며, 1950년대 이후 관측된 변화의 대부분은 수십 년에서 수천 년 내 전례 없던 것이다. 대기와 해양의 온도 및 해수면은 상승하고 있는 반면 눈과 빙하의 양은 감소하고 있다. {1.1}

1850년대 이래로, 지구표면의 온난화는 그 어느 때의 10년 보다 지난 30년 간 연속해서 심화되었다. 지난 1400년 간의 지구 표면 온도에 대한 평가가 가능한 북반구의 경우, 1983-2012년의 30년은 지난 1400년 중 가장 따뜻한 기간이었을 가능성이 높다 (중간 신뢰도). 선형변화 경향(linear trend)을 사용하여 계산한 전 지구 평균 육지-해양 표면온도 자료를 바탕으로 볼 때, 1880-2012년까지의 기간(독립적으로 생성된 다수의 데이터셋이 존재) 동안 0.85 [0.65-1.06]°C²의 지구 표면 온난화가 나타났음을 알 수 있다 (그림 SPM.1a). {1.1.1, 그림 1.1}

이처럼 수십 년 동안 이어진 강한 온난화와 함께, 전 지구 평균 표면 온도의 10년 및 매년간 변동성 또한 상당히 높게 나타난다(그림 SPM.1a). 이처럼 자연적 변동성이 상당히 높기 때문에, 단기 자료(short records)에 근거한 경향일 경우 시작과 종료 일자에 매우 민감하게 반응하며, 일반적으로 장기적인 기후 동향을 반영할 수 없다. 예를 들어, 강력한 엘니뇨와 함께 시작된 지난 15년 동안의 온난화 속도(1998-2012년; 10년당 0.05[-0.05-0.15]°C)는 1951년 이래 계산된 속도보다 느리다 (1951-2012; 10년당 0.12 [0.08-0.14]°C). {1.1.1, 박스 1.1}

¹ 각 연구 결과는 밝혀진 증거와 동의 수준의 평가에 근거한다. 많은 경우에, 증거와 동의 수준의 종합은 신뢰도 크기를 정하는데 도움이 된다. 증거에 관한 용어 요약은 '제한된, 중간, 또는 명확한'으로 표현된다. 동의 수준은 낮음, 중간, 높음으로 표현한다. 신뢰도의 수준은 다섯 단계: 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음 매우 높음으로 표현하고, 중간 신뢰도와 같이 이탤릭체로 표기한다. 평가된 발생가능성 혹은 결과를 나타내기 위해 사용되는 용어는 "사실상 확실한"은 99-100% 가능성, "가능성이 매우 높음"은 90-100%, "가능성이 높음"은 66-100%, "가능성이 있는"은 33-66%, "가능성이 낮음"은 0-33%, "가능성이 매우 낮음"은 0-10%, "가능성이 매우 희박한"은 0-1%로 구성된다. 추가 용어("가능성이 대단히 높음"은 95-100%, "발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높음"은 >50-100%, "발생할 가능성보다 발생하지 않을 가능성이 높음"은 0≤50%, "가능성이 대단히 낮음"은 0-5%)도 적절한 경우에 사용될 수 있다. 평가된 가능성은 이탤릭체로 표기된다 (예: 가능성이 매우 높음 (자세한 내용은 2010 IPCC 불확실성에 대한 안내 참고)).

² 대괄호 범위 혹은 "±" 표시는 특별히 명시되지 않는 한, 예상되는 값을 포함하는 90%의 가능성을 가질 것으로 기대된다.

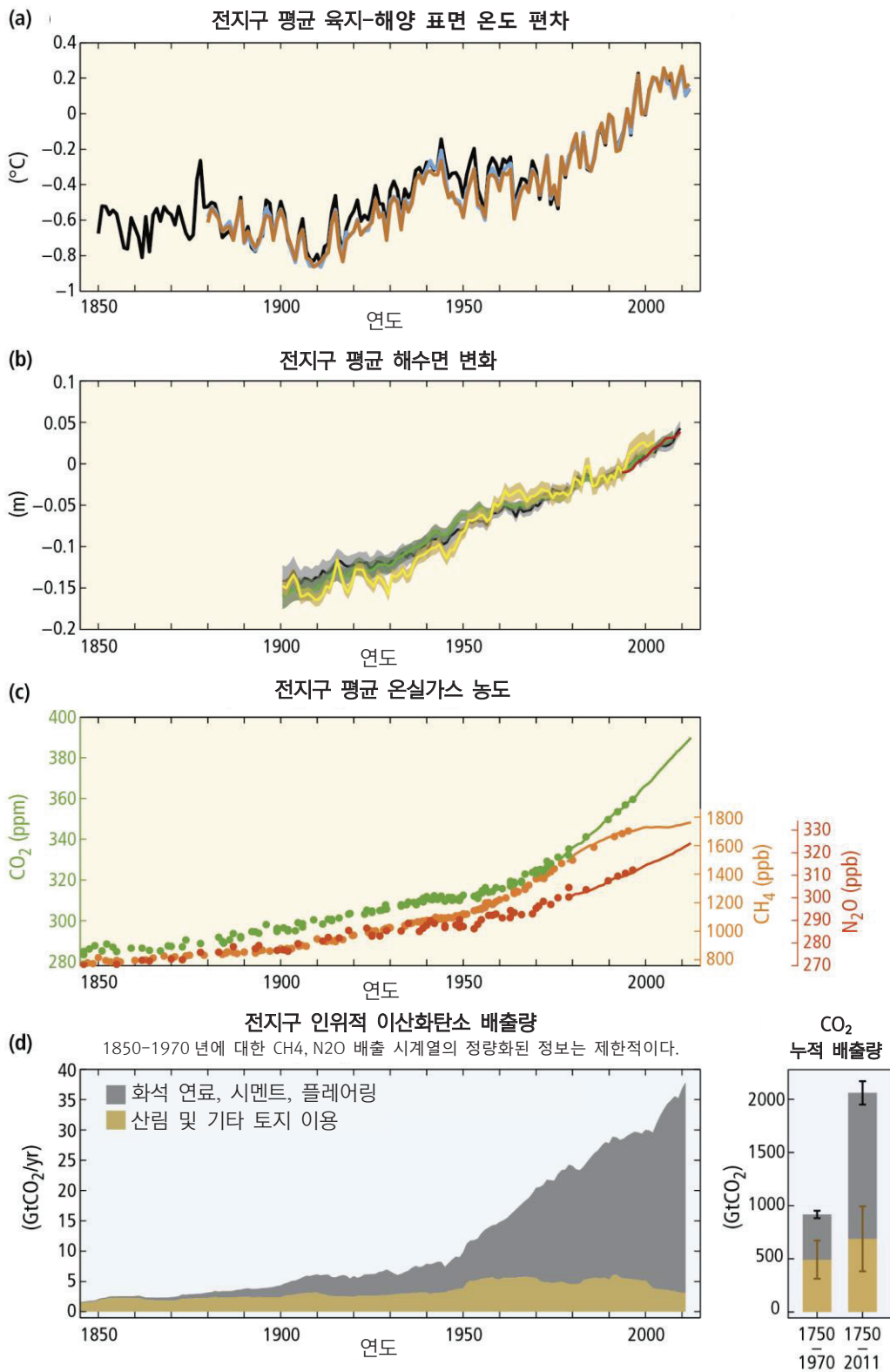


그림 SPM.1 | 관측(패널 a,b,c, 노란색 배경)과 배출량(패널 d, 밝은 파란색 배경)의 복잡한 관계는 1.2 절과 주제 1에서 다룬다. 관측 및 기타 지구 기후 시스템 변화 지표. 관측: (a) 1986-2005 년 평균 대비 연간 지구 평균 육지-해양 표면 온도 편차의 합. 색상은 각기 다른 데이터 세트를 나타낸다. (b) 가장 관측기간이 긴 데이터 세트에서 1986-2005 년 평균 대비 연간 전지구 평균 해수면 변화. 색상은 각기 다른 데이터 세트를 나타낸다. 모든 데이터 세트는 위성 고도 측정 데이터의 첫 번째 해(빨간색)인 1993 년과 같은 값을 갖도록 정렬된다. 평가의 경우, 불확실성은 색 음영으로 표시된다. (c) 빙하 코어 데이터(점)와 직접적 대기 측정(선)에 의해 결정된 온실가스 이산화탄소(CO₂, 초록색), 메탄(CH₄, 주황색), 아산화질소(N₂O, 빨간색)의 대기 중 농도. 지표; (d) 산림과 토지 이용뿐 아니라 화석 연료의 연소 및 시멘트 생산, 플레어링으로 인한 전지구 인위적 이산화탄소 배출량. 이러한 원인으로 인해 축적된 CO₂ 배출량과 그 불확실성은 각각 막대와 빗금으로 오른쪽에 표시되어 있다. CH₄, N₂O 누적 배출량의 전지구적 효과는 패널 c 에 있다. 1970-2010 년의 온실가스 배출량 자료는 그림 SPM.2 에 있다. {그림 1.1, 1.3, 1.5}

대기는 기후 시스템에 저장된 에너지의 약 1%만을 차지하는 반면, 해양은 1971-2010 년에 축적된 에너지의 90%를 차지하여, 기후 시스템에 저장된 에너지의 증가에 지배적인 영향을 주고 있다 (높은 신뢰도). 전지구적인 규모에서 해양 온난화는 표면 근처에서 가장 높고 해양 상층부의 75m 에서는 1971-2010 년에 10 년당 0.11[0.09-0.13]°C 상승했다. 상층 해양(0-700m)이 1971-2010 년에 온난화된 것은 사실상 확실하고 1870 년대와 1971 년 사이에 온난화되었을 가능성은 높다. {1.1.2, 그림 1.2}

북반구 중위도 육지 지역의 평균 강수량은 1901 년부터 증가했다 (1951 년 이전에 중간 신뢰도, 1951 년 이후에 높은 신뢰도). 기타 위도의 경우, 장기 지역 평균 강수량의 증가 혹은 감소 경향에 대한 신뢰도는 낮다. 해양 표면 염분에서도 변화가 관측되었는데, 이는 해양을 걸친 전 지구의 물 순환에 변화가 일어나고 있다는 간접적 증거로 볼 수 있다(중간 신뢰도). 1950 년대 이후, 염도가 높은 지역에서는 증발량이 증가하면서 염도가 더 높아진 반면, 염도가 낮은 지역에서는 강수량이 증가하면서 더욱 담수화되었을 가능성이 매우 높다. {1.1.1, 1.1.2}

산업화 시대 도래 후, 해양은 계속해서 이산화탄소를 흡수하기 시작하였고, 이로 인해 해양의 산성화 또한 점진적으로 진행되었다; 해양 표층수의 pH 는 0.1 감소했는데, 이는 26%의 산도(수소 이온 농도로 측정) 증가에 상응하는 수준이다(높은 신뢰도). {1.1.2}

1992-2011 년에 그린란드와 남극 빙상의 질량은 점차 줄어들었고 (높은 신뢰도) 감소율은 2002-2011 년에 가장 높았을 가능성이 높다. 빙하는 전 세계적으로 점차 축소되어 왔다 (높은 신뢰도). 북반구 내 봄철 적설 면적 규모는 지속적으로 감소했다 (높은 신뢰도). 표면 온도가 상승하고 적설 면적이 변화함에 따라, 영구동토층의 온도 또한 1980 년대 초 이래로 대다수 지역에서 증가하고 있다 (높은 신뢰도). {1.1.3}

북극의 연평균 해양빙(sea-ice) 면적은 1979-2012 년 기간 동안 10 년당 3.5-4.1% 범위의 속도로 감소해왔을 가능성이 매우 높다. 1979 년 이후 북극의 해양빙 면적은 모든 계절과 모든 연속한 10 년 에 걸쳐 감소하였고, 특히 여름철의 10 년 평균 면적이 가장 급속하게 감소했다 (높은 신뢰도). 남극의 연평균 해양빙 면적은 1979-2012 년에 10 년당 1.2-1.8% 범위에서 증가해왔을 가능성이 매우 높다. 그러나 남극의 경우, 면적이 증가한 지역도 있고 감소한 지역도 있는 등 해양빙 면적에서 지역적 차이가 크다는 데에 신뢰도는 높다. {1.1.3, 그림 1.1}

1901-2010 년에 전지구 평균 해수면은 0.19 [0.17-0.21]m 상승했다 (그림 SPM.1b). 19 세기 중반 이후의 해수면 상승률은 19 세기 이전 2 천년 동안의 평균 상승률보다 크다 (높은 신뢰도). {1.1.4, 그림 1.1}

SPM 1.2 기후변화의 원인

경제 및 인구 성장이 주 원인이 되어 나타난 산업화 시대 이전부터 인위적 온실가스 배출량은 계속 증가해왔고, 현재 가장 높은 수준을 보이고 있다. 현재 이산화탄소, 메탄, 아산화질소의 대기 중 농도는 인위적 배출로 인해 지난 80 만년 내 최고 수준이다. 기타 인위적 동인과 함께 전례 없던 수준의 온실가스 배출이 전체 기후 시스템에 영향을 주는 것은 계속해서 탐지되어 왔고, 이는 20 세기 중반 이후 관측된 온난화의 주 원인일 가능성이 대단히 높다. {1.2, 1.3.1}

산업화 시대 이전부터 인위적 온실가스(GHG) 배출이 주 원인이 되어 이산화탄소, 메탄, 아산화질소의 대기 중 농도가 크게 증가하였다 (그림 SPM.1c). 1750-2011 년 대기 중 누적 인위적 이산화탄소 배출량은 2040 ± 310 GtCO₂ 였다. 배출량의 약 40 %는 대기(880 ± 35 GtCO₂)에 남아있다; 나머지는 대기에서 제거되어 육지(식물과 토양)와 바다에 저장되었다. 해양은 인위적 이산화탄소 배출량의 30%를 흡수했는데, 이로 인해 해양 산성화가 초래되었다. 1750-2011 년의 인위적 이산화탄소량 중 절반 가량은 지난 40 년 중 배출된 것이다(높은 신뢰도)(그림 SPM.1d). {1.2.1, 1.2.2}

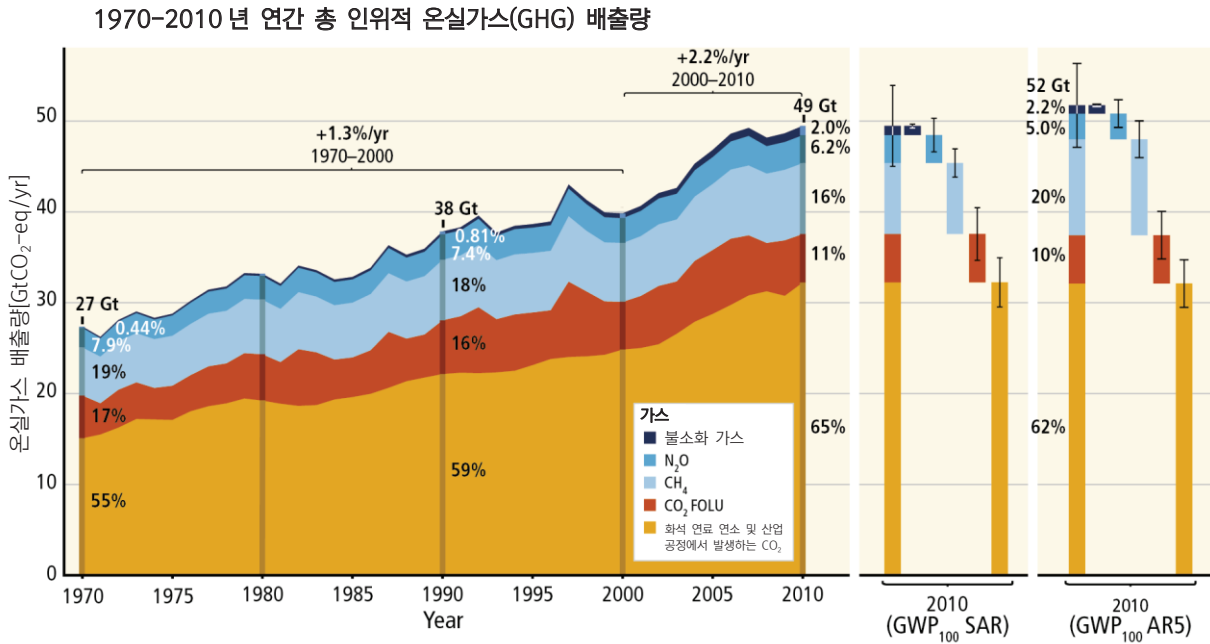


그림 SPM.2 | 1970-2010년 연간 총 인위적 온실가스 배출량 (연간 CO₂ 환산 기가톤, GtCO₂-eq/yr): 화석 연료 연소와 산업 공정에 의한 이산화탄소; 산림 및 기타 토지사용(FOLU)에 의한 이산화탄소(CO₂); 메탄(CH₄); 아산화질소(N₂O); 플루오르화 가스는 교토의정서(불소화 가스)에서 다루었다. 오른쪽 막대그래프는 SAR 과 AR5 의 값을 기반으로 한 CO₂ 환산 배출량 가중치를 사용하여, 2010 년의 배출량을 보여준다. 별도로 언급하지 않는 한, SAR 의 100년 지구 온난화 지수(GWP₁₀₀) 값을 기준으로 계산된 교토 가스 (CO₂, CH₄, N₂O, 불소화 가스) 등의 CO₂ 환산 배출량이 오른쪽에 나타난다 (용어집 참고). AR5 의 최근 100년 지구 온난화 지수 값(오른쪽 막대)을 사용하면 증가된 메탄의 기여 때문에 더 높은 총 연간 온실가스 배출량(52 GtCO₂-eq/yr)이 나타나지만, 장기적인 추세에 크게 영향을 미치지 않는다. {그림 1.6, 박스 3.2}

기후변화 완화 정책이 점차 마련 및 추진되고 있음에도 불구하고, 총 인위적 온실가스 배출량은 2000-2010년에 절대적으로 크게 증가하였고 1970-2010년에도 계속해서 증가하였다. 2010년 인위적 온실가스 배출량은 49(±4.5) GtCO₂-eq/yr에 달했다³. 화석 연료의 연소와 산업 공정에서 발생하는 이산화탄소의 배출량은 2000-2010년 증가폭과 비슷한 비율로 1970-2010년 전체 온실가스 배출량 증가의 약 78%를 차지했다 (높은 신뢰도) (그림 SPM.2). 전세계 경제 성장과 인구 증가는 화석연료의 연소에 의한 이산화탄소 배출의 증가를 가장 주도적으로 이끈 동인이다. 이산화탄소 배출에 대한 경제 성장의 기여도는 2000-2010년에 급격히 증가한 반면, 동 기간 인구 성장의 기여도는 이전의 30년과 거의 비슷한 수준이다. 전세계 에너지 공급 패턴은 점진적으로 탈탄소화 추세(예. 에너지의 탄소농도 감소)를 띄고 있지만, 석탄 사용이 증가함에 따라 이러한 추세가 반전되고 있다 (높은 신뢰도). {1.2.2}

제 4 차 평가보고서 이후, 인간이 기후 시스템에 영향을 미친다는 증거는 증가하고 있다. 인위적 온실가스 농도의 증가와 기타 인위적 강제력은 1951-2010년에 관측된 전지구 평균 표면 온도 상승의 절반 이상을 유발했을 가능성이 대단히 높다. 온난화에 대한 인위적 기여의 최적 추정치는 이 기간 동안 관측된 온난화와 거의 비슷하다 (그림 SPM.3). 인위적 강제력은 남극 대륙⁴을 제외한 모든 대륙 지역에서 20세기 중반 이후 표면 온도가 상승하는데 상당한 기여를 했을 가능성이 높다. 인위적 영향은 1960년 이후 전지구 물 순환에 영향을 미치고, 1960년대 이후의 빙하 후퇴와 1993년 이후 그린란드 빙상 표면 녹음의 증가에 기여했을 가능성이 높다. 인위적 영향은 1979년 이후 북극 해양빙의 감소에 기여하고, 전지구 상층 해양 열 용량 (0~700m) 증가와 1970년대 이후 관측된 전지구 평균 해수면 상승에 상당한 기여를 했을 가능성이 매우 높다. {1.3, 그림 1.10}

³ 온실가스 배출량은 100년 전지구 온난화 잠재력에 따른 가중치를 사용한 CO₂ 환산(GtCO₂-eq) 배출량처럼 별도로 언급하지 않는 한 IPCC SAR 값을 사용하여 정량화된다. {박스 3.2}.

⁴ 남극 대륙의 경우, 관측의 불확실성이 크기 때문에 사용 가능한 지점의 관측된 온난화 평균에 인위적 강제력이 기여했다는 것에 대한 신뢰도는 낮다.

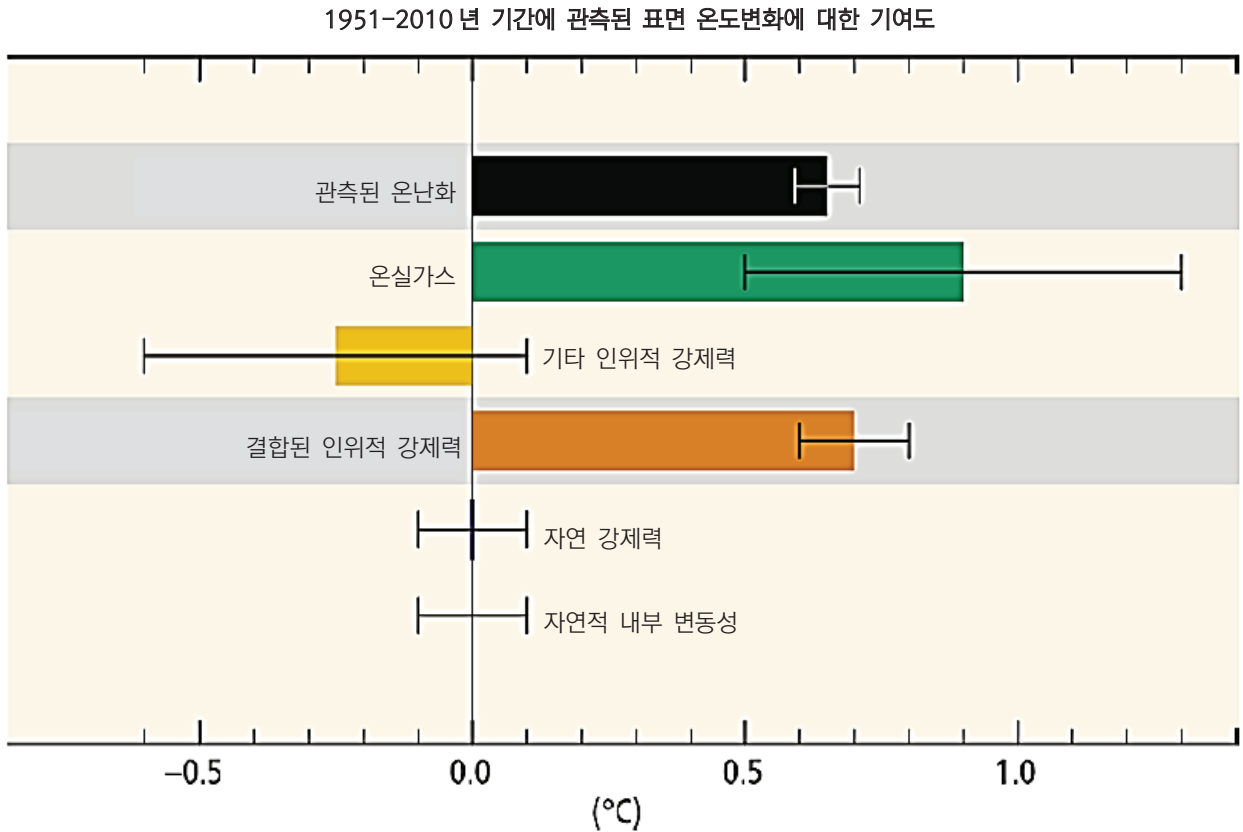


그림 SPM.3 | 잘 혼합된 온실가스와 기타 인위적 강제력(에어로졸의 냉각효과와 토지 이용 변화의 효과 포함)의 1951-2010년 기간 중 온난화 경향에 대해 평가된 가능성 범위(위스커(Whisker); 양쪽으로 연장된 막대선)와 중간 점(막대)은 인위적 강제력, 자연 강제력, 자연적 내부 기후 변동성(강제력이 없는 상태에서도 기후변화 내에서 자연적으로 발생하는 기후 변동성의 요소)을 결합하여 나타낸다. 관측 불확실성으로 인해 관측된 표면 온도 변화는 5%-95%의 불확실성 범위에서 검은 색으로 표시된다. 원인이 규명된 온난화 범위(색)는 관측된 온난화 각각에 대한 외부 강제력의 기여도를 추정하기 위해 기후 모델 모의와 결합된 관측에 기초한다. 결합된 인위적 강제력의 기여도는 온실가스와 기타 인위적 강제력 각각의 기여도보다 적은 불확실성을 가지고 추정될 수 있는데, 이는 두 기여가 상쇄되는 부분이 있어, 결합된 신호가 관측과 더 일관된 결과를 보이기 때문이다. {그림 1.9}

SPM 1.3 기후변화의 영향

전 대륙과 해양에 걸쳐 최근 수십 년 동안 기후에 변화가 일어나 자연계 및 인간계가 영향을 받아왔다. 그 원인이 무엇이든지 간에 지금까지 관측된 기후변화가 이러한 영향을 초래했으며, 이는 기후가 변함에 따라 자연계 및 인간계가 민감하게 반응한다는 것을 의미한다. {1.3.2}

현재까지 관측된 기후변화 영향의 증거는 자연계에 대해 가장 포괄적이고 강력하게 제시되고 있다. 구체적으로, 기후변화는 다수의 지역에서 강수량의 변화를 가져왔고, 눈과 빙하를 녹여 녹지화시키면서 수문 시스템에도 변화를 초래함으로써 결과적으로 수자원의 양과 질에 영향을 주었다 (중간 신뢰도). 기후변화가 계속해서 나타남에 따라 육상, 담수 및 해양 중 다수의 지리적 범위, 계절 활동, 이주 패턴, 개체 수, 종의 상호 작용에도 변화가 일어났다(높은 신뢰도). 기후변화는 인간계에도 일부 크고 작은 영향을 주었는데, 인간계에 대한 다른 영향들과는 차이를 보인다 (그림 SPM.4). 다양한 지역과 작물을 주제로 한 많은 연구들은 기후변화가 작물 수확량에 상당히 부정적인 영향을 주는 것이 일반적이라 평가하였다(높은 신뢰도). 해양 산성화는 인위적 요인에서 일부 기인하였는데, 이는 해양 생물에 대한 영향으로 이어지고 있다. (중간 신뢰도). {1.3.2}

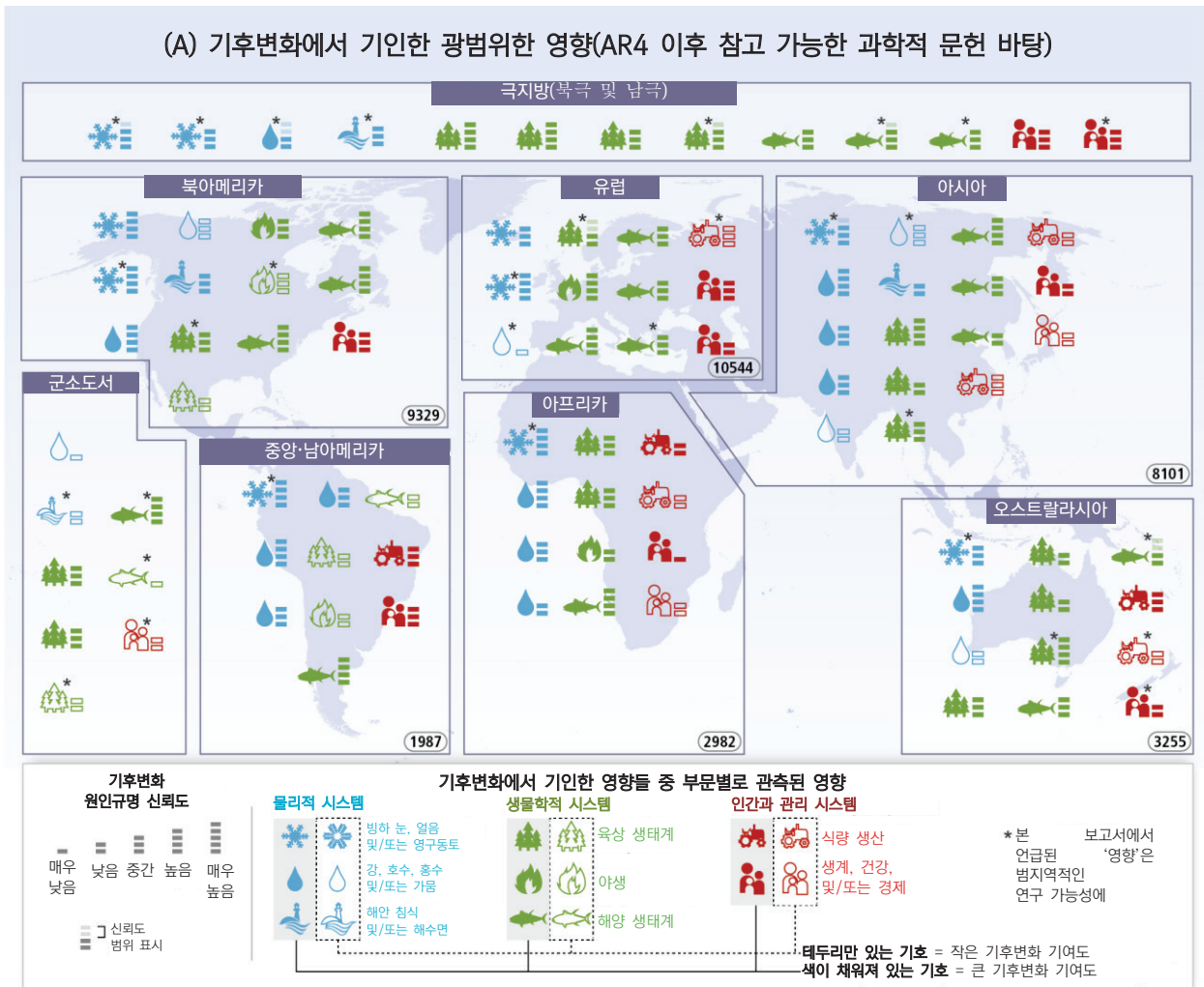


그림 SPM.4 | 변화하고 있는 세계에서 식별된 광범위한 영향. (A) AR4 이후 사용 가능한 과학적 연구에 의하면 기후변화에서 실질적으로 기인한 영향은 최근 수십 년 동안 증가하고 있다. 이에 대한 원인규명을 위해서는 기후변화의 역할을 정의할 과학적 증거가 필요하다. 기후변화에서 기인한 추가적 영향이 지도에 없다고 해서 그러한 영향이 일어나지 않았다는 것을 의미하는 것은 아니다. 기후변화에서 기인한 영향을 뒷받침하는 보고서의 출판이 증가하고 있다는 것은 지식 기반이 늘어났음을 의미하지만, 여전히 다수의 지역, 시스템 및 진행과정, 자료와 연구의 간 격차와 관련한 한계점이 나타나고 있다. 기호는 기인한 영향의 범주, 관측된 영향과 관련된 (크고 작은) 기후변화의 상대적 기여, 기여에 대한 신뢰도를 나타낸다. 각각의 기호는 관련된 지역규모의 영향을 분류하는 WGII 표 SPM.A1 에 하나 혹은 그 이상의 항목을 나타낸다. 타원 안의 숫자는 제목, 초록, 키워드(2011년 7월 기준)에 언급되어있는 각 나라의 영어출판물에 대한 스코푸스 도서목록 데이터 베이스를 기반으로 한 2001-2010년 기후변화 출판물의 지역적 총합을 나타낸다. 이 숫자들은 해당 지역을 통틀어 기후변화와 관련하여 참고 가능했던 과학 보고서의 전체 수를 의미한다; 이는 각 지역에서 기후변화 영향의 원인규명을 지원하는 출판물의 수를 나타내는 것은 아니다. IPCC 과학적 증거 범주를 따르는 원인 규명의 평가에 포함된 출판물은 WGII 18 장에 정의되었다. 극지역과 군소도서지역은 인근 대륙지역과 함께 분류되었다. 원인규명 연구 범위에 속한다고 고려된 출판물은 WGII AR5 에 평가된 문헌 내 광범위한 범위를 기준으로 분류하였다. 기후변화에서 기인된 영향에 대한 설명은 WGII 표 SPM.A1 를 참고한다. {그림 1.11}

SPM 1.4. 극한 현상

1950년 이래로 다수의 극한 기상 및 기후 현상에서 변화가 관측되었다. 이러한 변화들 중 일부는 인간 활동과 관련된 것으로 극한 저온 현상 감소, 극한 고온 현상과 극한 해수면 증가 및 많은 지역에서의 호우 빈도 증가가 있다. {1.4}

전지구적으로 추운 낮과 밤의 빈도는 감소하고 따뜻한 낮과 밤의 빈도는 증가할 가능성이 매우 높다. 유럽, 아시아, 오스트레일리아의 대부분 지역에서는 폭염의 빈도가 증가할 가능성이 높다. 20세기 중반 이후 전지구적으로 관측된 일 극한 기온 현상의 강도와 빈도의 변화에 인간 활동이 영향을 주었을 가능성이 매우 높다. 일부 지역에서

폭염의 발생 가능성은 인간의 영향으로 인해 두 배 이상 증가하였을 가능성이 높다. 관측된 온난화는 일부 지역에서 폭염 관련 사망률은 증가시키는 반면 한파 관련 사망률은 감소시켰다 (중간 신뢰도). {1.4}

호우 빈도가 감소하는 육지 지역보다 증가하는 육지 지역이 더욱 많아질 가능성이 높다. 최근 관측된 극한 호우 현상과 일부 저수지의 유출 증가 경향은 지역적 규모에서 홍수의 위험이 더 커졌음을 의미한다 (중간 신뢰도). 주로 평균 해수면 상승의 결과인 극한 해수면(예, 해일에서 경험하듯이)은 1970 년 이후 증가했을 가능성이 높다. {1.4}

최근 발생하고 있는 폭염, 가뭄, 홍수, 사이클론 및 산불과 같은 극한 기후현상으로 인한 영향은 일부 생태계와 다수의 인간계가 현재 기후변동성에 상당히 취약하고 심각하게 노출되어 있다는 것을 보여준다 (매우 높은 신뢰도). {1.4}

SPM 2. 미래의 기후변화와 위험, 영향

온실가스 배출이 계속됨에 따라 온난화 현상이 더욱 심화되고 기후 시스템을 이루는 모든 구성요소들은 장기적으로 변화하여, 결과적으로 인간계 및 생태계에 심각하고 광범위하며 돌이킬 수 없는 영향을 미칠 것이다. 기후변화를 제한하기 위해서는 온실가스 배출량을 큰 폭으로 줄이려는 지속적인 노력이 필요하며, 감축과 적응을 통해 기후변화 위험을 예방할 수 있을 것이다. {2}

SPM 2.1 미래 기후의 주요 동인

이산화탄소 누적 배출량은 21 세기 후반과 그 이후의 평균 지구 표면 온난화에 상당한 영향을 미친다. 미래 온실가스 배출량은 사회경제적 개발과 기후 정책에 의존해서 매우 다르게 전망되고 있다. {2.1}

GHG 배출을 발생시키는 주요 인위적 요인으로는 인구 규모, 경제 활동, 생활 방식, 에너지 사용, 토지사용 패턴, 기술 및 기후정책이 있다. "대표농도경로 (Representative Concentration Pathways, 이하 RCP)"는 대기 오염물질 및 토지 이용 변화 등과 같은 요인들을 바탕으로 향후 GHG 배출량과 대기 중 농도가 2100 년까지 어떻게 전개될지 나타내는 4 가지 경로이다. 4 가지 RCP 시나리오에는 엄격한 완화 시나리오(RCP2.6), 중간 (intermediate) 시나리오(RCP4.5 및 RCP6.0) 2 가지와 매우 높은 GHG 배출량 시나리오(RCP8.5)가 있다. GHG 배출량 감축을 위한 어떠한 노력도 이루어지지 않은 경우의 시나리오인 "베이스라인 시나리오(baseline scenarios)"의 경로는 RCP6.0 과 RCP8.5 사이에 존재한다 (그림 SPM.5a). RCP2.6 은 전지구 온난화 수준이 산업화 시대 이전 기온 대비 2°C 상승 이하로 유지될 수 있는 가능성을 높이는 것을 목표로 하는 시나리오이다. 이 RCP 시나리오들은 제 3 실무그룹에서 평가된 다양한 시나리오와 일관성을 띤다⁵ {2.1, 박스 2.2, 4.3}

RCP 시나리오뿐만 아니라 좀 더 넓은 범위인 제 3 실무그룹의 완화 시나리오 세트가 전망한 2100 년까지의 지구 기온 변화 수준과 누적 이산화탄소 배출량 간에는 거의 선형에 가까울 정도로 강력하고 일관적인 상관 관계가 존재한다는 것을 다양한 증거를 통해 알 수 있다 (그림 SPM.5b). 주어진 모든 수준의 온난화는 다양한 범위의 누적 CO₂ 배출량⁶과 관련되므로 초반 수십 년간의 배출량이 높다는 것은 후반 배출량이 낮다는 것을 의미한다. {2.2.5, 표 2.2}

⁵ 2100 년까지의 CO₂ 환산 (CO₂-equivalent, CO₂-eq) 농도를 바탕으로 대략 300 베이스라인 시나리오와 900 완화 시나리오로 분류한다. CO₂ 환산 농도에는 모든 온실가스 (할로겐 기스와 대류권 오존 포함) 및 에어로졸과 알베도 변화에 의한 복사강제력이 포함된다.

⁶ 이산화탄소 배출량의 범위를 정량화하기 위해서는 비-이산화탄소 동인을 함께 고려해야 한다.

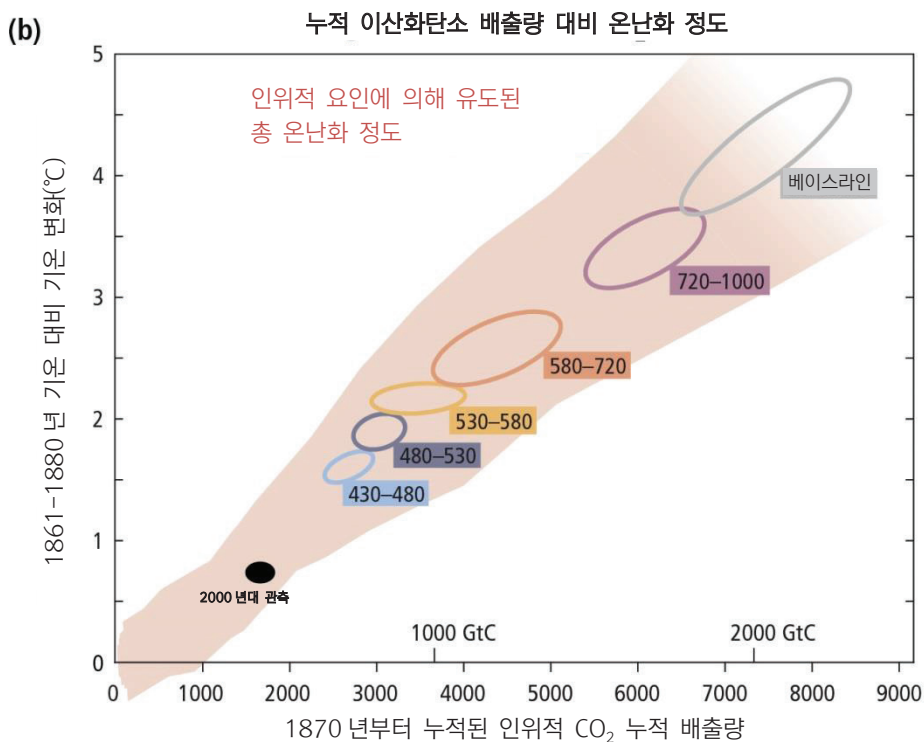
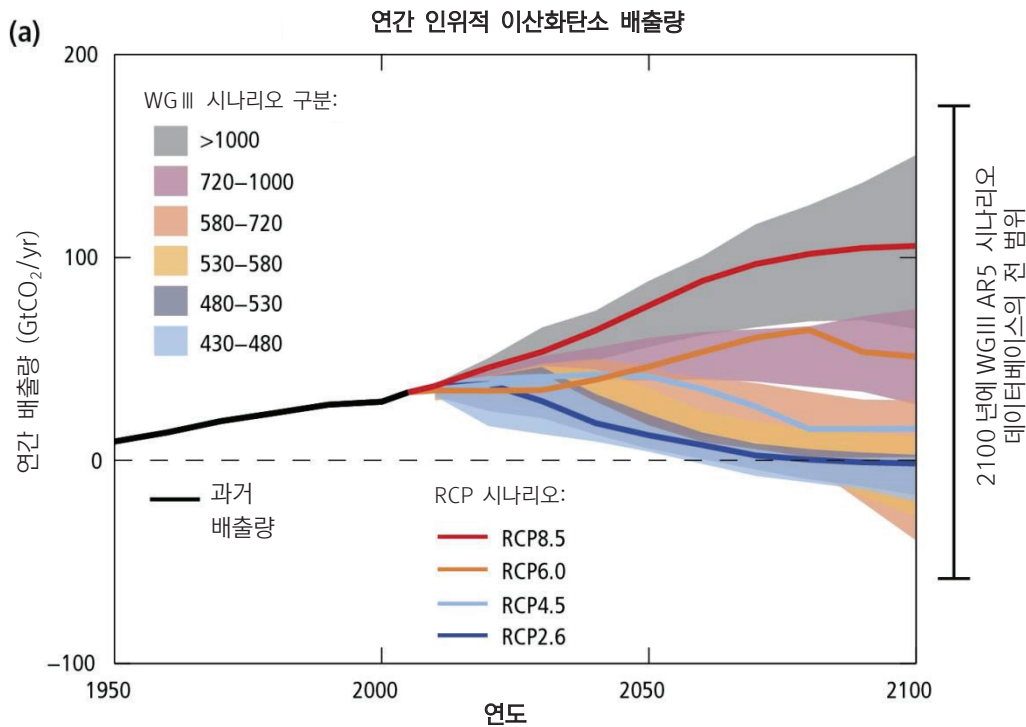


그림 SPM.5 | (a) 대표농도경로(RCP)의 이산화탄소(CO₂) 배출량(선)과 이와 관련된 WG III의 시나리오 범주 (음영 색상으로 채워진 부분은 5%에서 95% 범위를 나타낸다). WG III은 각종 과학 문헌에서 나타난 다양한 배출량 시나리오들을 요약하여 WG III 시나리오 범주(categories)를 제시하였으며 이는 2100 년의 CO₂ 환산 농도 수준(ppm)을 기준으로 분류되었다. 박스 2.2, 그림 1 에서 기타 온실가스 배출량의 시계열(time series)을 확인할 수 있다. **(b)** 다양한 증거를 바탕으로, 지구 이산화탄소 배출량이 순 누적 총량의 특정 수준에 도달하였을 때 지구 표면 온도 또한 상승하는 것을 볼 수 있다. 색으로 채워진 부분은 과거 배출량으로 유도한 기후 탄소 순환(climate-carbon cycle) 모델의 계층(hierarchy)과 2100 년까지의 네 가지 RCP 에 따라 과거 및 미래 전망의 분포 정도를 나타낸 것이며 이용 가능한 모델의 수가 감소함에 따라 색이 열려진다. 타원은 WG III의 각 시나리오 범주 하에서 단순 기후 모델 (평균 기후 반응)의 1870-2100 년 누적 이산화탄소 배출량 대비 2100 년의 총 인위적 온난화 정도를 나타낸다. 기온 측면에서 비-이산화탄소 기후 동인에 대한 다양한 시나리오의 영향에 따라 타원의 폭이 달라진다. 검은 점과 같은 타원은 2005 년에 관측된 배출량과 2000-2009 년, 10 년 동안 관련 불확실도와 함께 관측된 기온을 나타낸다. {박스 2.2, 그림 1; 그림 2.3}

1861-1880 년 기간과 비교하여 인위적 요인에 의한 총 온난화 수준을 66%⁷ 이상의 확률에서 2°C 이하로 제한하기 위해서는 모든 인위적 요인에 의한 1870 년대 이후의 총 누적 이산화탄소 배출량을 약 2900 GtCO₂ (비-이산화탄소 동인에 따라 2550 에서 3150 GtCO₂ 의 범위) 이하로 유지해야 하는데, 2011 년까지 약 1900 GtCO₂⁸가 이미 배출되었다. 이와 관련된 추가 사항은 표 2.2 를 참조한다. {2.2.5}

SPM 2.2 기후 시스템에서 전망되는 변화

본 보고서에서 평가한 모든 배출 시나리오에서 표면 온도는 21 세기 전반에 걸쳐 상승할 것으로 전망된다. 다수의 지역에서 폭염의 발생 빈도 및 지속 기간뿐만 아니라 극한 강수 현상의 발생 빈도 및 강도 또한 증가할 가능성이 매우 높다. 해양에서는 온난화와 산성화가 지속될 것이며 전지구 평균 해수면은 계속해서 상승할 것이다. {2.2}

별다른 언급이 없는 한, 2.2 절에서 전망하는 변화는 1986-2005 년 대비 2081-2100 년에 예상되는 변화이다.

미래의 기후는 과거의 인위적 배출로 인해 초래된 온난화뿐만 아니라, 미래 인위적 배출량과 기후 내부적 변동성에 따라 결정된다. 1986-2005 년과 비교하여, 2016-2035 년 중 평균 지표 온도 변화는 4 가지 RCP 에서 비슷하게 나타나며, 0.3°C-0.7°C의 범위가 될 가능성이 높다 (중간 신뢰도). 이러한 전망은 주요 화산 폭발 사건이 없고 일부 자연적 배출원 (예: CH₄ 와 N₂O)이나 총 일사량에서 변화가 나타나지 않을 것이라는 가정을 바탕으로 한 것이다. 21 세기 중반부터는, 전망되는 기후변화의 정도가 배출 시나리오에 따라 현저히 달라지기 시작한다. {2.2.1, 표 2.1}

1850-1900 년 대비, 2081-2100 년의 지표 온도 변화는 RCP4.5, RCP6.0, RCP 8.5 에서 1.5°C를 초과할 가능성이 높을 것으로 전망된다 (높은 신뢰도). RCP6.0 과 RCP8.5 에서는 온난화가 2°C를 초과할 가능성이 높고 (높은 신뢰도), RCP4.5 에서는 2°C를 초과하지 않을 가능성보다 초과할 가능성이 높은 것으로 보이지만 (중간 신뢰도), RCP2.6 에서는 2°C를 초과할 가능성이 낮다 (중간 신뢰도). {2.2.1}

1986-2005 년을 기준으로 21 세기 후반(2081-2100 년) 지구 평균 표면 온도는 RCP2.6 에서 0.3°C-1.7°C, RCP4.5 에서 1.1°C-2.6°C, RCP6.0 에서 1.4°C-3.1°C, RCP8.5⁹에서 2.6°C- 4.8°C 상승할 가능성이 높다 (그림 SPM.6a, 그림 SPM.7a). 북극 지역의 온난화는 지속될 것이며, 그 속도는 지구 평균 온난화 속도보다 더 빠를 것이다 (그림 SPM.6a, 그림 SPM.7a). {2.2.1, 그림 2.1, 그림 2.2, 표 2.1}

평균 지표 온도가 상승함에 따라, 일(daily)과 계절(seasonal) 시간 범위에서 대다수 육지 지역의 극한 고온 현상은 더욱 증가하는 반면 극한 저온 현상은 더욱 감소할 것이 사실상 확실하다. 폭염의 발생 빈도와 지속 기간은 증가할 가능성이 매우 높다. 간헐적으로 발생하는 겨울의 극한 혹한 현상 또한 계속해서 나타날 것이다. {2.2.1}

⁷ 온난화를 2°C 이하로 한정시킬 수 있는 50% 이상과 33% 이상의 확률에 해당하는 수치는 각각 3000 GtCO₂ (2900-3200 GtCO₂ 범위)와 3300 GtCO₂ (2950-3800 GtCO₂의 범위)이다. 기온 한정이 좀 더 높거나 낮은 것은 누적 배출량이 증가하거나 감소하는 것을 의미한다.

⁸ 이는 66% 이상의 확률로 온난화가 2°C 이하로 한정되는 2900 GtCO₂ 의 약 3 분의 2 에 해당하는 수치이며, 50% 이상의 확률로 온난화가 2°C 이하로 한정되는 3000 GtCO₂ 의 약 63%에 해당하는 수치이고 33% 이상의 확률로 온난화가 2°C 이하로 한정되는 3300 GtCO₂ 의 58%에 해당하는 수치이다.

⁹ 1850-1900 년 대비 1986-2005 년의 기온은 약 0.61 [0.55-0.67]°C 온난했다.

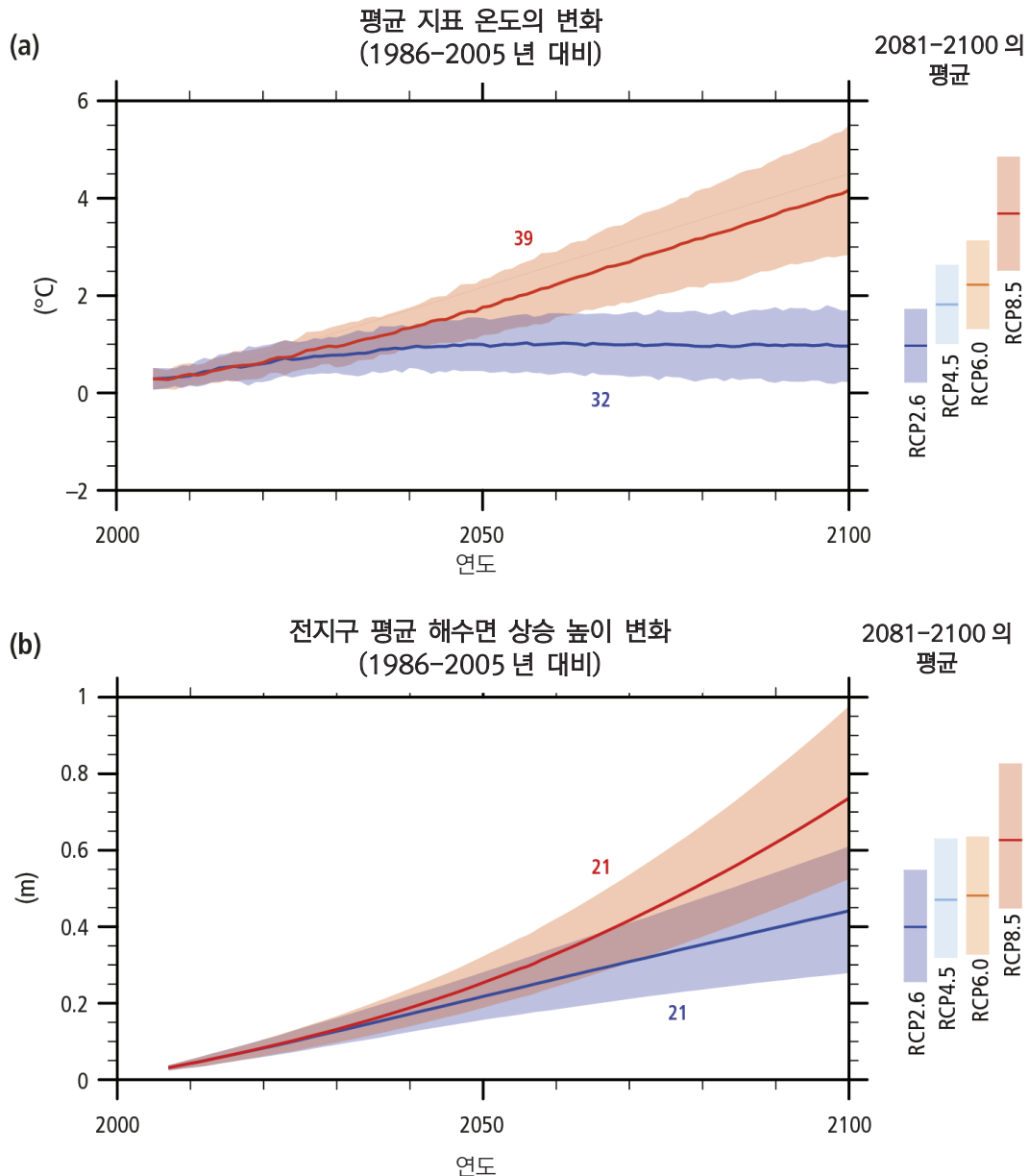


그림 SPM.6 | 지구 평균 표면 온도 변화 및 (a) 전지구 평균 해수면 상승¹⁰을 (b) 2006-2100년 기간의 다중모델로 모의한 결과. 제시한 모든 변화는 1986-2005년과 비교한 것이다. 전망 시계열 및 불확실성 측정(음영 색상으로 채워진 부분)은 RCP 2.6(파란색) 및 RCP8.5(붉은색) 시나리오에 대해 나타낸 것이다. 2081-2100년 평균과 관련된 불확실성은 모든 RCP 시나리오 각각에 대해서 각 패널의 오른쪽 끝에 음영 처리를 한 수직 막대로 나타냈다. 또한 다중모델 평균을 계산하기 위해 사용한 결합모델 상호비교 프로젝트 5 단계 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) 모델의 수를 나타내었다. {2.2, 그림 2.1}

강수량의 변화는 일정하지 않을 것이다. RCP8.5 시나리오에서 고위도 및 적도 부근 태평양의 연 평균 강수량은 증가할 가능성이 높다. RCP8.5 시나리오에서 중위도 및 아열대 건조 지역의 평균 강수량은 대개 감소하는 반면 중위도 습윤 지역의 평균 강수량은 대개 증가할 가능성이 높다 (그림 SPM.7b). 대부분의 중위도 대륙 및 열대 습윤 지역에서는 극한 강수 현상의 빈도 및 강도가 증가할 가능성이 매우 높다. {2.2.2, 그림 2.2}

전지구적으로 21세기 중 해양의 온난화가 지속될 것이며, 특히 열대 및 북반구 아열대 지역의 해양 표면에서 온난화가 가장 강하게 나타날 것으로 전망된다 (그림 SPM.7a). {2.2.3, 그림 2.2}

¹⁰ 최근 정보 (관측, 물리적 이해 및 모델링) 에 의하면, 남극 빙하의 해양 기반 부문(marine-based sectors)이 붕괴하기 시작할 경우에만, 21세기 중 가능할 것으로 예상되는 해수면 상승 범위를 크게 넘는 수준으로 지구 해수면 높이가 상승할 것이다. 이러한 추가적인 해수면 상승은 21세기 동안 1m의 수십 cm를 넘어서지는 않을 것이다.

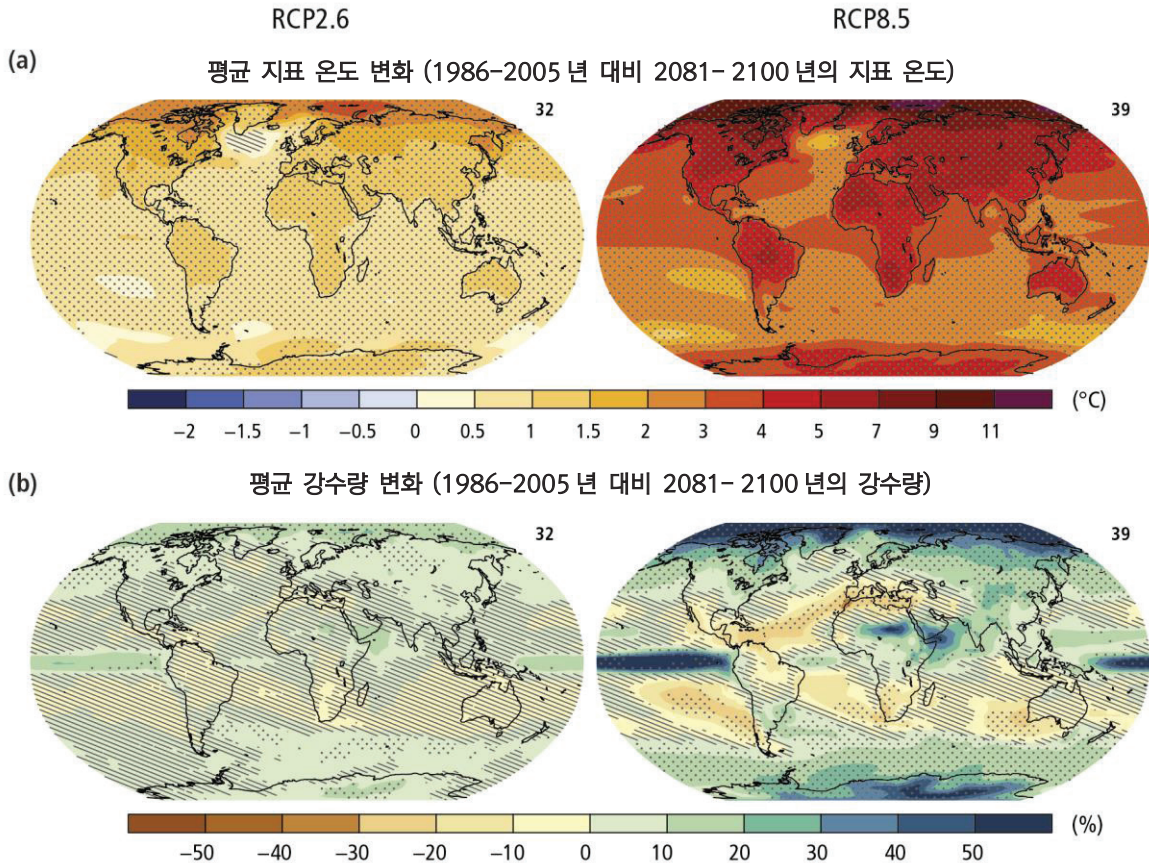


그림 SPM.7 | RCP2.6(왼쪽) 및 RCP8.5(오른쪽)시나리오 하에서 (a) 연평균 표면 온도의 변화 및 (b) 평균 강수량의 변화 전망. 1986-2005년 대비 2081-2100년에 대한 다중모델 평균을 기반으로 하였다. 다중 모델(multi-model) 평균을 계산하는 데 사용한 모델의 개수는 각 그림의 오른쪽 끝에 표시하였다. 자연적 내부 변동성(natural internal variability)과 비교하여 변화가 클 것으로 전망되는 지역 및 모델의 최소 90%가 변화의 신호(sign)에 동의한 지역은 점으로 표시하였다. 자연적 내부 변동성의 표준 편차 1보다 변화가 적을 것으로 예상되는 지역은 빗금(즉, 대각선)으로 표시하였다. {2.2, 그림 2.2}

지구 시스템 모델(Earth System Model)의 전망에 따르면, RCP2.6 하에서, 해양 산성화가 21세기 중반 이후에 느리게나마 회복될 수 있지만, 모든 RCP 시나리오하에서 21세기 말까지 해양은 전지구적으로 현재보다 더 산성화될 것이다. 해양 표면의 pH는 RCP2.6에서 0.06-0.07(산도가 15-17% 증가), RCP4.5에서 0.14-0.15(38-41%), RCP6.0에서 0.20-0.21(58-62%), RCP8.5에서 0.30-0.32(100-109%) 감소할 것이다. {2.2.4, 그림 2.1}

모든 RCP 시나리오하에서 연차적인(Year-round) 북극 해양빙의 감소가 예상된다. RCP8.5에서는 21세기 중반 이전 여름 해양빙이 가장 적은 9월에, 얼지 않는(不凍, ice-free)¹¹ 북극해가 나타날 가능성이 높다¹² (중간 신뢰도). {2.2.3, 그림 2.1}

지구 평균 표면 온도가 상승함에 따라 북반구 고위도까지 확장되어 있는 지표면 근처 영구동토층이 감소할 것은 사실상 확실하며, 다중모델 평균을 바탕으로 볼 때, 영구동토층(지표면 근처 상층 3.5m까지)은 RCP2.6에서 37%, RCP8.5에서 81%까지 감소할 것으로 전망된다 (중간 신뢰도). {2.2.3}

남극 대륙의 빙하(및 그린란드와 남극의 빙상)를 제외한 지구 빙하량은 RCP2.6에서 15-55%까지 감소하고, RCP8.5에서는 35-85%까지 감소할 것으로 전망된다 (중간 신뢰도). {2.2.3}

¹¹ 얼지 않는 바다(不凍海)라는 것은, 최소한 5년 연속으로 해양빙의 범위가 100만 km² 이하인 바다를 말한다.

¹² 북극 해양빙 범위의 기후학적 평균 상태 및 1979-2012년 사이의 경향을 가장 정확하게 재표현한 모델들의 하위집합 평가 기반.

제 4 차 평가보고서 이후 해수면 변화의 전망 및 이해가 상당 부분 개선되었다. 지구 평균 해수면 상승은 21 세기에 지속될 것이며, 1971-2010 년 사이 관측된 수준보다 더욱 빠른 속도로 진행될 가능성이 매우 높다. 1986-2005 년과 비교하여 2081-2100 년의 해수면 상승 범위는 RCP2.6 에서 0.26-0.55m, RCP8.5 에서는 0.45-0.82m 가 될 가능성이 높다 (중간 신뢰도) (그림 SPM.6b). 해수면이 전 지역에 걸쳐 일정하게 상승하지는 않을 것이다. 21 세기 말까지 해양 면적의 약 95% 이상에서 해수면 상승이 나타나고, 전세계 해안선의 약 70%에서 해수면 상승은 지구 평균의 20% 이내에서 나타날 가능성이 매우 높다. {2.2.3}

SPM 2.3 기후변화에 의한 미래 위험 및 영향

기후변화는 기존의 위험을 증폭시킬 뿐만 아니라 자연과 인간계에 새로운 위험을 가져올 것이다. 위험은 균일하게 분포하지 않으며, 개발 수준을 막론하고 모든 국가에서 취약 계층 및 지역사회가 상대적으로 더 큰 위험에 노출된다. {2.3}

기후 관련 영향의 위험(risk)은 기후-관련 위해(hazard) 요소(위해한(hazardous) 사건 및 경향 포함)와 인간 및 자연계의 노출, 취약성 및 적응 수준과의 상호작용에 따라 발생한다. 온난화의 속도와 규모가 증가하고 해양 산성화가 심화되며 기후 시스템에서 여러 변화가 나타남에 따라, 위험의 강도 및 범위가 커지고 있으며, 비가역적이고 치명적인 영향이 발생하는 경우도 있다. 특정 지역에서만 제한적으로 나타나는 위험이 있는가 하면 (그림 SPM.8), 전 세계적으로 나타나는 위험도 있다. 해양 산성화를 포함하여 기후변화의 속도 및 규모를 제한한다면, 기후변화 영향으로 인해 향후 발생할 수 있는 전반적 위험을 줄일 수 있다. 갑작스럽고 비가역적인 변화를 촉발시키기 충분한 기후변화의 정확한 수준이 무엇인지 아직 확실히 알 수 없지만, 기온이 상승함에 따라 임계점(threshold)을 넘어서는 위험은 증가한다 (중간 신뢰도). 위험을 평가할 때는, 발생 확률은 낮지만 대규모 피해가 예상되는 결과를 포함하여, 최대한 광범위하게 영향의 가능성을 판단하는 것이 중요하다. {1.5, 2.3, 2.4, 3.3, 박스 서론 1, 박스 2.3, 박스 2.4}

기후변화가 진행됨에 따라 21 세기 중과 후에 많은 종들이 멸종 위기에 처할 것이며, 특히 기타 스트레스 요인들과 기후변화 간 상호작용이 일어날 경우 종 멸종의 위험은 더욱 커질 것이다 (높은 신뢰도). 대다수 식물 종들이 현재 혹은 앞으로 전망되는 빠른 기후변화 속도에 맞추어 자연적으로 자신의 지리적 범위를 옮기기에는 역부족일 것이다. RCP4.5 이상 시나리오에서 편평한 경관 지역의 소형 포유류 및 담수성 연체동물 대다수 또한 21 세기 중 예상되는 기후변화의 속도에 맞추어 적응할 수 없을 것이다 (높은 신뢰도). 과거 수백만 년 동안 자연적 지구 기후변화는 현재의 인위적 기후변화보다 훨씬 느리게 진행되었음에도 종의 멸종을 포함하여 상당한 수준의 생태계 변화를 가져온 것이 관측된 바 있으므로, 미래의 위험 수준은 높을 것으로 전망된다. 해양생물은 점차 용존산소 감소, 해양 산성화 속도 및 크기 증가와 함께 (높은 신뢰도) 해양 극한 수온의 심화에 따른 위험에 처할 것이다 (중간 신뢰도). 특히 산호초 및 북극 생태계의 취약성이 높다. 해수면 상승은 연안 시스템에 및 저지대 지역에 대한 위험 요소로 작용하는데, 지구 평균 기온이 안정화된다고 할지라도 해수면 상승은 수세기 동안 지속될 것이다 (높은 신뢰도). {2.3, 2.4, 그림 2.5}

기후변화는 미래 식량 안보에도 부정적인 영향을 미칠 것이 예상된다 (그림 SPM.9). 21 세기 중후반에 전망된 수준으로 기후변화가 진행될 경우, 전지구적으로 해양종이 재 분포될 것이며 기후변화에 민감하게 반응하는 지역에서는 해양의 생물다양성이 감소하여, 해양의 어업 생산성 및 기타 생태계 서비스가 지속되기 어려울 것이다 (높은 신뢰도). 적응행동이 부재한 상황에서 산업화 이전 수준과 비교하여 지역 기온이 2°C 혹은 20 세기 후반 수준 이상으로 상승한다면, 열대 및 온대 지역에서 밀, 쌀 및 옥수수의 수확량은 감소할 것으로 전망되지만, 반대로 이들 작물의 수확량이 증가하여 혜택을 보는 지역이 있을 수도 있다 (중간 신뢰도). 지구 기온이 4°C 혹은 20 세기 후반 수준 이상¹³으로 상승하는 경우, 식량 수요 증가 문제와 맞물려 전 세계 및 지역의 식량 안보가 막대한 타격을 받을 수 있다 (높은 신뢰도). 기후변화는 대부분의 건조 아열대 지역에서 재생 가능한 지표수와 지하수 자원을 고갈시켜 (명확한 증거, 높은 동의 수준) 지역 간 수자원 경쟁을 심화시킬 것이다 (제한된 증거, 중간 동의 수준). {2.3.1, 2.3.2}

¹³ 모든 RCP 시나리오에서 1986-2005 년과 비교하여 2081-2100 년의 육지(land) 평균 온난화 전망치는 지구 평균 온난화 전망치보다 높다. 지역별 전망은 그림 SPM.7 을 참조한다. {2.2}

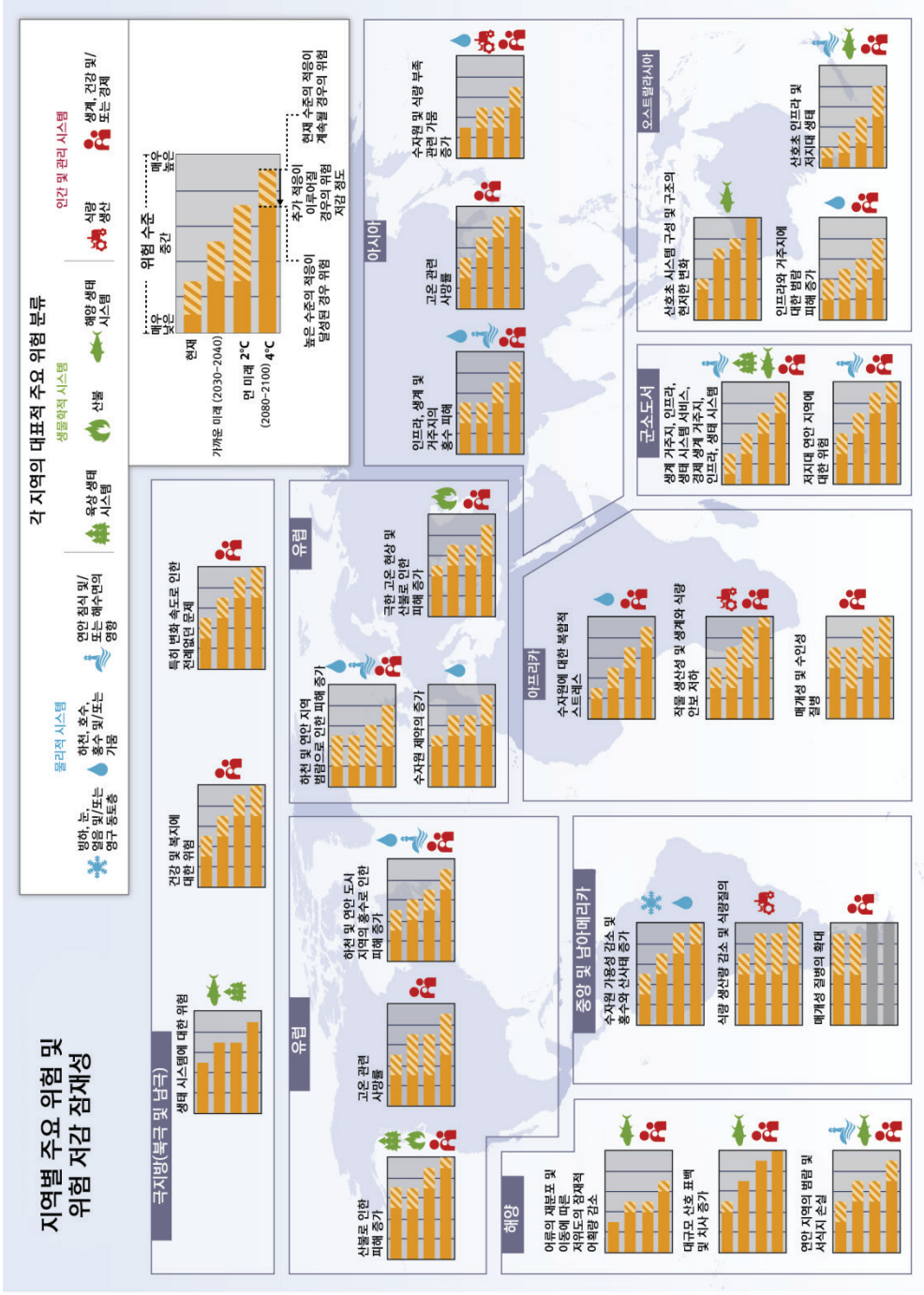


그림 SPM.8 | 적응과 완화를 통한 위험 저감의 잠재성 및 적응 한계를 포함한 지역별 대표 주요 위험 분류¹⁴. 각 주요 위험들의 특징은 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음, 매우 높음 위험도로 분류하였다. 위험 수준은 3 가지 시간 프레임(frame)으로 분류하여 나타내었다: 현재, 가까운 미래 (여기서는 2030-2040년), 먼 미래(여기서는 2080-2100년). 가까운 미래에 예상되는 지구 평균 기온 상승 수준은 배출 시나리오 간 큰 차이가 없다. 먼 미래의 위험 수준은 산화 이산화 탄소 기준 대비 2°C 및 4°C 기온 상승을 가정하여 제시하였다. 각 시간 프레임의 위험 수준은 '현재 수준의 적응이 지속될 경우와' '현재 혹은 미래 높은 수준의 적응이 달성될 것으로 가정된 경우'의 두 가지로 분류하였다. 위험 수준 간 비교가 반드시 필요한 것은 아니며 특히 지역 간 위험 수준의 비교는 무의미하다. (그림 2.4)

¹⁴ 다음과 같은 구체적인 기준을 바탕으로 전문가 판단에 근거하여 주요 위험을 식별하였다: 영향의 규모, 발생 확률 및 비가역성; 영향의 발생 시기; 위험 수준을 높이는 취약성 및 노출의 지속성; 적응이나 완화를 통한 위험 저감 잠재력의 한계성.

식량 안보에 위협을 제기하는 기후변화

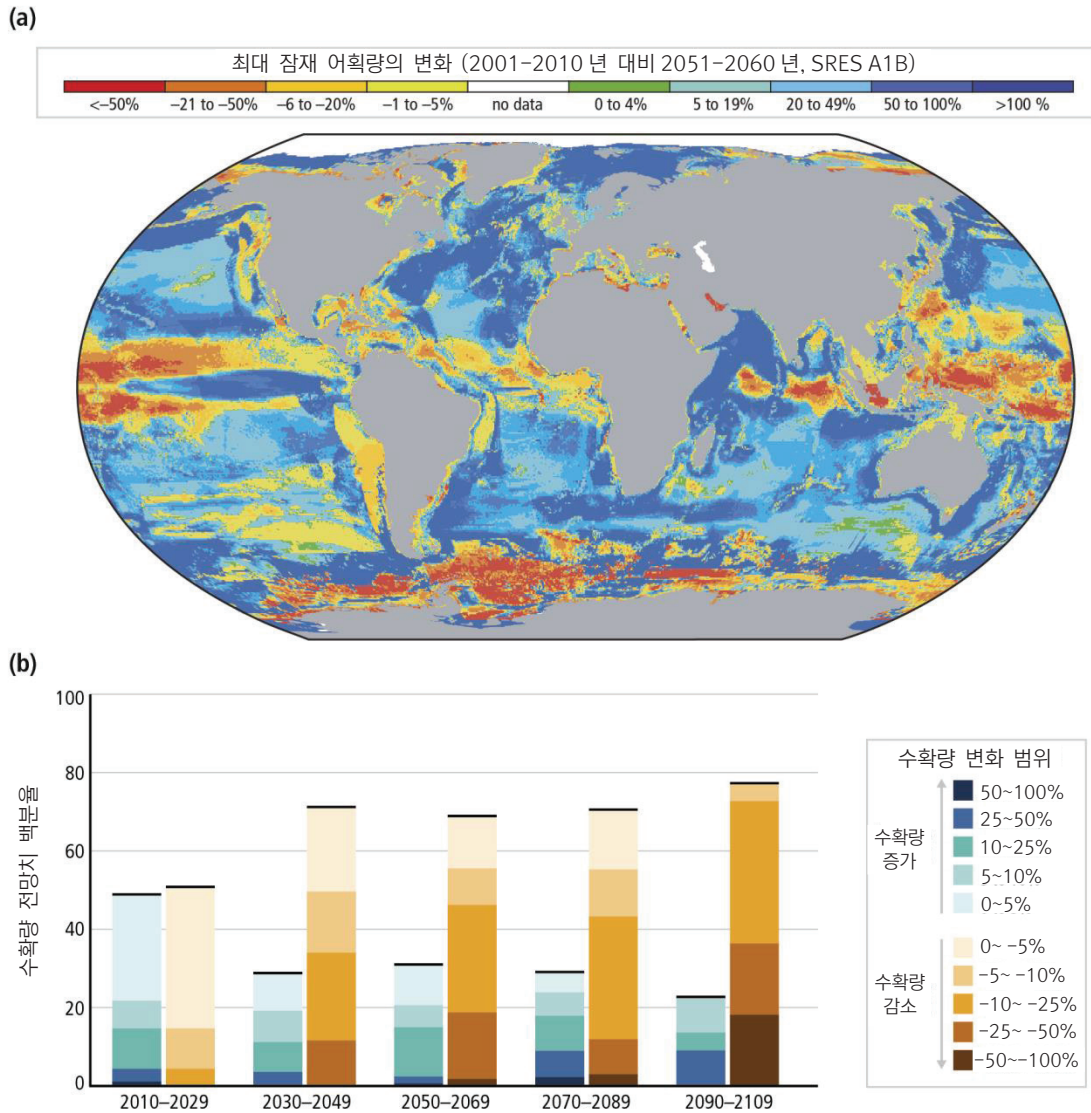


그림 SPM.9 | (a) 주요 어획 대상 해양 어류 및 무척추동물 1,000 종에 대한 최대 잠재 어획량의 전지구적 재 분포 전망. 본 전망에서는 중간- 높은 수준의 온난화 시나리오 하에서 단일 기후 모델을 바탕으로 도출한 해양 조건을 사용하여 2001-2010 년과 2051-2060 년의 10 년 평균을 비교하였으며, 남획이나 해양 산성화의 잠재적 영향은 분석에서 고려하지 않았다. **(b)** 21 세기 중 기후변화에 의한 농작물 수확량 (대개 밀, 옥수수, 쌀 및 콩)의 변화 개요. 각각의 시간 프레임에서 데이터를 모두 합하면 100%가 된다 (예상되는 수확량 감소 대비 증가를 백분율로 나타냄). 수확량 전망에서는 다양한 배출 시나리오, 열대 및 온대 지역, 적응 행동이 이루어진 경우 및 이루어지지 않은 경우를 모두 반영하였다 (1090년 데이터 포인트 기반). 20세기 후반의 수준 대비, 수확량의 변화를 산출하였다. {그림 2.6a, 그림 2.7}

이번 세기 중반까지 전망되는 기후변화는 대개 기존의 건강 문제를 악화시키는 방식으로 인간 건강에 영향을 줄 것이다 (**매우 높은 신뢰도**). 기후변화를 고려하지 않은 베이스라인(baseline)과 비교하여 기후변화가 심화될 경우, 많은 지역에서 21 세기에 걸쳐 기후변화로 인한 질병 관련 문제가 증가할 것이며, 이는 특히 개발도상국 내 저소득층에서 두드러지게 나타날 것이다 (**높은 신뢰도**). RCP8.5 하에서 2100년까지 일 년 중 얼마 동안은 고온 다습한 기후가 함께 작용함에 따라, 식량 재배 및 야외 작업과 같은 인간 활동이 제약을 받는 일부 지역이 있을 것으로 예상된다 (**높은 신뢰도**). {2.3.2}

도시 지역에서 기후변화로 인한 위험이 증가할 것으로 전망되는데, 기후변화는 폭염 스트레스, 폭우, 내륙과 연안 지역의 범람, 산사태, 대기오염, 가뭄과 물 부족, 해수면 상승 및 폭풍 해일 등을 통해 도시 지역의 주민, 자산, 경제 및 생태계에 위협을 초래한다 (**매우 높은 신뢰도**). 필수적 사회 기반시설과 공공서비스가 갖추어지지 않았거나 기후변화에 대한 노출 정도가 높은 도시의 경우 이러한 위험은 더욱 심각하게 나타난다. {2.3.2}

비 도시 지역에서 기후변화의 영향에 가장 민감한 부문은 수자원 가용성 및 공급, 식량 안보, 기반시설, 농촌 수익(예: 전 세계 식량 및 비-식량 농작 지역의 변화) 부문이다 (높은 신뢰도). {2.3.2}

기온이 상승함에 따라 경제 부문의 총 손실은 급격히 증가할 것이지만 (제한된 증거, 높은 동의 수준), 현재 기후변화가 전 세계 경제에 미치는 영향을 추정하기는 쉽지 않다. 기후변화는 전 세계 빈곤 수준에도 영향을 준다. 기후변화의 영향은 경제성장과 빈곤퇴치를 더디게 하고, 식량 안보를 해치며, 새로운 빈곤의 덫을 놓게 되는데, 후자는 특히 도시 지역과 심각한 기아 문제를 보이는 신흥 지역 에서 발생할 것이다 (중간 신뢰도). 지역적인 규모에서 기후변화가 초래할 위험을 이해하기 위해서는 무역 및 국가 간 관계 등과 같은 국제적 측면 또한 충분히 고려해야 한다. {2.3.2}

기후변화로 인해, 인구 이동(displacement)이 증가할 것으로 예상된다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 이주하는 데 필요한 재원이 부족하여 이주하지 못하는 인구는 극단적 기상현상에 높은 수준으로 노출되며, 특히 개발도상국의 저소득 계층은 이에 취약하게 반응한다. 기후변화는 빈곤 및 경제적 충격 같이 이미 확고히 자리잡은 갈등 유발동인을 악화시킴으로써 폭력적 갈등이 초래하는 위험을 간접적으로 증가시킨다 (중간 신뢰도). {2.3.2}

SPM 2.4 2100 년 이후의 기후변화, 비가역적이고 갑작스러운 변화

인위적 온실가스가 더 이상 배출되지 않는다 할지라도, 다양하게 나타나는 기후변화와 그 영향은 앞으로 수세기에 걸쳐 계속될 것이다. 온난화가 심화됨에 따라, 갑작스럽게 나타나거나 비가역적인 변화의 위험은 증가할 것이다. {2.4}

2100 년 이후에도 RCP2.6 을 제외한 모든 시나리오 하에서 온난화는 계속 진행될 것이다. 인위적 이산화탄소의 순 배출량(net emission)이 0 으로 수렴한 후일지라도, 지구 표면 온도는 수세기에 걸쳐 현재의 상승 수준을 거의 일정하게 유지할 것이다. 앞으로 수년 안에 대기 중의 이산화탄소를 광범위한 수준에서 온전히 제거하는 경우가 아니라면, 이산화탄소 배출로 인해 초래된 인위적 기후변화는 대개 수 세기에서 수천 년이 지나도 회복될 수 없는 비가역적 성격을 지닌다. {2.4, 그림 2.8}

또한 평균 지표 온도를 안정화시킨다고 해서, 기후 시스템의 모든 측면을 안정화시킬 수 있는 것도 아니다. 기후변화로 인한 생물 군계, 토양 탄소, 빙하, 해양 기온 및 해수면의 변화는, 그 본질적 특성상 오랜 기간 지속되기 때문에, 지구 지표면의 기온이 안정화된 후에도 수백 년 혹은 수천 년까지 남아있을 것이다. {2.1, 2.4}

이산화탄소 배출이 지속될 경우, 해양 산성화는 향후 수세기 동안 더욱 심화되어 해양 생태계가 심각한 타격을 받을 것이라는 주장이 제기되고 있다. {2.4}

2100 년 이후 수세기에 걸쳐 지구 평균 해수면이 지속적으로 상승할 것은 **사실상 확실**하며, 해수면 상승 정도는 미래 배출량 수준에 따라 달라질 것이다. 천년 혹은 그 이상의 기간에 걸쳐 그린란드 빙상의 손실을 유도하고, 결과적으로 최대 7m 의 해수면 상승을 초래할 임계값은 산업화 이전의 기온 대비 1°C (낮은 신뢰도)보다는 높고 4°C (중간 신뢰도)보다는 낮은 온난화 수준이다. 남극 빙상에서 빙하의 손실은 갑작스럽고 비가역적으로 나타날 수 있지만, 이를 양적으로 평가하는 데 필요한 관련 증거 및 정보가 현재 부족한 상황이다. {2.4}

중간 배출 및 고 배출 시나리오 하에서 나타날 수 있는 기후변화의 크기와 속도는 해양, 습지를 포함한 육상 및 담수 생태계의 구성, 구조 및 기능에 갑작스럽고 비가역적이며 지역적인 변화의 높은 위험을 초래할 수 있는 수준이다 (중간 신뢰도). 지구 기온이 계속해서 상승함에 따라 영구동토층의 범위가 감소할 것은 **사실상 확실**하다. {2.4}

SPM 3. 적응, 완화 및 지속 가능한 발전을 위한 미래 경로

적응과 완화는 기후변화의 위험을 저감하고 관리하기 위한 상호 보완적 전략이다. 향후 수십 년 내 배출량을 현저히 줄인다면, 21 세기부터 나타나고 있는 기후 위험을 저감시키고, 효과적인 적응에 대한 기대를 높일 수 있으며, 장기적으로는 완화에 따르는 비용과 관련 문제를 줄여 지속 가능한 발전을 향한 기후-복원경로에 기여할 수 있다. {3.2, 3.3, 3.4}

SPM 3.1 기후변화 정책 결정의 기반

기후변화와 그 영향을 제한하기 위한 효과적인 정책 결정은 거버넌스, 윤리적 측면, 형평성, 가치판단, 경제 평가, 위험 및 불확실성에 대한 다양한 인식과 대응 등의 중요성에 대해 인지하고, 예상되는 위험 및 편익을 평가하기 위한 광범위한 분석적인 방법을 통해 마련될 수 있다. {3.1}

기후 정책을 평가할 때 지속 가능한 발전과 형평성은 가장 기본이 되는 개념이다. 지속 가능한 발전과 형평성(예: 빈곤퇴치) 관련 목표를 달성하기 위해서는, 반드시 기후변화로 인한 영향을 제한해야 한다. 과거 및 미래의 대기 중 온실가스 축적량에 대한 기여 정도는 국가마다 다르며, 직면한 문제 및 상황이나 완화 및 적응을 다룰 수 있는 역량 또한 국가마다 다르다. 완화 및 적응과 관련하여 형평성, 정의 및 공정성의 문제가 불거지고 있는데, 이는 기후변화에 가장 취약하게 반응하는 사람들 중 대부분이 온실가스 배출량에 기여했던 바, 혹은 기여하고 있는 바가 매우 적은 이들이기 때문이다. 완화 행동을 미루는 것은 현재 세대가 부담해야 할 책임을 미래 세대에 전가하는 것이며, 기후변화에 의해 발생하고 있는 영향에 충분히 적응 및 대응하지 못할 경우 지속 가능한 발전 기반은 약화될 수 밖에 없는데, 이미 이러한 우려는 현실로 나타나고 있다. 적응과 완화에서 기대 혹은 발생할 수 있는 부수적 이익 및 부정적인 역효과 뿐만 아니라 위험 요인을 함께 고려함으로써 지속 가능한 발전에 부합하는 종합적인 기후변화 대응 전략을 마련할 수 있다. {3.1, 3.5, 박스 3.4}

개인과 조직이 위험 요인과 불확실성을 어떻게 인식하고 고려하느냐에 따라 기후 정책이 다르게 설계된다. 경제, 사회 및 윤리적 분석을 바탕으로 한 평가 수단들은 기후 관련 정책 결정을 지원할 수 있는데, 이러한 수단들은 ‘발생 확률은 낮지만 큰 결과를 동반할 수 있는 영향을 포함하여, 넓은 범위에서 발생할 수 있는 모든 가능한 영향’을 고려할 수 있기 때문이다. 하지만 이들도 완화, 적응 그리고 잔류하는 기후 영향(residual climate impacts) 사이에 존재하는 단 하나의 최적 밸런스(best balance)가 무엇인지는 식별할 수는 없다. {3.1}

기후변화는 전지구적 수준에서 해결해야 하는 문제인데, 시간이 경과함에 따라 온실가스가 대기 중에 누적되고, 전지구로 확산되며 경제 주체(예: 개인, 지역 사회, 기업, 국가)가 배출하는 온실가스는 제 3 자의 경제 활동이나 생활에 영향을 미치기 때문이다. 각각의 기관이 독단적으로 해당 기관의 이익만을 고려한다면 기후변화를 효과적으로 완화시킬 수 없다. 따라서 온실가스 배출량을 효과적으로 완화시키고 기타 기후변화 문제를 해결하기 위해서는 국제 협력 등의 협력적인 대응이 요구된다. 효과적인 적응 역시 국가간의 협력을 포함한 다양한 수준의 상호간 협력 활동이 필요하다. 문제 해결 방식의 공평성을 높일 경우, 협력의 효율성 또한 높아진다. {3.1}

SPM 3.2 적응 및 완화를 통한 기후변화 위험 감소

오늘날의 노력 외의 추가적인 완화 노력이 이루어지지 않는다면, 적응이 추진된다고 할지라도 온난화로 인해 21 세기 말까지 높음에서 매우 높은 수준의 비가역적이고, 광범위하며 심각한 영향이 전지구적으로 나타날 것이다 (높은 신뢰도). 완화는 단기 완화노력으로 인한 편익을 증대시키는 여러 수준의 부수적 이익과 부정적인 역효과를 동반한다. 하지만 이에 동반되는 위험은 기후변화로 인한 위험처럼 광범위하고 돌이킬 수 없는 심각한 영향이 발생할 가능성과 같지 않다. {3.2, 3.4}

완화와 적응은 서로 다른 시간 범위(scale)에서 기후변화 영향의 위험을 저감하기 위한 상호보완적인 전략이다 (높은 신뢰도). 21 세기 전반에 걸친 완화 뿐만 아니라 단기적인 완화 또한 21 세기 후반 및 그 이후에 발생할 수 있는 기후변화의 영향을 실질적으로 줄일 수 있다. 적응에 동반하는 편익은 현재 위험을 다루는 과정에서 이미 나타나고 있을 뿐만 아니라, 미래의 위험을 다루는 과정에서도 나타날 수 있다. {3.2, 4.5}

다섯 가지의 "우려 요인(RFC)"은 전 부문 및 지역에 걸쳐 온난화와 적응 한계가 인간, 경제 및 생태계에 미치는 영향을 설명한 것이며, 기후변화 위험을 종합한 것이다. 여기서 다섯 가지 우려 요인은 다음과 같다: (1) 위협받는 고유한 시스템, (2) 극단적 기상현상, (3) 영향의 분포, (4) 전지구적 총 영향, 그리고 (5) 대규모의 단일 현상. 본 보고서의 우려 요인에서는 UN 기후변화협약의 제 2 조와 관련된 정보를 제공한다. {박스 2.4}

오늘날의 노력 외에 추가적인 완화 노력이 이루어지지 않는다면 21 세기 말까지 온난화는 전지구적으로 확산되어 높음에서 매우 높은 수준의 돌이킬 수 없는 심각한 영향을 초래할 것이다 (높은 신뢰도) (그림 SPM.10). 추가적인 완화 노력이 없는 대부분의 시나리오(2100 년도의 대기 중 농도가 CO₂ 환산 1000ppm 을 초과하는 경우, 즉 1000ppm 이상인 경우)에서는 온난화 수준이 2100 년까지 산업화 이전 수준 대비 4°C를 초과하지 않을 가능성보다 초과할 가능성이 높다 (표 SPM.1).

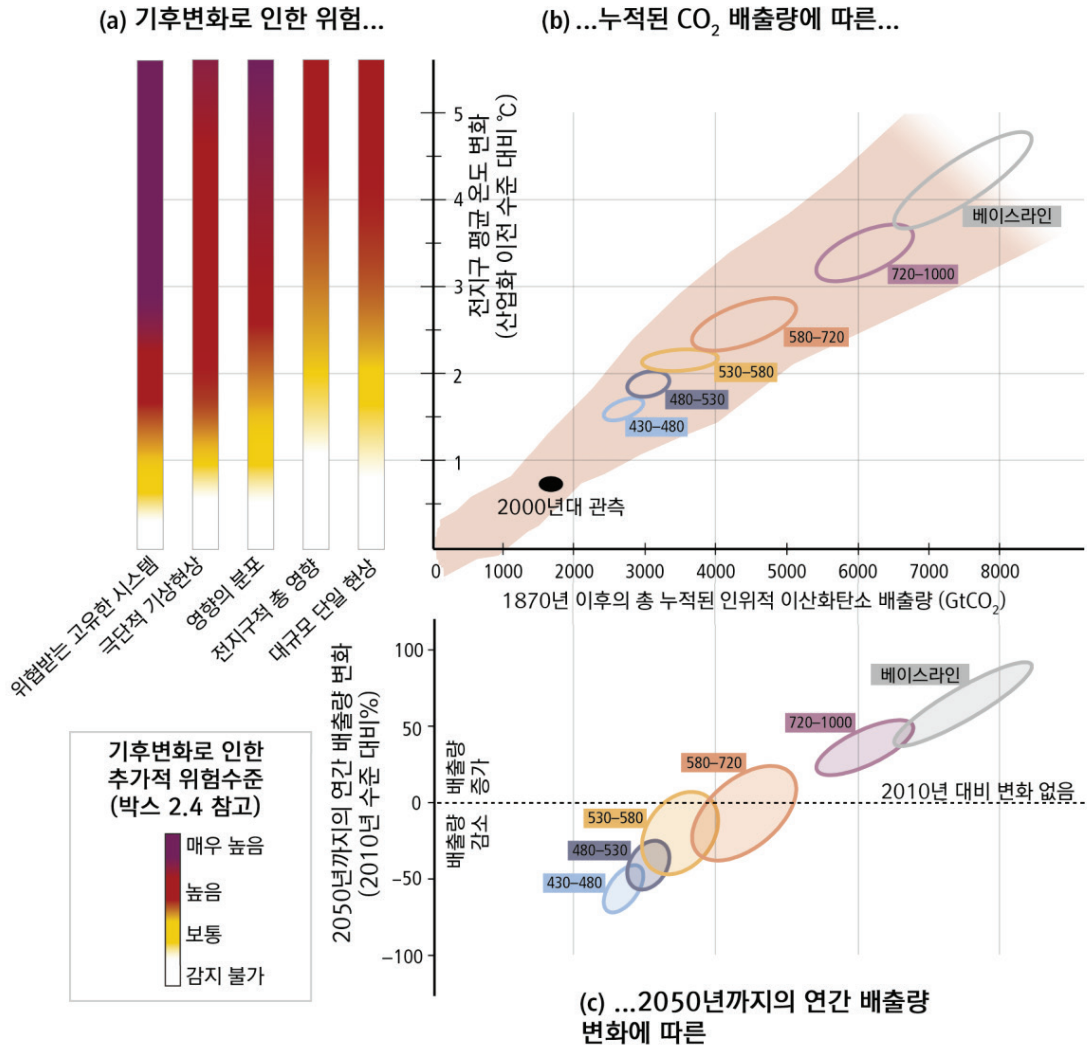


그림 SPM.10 | 기후변화로 인한 위험, 기온 변화, 누적 이산화탄소 배출량 및 2050 년까지의 연간 배출량 변화 간의 관계. 우려 요인에 따른 위험 제한(a)은 누적 배출량에 대한 제한(b)을 나타내며, 이는 향후 수십 년간 연간 배출량을 제한(c)할 것이다. **패널 a**에서는 다섯 가지의 우려 요인에 대해 설명한다 {박스 2.4}. **패널 b**에서는 누적 이산화탄소 배출량(1870 년 이후) (GtCO₂)과 기온 변화 간의 관계를 나타낸다. 이는 CMIP5 의 시뮬레이션(분홍 기둥)과 단순 기후 모형(2100 년도 중간 기후 반응) 및 베이스라인과 5 개의 완화 시나리오(6 개 타원)를 기반으로 한 것이다. 자세한 사항은 그림 SPM.5 에서 설명한다. **패널 c**에서는 각 시나리오 범주의 누적 이산화탄소 배출량(GtCO₂)과 이로 인한 2050 년까지의 연간 온실가스 배출량 변화를 2010 년도 대비 백분율 변화로 나타낸다 (연간 GtCO₂-eq %). 여기서 각 타원은 패널 b에서 나타낸 시나리오 범주와 동일하며, 이와 비슷한 방법으로 산출하였다 (더 자세한 사항은 그림 SPM.5 참조). {그림 3.1}

온도가 4°C 이상 상승할 경우 예상되는 위험에는 심각한 수준의 종 멸종, 세계 및 지역적 식량 불안정, 인간의 활동 제약 및 일부 지역에서의 적응 잠재력 한계 가능성이 있다 (높은 신뢰도). 고유의 체계를 위협하는 위험과 극한기상 현상을 야기하는 위험 등 일부 기후변화 위험은 산업화 이전 수준 대비 1-2°C 높은 기온에서 보통-높은 수준의 영향을 초래한다. {2.3, 그림 2.5, 3.2, 3.4, 박스 2.4, 표 SPM.1}

향후 수십 년 동안 온난화를 제한하여 온실가스 배출량을 상당 수준 감축시킨다면 21 세기 후반의 기후변화 위험을 현저히 줄일 수 있다. 이산화탄소 누적 배출량은 21 세기 후반과 그 이후의 평균 지구 표면 온난화에 상당한 영향을 미칠 수 있는데, 전 우려 요인에 걸쳐 나타나는 위험을 제한한다는 것은 누적 이산화탄소 배출량을 제한한다는 것을 의미할 수 있다. 즉, 전 세계 이산화탄소 순 배출량을 결국 0 으로 수렴시키고 향후 수십 년 동안 연간 배출량을 제한하는 것이 필요하다 (그림 SPM.10) (높은 신뢰도). 하지만 완화와 적응이 마련된다 해도 기후 피해를 피할 수 없는 일부 위험은 존재한다. {2.2.5, 3.2, 3.4}

완화에는 여러 수준의 부수적 이익뿐만 아니라 부정적인 역효과로 인한 위험 또한 수반되지만, 이러한 위험으로 인해 돌이킬 수 없는 심각한 영향이 광범위하게 발생할 가능성은 기후변화로 인한 것과 동일하지 않다. 경제 체제와 기후 시스템은 고착화된 경향(타성)을 보이며, 기후변화가 돌이킬 수 없는 영향을 초래할 가능성이 존재하기 때문에, 단기적인 완화 노력의 편익은 크다 (높은 신뢰도). 그러나, 추가적인 완화 행동을 미루거나 완화 기술 옵션을 제약할 경우, 기후변화 위험을 특정 수준 내로 유지시키는 데 드는 장기적인 완화 비용은 높아진다 (표 SPM.2). {3.2, 3.4}

SPM 3.3 적응 경로의 특성

적응을 통해 기후변화 영향의 위험을 줄일 수 있지만, 기후변화의 규모가 커지고 진행 속도가 빨라질 경우 그 효과성은 제한될 수 있다. 지속 가능한 발전의 맥락에서 좀 더 장기적인 관점으로 본다면, 보다 즉각적 적응 행동을 할 가능성이 높아질 경우 미래의 선택권과 준비성을 향상시킬 것이다. {3.3}

적응은 현재와 미래의 인류 복지 및 자산을 보장하고 생태계 재화, 기능 및 서비스를 유지할 수 있도록 지원한다. 적응은 장소 및 상황 특정한 성격을 지닌다 (높은 신뢰도). 현재 나타나고 있는 기후 변동성에 대한 인간 및 자연의 취약성과 노출을 줄이는 것은 미래 기후변화에 적응하기 위한 첫 단계이다 (높은 신뢰도). 정책 설계 등의 정책 계획과 정책 결정에 적응 문제를 통합시킬 경우, 적응과 개발과 간의 시너지 효과를 증대시키고 재해 위험 또한 저감시킬 수 있다. 적응 역량을 구축하는 것은 적응 방안을 효과적으로 선택 및 이행하기 위한 핵심이다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). {3.3}

개인에서부터 정부까지 다양한 주체가 상호 협력하여 적응의 계획 및 이행을 강화할 수 있다 (높은 신뢰도). 국가 중앙 정부는 지자체 및 하위 국가 정부의 적응 활동을 관리하는데, 예를 들어 취약 계층을 보호하고, 경제적 다양성을 지원하며 정보, 정책 및 법적 체계를 알림으로써 적응 활동을 조정하는 것이다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 적응 과정 전반에 걸쳐 지역 정부 및 민간 부문의 역할은 핵심적인 것으로서 점차 부각되고 있는데, 이는 이들이 위험 정보와 재정을 관리할 뿐만 아니라 지역사회, 가정 및 시민 사회의 적응을 장려하기 때문이다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {3.3}

거버넌스의 모든 수준에서 적응 계획과 이행은 사회적 가치 및 목표나 위험에 대한 사회적 인식에 따라 크게 달라진다 (높은 신뢰도). 의사결정 과정에서는 관심사, 상황, 사회-문화적 배경 및 요구가 다양하다는 것을 인식하는 것이 바람직하다. 또한 기후변화 적응에서 해당 지역에 고유하게 존재하는 토착, 지방 및 전통 지식 체계와 사례를 고려해야 하지만, 이러한 지식들은 기존의 적응 노력에 꾸준히 반영되어오지 못했다. 따라서 이러한 유형의 지식을 기존의 사례에 통합시켜 적응의 효율성을 높이는 것이 필요하다. {3.3}

적응 계획과 이행에 장애물로 작용하는 제약 요인들이 존재한다 (높은 신뢰도). 적응 이행에 대한 공통된 제약 요인은 다음에서 발생한다: 재정 및 인적 자원 부족; 거버넌스 통합 및 조정 한계; 영향 전망의 불확실성; 위험에 대한 인식 차이; 가치 경쟁; 주요 적응 지도자 및 지지자의 부재; 그리고 적응의 효과성을 모니터링 할 수 있는

도구의 부족, 기타 제약 요인에는 연구, 모니터링 및 관측 부족 및 이를 유지하는데 필요한 재정의 부족 등이 있다. {3.3}

기후변화의 속도와 규모가 증가할수록 적응 한계가 초과될 가능성도 증가한다 (높은 신뢰도). 적응 한계는 생물 물리적 및/혹은 사회경제적인 제약이 기후변화와 상호 작용하면서 나타난다. 또한, 단기적인 결과를 지나치게 중요시하거나 적응 결과를 충분히 예상하지 못해 적응 계획 및 이행이 부적절하게 이루어진다면, 미래 세대의 취약성이나 노출, 또는 기타 지역이나 부문의 취약성이 높아지는 부적응이 발생할 수 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 나아가, 하나의 사회적 과정인 적응이 지니는 복잡성을 과소평가할 경우, 의도한 적응 성과를 달성하는 것과 관련하여 비현실적인 예측을 할 수 있다. {3.3}

완화와 적응 사이뿐만 아니라 각기 다른 적응 대응들 사이에도 부수적 이익, 시너지 효과 및 트레이드 오프(trade-off)가 존재하며, 이러한 상호 작용은 지역 내와 지역 간 모두에서 발생한다 (매우 높은 신뢰도). 완화 및 적응 노력이 증대될수록 이들 사이에 존재하는 상호작용 관계는 더욱 복잡해지며, 수자원, 에너지, 토지 이용 그리고 생물 다양성 간의 관계도 더욱 복잡해진다. 그러나 이러한 상호 관계의 이해를 돕는 수단은 여전히 부족하다. 부수적 이익에는 다음과 같은 행동이 포함된다: (i) 기후를 변형시켜 건강을 위협하는 대기오염물질의 배출을 고효율 에너지와 청정 에너지 자원을 통해 저감; (ii) 도시 녹지 확대 및 수자원 재활용을 통해 도시 지역의 에너지 및 수자원 소비를 감소; (iii) 지속 가능한 농업 및 임업 (iv) 탄소 저장과 기타 생태계 보호를 통한 생태계 서비스 유지. {3.3}

경제, 사회, 기술 및 정치적 의사결정과 행동을 변형시켜 적응을 강화시키고 지속 가능한 발전을 촉진시킬 수 있다 (높은 신뢰도). 국가 수준의 변형은 각국의 상황과 우선 순위에 따라 지속 가능한 발전을 향한 국가의 비전 및 접근방식을 반영할 때 가장 효과적인 것으로 간주된다. 혁신적 변형을 추구하지 않고, 기존의 시스템과 구조를 단지 점진적으로만 변화시키는 제한적인 적응 방안을 추진한다면, 적응 비용과 손실이 커질 수 있으며, 관련 기회를 충분히 활용할 수 없다. 변형적 적응을 계획하고 이행하기 위해서는 관련 패러다임을 강화, 변경 및 조정해야 할 수 있다. 또한 평등의 실현 가능성 및 윤리적 의의 등과 같은 사항을 다루고 미래에 대한 각기 다른 목표 및 비전을 조화시키기 위해서는 거버넌스 구조에 변화를 가져오거나 새로운 거버넌스 구조를 만들어야 할 필요성이 높아진다. 적응 경로는 반복 학습과, 심사숙고 과정 및 혁신을 통해 개선할 수 있다. {3.3}

SPM 3.4 완화 경로의 특성

온난화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이내로 제한하기 위한 다양한 완화 경로가 존재한다. 이러한 경로들을 실현하기 위해서는 향후 수십 년 내 배출량을 상당 수준 감축해야 하며, 이산화탄소 순 배출량을 0에 가깝게 수렴시키고, 대기에 잔류하는 시간이 긴 온실가스들을 이번 세기 말까지 줄여야 한다. 이렇게 감축하는 것은 부수적인 기술적, 경제적, 사회적 및 제도적 문제를 유발시킬 수 있으며, 관련 핵심 기술을 사용할 수 없거나 추가적인 완화가 지연될 경우 이 문제는 증가한다. 온난화를 좀 더 낮은 혹은 높은 수준으로 제한할 때도 비슷한 문제들이 나타나지만, 시간 범위는 다르다. {3.4}

온실가스 배출 감축에 대한 현재 수준 이상의 추가적인 노력 없이, 세계 인구증가와 경제활동으로 인해 전지구적으로 배출량은 계속해서 높아질 것이 예상된다. 추가적인 완화가 이루어지지 않을 경우, 베이스라인 시나리오 하에서 전지구 평균 표면온도는 2100년에 중간 기후 반응에 대해서 1850-1900년 평균보다 3.7-4.8°C 높아진다. 기후 불확실성을 포함했을 경우에는 2.5-7.8°C 높아진다 (5-95 번째 백분위 범위) (높은 신뢰도). {3.4}

2100년에 약 CO₂ 환산 농도 450ppm 이하의 온실가스 농도를 이끄는 배출량 시나리오에서는, 21세기까지의 온난화가 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 유지될 가능성이 높다¹⁵. 이러한 시나리오에서는 2050년까지 전 세계 인위적 온실가스 배출량이 2010년 대비 40-70% 감축되며¹⁶, 배출 수준은 2100년까지 약 0 근처에

¹⁵ 비교를 위해 2011년도 CO₂ 환산 농도는 430ppm인 것으로 예측되었다 (불확실성 범위 340ppm-520ppm).

¹⁶ 이러한 범위는 AR4에서 비슷한 농도 범주에서 제공된 범위에 따라 상이하다 (이산화탄소에 한해 2000년 대비 50%에서 85% 낮음). 이러한 차이는 본 보고서에서 AR4에서 보다 상당히 많은 시나리오가 평가되었기 때문이며, 모든 온실가스를 검토하고 있기 때문이다. 또한 새로운 시나리오의 대다수가

가깝게 혹은 그 이하까지로도 감소하는 것이 특징이다. 2100년까지 농도 수준이 약 CO₂ 환산 500ppm에 도달하는 완화 시나리오에서는 기온 변화가 2°C 이하로 *제한되지 못할 가능성보다 제한될 가능성이 높는데*, 단, 2100년 이전까지 약 CO₂ 환산 530ppm의 일시적인 오버슈트 농도 수준에 도달하지 않아야 하며, 이 경우 목표에 도달할 *가능성이 있다*. CO₂ 환산 500ppm 시나리오에서는 2050년까지의 전세계 배출량 수준이 2010년 대비 25-55% 낮다. 2050년의 배출량이 더 높은 시나리오는 중세기를 넘어 이산화탄소제거(CDR) 기술에 대한 의존도가 크다는 특징이 있다. 산업화 이전 수준 대비 3°C 이하로 온난화를 제한할 *가능성이 높은* 경로에서는 온난화를 2°C로 제한하는 경로에서 보다, 배출량 감축 속도가 느리다. 많지는 않지만 일부 연구에서는 2100년까지 온난화를 1.5°C로 *제한하지 않을 가능성보다 제한할 가능성이 높은* 시나리오를 제시하고 있는데, 이러한 시나리오에서는 농도가 2100년까지 CO₂ 환산 430ppm 이하로 줄고, 2050년도 배출량이 2010년 대비 70%에서 95% 감소된다는 특징을 보인다. 배출량 시나리오의 특성, 온실가스 농도 및 기온 수준을 일정 범위 내로 유지할 수 있는 가능성에 대한 종합적인 개요는 그림 SPM.11 그리고 표 SPM.1을 참조한다. {3.4}

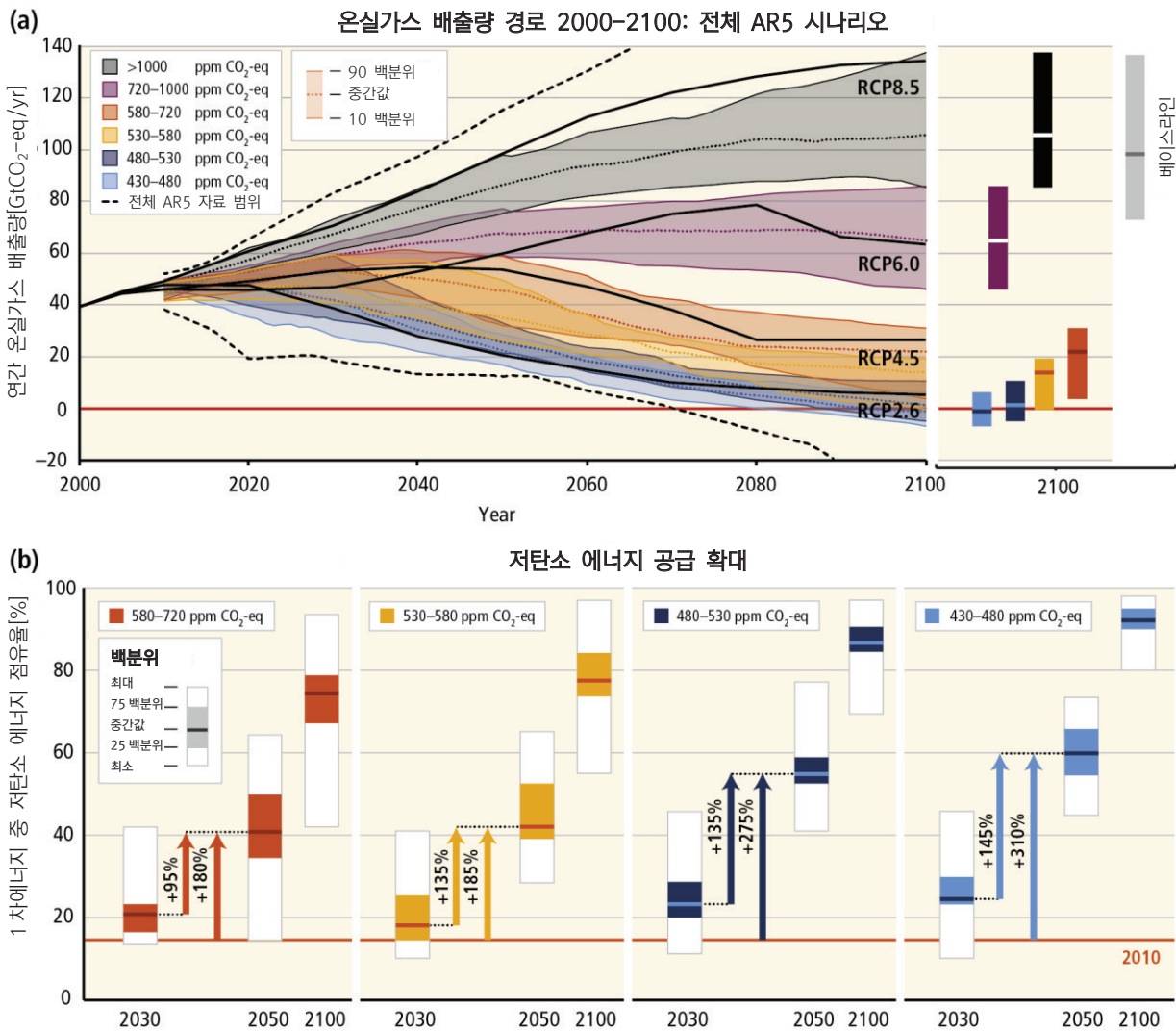


그림 SPM.11 | 베이스라인 및 완화 시나리오의 가정 하에서 다양한 장기적 농도 수준(a)에 따른 전지구적 연간 온실가스 배출량(GtCO₂-eq/yr) 및 각 완화 시나리오(b)에서 2010년도 수준 대비 2030년, 2050년 및 2100년도에 대한 저-탄소 에너지 확대 조건(1 차에너지의 %). {그림 3.2}

이산화탄소제거(CDR) 기술(아래 참조)을 포함하고 있기 때문이다. 기타 요인으로는 안정적인 수준과 2000년에서 2010년까지의 표준년도의 변화 대신 2100년도 농도 수준을 사용했기 때문이다.

표 SPM.1 | WGⅢ AR5 에서 수집 및 평가된 시나리오의 주요 특성. 모든 매개 변수에 대해, 시나리오의 10 번째부터 90 번째까지의 백분위수를 제시한다.^a {표 3.1}

2100 년도의 CO ₂ 환산 농도 (ppm CO ₂ -eq) ^f 범주 라벨 (농도 범위)	하위범주	RCPs 의 상대위치 ^d	2010 년 대비 CO ₂ 환산 배출량 변화(in%) ^c		21 세기 이후에도 특정 온도 수준 이하로 유지할 가능성 (1850-1900 대비) ^{d,e}			
			2050	2100	1.5°C	2°C	3°C	4°C
<430	CO ₂ 환산 430ppm 이하의 수준에 대한 개별적인 모형 연구는 제한되었다. ^j							
450 (430-480)	전체 범위 ^g	RCP2.6	-72~-41	-118~-78	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높음	가능성이 높음	가능성이 높음	가능성이 높음
500 (480-530)	CO ₂ 환산 530ppm 초과하지 않음		-52~-42	-107~-73	가능성이 낮음	발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높음		
	CO ₂ 환산 530ppm 초과		-55~-25	-114~-90		가능성이 있음		
550 (530-580)	CO ₂ 환산 580ppm 초과하지 않음		-47~-19	-81~-59		발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높음 ⁱ		
	CO ₂ 환산 580ppm 초과		-16~-7	-183~-86				
(580-650)	전체 범위	RCP4.5	-38~-24	-134~-50	가능성이 낮음	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높음		
(650-720)	전체 범위		-11~17	-54~-21				
(720-1000) ^b	전체 범위		RCP6.0	18~54			-7~72	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높음
>1000 ^b	전체 범위	RCP8.5	52~95	74~178	가능성이 낮음 ^h	가능성이 낮음	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높음	

비고:

^a CO₂ 환산 농도의 시나리오 전체 범위인 430-480 ppm 은 WGⅢ 보고서의 표 6.3 에서 제시된 하위범주의 10-90 번째 백분위수의 범위와 일치한다.

^b 베이스라인 시나리오는 >1000 과 CO₂ 환산 750-1000 ppm 범주로 나뉜다. 후자에는 완화 시나리오 또한 포함된다. 후자의 베이스라인 시나리오에서는 2100 년에 1850-1900 년 평균 기온 대비 2.5-5.8°C의 기온 상승이 나타난다. CO₂ 환산 1000 ppm 이상인 범주의 베이스라인 시나리오와 함께 위 두 농도 범주에서 베이스라인 시나리오에 대한 2100 년도 전체 기온 변화 범위는 2.5-7.8°C(중간값 기후 반응 범위를 기반으로 한 범위: 3.7-4.8°C)로 이어질 것이다.

^c 2010 년도 전세계 배출량은 1990 년 대비 31% 증가하였다 (본 보고서에서 제시한 과거 온실가스 배출량 추정치와 일치). CO₂ 환산 배출량에는 교토의정서에서 규정한 가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소 및 불소화 가스)가 포함된다.

^d 본 평가에는 과학 문헌에 발표된 시나리오의 다수가 포함되며, 대표농도경로에 국한되지 않는다. 이러한 시나리오의 CO₂ 환산 농도와 기후 영향을 평가하기 위해 확률 모드에서 MAGICC(Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change) 모형이 사용되었다. MAGICC 모형과 WGⅠ에서 사용된 모형을 비교한 결과는 WGⅠ의 12.4.1.2 절과 12.4.8 절 및 6.3.2.6 절에서 확인할 수 있다.

^e 위 표에 대한 평가는 MAGICC 와 WGⅠ의 기후 모형을 사용하지 않은 기온 예측의 불확실성 평가 결과를 사용하여 WGⅢ에서 시나리오의 전체 앙상블에 대해 계산한 확률을 기반으로 한다. 따라서 본 보고서의 서술은 대표농도경로의 CMIP5(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5)와 불확실성에 대한 평가를 기반으로 한 WGⅠ의 서술과 일치한다. 즉, 가능성에 대한 서술은 두 실무그룹이 제시한 여러 방면의 서로 다른 증거를 반영한 것이다. 이러한 WGⅠ의 방법은 CMIP5 을 사용할 수 없는 중간 수준의 농도 시나리오에서도 적용되었다. 가능성에 대한 서술은 예시일 뿐이며 {WGⅢ 6.3}, 기온 예측을 위해 WGⅠ SPM 에서 사용한 다음과 같은 용어를 넓은 범위에서 제시한다.: 가능성이 높음 66-100%, 발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높음 >50-100%, 가능성이 있음 33-66%, 그리고 가능성이 낮음 0-33%이 포함된다. 이와 더불어, 확률이 0-(50% 경우에, 발생할 가능성보다 발생하지 않을 가능성이 높음으로 가능성을 서술하였다.

^f CO₂ 환산 농도(용어집 참조)는 단순 탄소 순환/기후 모형인 MAGICC 의 전체 강제력을 기반으로 계산하였다. 2011 년도의 CO₂ 환산 농도는 430ppm (불확실성 범위 340ppm-520ppm)인 것으로 추정되었다. 이는 1750 년 대비 2011 년도의 모든 인위적 복사강제력에 대한 WGⅠ의 평가를 기반으로 추정된 것으로 예를 들어, 불확실성의 범위는 1.1-3.3 W m⁻²이다.

^g 이러한 오버슈트 범주에서 시나리오의 대부분은 CO₂ 환산 480 ppm 농도의 범주 경계를 초과한다.

^h 위 범주에서 시나리오의 경우, CMIP5 실행이나 MAGICC 실행이 없었으며, 각각에 대한 기온 수준 이하로 유지된다. '가능성이 낮음'에도 합당한 이유는 기존의 기후 모형에 반영되지 않는 불확실성을 나타내기 위한 것이다.

ⁱ CO₂ 환산 580ppm-650 ppm 범주의 시나리오에는 오버슈트 시나리오(overshoot scenarios)와 높은 수준의 범주(예, RCP4.5)에서 농도 수준을 초과하지 않는 시나리오가 모두 포함된다. 일반적으로 후자의 시나리오는 온도 수준을 2°C 이하로 유지하는 상황이 발생할 가능성보다 발생하지 않을 가능성이 높음 확률을 평가하는 반면, 전자는 주로 위 수준 이하로 유지하는 상황이 발생할 가능성이 낮음 확률에 대해 평가한다.

^j 이러한 시나리오에서는 2050 년도의 지구 CO₂ 환산 배출량이 2010 년도 배출량의 70-95% 이하로, 그리고 2100 년도의 배출량은 2010 년도의 배출량의 110-120% 이하인 것으로 나타났다.

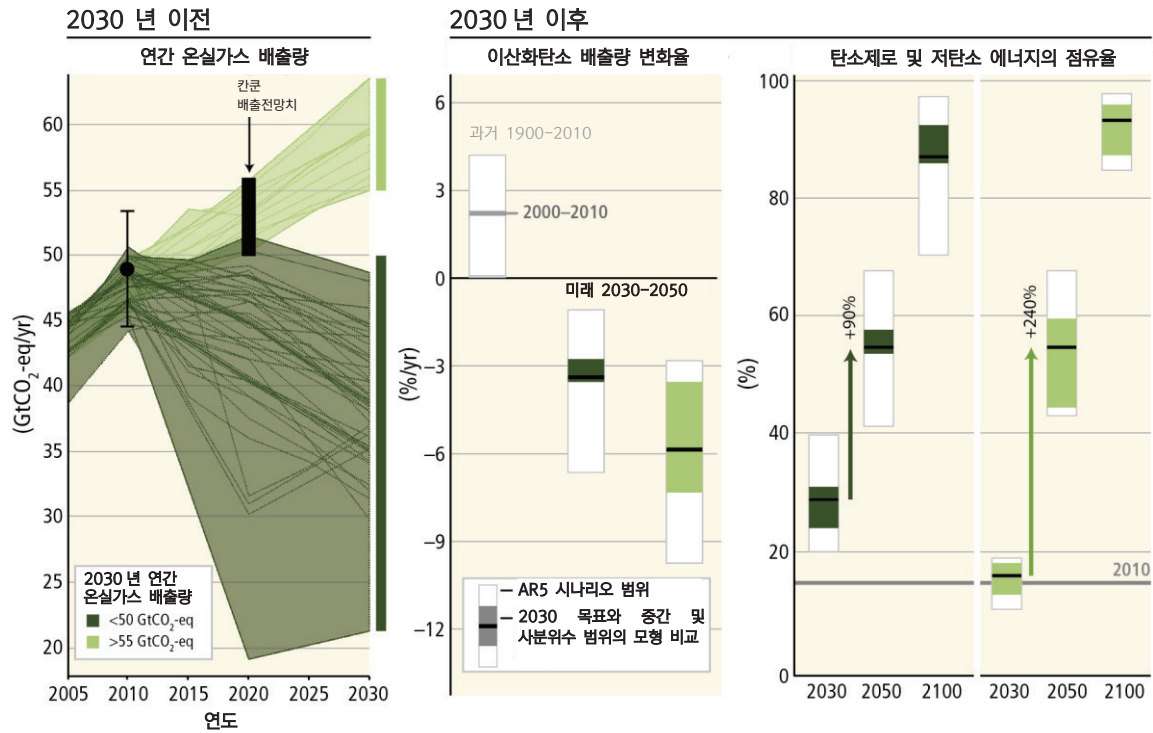


그림 SPM.12 | 이산화탄소 배출량 감축률 및 21 세기까지 최소한 가능성이 있음 확률로 산업화 이전 수준 대비 온난화가 지속될 전망하는 완화 시나리오 하(2100년까지 CO₂ 환산 농도는 430ppm-530ppm)에서 저탄소 에너지 확대에 따른 각기 다른 수준의 온실가스 배출량. 시나리오는 2030년까지의 여러 배출량 수준에 따라 분류된다 (녹색계열의 색으로 표시됨). 좌측 패널은 2030년까지의 온실가스 배출량 (GtCO₂-eq/yr)의 경로를 보여준다. 그림 SPM.2 에서 보고한 바와 같이, 검은색 점에서 위아래로 연장된 얇은 막대부분은 과거 온실가스 배출량 수준과 2010 년의 관련 불확실성을 나타낸다. 검은색 막대기는 칸쿤 협정(Cancun Agreements)에서 언급된 온실가스 배출 예측의 불확실성 범위를 나타낸다. 중간 패널은 2030-2050 년 사이의 연평균 이산화탄소 배출량 감축률을 나타낸다. 이는 2030 년까지의 명시적 잠정 목표치와 함께 최근 모형 간의 비교를 통한 시나리오의 중간 및 사분위수 범위와 WGIII AR5 의 시나리오 데이터베이스에서의 시나리오 범위를 비교한다. 또한 연간 과거 배출량 변화율(20 년 이상 지속되고 2000-2010 년 사이의 연평균 이산화탄소 배출량 변화)을 보여준다. 우측 패널의 화살표는 각각 다른 수준의 2030 년 온실가스 배출량을 대상으로 2030-2050 년 동안 탄소제로(carbon zero) 및 저탄소 에너지 공급이 확대되는 정도를 나타낸다. 탄소 제로 및 저탄소 에너지 공급에는 재생에너지, 핵에너지 및 이산화탄소 포집 및 저장(CCS)이나 바이오에너지 및 탄소포집(BECCS)에 따른 화석에너지가 포함된다. [비고: 기본적 모형(기본 기술 가정)에서 전체적으로 완화가 기술이 제약되지 않은 포트폴리오를 적용하는 시나리오만 표시된다. 전세계 배출량이 비관적인 시나리오(>20 GtCO₂-eq/yr)와 외생 탄소 가격(exogenous carbon price)을 추정 한 시나리오, 그리고 2010 년의 배출량이 과거의 범위에서 상당히 벗어난 시나리오의 경우 제외하였다.] {그림 3.3}

일반적으로 2100 년에 CO₂ 환산 450 ppm (산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 온난화가 유지될 가능성과 일치)에 도달할 것이라는 완화 시나리오에는 대기 중 농도의 임시적인 오버슈트¹⁷가 포함되며, 이는 2100 년에 약 CO₂ 환산 500-550 ppm 에 도달할 것이라는 많은 시나리오에서도 포함된다 (표 SPM.1). 오버슈트의 수준에서 차이는 있지만, 오버슈트 시나리오에서는 일반적으로 바이오에너지 및 탄소포집(BECCS)의 가용성과 적용 범위 및 이번 세기 후반기의 조림 사업에 대한 높은 의존성을 보인다. 이산화탄소제거(CDR) 기술 및 방법의 적용 범위와 가용성은 불확실하며, CDR 기술은 정도에 따라 문제점과 위험을 수반한다¹⁸. CDR 은 또한 완화 비용이 많이 드는 부문의 잔여 배출량을 보상하기 위한 오버슈트가 없는 많은 시나리오에서 흔히 나타난다 (높은 신뢰도). {3.4, 박스 3.3}

비-이산화탄소의 배출량 감축은 완화 전략에서 중요한 요소일 수 있다. 장기적인 온난화는 대개 이산화탄소 배출로 인해 나타날지라도, 현존하는 모든 온실가스 및 기타 강제력 유발 물질은 향후 수 십 년 동안 기후변화의 속도와 규모에 영향을 줄 수 있다. 비-이산화탄소 강제력 유발물질(non-CO₂ forcers)은 종종 “CO₂ 환산 배출량(CO₂-equivalent emissions)”으로 표시되지만, 이러한 배출량을 계산하기 위해 측정 기준을 선택하고 다양한 기후 강제력 유발물질을 제한하는 중요성 및 그 시기에 대한 영향을 파악하는 것은 적용 및 정책 문맥에 따르며, 가치 판단이 요구된다. {3.4, 박스 3.2}

¹⁷ "오버슈트" 시나리오의 농도에서 최고 농도는 한 세기 동안 지속된 후 감소한다.
¹⁸ 전지구적 차원에서 볼 때, CDR 방법은 생물지구화학적 및 기술적 한계점을 보인다. 예를 들어, 10 년 동안 CDR 방법을 통해 얼마만큼의 이산화탄소 배출량이 상쇄되었는지에 관한 정확하고 정량화된 자료가 부족하다. 또한 CDR 방법은 부작용을 야기시킬 뿐만 아니라 단기적 결과보다는 장기적 결과에 초점을 두고 있다.

베이스라인 시나리오에서의 전지구적 완화 비용과 소비량

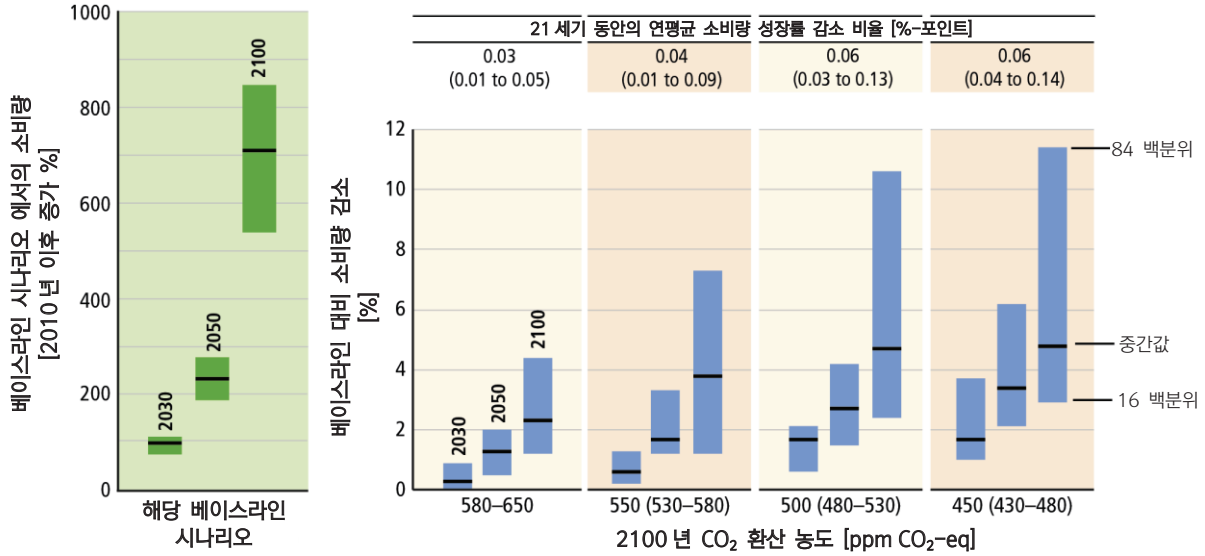


그림 SPM.13 | 2100 년도 각각의 대기 중 농도 수준에 따른 비용 효과적인 시나리오에서의 전 세계 완화 비용. 비용 효과적인 시나리오는 모든 국가의 즉각적인 완화 조치와 전 세계적으로 단일화된 탄소 가격을 추정하고 모형의 기본적인 기술 가정과 관련하여 기술에 추가적인 제약을 주지 않는다. 소비량 감소는 기후 정책이 없는 기준 개발에 상대적으로 나타난다(좌측 패널). 위의 표는 연간 소비량 증가율이 연간 1.6 - 3%만큼 소비량 증가 기준 대비 감소되었음을 보여준다 (예, 완화에 의해 연간 0.06%만큼 감소되고 기준 성장률이 연간 2.0% 감소될 경우, 완화에 따른 연간 성장률은 1.94%가 될 것이다). 아래의 표에 나타난 비용 추정치는 감소된 기후변화의 혜택뿐만 아니라 부수적 이익과 완화의 유해 부작용을 고려하지 않는다. 이러한 비용 범위에서 최상위 수준의 예상값은 목표를 달성하거나 비용이 인상될 시장 결함에 대한 가정이 포함될 수 있도록 장기적으로 필요한 충분한 배출량 감축을 달성하기 위한 유연성이 상대적으로 높은 모형에서 비롯되었다. {그림 3.4}

추가적인 완화를 2030 년까지 미룬다면, 21 세기 중 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 온난화를 제한하는 것과 관련한 문제가 상당히 증가할 것이다. 따라서, 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 온난화를 제한하기 위해서는 2030 년부터 2050 년까지 상당히 빠른 속도로 배출량 감축이 이루어져야 하고; 동 기간 중 저탄소 에너지 또한 더욱 빠르게 확산되어야 하며; 장기적으로 CDR 에 대한 의존도를 높여야 하고; 일시적 및 장기적인 경제적 효과 또한 높여야 할 것이다. 간쿤 협정을 바탕으로 예상한 2020 년도의 전 세계 배출량 수준은 온난화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 제한할 확률이 최소한 가능성이 있는 정도인 비용효과적인 완화 경로에 부합하지는 않지만, 이를 달성할 수 있는 방안들이 배제되지는 않는다 (**높은 신뢰도**) (그림 SPM.12, 표 SPM. 2). {3.4}

완화에 소요되는 총 경제적 비용은 이를 예측하는 데 적용한 방법론 및 가정에 따라 매우 다르게 나타나지만, 대개 완화의 강도가 셀수록 증가한다. 전세계 모든 국가가 완화를 즉시 시작하여 단일화된 탄소 가격과 모든 주요 기술을 적용할 수 있다는 전제를 바탕으로 한 시나리오는 거시 경제 완화 비용을 예측하는 데 비용 효과적인 기준으로 사용되어 왔다 (그림 SPM. 13). 이러한 전제 하에서, 21 세기까지 온난화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 제한할 가능성이 높은 완화 시나리오에서는 베이스라인 시나리오 (이번 세기 동안 전세계 소비량이 300%-900%으로 증가) 대비 2030 년에 전세계 소비량의 1-4%(중간값: 1.7%) 손실, 2050 년에 2-6%(중간값: 3.4%) 손실, 그리고 2100 년에 3-11%(중간값: 4.8%) 손실이 동반된다고 예측하고 있는데, 여기서 기후변화 감소에 따른 편익이나 완화의 부수적 이익 및 부정적인 역효과는 고려되지 않는다. (그림 SPM.13). 이러한 수치적 결과에 상응하는 연율(年率)로 환산한 소비 성장률은 이번 세기 동안 연간 1.6-3% 사이인 베이스라인 대비 0.04-0.14(중간값:0.06)% 이다 (**높은 신뢰도**). {3.4}

완화 기술(예, 바이오에너지, CCS 및 BECCS, 원자력, 풍력/태양광)이 부재하거나 그 적용이 제한적인 경우, 완화 비용은 어떠한 기술을 고려하느냐에 따라 상당히 증가할 수 있다. 추가적인 완화를 미룰 경우, 중장기 완화 비용은 증가할 것이다. 추가적인 완화가 상당 기간 지연되는 경우, 대부분의 모형에서, 21 세기 동안 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 온난화를 제한할 수 없을 가능성이 높다. 바이오에너지, CCS 및 이 둘을 결합한 BECCS 등의 기술이 제한될 경우에 많은 모형에서 온난화를 2°C 이하로 제한할 수 없을 가능성이 높다 (**높은 신뢰도**) (표 SPM.2). {3.4}

표 SPM.2 | 특정 기술의 적용성 제한 또는 비용 효과적인 시나리오 대비 추가적인 완화 지연^a으로 인한 전세계 완화 비용 증가.^b 비용의 증가는 중간값의 추정치와 시나리오의 16 번째와 84 번째 백분위수에서 보여준다 (괄호).^c 또한 각 시나리오의 표본 크기는 꺾쇠괄호에 표시하였다. 각 셀의 색상은 성공적으로 목표한 농도 수준에 도달할 수 있도록 한 체계적인 모형 비교 연습에 따른 모형의 일부분을 나타낸다. {표 3.2}

기술의 제한적 사용에 따른 완화 비용 증가율 ^d					2030년까지 추가 완화 정책의 지연에 따른 비용 증가율	
[각 기술의 제한적 사용에 따른 총 완화 비용 증가율 (2015년-2100년), %]					[현재 대비 완화 비용 증가율, %]	
2100년 이산화탄소 농도 시나리오 (CO ₂ 환산 ppm)	CCS 비사용	원자력 폐기	태양열/풍력 제한	바이오에너지 제한	총기 비용 (2030-2050)	장기 비용 (2050-2100)
450 (430-480)	138% (29-297%) 	7% (4-18%) 	6% (2-29%) 	64% (44-78%) 	} 44% (2-78%) 	} 37% (16-82%)
500 (480-530)	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능		
550 (530-580)	39% (18-78%) 	13% (2-23%) 	8% (5-15%) 	18% (4-66%) 	} 15% (3-32%)	} 16% (5-24%)
580-650	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능		
범례 - 이산화탄소 농도 목표 달성 모델 현황(달성한 모델의 수를 의미)						
: 모든 모형이 목표 농도 달성			: 모형 중 50~80%가 목표 농도 달성			
: 모형 중 80~100%가 목표 농도 달성			: 모형 중 50% 이하가 목표 농도 달성			

비고:

^a 지연된 완화 시나리오로 인해 2030 년도의 온실가스 배출량은 55 GtCO₂-eq 이상으로 증가할 것이며, 완화 비용 증가는 동일한 장기적인 농도 수준에 대한 비용 효과적인 완화 시나리오를 기반으로 측정된 것이다.

^b 비용 효과적인 시나리오는 모든 국가의 즉각적인 완화 조치와 전 세계적으로 단일화된 탄소 가격을 추정하고 모형의 기본적인 기술 가정과 관련하여 기술에 추가적인 제약을 주지 않는다.

^c 범위는 시나리오 세트의 16 번째와 84 번째 백분위수를 포함하여 중심이 되는 시나리오에 의해 결정된다. 2100 년까지의 시간 범위가 설정된 시나리오만 포함된다. 2100 년의 농도 수준이 CO₂ 환산 530 ppm 이상인 경우, 비용 범위에 포함된 일부 모형으로는 기술의 제한된 유용성 및/또는 지연된 추가 완화에 대한 가정으로 인해 2100 년도 CO₂ 환산 530 ppm 이하의 농도 수준에 대한 관련 시나리오를 생성할 수 없다.

^d CCS 가 없는 경우: 이산화탄소 포집 및 저장(CCS)은 위 시나리오에 포함되지 않았다. 원자력의 단계적 폐지: 현재 공사 중인 원자력 발전소 이외의 향후 추가적인 건설은 없을 것이며, 기존의 발전소는 수명이 다할 때까지 운영한다. 제한된 태양열/풍력: 이러한 시나리오에서는 태양열과 풍력 발전에서 최대 20%의 전 세계 발전량이 발생한다. 제한된 바이오에너지: 전 세계적으로 현대의 바이오에너지 공급은 최대 100 EJ/yr 이다 (2008 년의 난방, 전력, 결합 및 산업에서 사용된 현대의 바이오에너지는 약 18 EJ/yr 이었다). EJ=엑사줄=10⁸ 줄

^e 연간 5%의 할인율을 적용했을 때, 2015-2100 년 기간 동안의 기준 소비량에서 소비량 감소에 대한 순 현재가치의 백분율 증가(일반균형모형에 따른 시나리오)와 기준 GDP 에서 감소 비용(부분균형모형에 따른 시나리오)을 나타낸다.

2100 년까지 CO₂ 환산 450ppm 또는 500ppm 에 이르는 완화 시나리오에서는 인간 건강, 생태계 영향, 충분한 자원 및 에너지 시스템의 회복력과 관련된 부수적 이익이 현저하게 나타나며, 대기질 및 에너지 안보 목적을 달성하는 소요되는 비용이 감소된다. {4.4.2.2}

완화 정책을 통해 화석연료 자산의 가치를 낮출 수 있으며, 화석연료 수출국의 수익을 감소시킬 수 있지만 지역별 및 연료별로 차이가 있을 수 있다 (높은 신뢰도). 대부분의 완화 시나리오에서는 주요 수출국이 석탄 및 석유 무역을 통해 꺾이는 수익의 감소가 나타난다 (높은 신뢰도). 이와 같이 완화가 화석연료 자산의 가치에 미치는 부정적인 영향은 CCS 등의 기술을 이용하여 어느 정도 줄일 수 있다 (중간 신뢰도). {4.4.2.2}

태양복사관리(SRM)는 대규모로 이루어지며, 기후 시스템에 흡수되는 에너지의 양을 줄인다. SRM 은 아직 검증된 방법은 아니며 완화 시나리오에 포함되지 않는다. SRM 을 추진할 경우, 이와 관련된 많은 불확실성과 역효과, 위험, 단점 및 특정 거버넌스와 윤리적 측면에 대한 영향이 수반될 것이다. 또한 SRM 이 해양 산성화를 감소시키지는 못할 것이며, 만약 종료될 경우, 지표면 온도가 매우 빠르게 상승하면서, 빠른 변화 속도에 민감하게 반응하는 생태계가 상당한 영향을 받을 것이다. {박스 3.3}

SPM 4. 적응 및 완화

기후변화에 대처하는 것을 도와주는 많은 적응과 완화 방안들이 있지만, 하나의 방안만을 사용할 경우 그 효과가 충분히 나타날 수 없다. 이들 방안을 효율적으로 이행하기 위해서는 규모를 막론하고 모든 유형의 관련 정책과 협력을 유도하는 것이 중요하며, 적응 및 완화를 다른 사회적 목표와 연계하는 통합적 대응을 통해 그 효과성을 향상시킬 수 있다. {4}

SPM 4.1 적응 및 완화 대응의 공동 장려 요인 혹은 공동 제약 요인

적응과 완화 대응을 모두 강화시킬 수 있는 요인을 공동 장려 요인이라고 하며, 이에는 효율적인 제도 및 거버넌스, 환경 친화적인 기술, 기반시설 혁신과 투자, 지속 가능한 생활 및 행동양식과 라이프스타일의 선택 등이 있다. {4.1}

기존 사회-경제 체제의 여러 측면에서 보였던 고착화된 경향(타성)은 적응 및 완화 방안을 제약하는 요인으로 작용할 수 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 반면, 친환경 기반시설과 기술 혁신에 투자할 경우 온실가스 배출을 줄이고 기후변화에 대한 회복력을 높일 수 있다 (매우 높은 신뢰도). {4.1}

생활양식, 라이프스타일, 행동양식 및 문화는 기후변화 취약성, 온실가스 배출량 및 적응과 완화 역량에 상당한 영향을 미친다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 또한, 특정 기후정책에 대한 사회적 수용도 및/또는 정책의 효율성은 지역적 라이프스타일이나 행동양식의 적합한 변화에 해당 정책이 이익이 되는지 혹은 영향을 받는지에 따라 달라진다. {4.1}

다수의 지역과 부문에서 적응 및 완화 능력을 높이는 것은 기후변화 위험 관리의 필수 기반을 강화하기 위한 노력의 일환이다 (높은 신뢰도). 적응, 완화 그리고 재해위험을 저감하고자 할 때 나타나는 지역별 제약 및 문제들은 관련 제도를 개선하고 거버넌스 구조에서 협력과 조정을 유도함으로써 어느 정도 해결할 수 있다. (매우 높은 신뢰도). {4.1}

SPM 4.2 적응 방안

적응 방안은 모든 부문에서 가능하지만 적응의 이행과 기후 관련 위험을 줄이는 잠재력 측면에서는 지역과 부문별로 다르게 나타난다. 일부 적응 대응은 중요한 부수적 이익, 시너지 그리고 트레이드 오프(trade-off)를 수반한다. 기후변화가 심해질 경우 많은 적응 방안을 이행하기 어려워질 것이다. {4.2}

다수의 지역 및 사회에 걸쳐 공공·민간 부문의 적응경험이 축적되고 있으며, 사회(지역사회 및 토착사회), 제도 및 생태계 기반의 적응 수단이 지니는 가치와 적응의 제약 범위에 대한 대중의 인식 또한 높아지고 있다. 적응은 일부 계획 과정에 점차 통합되고 있는 추세이나, 실질적으로 이행되는 경우는 드물다 (높은 신뢰도). {1.6, 4.2, 4.4.2.1}

기후변화 관련 문제가 점차 증가함에 따라, 적응에 대한 요구 또한 높아질 것으로 예상된다 (매우 높은 신뢰도). 모든 부문 및 지역에 적응 대안이 존재하며, 취약성 저감, 재해위험 관리 또는 사전 적응 계획 등 적응 유형에 따라 적응 잠재력과 접근법이 달라진다 (표 SPM.3). 적응 전략 및 행동의 효율성을 높이기 위해서는 보다 광범위한 전략 목표를 세운 후 개발 계획 내에 존재하는 부수적 이익 및 관련기회에 대한 잠재력을 고려한다. {4.2}

표 SPM.3 | 적응을 통한 기후변화 위험관리 접근법. 이 접근법들은 개별적으로 적용하기 보다 다른 접근법과 함께 동시다발적으로 시행한다. 아래에 제시된 예들은 특정 순서에 따라 나열된 것이 아니며, 하나의 예가 하나 이상의 범주에 관련될 수도 있다 {표 4.2}

중부 접근	범주	예시
취약성 및 노출저감 다수의 자유감 정책을 포함한 개발, 계획 및 사례 이용 적응 점진적 및 변형적인 조정을 포함 점진적 및 변형적인 조정을 포함 변형(Transformation)	인류 발전	교육, 영양섭취, 의료 시설, 에너지, 안전한 거주지 및 정착지, 사회 지원 시설에의 접근 개선; 다양한 형태의 성불평등 및 사회소의 저감
	빈곤 퇴치	지역 자원의 접근 및 이용 확대; 토지 소유권; 재해위험 감소; 사회 안전망 및 사회적 보호; 보험 제도
	생계 안보	소득, 자산, 생계 수단 다양화; 기반시설 개선; 기술 및 의사결정에 대한 접근성; 의사결정 권한 강화; 작물 재배, 가축 사양 & 수종 생태계 관리 변화; 사회적 네트워크 신뢰 제고
	재해위험 관리	조기경보체계; 위해 & 취약성 도식화; 수자원 다양화; 배수 체계 개선; 홍수 및 태풍 대피소 마련; 대응 매뉴얼 작성 및 실행; 태풍 & 폐수 관리; 운송 & 도로 시설 개선
	생태계 관리	습지 및 도시 녹지 공간 보전; 연안 지역 조림; 수로 및 호수 관리; 생태계 위협 요인 및 서식지 분절화 방지; 유전자 다양성 보전; 생태계 교란 체계 조정; 공동체 기반의 자연 자원 관리
	공간 또는 토지사용계획	적절한 주거, 기반시설 그리고 서비스 제공; 홍수 지역 및 이외 위험 지역의 개발 지양; 도시 계획 및 프로그램 개선; 토지 이용제한법; 지역권; 보호 구역
	구조적/물리적	공학적 방법 및 시설 구축: 방조제 및 연안 보호 시설; 홍수 대비 제방; 수조; 배수 개선; 홍수 및 태풍 피난처; 대응 매뉴얼 작성 및 실행; 태풍 & 폐수 관리; 운송 & 도로 시설 개선; 수상 가옥; 발전소 및 전력망 조정 기술적 방법: 신규 작물 및 동물의 다양성; 토착, 전통 및 지역 지식/기술/방법; 효율적인 관개; 용수 절약 기술; 담수화; 농업 보호; 식량 저장 및 보존 시설; 위해(hazard) 및 취약성 지도화 그리고 모니터링; 조기경보체계; 건물 절연성; 기계 및 수동 냉각; 기술 개발, 기술 이전 그리고 기술 확산 생태계 기반 적응: 생태학적 복원; 토양 보전; 신규조림 및 재조림; 맹그로브 산림 보전 및 재식림; 녹색 시설(예: 녹우수, 옥상 녹화); 어류 남획 규제; 어장 공동 관리; 종의 이동 및 확산; 생태이동통로; 종자 은행, 유전자 은행 그리고 현지 외 보전; 공동체 기반 자연 자원 관리 서비스: 사회적 안전망 및 사회적 보호; 식량 은행 및 식량 잉여분 분배; 물과 위생을 포함한 도시 서비스; 예방접종 프로그램; 기본적인 공중보건 서비스; 강화된 응급 치료 서비스
		경제적 방법: 재정 혜택: 보험; 재해 채권(캐본드); 생태계 서비스에 대한 경제적 지불; 공급 확대와 안전한 사용을 위해 물의 가격화; 소액저장; 재해대비펀드; 현금 지원; 민간 협력 법 및 제도: 토지 이용 제한법; 건설 표준 및 시행; 지역권; 수자원 규제 및 협약; 재해위험 감소 지원법; 보험 구입 장려 제도; 재산권 확인 및 토지소유권 보장; 보호 구역; 어획량 할당; 특허 풀(pool) 및 기술 이전 국가, 정부 정책, 프로그램: 주류화를 포함하는 국가적 그리고 지역적 수준의 적응 계획; 하위 국가 및 지자체 적응 계획; 경제적 다양성; 도시 개선 프로그램; 도시 수자원 관리 프로그램; 재해 계획 및 예방; 통합수자원관리; 통합연안지역관리; 생태계 기반 관리; 공동체 기반 적응
		교육적 대안: 인식 증진 및 교육 통합; 교육의 성 평등화; 서비스 확대; 토착, 전통 지자체 및 지역 지식 공유; 참여 활동 연구 및 사회적 교육; 지식 공유 및 교육의 장 제공 정보적 대안: 위해(hazard) 및 취약성 도식화; 조기경보 및 대응체계; 체계적 모니터링 및 원격 조정; 기후 서비스; 토착 지역의 기후 관측 자료 사용; 참여 시나리오 개발; 통합 평가 행동적 대안: 가계 측면에서의 대비 및 철수 계획; 이주; 토양 및 수자원 보전; 빗물 배수관 소거; 생계 수단 다양화; 작물 재배, 가축 사양 그리고 해양 생태계 관리의 변화; 사회적 네트워크 신뢰 제고
		현실적: 사회적 그리고 기술적 혁신, 행동 변화, 또는 결과의 상당한 변화를 야기시킬 수 있는 제도적 그리고 관리상의 변화 정치적: 정치적, 사회적, 문화적 그리고 생태학적 의사 결정과 활동은 기후변화에 대한 취약성 및 위험을 감소시키며 적응, 완화 및 지속 가능한 발전을 지원 개인적: 개인적 및 집단적 추측, 신념, 가치 및 세계관은 기후변화 대응에 영향을 미침

SPM 4.3 완화 방안

모든 주요 부문에서 완화 방안이 존재하며, 에너지 사용과 최종 사용자 부문에서의 온실가스 원단위를 감소시키고 에너지 공급의 탈탄소화를 유도하며 온실가스 순 배출량을 줄이고 토지 기반 부문의 탄소 흡수원을 늘리기 위한 대책들을 결합한 통합적인 접근법을 사용할 경우 보다 비용효과적이 될 수 있다. {4.3}

완화전략을 단일 기술이나 특정 부문에 초점을 두고 설계하는 것이 아니라, 체계적이면서도 모든 부문을 아울러 고려하는 방식으로 설계하여 한 부문에서의 완화 효과가 다른 부문으로 이어지도록 하는 것이 비용효과적이다 (중간 신뢰도). 완화 대책은 기타 사회 목표와 상호 관계하여 긍정적 효과(부수적 이익) 혹은 부정적 역효과를 발생시킬 수 있는데, 이러한 상호관계를 적절히 관리할 경우 기후변화 대응 기반을 강화할 수 있다. {4.3}

그림 SPM.14 에서는 베이스라인 시나리오(baseline)와 온실가스 농도를 낮은 수준(CO₂ 환산 약 450 ppm, 산업화 이전 수준대비 2°C 이내로 온난화를 제약할 가능성이 높음)으로 제한하는 완화 시나리오의 부문별/가스별 배출 범위를 정리하였다. 이러한 완화 목표를 달성하기 위한 핵심 조치에는 발전 부문의 탈탄소화(예: 탄소원단위 감소) (중간 증거, 높은 동의 수준)와 함께, 발전을 저해하지 않으면서도 에너지 수요를 줄이기 위한 에너지 효율 향상과 관련 행동 변화가 포함된다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 2100 년 온실가스 농도를 CO₂ 환산 450 ppm 수준으로 제한하는 시나리오의 경우, 전세계 에너지 공급 부문의 이산화탄소 배출량이 향후 10 년 내에 감소세로 전환되고, 2040~2070 에는 2010 년 수준 대비 90% 이상 감소하는 것으로 분석된다. 온실가스 농도가 낮은 대부분의 시나리오(온실가스 농도는 CO₂ 환산 450 ppm~500 ppm 산업화 이전 수준 대비 2°C 이내로 온난화를 제약할 가능성이 제약하지 못할 가능성보다 높음)의 경우, 저탄소 전력 공급 부문(재생가능에너지(RE), 원자력, CCS, BECCS 포함)의 비중이 현재의 약 30% 수준에서 2050 년까지 80% 이상 수준으로 확대되고, CCS 기술을 사용하지 않는 화석 연료 개발은 2100 년까지 거의 완전히 사라지게 된다. {4.3}

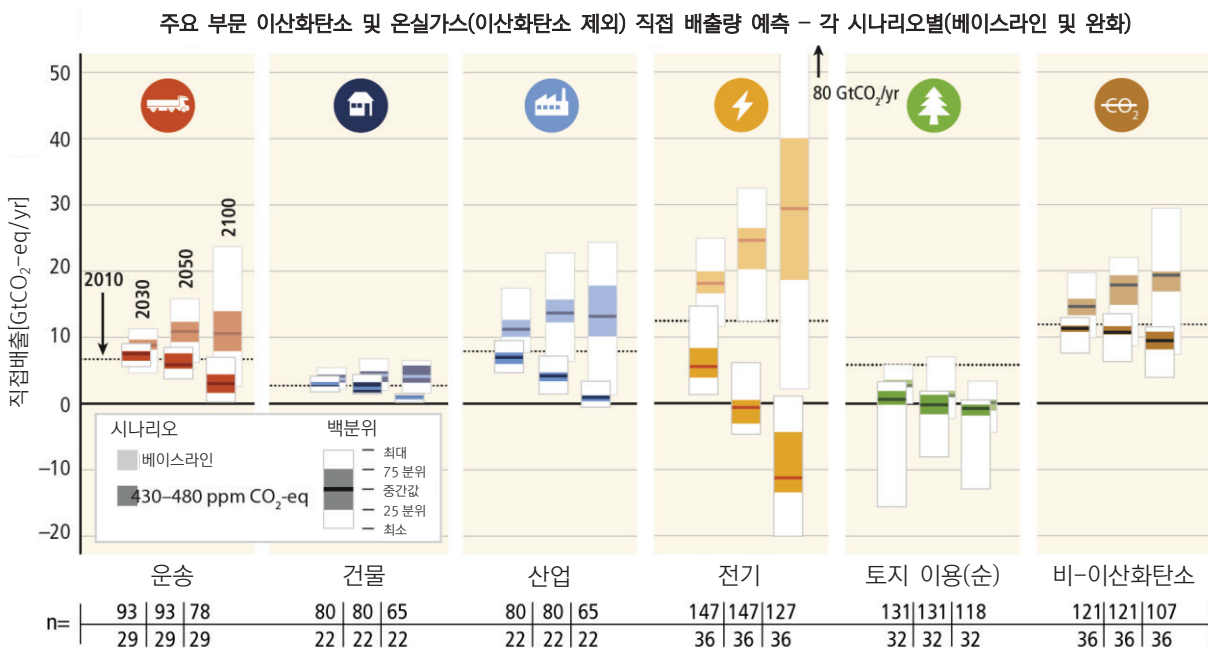


그림 SPM.14 | 부문별 이산화탄소(CO₂) 배출량과 베이스라인 시나리오(흐릿한 막대그래프) 및 완화 시나리오(컬러 막대그래프)에서의 총 비-이산화탄소 온실가스(교토 가스) 배출량. 완화 시나리오에서는 2100 년(산업화 이전 수준 대비 2°C 이내로 온난화를 제약할 가능성이 높음) CO₂ 환산 농도 누적량이 450(430-480) ppm 에 이를 것으로 예측한다. 최종 에너지 소비 부문에서 완화가 이루어질 경우, 에너지 공급 부문의 간접 배출량은 감소된다. 최종 에너지 소비 부문의 간접 배출은 공급 측면의 잠재 배출 감소량을 포함하고 있지 않는데, 이는 전력 수요가 감소하기 때문이다. 각 그래프 하단에 표시된 숫자는 사용된 시나리오의 수를 의미하는데(상단 열: 베이스라인 시나리오; 하단 열: 완화 시나리오) 이 숫자는 각 부문의 특징과 대상 기간이 상이하기 때문에 부문별, 기간별로 다양하게 나타난다. 완화 시나리오 배출 범위는 모든 완화 방안을 포함한다; CCS 기술을 사용하지 않는다면, 많은 예측 결과는 완화 목표(2100 년까지 대기 중의 이산화탄소 농도를 CO₂ 환산 450ppm 으로 감소)를 달성하지 못하는 것이 나타난다. 전력 부문의 음(-)의 수치는 BECCS 기술 사용으로 도출한다. '순' 농업, 산림 및 기타 토지 이용(AFOLU)은 신규조림, 재조림, 산림전용을 모두 포함한다. {4.3, 그림 4.1}

가까운 미래에 에너지 수요를 줄이는 것은 비용 효과적으로 완화전략을 적용하기 위해 매우 중요하다. 이는 또한 에너지 공급 부문의 원단위를 유연하게 낮추고, 공급 측면에서 발생하는 위험에 대비하며, 탄소를 집중적으로 배출하는 기반시설이 고착화되어 가는 현상을 예방함과 동시에 기타 중요한 부수적 이익을 가져온다. 산림 부문에서 가장 비용효과적인 완화 방안으로는 신규조림, 지속 가능한 산림 경영 및 산림전용의 방지 등이 있으나 각 지역의 특성에 따라 완화 방안이 크게 달라질 수 있다. 농업 부문에서 가장 비용 효과적인 완화 방안은 경작지 관리, 방목지 관리와 유기 토양 복원이다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {4.3, 그림 4.1, 4.2, 표 4.3}

행동 양식, 생활 방식 그리고 문화는 에너지 사용 및 이에 따른 온실가스 배출에 크게 영향을 미치며 일부 부문에서는 상당한 완화 잠재력을 지니는데, 특히 기술 및 구조상의 변화가 있을 경우 더욱 그러하다. (중간 증거, 중간 동의 수준). 이외에도, 소비 형태의 변화, 에너지 절약 제도 도입, 식이 습관 변화 및 음식물 쓰레기 저감을 통해 온실가스 배출량을 크게 줄일 수 있다. {4.1, 4.3}

SPM 4.4 적응 및 완화, 기술 그리고 재정에 대한 정책 접근법

적응 및 완화 대응의 효율성을 높이기 위해서는 세계, 지역, 국가 및 하위-국가 등 다양한 수준에 걸쳐 관련 정책 및 대책이 뒷받침되어야 한다. 기후변화 대응을 위한 재정뿐만 아니라 기술 개발, 확산 및 이전을 지원하는 모든 수준의 정책은 적응 및 완화를 직접적으로 추진하는 정책을 보완하고 그 효율성을 높일 수 있다.

완화의 효율성을 높이기 위해서는 국제적 협력이 필수적으로 뒷받침되어야 하며, 이를 통해 지역적인 부수적 이익 또한 가져올 수 있다. 기본적으로 적응은 지역이나 국가 수준에서 이행되지만, 국제적 협력을 포함한 모든 수준의 거버넌스에 걸친 조정을 통해 적응 효율을 높일 수 있다.: {3.1, 4.4.1}

- UN 기후변화협약(UNFCCC)은 기후변화 문제를 중점적으로 다루는 대표적인 다자간포럼으로서 전세계 거의 모든 국가가 참여하고 있다. 다양한 거버넌스 수준으로 조직된 기타 기구들 또한 여러 형태의 국제 기후변화 협력을 장려하고 있다. {4.4.1}
- 교토의정서(Kyoto Protocol)는 특히 참여, 이행, 유연적 체계 그리고 환경적인 효율성과 관련하여 UNFCCC 의 궁극적 목적을 성취하기 위한 방법을 제시한다 (중간 증거, 낮은 동의 수준). {4.4.1}
- 지역, 국가 그리고 하위 국가 수준의 정책들을 서로 연계함으로써 긍정적인 완화 효과를 발생시킬 수 있다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 정책 연계에 따른 긍정적인 효과로는 완화 비용 감소, 탄소 누출 저감 및 시장 유동성 증가 등이 있다. {4.4.1}
- 지금까지 적응 계획 및 이행을 뒷받침하는 국제적 협력에 대한 관심은 완화에 비해 상대적으로 낮았지만, 적응에 대한 관심이 점차 높아지고 있을 뿐만 아니라, 국가, 하위 국가 및 지역 수준에서의 적응 전략, 계획 및 행동을 지원하려는 노력이 증대되고 있다 (높은 신뢰도). {4.4.1}

제 4 차 평가보고서 이후, 국가 수준 및 하위-국가 수준에서 적응 및 완화 관련 전략과 계획을 수립하는 사례가 크게 증가했다. 특히 다양한 목표를 통합하고, 부수적 이익을 창출하며 부정적인 영향을 감소할 전략 및 계획을 수립하는데 초점이 맞춰지고 있다 (높은 신뢰도): {4.4.2.1, 4.4.2.2}

- 국가 중앙 정부는 적응 계획 및 이행에서 핵심적인 역할을 한다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 즉, 하나의 국가 정부는 전반적인 적응 활동을 조직하며, 기본적인 적응 체계를 마련하고, 이를 총괄 및 지원한다. 또한, 적응 이행 시 하위-국가 수준 정부(지자체 정부)와 민간 부문의 역할이 점차 중요해지고 있는데, 지역에 따라 어느 정도 차이는 있지만 정부와 민간 부문의 역할은 각기 다르다. 반면, 적응에서 정부와 민간이 지니는 공통적 역할은 지역 공동체, 주민 및 시민사회의 적응 능력을 확대시키고, 위험을 관리하며, 관련 자금을 조달하는 것이다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {4.4.2.1}

- 적응의 수준이 계획에서 이행 단계로 진화하기 위해서는 적응을 계획 및 의사 결정 과정에 통합시키는 제도적 접근이 선행되어야 한다 (*명확한 증거, 높은 동의 수준*). 여기서 제도적 접근의 예에는 경제 옵션(예: 보험, 민간협력), 법 및 규제(예: 토지제한법)와 국가 및 중앙 정부의 정책 및 프로그램(예: 경제적 다양성) 등 다양한 적응 관련 행동이 포함된다. {4.2, 4.4.2.1, 표 SPM.3}
- 원칙적으로 탄소배출권 거래제나 탄소세 등 탄소에 가격을 매기는 메커니즘들은 완화의 비용효율성을 높일 수 있지만, 그 효과는 국가 상황과 정책 설계에 따라 다양하게 나타난다. 탄소배출권 거래제의 경우, 배출권이 엄격하게 관리되지 못하는 사례가 목격되거나, 실질적인 온실가스 배출 제약이 증명되지 못하는 등 그 단기적 효과는 기대에 미치지 못하였다(*제한된 증거, 중간 동의 수준*). 일부 국가의 경우, 온실가스 감축을 목적으로 탄소세 정책을 기타 기술 및 정책과 함께 도입하였고, 이는 온실가스 배출과 GDP 간 존재하는 연결고리를 약화시키는 데 일조하였다 (*높은 신뢰도*). 또한 대부분의 국가에서 연료세는 완화 목적으로 설계된 제도가 아님에도 불구하고, 탄소세와 유사한 효과를 가져왔다 (*명확한 증거, 중간 동의 수준*). {4.4.2.2}
- 표준 및 인증 제도가 현재 폭넓게 사용되고 있으며, 이는 환경적인 측면에서 효과적이다 (*중간 증거, 중간 동의 수준*). 표준 및 인증 제도의 예로는 각각 에너지효율기준(EES)과 라벨링제도(labeling programmes)가 있는데, 라벨링 제도는 소비자가 구매결정 시 좀 더 많은 정보를 얻을 수 있도록 돕는다. {4.4.2.2}
- 완화 정책은 경제 전반에 걸쳐 이행되기 보다, 특정 부문을 타깃으로 하여 이행되어 왔다 (*중간 증거, 높은 동의 수준*). 특정 부문을 타깃으로 한 완화 정책을 실행함으로써 해당 부문에서 두드러지게 발생하는 문제나 시장 실패를 좀 더 적절히 해결할 수 있으며, 다른 정책들과 상호 보완적으로 조합할 수 있다. 완화정책을 경제 전반에 걸쳐 이행하는 것이 특정 부문을 타깃으로 이행하는 것보다 이론상으로는 효과적이지만, 행정이나 정치적 문제가 발생할 경우 해당 완화 정책을 실질적으로 시행하기 어렵다. 완화 정책 간의 상호작용을 피하여 시너지 효과를 기대할 수도 있지만 중복 효과가 발생할 수도 있다. {4.4.2.2}
- 경제적 수단은 보조금 등의 형태로 모든 부문에서 사용되고 있는데, 세금 환급 또는 면제, 교부금, 대출 그리고 신용 한도(credit line)와 같이 정책적으로 다양하게 설계될 수 있다. 최근 몇 년 사이 보조금을 포함하여 다양한 신재생에너지 정책이 증가함에 따라 신재생에너지 성장에도 가속이 붙게 되었다 (다양한 요인들이 동기 부여). 한편, 사회 및 경제적 맥락에 따라 정도는 다르지만, 온실가스 관련 활동에 대한 보조금이 줄어 배출량 저감 목표를 달성하는 데에도 도움이 되고 있다 (*높은 신뢰도*). {4.4.2.2}

완화에 따른 부수적 이익 및 부정적 역효과는 인류 보건, 식량 안보, 생물다양성, 지역 환경 수준, 에너지 접근성, 생계 및 공정한 지속 가능한 발전과 같은 기타 사회적 목표의 달성에 영향을 미칠 수 있다. 완화 대책의 부수적 이익 잠재력은 부정적인 역효과의 잠재력보다 크지만, 이러한 경향이 모든 에너지 공급 부문 및 AFOLU(농업, 산림 및 기타 토지 이용) 부문에서 동일하게 나타나는 것은 아니다. 예를 들어, 몇몇 완화 정책은 일부 에너지 서비스의 비용을 증가시키기도 하고, 지역 주민에 에너지 서비스를 확대 및 제공하는 지역 사회의 역량을 저하시키기도 한다 (*낮은 신뢰도*). 이와 같은 에너지 접근 관련 역효과는 소득세 환급이나 수익 이전과 같은 보조 정책으로 해결할 수 있다 (*중간 신뢰도*). 역효과의 실질적 발생 여부 및 그 정도는 각 지역 및 사례에 따라 다르며, 나아가 완화 정책의 이행 수준, 규모 및 속도에 따라라도 달라진다. 완화 정책의 부수적 이익과 역효과를 정확하게 정량화한 사례는 아직까지 없다. {4.3, 4.4.2.2, 박스 3.4}

기술 정책(개발, 보급 그리고 이전)은 국제적인 수준에서 하위 국가 수준까지 모든 수준에 걸쳐 기타 완화 정책들을 보완한다. 적응은 기술 보급과 이전 및 경영 사례를 바탕으로 이뤄진다 (*높은 신뢰도*). 연구 개발 분야에서 시장 실패가 일어날 경우, 이를 정책적 차원에서 해결할 수 있지만 효과적인 기술 적용을 위해서는 해당 지역의 특성에 맞게 특정 기술을 적절히 사용할 수 있는 역량이 필요하다. {4.4.3}

배출량 저감의 폭을 넓히기 위해서는 근본적으로 투자 형태를 변화시켜야 한다 (*높은 신뢰도*). 완화 시나리오 하에서(오버슈트가 없는 경우 2100년까지 대기 중 이산화탄소의 농도가 약 CO₂ 환산 430-530 ppm 수준에 머무르는 상태¹⁹), 2030년까지 주요 부문(운송, 산업 그리고 건물)의 저탄소 전력공급과 에너지효율에 대한 투자

¹⁹ 두 가지 완화 시나리오에 기초하고 있으며, 전자의 경우 2100년까지 대기 중 이산화탄소 농도 수준이 CO₂ 환산 430-480 ppm 에 머무르는 시나리오(온도 상승이 산업화 이전 수준보다 2°C 상회할 가능성이 높은 시나리오)이고, 후자의 경우 2100년까지 대기 중 이산화탄소 농도 수준이 CO₂ 환산 480-530 ppm 에 머무르는 시나리오이다 (온도 상승이 산업화 이전 수준보다 2°C 상회할 가능성이 그렇지 않을 가능성 보다 높은 시나리오, 오버슈트 제외).

금액은 연간 수천억 달러에 이를 것으로 예상된다. 적합한 투자 환경이 마련될 경우 민간 부문은 공공 부문과 함께 적응 및 완화 재원을 마련하는데 중요한 역할을 할 수 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {4.4.4}

선진국과 개발도상국 모두에서 적응을 위한 자원 가용성은 완화 부문보다 상대적으로 둔하게 나타나고 있다. 관련 근거가 제한적이기는 하지만, 전세계적으로 적응에 필요한 재정 규모와 적응에 쓸 수 있는 재정 규모 간 격차가 벌어지고 있다 (중간 신뢰도). 따라서, 적응에 드는 비용, 재정 및 투자를 정확하게 측정하는 것이 필요하다. 또한, 재해위험 관리를 위한 재정과 기후 적응을 위한 재정 간 시너지 효과가 충분히 실현되지 못하고 있다 (높은 신뢰도). {4.4.4}

SPM 4.5 지속 가능한 발전과의 트레이드오프, 시너지 및 상호작용

기후변화로 인해 지속 가능한 발전이 위협받을 수 있지만, 통합적 대응을 통해 완화, 적응 및 기타 사회적 목표를 연계할 수 있는 기회가 다수 존재한다 (높은 신뢰도). 이러한 통합 대응의 성공 여부는 관련 도구, 거버넌스 구조의 적합성 및 대응 역량 강화 정도에 따라 크게 달라진다 (중간 신뢰도). {3.5, 4.5}

기후변화는 사회 및 자연계에 대한 기타 위협들을 더욱 악화시키며 특히 빈곤 계층에 추가적인 부담을 가한다 (높은 신뢰도). 지속 가능한 발전을 위한 기후정책을 마련하기 위해서는 적응 및 완화 모두를 고려해야 한다 (높은 신뢰도). 전세계적인 완화 행동을 미룰 경우, 미래 기후회복경로 및 적응을 위한 선택의 폭은 좁아질 수 있다. 또한, 적응과 완화가 상호적으로 이끄는 긍정적인 시너지를 이용할 수 있는 기회는 시간이 지남에 따라 감소하는 데 이는 특히 적응 한계가 초과될 경우에 그러하다. 기후변화 완화 및 적응 노력이 증대될 수록 인간 건강, 수자원, 토지 이용 및 생물다양성 간 광범위하게 존재하는 연결관계와 상호작용을 이해하기가 복잡해진다. (중간 증거, 높은 동의 수준). {3.1, 3.5, 4.5}

지속 가능한 발전을 위한 기후회복 경로를 향해 나아가기 위해서는 이에 걸맞은 전략 및 행동을 마련하고 추진해야 하며, 이와 동시에 생계, 사회 및 경제적 복지의 개선과 효과적인 환경 관리가 뒷받침되어야 한다. 일부 사례에서는, 경제 다원화(economic diversification)가 중요한 전략적 요소가 될 수 있다. 통합적 접근의 효율성을 높이기 위해서는 관련 도구를 마련하고, 거버넌스 구조를 적절하게 조정해야 하며 충분한 제도 및 인적 역량을 확보해야 한다 (중간 신뢰도). 통합적 접근은 특히 에너지 계획 및 이행, 수자원, 식량, 에너지와 생물학적 탄소 격리 간 상호작용 및 도시계획과 관련되는데, 여기서 도시계획을 통해 기후변화에 대한 회복력을 높이고 배출량을 감축시키며 보다 지속 가능한 발전을 추구할 수 있는 다양한 기회를 얻을 수 있다 (중간 신뢰도). {3.5, 4.4, 4.5}

기후변화 2014 종합보고서

서론

서론

IPCC 제 5 차 평가보고서의 종합보고서(SYR)는 기후변화 관련 과학적 지식의 전반적 현황을 제공하며, 특히 2007 년 IPCC 제 4 차 평가보고서가 발간된 후 제시된 새로운 결과를 강조한다. 종합보고서에서는 제 1 실무그룹 (과학적 근거), 제 2 실무그룹 (영향, 적응 및 취약성) 및 제 3 실무그룹 (기후변화 완화)과 두 개의 추가적인 IPCC 보고서(재생에너지원과 기후변화 완화에 관한 특별보고서 와 기후변화적응 개선을 위한 극한 현상 및 재해위험관리에 대한 특별보고서)를 기반으로 한 IPCC 제 5 차 평가보고서의 주요 연구 결과를 통합하였다.

제 5 차 평가보고서의 종합보고서는 4 개의 주제로 나뉜다. 주제 1(관측된 변화와 그 원인)에서는 기후변화와 그 영향 및 인간이 기후변화에 기여한 바에 대하여 관측된 증거를 중점적으로 다룬다. 주제 2(미래 기후변화와 위험, 영향)는 미래 기후변화를 전망하고 그

결과를 바탕으로 예측된 영향과 위험을 평가한다. 주제 3(적응, 완화 및 지속 가능한 발전에 대한 미래 경로)에서는 기후변화의 위험을 감소시키고 관리하기 위한 상호보완적 전략으로서의 적응 및 완화를 설명한다. 주제 4(적응 및 완화)에서는 다양한 적응 및 완화 방안, 그리고 정책적 접근법을 제시하며, 이와 더불어 완화와 적응을 기타 사회적 목표와 연결하기 위한 통합적 대응을 설명한다.

본 보고서에서는 위험 및 불확실성의 이해 및 관리를 중요하게 다루며, 이에 대한 내용은 박스 1(위험 및 불확실한 미래 관리) 및 박스 2(평가 결과의 확실성 정도에 관한 이해)를 참조한다.

본 보고서는 UN 기후변화협약(UNFCCC) 제 2 조의 내용을 포함하고 있다.

박스 서론.1 | 불확실한 미래의 위험 및 관리

기후변화로 인해 인류, 사회, 경제 부문뿐만 아니라 생태계는 위험에 노출된다. 가치의 다양성을 인식할 때, 가치의 여러 측면들 중 어떠한 것이 위험에 처해있고 그 결과는 확실하지 않을 때 나타나는 잠재적 결과가 위험이다. *{WGII SPM 배경 박스 SPM.2, WGIII 2.1, SYR 용어집}*

기후변화의 영향으로 인한 위험은 위해(hazard)(기후변화 관련 현상이나 경향에 의해 유발됨), 취약성(위험에 대한 민감성), 노출(위험에 처한 사람, 자산, 생태계) 간의 상호 작용에서 발생한다. 위해(hazard)에는 강력한 폭풍과 같은 단기적 현상에서부터 수십 년에 걸친 가뭄이나 수세기에 걸친 해수면 상승처럼 장기적 경향까지의 범위에 속하는 과정들을 포함된다. 취약성과 노출 모두 개발 경로에 따라 증가하거나 감소하며 다양한 사회 및 경제적 과정에 민감하게 반응한다. 기후변화 완화 및 적응 정책으로 인해 부수적 이익뿐만 아니라 위험 또한 발생한다. (1.5)

‘위해한(hazardous) 현상이나 경향이 발생할 확률’을 ‘이러한 현상이 발생하여 초래될 결과의 규모’와 곱하여 위험을 표현하기도 한다. 즉, 높은 위험은 높은 확률의 결과에서뿐만 아니라, 매우 심각한 결과를 초래할 낮은 확률의 결과에서도 발생할 수 있다. 따라서 확률이 낮은 결과부터 가능성이 매우 높은 결과까지 가능한 모든 결과의 범위를 평가하는 것이 중요하다. 예를 들어, 전지구 평균 해수면이 이번 세기에 1m 이상 상승할 가능성은 낮지만, 1m 이상으로 해수면이 상승하여 초래할 결과는 매우 심각할 수도 있기 때문에 이러한 가능성이 위험 평가에서 중요한 부분을 차지하는 것이다. 같은 맥락에서, 신뢰도는 낮지만 심각한 영향을 초래할 수 있는 결과는 정책결정 시 중요하게 고려해야 한다; 예를 들어, 현재 우리가 기후변화 관련 결과를 완벽하게 전망할 수는 없지만, 그럼에도 불구하고 아마존 산림의 반응이 실질적으로 기후변화를 증폭시킬 가능성은 고려해봐야 한다. (2.4, 표 2.3) *{WGI 표 13.5, WGII SPM A-3, 4.4, 박스 4-3, WG III 박스 3-9, SYR 용어집}*

위험은 정성적 또는 정량적으로 이해할 수 있으며 종종 반복되는 광범위한 공식(official) 또는 비공식적인 도구 및 방법을 사용하여 저감 및 관리할 수 있다. 유용한 위험 관리 접근법에서 위험 수준의 정확한 정량화가 반드시 이루어져야 할 필요는 없다. 심리적, 윤리적, 문화적 또는 사회적 요인에 기반한 다양한 질적 가치, 목표, 우선 순위를 고려한 접근 방식은 위험 관리의 효율성을 높일 수 있다. *{WGII 1.1.2, 2.4, 2.5, 19.3, WGIII 2.4, 2.5, 3.4}*

박스 서론.2 | 평가 결과의 확실성의 정도에 대한 이해

본 보고서를 포함하여 지금까지 편찬된 IPCC 보고서들의 특징은 결과의 기반이 되는 과학적 정보의 불확실성 정도를 밝힌다는 것이다. 불확실성은 다양한 요인에 의해 나타날 수 있다. 과거와 현재의 불확실성은 사용 가능한 측정법(특히 발생 빈도가 극히 적은 현상에 대한 것)이 부족하고 물리, 생물 및 인간 시스템을 가로지르는 다양한 요소로 구성된 복잡한 과정의 원인을 평가하는 데 어려움이 있기 때문에 결과적으로 발생한다. 미래의 경우, 기후변화는 다양한 결과를 초래하는데, 그 가능성은 변할 수 있다. 기후변화 관련 다수의 과정과 메커니즘들 중 충분히 이해가 된 것도 있지만 그렇지 못한 것도 있다. 시간이 지남에 따라 다수의 기후 및 비-기후적 영향에 변화가 나타날 뿐만 아니라 이들 사이 복잡한 상호작용이 일어나 불확실성이 계속되고 결국 예상을 벗어날 가능성으로 이어진다. 과거의 IPCC 보고서들에 비해 제 5 차 평가보고서에서는 상당히 광범위한 과학, 기술, 사회 경제적 분야의 지식 기반을 평가한다. {WGI 1.4, WGII SPM A-3, 1.1.2, WGIII 2.3}

불확실성^a에 대한 IPCC 지침 노트(The IPCC Guidance Note on Uncertainty)는 평가 과정의 결과가 지니는 확실성의 정도를 평가 및 이해하기 위한 보편적인 방법을 정의하고 있다. 각 연구 결과의 기반은 해당 결과가 근거하는 증거 및 동의 수준의 평가가 된다. 많은 경우, 증거와 동의 수준을 결합하는 것이 신뢰도(특히, 강한 동의 수준과 다수의 개별적인 증거를 가지고 있는 결과)를 결정하는데 도움이 될 수 있다. 각 평가의 중요한 결과에 대한 확실성의 정도는 증거의 종류, 양, 품질 및 일관성(예; 자료, 물리적인 이해, 이론, 모델, 전문가의 판단)과 동의 수준에 따라 달라진다. 증거에 관한 용어 요약은 제한된, 중간, 또는 명확한으로 표현된다. 동의 수준은 낮음, 중간, 높음으로 표현한다. 신뢰도의 수준은 다섯 단계: 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음 매우 높음으로 표현하고 *중간 신뢰도*와 같이 이탤릭체로 표기한다. 과거에 일어났거나 미래에 일어날 일부 잘 정의된 결과의 가능성, 혹은 확률은 다음의 용어들을 통해 정량적으로 표현될 수 있다: 사실상 확실한, 99-100% 확률; 가능성이 대단히 높은, 95-100%; 가능성이 매우 높은, 90-100%; 가능성이 높은, 66-100%; 발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높은, >50-100 %; 가능성이 있는 33-66%, 가능성이 낮은 0-33%, 가능성이 매우 낮은 0-10%, 가능성이 대단히 낮은, 0-5 %; 가능성이 매우 희박한 0-1%. 평가된 가능성은 이탤릭체로 표기된다 (예: *가능성이 매우 높은*). 별도로 언급하지 않는 한, 가능성 용어가 사용된 결과는 *높거나 매우 높은 신뢰도*와 연결되어 있다. 적절하다고 판단되는 경우에는 평가결과에 불확실성 등급을 부여하지 않고 사실의 서술만을 작성하였다. {WGI SPM B, WGII 배경 박스 SPM.3, WG III 2.1}

^a 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. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 4 pp.

1

관측된 변화와 그 원인

주제 1: 관측된 변화와 그 원인

인간은 기후 시스템에 명백한 영향을 미치고 있다. 최근 배출된 인위적 온실가스의 양은 관측 이래 최고 수준이며, 기후변화는 최근 인간계와 자연계에 광범위한 영향을 주고 있다.

주제 1에서는 변화하는 기후 및 그 영향과 기후변화에 인간이 기여한 바에 대해 관측된 증거를 중점적으로 다룬다. 기후에서 관측된 변화에 대해 논의하며 1.1 절에서는 기후(강제력)에 대한 외부 영향에 대해 설명하고, 이들 강제력 중 인위적 원인에 의해 발생한 강제력과 경제 부문 및 온실가스 배출에 의해 발생한 강제력을 구분한다 (1.2). 1.3 절에서는 관측된 기후변화의 원인을 규명하고, 인간 및 자연계에 대한 영향이 기후변화에 의한 것인지 밝히며, 나아가 이러한 영향에서 어느 정도까지가 기후변화에 의한 것인지를 알아본다. 변화하는 극한 현상의 발생 확률과 그 원인은 1.4 절에서 설명하고, 1.5에서는 위험성 맥락에서 노출과 취약성에 대해 설명하며, 1.6에서는 적응과 완화의 경험에 대해 다룬다.

1.1 기후 시스템에서 관측된 변화

기후 시스템이 온난해지고 있다는 것은 자명한 사실이며, 1950년대 이후 관측된 변화의 대부분은 수십 년에서 수천 년 내 전혀 없던 것이다. 대기와 해양의 온도 및 해수면은 상승하고 있는 반면, 눈과 빙하의 양은 감소하고 있다.

1.1.1 대기

10년 단위로 보았을 때, 지구 표면은 지난 30년 동안 연속으로 1850년 이후의 그 어떤 10년보다 따뜻했다. 과거 1400년 간의 지구 표면 온도에 대한 평가가 가능한 북반구에서 1983-2012년까지의 기간은 지난 800년 기간 중 따뜻한 30년 기간일 가능성이 매우 높았고 (높은 신뢰도), 지난 1400년 중 가장 따뜻한 30년 기간일 가능성이 높았다 (중간 신뢰도). {WGI SPM B.1, 2.4.3, 5.3.5}

선형 경향(linear trend)을 사용하여 계산한 전지구적 평균 육지-해양 표면 온도 자료를 바탕으로, 1880-2012년까지의 기간(독립적으로 생성된 다수의 데이터 세트 존재) 동안 0.85 [0.65-1.06]°C²⁰의 온난화가 나타났음을 알 수 있다. 사용 가능한 단일 장기 데이터 세트(simple longest dataset)를 바탕으로 할 때, 1850-1900년의 평균 기온 대비 2003-2012년의 평균 기온은 총 0.78 [0.72-0.85]°C 상승하였다. 지역적 경향이 충분히 계산되었던 가장 긴 기간(1901-2012년)에는 거의 지구 전체가 표면 온난화를 경험했다 (그림 1.1). {WGI SPM B.1, 2.4.3}

수십 년 동안 이어진 강한 온난화와 함께, 전 지구 평균 표면 온도의 10년 및 매년간 변동성 또한 상당히 높게 나타난다 (그림 1.1). 이러한 자연적 변동성 때문에 단기간의 자료에 근거한 경향은 시작과 종료 일자에 매우 민감하게 반응하며, 일반적으로 장기적인 기후 동향을 반영할 수 없다. 일례로, 강력한 엘니뇨를

동반한 지난 15년의 온난화 속도(1998-2012년; 10년당 0.05 [-0.05-0.15]°C)는 1951년부터 산출한 온난화 속도보다 느리다 (1951-2012; 10년당 0.12 [0.08-0.14]°C; 박스 1.1 참조). {WGI SPM B.1, 2.4.3}

측정에 대한 다수의 독립적 분석을 바탕으로 볼 때, 전지구적으로 대류권이 따뜻해졌고, 성층권 하부는 20세기 중반 이후 냉각된 것이 사실상 확실하다. 북반구 중위도 대류권에서의 변화율과 그 수직 구조의 신뢰도는 중간이다. {WGI SPM B.1, 2.4.4}

1901년 이후 전지구 육지 지역의 평균 강수량 변화에 대한 신뢰도는 1951년 이전에 낮고, 이후에 중간이다. 북반구 중위도 육지 지역에서 평균 강수량은 1901년 이후 증가했을 가능성이 높다 (1951년 전 중간 신뢰도 및 이후 높은 신뢰도). 기타 위도의 경우, 지역 평균 강수량 증가 혹은 감소의 장기적 경향은 낮은 신뢰도(그림 1.1)를 보인다. {WGI SPM B.1, 그림 SPM.2, 2.5.1}

1.1.2 해양

해양 온난화는 기후 시스템에 저장된 에너지 증가의 대부분을 차지 하는데, 1971-2010년의 축적된 에너지의 90% 이상을 차지한다. 반면 대기에 저장된 에너지는 약 1%에 불과하다 (높은 신뢰도) (그림 1.2). 전지구 규모에서 해양 온난화는 표면 근처에서 가장 높고 해양의 상층 75m에서는 1971-2010년에 10년당 0.11[0.09-0.13]°C 상승했다. 상층 해양(0-700m)이 1971-2010년에 온난해진 것은 사실상 확실하고, 1870년대와 1971년 동안 온난해졌을 가능성은 높다. 수심 700-2000m의 해양은 1957-2009년에 온난해졌고, 3000m부터 해저까지는 1992-2005년에 온난해졌을 가능성이 높다 (그림 1.2). {WGI SPM B.2, 3.2, 박스 3.1}

²⁰ 달리 명시되지 않는 한 대괄호 안의 범위는 90%의 불확실성 구간을 나타낸다. 90% 불확실성 구간은 추정되는 값을 다룰 90% 가능성을 가질 것으로 기대된다. 불확실성 구간은 반드시 상응하는 최선의 추정치에 대해 대칭이 되는 것은 아니다. 그 가치의 최선의 추정치는 가능한 경우 제공된다.

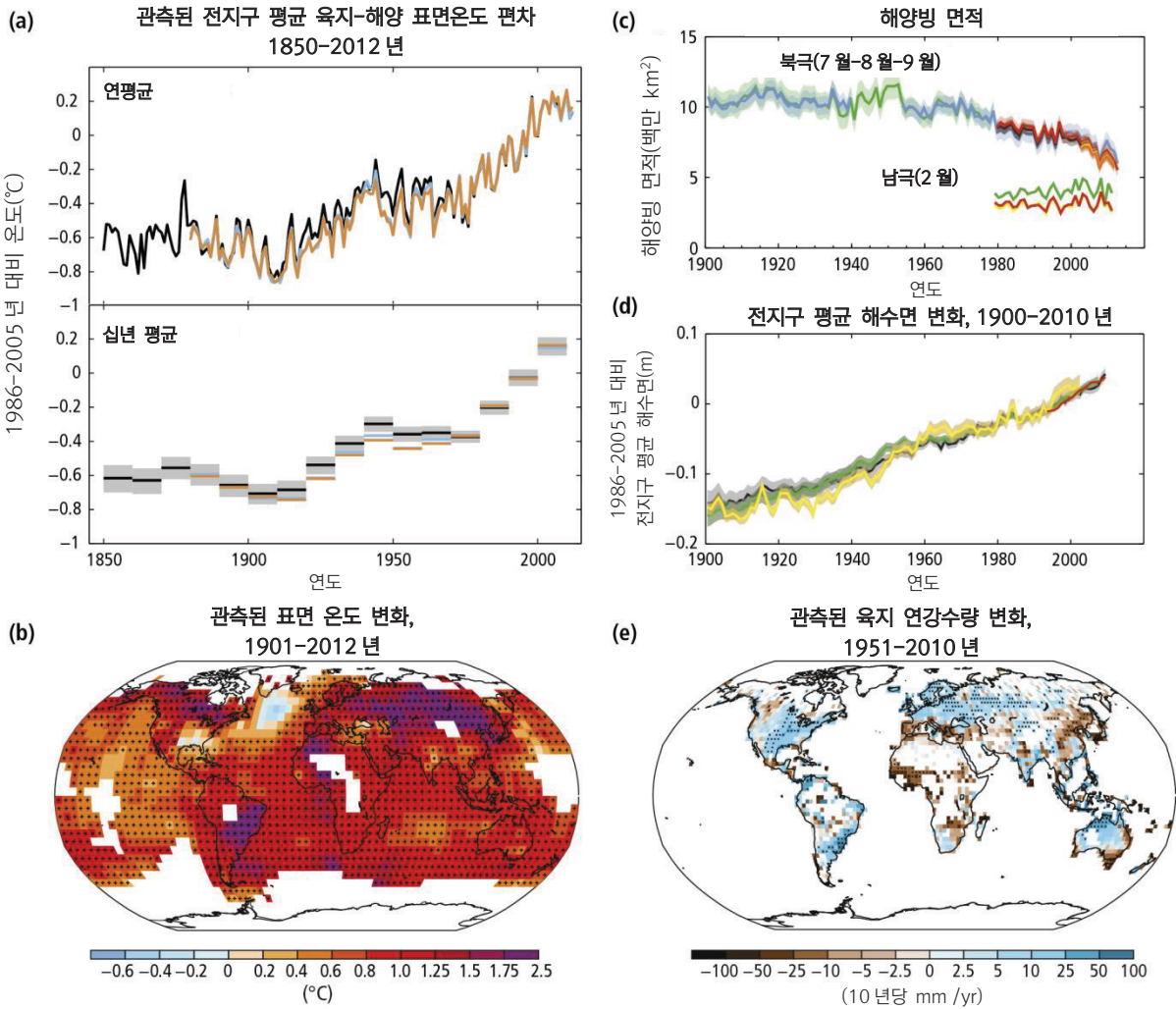


그림 1.1 | 변화하는 전지구 기후 시스템에서 관측된 다양한 지표. (a) 전지구적으로 관측된 평균 육지-해양 표면 온도 편차(1986-2005 년 평균 대비, 연간 및 10 년 평균)를 하나의 데이터 세트에 포함된 십년 평균 불확실성과 함께(회색 음영) 나타낸다. {WGI 그림 SPM.1, 그림 2.20; 데이터 세트 및 추가 기술 정보의 목록은 WGI 기술 요약 보충 자료 WGI TS.SM.1.1 에 제시하였다} (b)는 하나의 데이터 세트에서 선형 회귀에 의해 결정된 온도 경향으로 도출한 1901-2012 년의 표면 온도 변화 관측 지도(패널 a 의 오렌지색 선)이다. 경향은 확실한 추정을 할 수 있을 만큼 데이터가 충분한 범위에서 계산되었고(즉, 해당기간의 처음과 마지막 10 %의 기간에 70 % 이상 완성된 기록과 20 % 이상의 데이터 가용성이 있는 격자 상자에 대해서 계산) 기타 영역은 흰색으로 표시하였다. 10 % 수준에서 중요한 경향이 있는 격자 상자는 + 기호로 표시된다. {WGI 그림 SPM.1, 그림 2.21, 그림 TS.2; 데이터 세트 및 추가 기술 정보의 목록은 WGI 기술 요약 보충 자료 WGI TS.SM.1.2 에 제시되어 있다} (c) 북극(7 월부터 9 월까지 평균)과 남극(2 월)의 해양빙 면적. {WGI 그림 SPM.3, 그림 4.3, 그림 4.SM.2; 데이터 세트 및 추가 기술 정보의 목록은 WGI 기술 요약 보충 자료 WGI TS.SM.3.2 에 제시되어있다} (d) 가장 긴 실행 기간 데이터 세트의 1986-2005 년 평균 대비 전지구적 평균 해수면. 위성 고도측량 데이터 생산의 첫 해인 1993 년 값과 같은 값을 갖기 위해 보정된 모든 데이터 세트와 함께 나타냈다. 전체 시계열 (선 각각의 색상은 각기 다른 데이터 세트를 나타냄) 연간 값을 표시하고, 평가된 곳의 불확실성은 색 음영으로 표시된다. {WGI 그림 SPM.3, 그림 3.13; 데이터 세트 및 추가 기술 정보의 목록은 WGI 기술 요약 보충 자료 WGI TS.SM.3.4 에 제시되어있다} (e) 1951-2010 년의 강수 변화 관측 지도; 패널 b 와 동일한 기준을 사용하여 계산한 연 누적의 경향. {WGI 그림 SPM.2, TS TFE.1, 그림 2, 그림 2.29. 데이터 세트 및 추가 기술 정보의 목록은 WGI 기술 요약 보충 자료 WGI TS.SM.2.1 에 제시되어 있다}

1950 년대 이후, 증발이 지배적이고 표면 염도가 높은 지역은 더 염도가 높아졌고, 강수가 지배적이고 표면 염도가 낮은 지역은 더 담수화되었을 가능성은 매우 높다. 이처럼 해양 염분에서 지역적인 경향이 나타난 것은, 전 해양에 걸쳐 증발 및 강수에 변화가 나타나고 있다는 간접적 증거로 볼 수 있다 (중간 신뢰도). 대서양 자오면순환 (AMOC)의 장기 경향과 관련하여 관측된 증거는 없다. {WGI SPM B.2, 2.5, 3.3, 3.4.3, 3.5, 3.6.3}

산업화 시대가 시작된 이래, 해양은 이산화탄소를

흡수하여 해양 산성화를 초래하였다; 해양 표층수의 pH 는 0.1 감소했는데, 이는 26%의 산도(수소 이온 농도로 측정)에 상응하는 수준이다(높은 신뢰도). 온난화와 평행하게, 1960 년대 이후 많은 해양 지역의 외해 수온약층(open ocean thermocline)과 연안수에서 산소 농도가 감소하였으며(중간 신뢰도), 지난 수십 년간 열대의 산소 최소 영역이 확장되었을 가능성이 있다. {WGI SPM B.5, TS2.8.5, 3.8.1, 3.8.2, 3.8.3, 3.8.5, 그림 3.20}

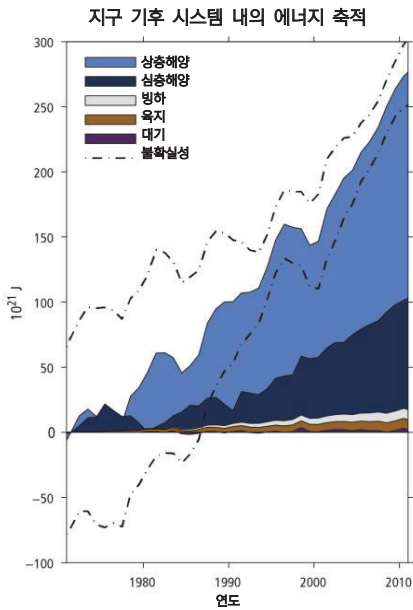


그림 1.2 | 지구 기후 시스템 내의 에너지 축적. 추정치는 10^{21} J 에 있고, 별도로 언급되지 않는 한, 1971 년과 1971-2010 년과 대비하여 주어진다. 포함된 구성요소는 상층 해양(700m 이상), 심층 해양(700m 이하; 1992 년부터 시작된 2000m 이하 추정치 포함), 해양빙 녹음 융해(빙하와 빙설에 있어서 그린란드와 남극 빙상은 1992 부터 추정, 북극 해양빙은 1979-2008 년에 시작 추정), 대륙(육지) 온난화, 대기 온난화 (1979 년부터 추정) 이다. 불확실성은 90 % 신뢰도 구간에서 다섯 구성요소로부터 예러로 산출된다. {WGI 박스 3.1, 그림 1}

1.1.3 빙권

지난 20 년 동안, 그린란드와 남극 빙상의 질량은 감소했다 (높은 신뢰도). 빙하는 전 세계적으로 계속해서 줄어들었다 (높은 신뢰도). 북반구 봄 적설 면적의 규모는 지속적으로 감소했다 (높은 신뢰도). 남극 해양빙의 경우 전체 면적이 증가하였을 매우 높은 가능성이 있지만 남극 해양빙의 경향은 지역별로 뚜렷한 차이를 보인다 (높은 신뢰도). {WGI SPM B.3, 4.2-4.7}

20 세기 전반에 걸쳐 빙하의 질량이 감소하였는데, 이는 해수면 상승에 기여했다. 그린란드 빙상에서 얼음 질량 손실률은 1992-2011 년에 상당히 증가했을 가능성이 매우 높다 (1992-2011 년보다 2002-2011 년의 질량 손실이 더 큼). 주로 북부 남극 반도와 남극 서쪽 아문센(Amundsen) 바다에서 빙상의 손실이 나타나며, 그 손실률 또한 2002-2011 년에 상대적으로 높을 가능성이 높다. {WGI SPM B.3, SPM B.4, 4.3.3, 4.4.2, 4.4.3}

북극 해양빙의 연평균 면적은 위성 관측이 시작된 1979 년에서 2012 년 사이 감소했다. 감소율은 10 년당 3.5-4.1% 이었을 가능성이 매우 높다. 북극 해양빙 면적은 1979 년 이후 매 계절과 모든 연속적인 10 년 간 감소했으며, 특히 여름철에 가장 빠른

10 년당 평균 면적의 감소를 보였다 (높은 신뢰도). 여름 해양빙 최소면적의 경우, 10 년당 9.4-13.6 %의 범위(10 년당 73-107 만 km^2 의 범위)로 감소했을 가능성은 매우 높다 (그림 1.1 참고). 지역에 따라 뚜렷한 차이가 있지만, 연간 평균 남극 해양빙 면적은 1979-2012 년에 10 년당 1.2-1.8%의 범위에서(10 년당 13-20 만 km^2 의 범위) 증가했을 가능성이 매우 높다. 그러나 남극의 경우, 해양빙 면적이 증가한 지역이 있는 반면 감소한 지역도 있어 지역적 차이가 크다는 데에 신뢰도는 높다. {WGI SPM B.5, 4.2.2, 4.2.3}

북반구 적설 면적은 20 세기 중반 이후 1967-2012 년의 3 월과 4 월에 10 년당 1.6[0.8-2.4]%, 6 월에 10 년당 11.7%로 감소했다는 것의 신뢰도는 매우 높다. 영구동토층의 두께와 면적은 일부 지역에서의 두께와 면적의 감소와 함께, 1980 년대 초반 이후 북반구 대부분의 지역에서 상승하고 있다는 것의 신뢰도는 높다. 표면 온도가 상승하고 적설량에서 변화가 나타남에 따라, 영구동토층의 온도 또한 상승하였다. {WGI SPM B.3, 4.5, 4.7.2}

1.1.4 해수면

1901-2010 년 기간 동안 전지구 평균 해수면은 0.19 [0.17-0.21]m 상승했다 (그림 1.1). 19 세기 중반 이후의 해수면 상승률은 19 세기 이전 2 천년 동안의 평균 상승률보다 높아지고 있다 (높은 신뢰도). {WGI SPM B.4, 3.7.2, 5.6.3, 13.2}

전지구 평균 해수면 상승률은 1901-2010 년에 1.7 [1.5-1.9]mm/yr, 1993-2010 년에 3.2 [2.8-3.6]mm/yr 였을 가능성이 매우 높다. 조위계와 위성 고도계 데이터는 후자의 기간 동안 더 높은 해수면 상승률을 예측하였다. 1920-1950 년에 위와 유사하게 높은 상승률이 나타났을 가능성이 높다. {WGI SPM B.4, 3.7, 13.2}

1970 년대 초반 이후 온난화로 인한 빙하 질량 손실과 해양의 열팽창은 관측된 전지구 평균 해수면 상승의 약 75%를 설명한다 (높은 신뢰도). 1993-2010 년에, 전지구 평균 해수면 상승은 온난화로 인한 빙하, 그린란드 빙상, 남극 빙상, 육지 물 저장소에서의 변화와 해양 열팽창으로부터 관측된 기여의 합과 일관성이 있다는 데의 신뢰도는 높다. {WGI SPM B.4, 13.3.6}

해양 순환의 변동성을 고려할 때, 넓은 지역에서의 해수면 상승률은 몇십 년 동안의 전지구 평균 해수면 상승보다 몇 배 크거나 작을 수 있다. 1993 년 이후 서태평양의 지역적 해수면 상승률은 지구 평균보다

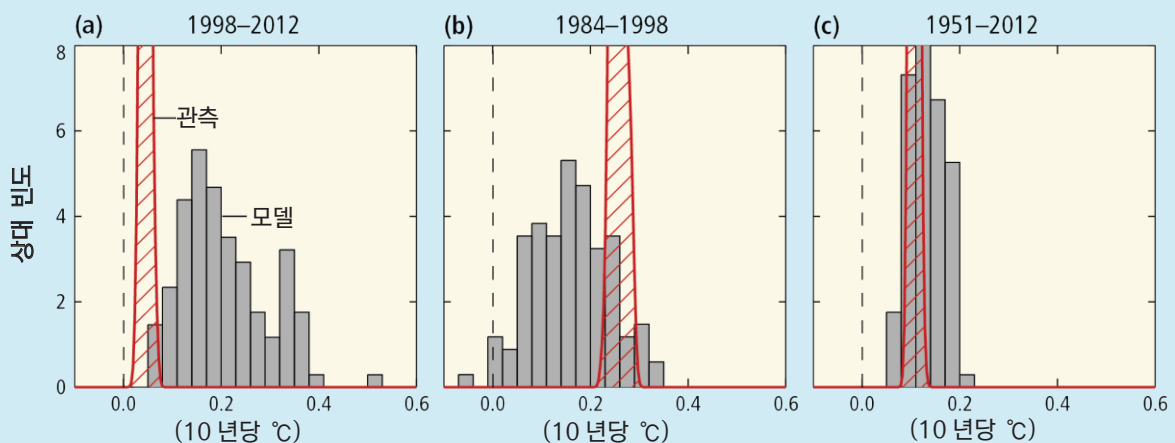
박스 1.1 | 최근의 기온 경향과 그 시사점

복사 강제력의 감소 경향과 자연적 내부 변동성(해양에서 가능한 열 재분배 포함)에 따른 냉각화 덕분에 1951-2012 년 대비, 1998-2012 년에 표면 온난화 경향의 감소가 관측되었다 (중간 신뢰도). 1998-2012 년에 관측된 전지구 평균 표면 온도의 온난화 비율은 1951-2012 년 경향의 대략 3 분의 1 에서 절반 정도로 추정된다 (박스 1.1, 그림 1a 와 1c). 표면 온난화의 경향은 감소하였지만, 기후 시스템은 1998 년부터 열을 계속 축적해왔을 가능성이 매우 높고(그림 1.2) 해수면은 계속 상승하고 있다 (그림 1.1). {WGI SPM D.1, 박스 9.2}

기후 시스템의 복사강제력은 온난화에 가장 크게 기여하는 요인인 이산화탄소의 대기 중 농도와 같이 2000 년대 동안 계속 증가하고 있다. 그러나 2000-2009 년에는 화산 폭발로 인한 냉각 효과와 태양 주기의 냉각 단계가 있었기 때문에, 복사강제력은 1984-1998 년 혹은 1951-2011 년에 비해 1998-20011 년에 비교적 낮은 비율로 증가해왔다. 그러나 표면 온난화 비율의 감소를 야기하는 데 있어서 강제력 경향이 지니는 역할을 정량화하는 데의 신뢰도는 낮다. {WGI 8.5.2, 박스 9.2}

1998-2012 년에 대해 이용 가능한 114 개의 기후 모델 모의 중 111 개는 관측치보다 큰 표면 온난화 경향을 보인다 (박스 1.1, 그림 1a). 자연적 내부 변동성은 외부적 요인에 의해 강제된 온난화 경향을 강화시키기도 하고 약화시키기도 하는데, 이러한 자연적 내부 변동성에 의해 모델과 관측치 간 상당한 수준의 차이가 나타날 수 있다는 데에는 중간 신뢰도가 있다. (박스 1.1, 그림 1a 와 1b 비교; 1984-1998 년에 대부분의 모델 모의는 관측치보다 작은 온난화 경향을 보여준다). 따라서 자연적 내부 변동성은 장기적인 기후변화와 단기적 경향 간의 연계성을 약화시킨다. 또한 모델과 관측 간 차이는 모델에서 사용된 태양, 화산, 에어로졸 강제력이 부적절하여 나타날 수 있고, 일부 모델의 경우 온실가스 증가 및 기타 인위적 강제력에 대한 반응을 과대평가함으로 인해 나타날 수 있다 (후자는 에어로졸의 효과에 의해 좌우됨). {WGI 2.4.3, 박스 9.2, 9.4.1, 10.3.1.1}

1951-2012 년 보다 긴 기간에 대해 모의된 표면 온난화 경향은 관측된 경향과 일치한다 (박스 1.1, 그림 1C, 매우 높은 신뢰도). 또한, 복사강제력, 표면 온난화, 관측된 열 저장(후자는 1970 년부터 이용가능)의 독립된 추정치를 결합하여 평형 기후민감도 (1.5-4.5°C)²¹에 대해 평가된 가능성 범위와 일치하는 지구의 열 수지를 제시할 수 있다. 따라서 기후변화 관측 기록을 바탕으로, 평형 기후 민감도 및 일시적 기후 반응 등 온난화를 암시할 수 있는 기후 시스템의 기본 특성을 파악할 수 있다. (주제 2 참고). {WGI 박스 9.2, 10.8.1, 10.8.2, 박스 12.2, 박스 13.1}



박스 1.1, 그림 1 | 1998-2012 년(a), 1984-1998 년 (b), 1951-2012 년 (c)의 관측(빨간색)과 현재 세대의 기후 모델에 의한 114 개의 이용 가능한 모의를 바탕으로 전지구 평균 표면 온도의 경향(회색 막대) 도출. 각각의 회색 막대의 높이는 특정 강도의 경향(10년당 °C)이 114 개의 모의 중에 얼마나 자주 나타나는지를 나타낸다. 붉은 빗금 영역의 폭은 각각의 지점 자료로부터 전지구 평균의 구축할 때 발생하는 통계적 불확실성을 나타낸다. 이 관측 불확실성은 1.1.1 절의 내용에서 인용된 것과는 다르다. 1.1.1 절에는 자연적 내부 변동성에 대한 추정치도 포함되어 있다. 여기서, 반대로 자연적 내부 변동성의 강도는 모델 앙상블의 범위에 의해서 결정된다. {WGI 박스 9.2, 그림 1에 기반}

²¹ 대기 이산화탄소 농도가 두 배로 증가되었다고 가정한 상태에서의 장기적인 표면 온난화인 열 수지와 평형 기후 민감도의 관계는 온난해진 지표가 우주로의 복사를 강화시켜 지구의 열 용량 증가를 상쇄시킨다. 주어진 표면 온도 증가에 대한 우주로의 복사증가율은 평형 기후 민감도를 결정하는 것과 동일한 되먹임 과정에 따라 달라진다.

최대 3 배 높은 반면, 동태평양 대부분의 지역에서는 해수면 변화가 거의 없거나 되려 해수면이 하강하는 경우도 있었다. {WGI 3.7.3, FAQ 13.1}

마지막 간빙기 동안(129,000-116,000 년 전)의 최대 전지구 평균 해수면은 수천 년 동안 현재보다 최소한 5m 높았으며 (매우 높은 신뢰도) 10m 이상 초과하지 않았다 (높은 신뢰도). 마지막 간빙기 동안 그린란드 빙상이 전지구 평균 해수면을 1.4-4.3m 이상으로 높이는 데 기여했을 가능성은 매우 높고 이는 남극 빙상이 해수면 상승에 추가적인 기여를 했을 수도 있다는 점을 암시한다 (중간 신뢰도). 해수면의 변화는 다양한 궤도 강제력의 맥락에서 평균 수천 년 동안, 현재(높은 신뢰도)보다 적어도 2°C 더 따뜻한 고위도의 표면 온도와 함께 발생했다. {WGI SPM B.4, 5.3.4, 5.6.2, 13.2.1}

1.2 과거와 최근 기후변화의 동인

경제 및 인구성장이 주원인이 되어 나타난 산업화 시대 이전부터 인위적 온실가스 배출량은 계속 증가해 왔고, 2000-2010 년의 배출량이 역사상 가장 많았다. 과거 배출량으로 인해 기후 시스템이 에너지를 흡수하며, 이산화탄소, 메탄 및 아산화질소의 대기 중 농도는 적어도 지난 80 만년 이래 전례 없는 수준으로 증가하였다.

지구의 에너지 수지를 변화시키는 자연 및 인위적 물질과 과정은 기후변화의 물리적 동인이다. 복사강제력(RF)은 이 동인들에 의해 지구 시스템에 나타나는 에너지의 작은 변화들을 정량화한 것이다. 0 보다 큰 복사강제력은 표면 부근 온난화로 이어지며 0 보다 작은 복사강제력은 냉각화로 이어진다. 복사강제력은 현장 및 원격 관측, 온실가스와 에어로졸의 특성, 수치 모델을 이용한 계산을 바탕으로 추정한다. 그림 1.4 는 1750-2011 년 기간에 대한 주요 요인별 복사강제력을 나타낸다. '기타 인위적 요인'은 주로 오존 변화, 토지 이용 반사율 변화와 기타 사소한 측면에서의 작은 기여와 함께, 에어로졸 변화로 인한 냉각 효과로 구성되어 있다. {WGI SPM C, 8.1, 8.5.1}

1.2.1 자연 및 인위적 복사강제력

온실 가스의 대기 중 농도는 적어도 80 만년 동안 전례 없는 수준이다. 대기 중 이산화탄소, 메탄 및 아산화질소 농도는 모두 1750 년 이후 큰 증가를 보였다 (각각 40%, 150%, 20%) (그림 1.3). 2002-2011 년에 대해 관측된 10 년 단위 이산화탄소 농도 증가율(2.0 ± 0.1 ppm/yr)은 관측 이래 가장 빠른 것이었다. 메탄의 농도는 1990 년대 후반부터 거의 10 년 간 안정적이었지만, 2007 년 이후 대기 측정 결과는

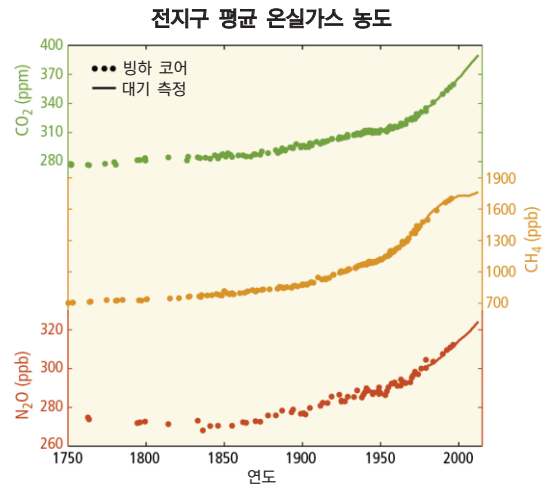


그림 1.3 | 대기 중 온실가스 농도의 변화 관측. 이산화탄소(CO₂, 초록색), 메탄(CH₄, 오렌지색), 아산화질소(N₂O, 빨간색)의 대기 중 농도. 빙하 코어(기호) 데이터와 직접 대기 측정(선)이 겹쳐있다. {WGI 2.2, 6.2, 6.3, 그림 6.11}

메탄이 다시 증가하고 있음을 보인다. 아산화질소 농도는 지난 30 년 동안 지속적으로 0.73 ± 0.03 ppb/yr의 비율로 증가하고 있다. {WGI SPM B5, 2.2.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.3}

1750-2011 년에 대한 인위적 복사강제력의 총량을 온난화 효과로 계산하면 $2.3 [1.1-3.3] \text{ W/m}^2$ (그림 1.4)이고, 이 수치는 1970 년대 이전의 수 십년보다 1970 년 이후 훨씬 빠르게 높아진다. 1750-2011 년의 복사강제력과 1970 년대 이후의 강제력 경향에 가장 크게 기여한 단일 요인은 이산화탄소이다. 2011 년에 대한 인위적 복사강제력 총량 추정치는 제 4 차 평가보고서에 보고된 2005 년에 대한 추정치보다 월등히 높은데 (43%), 그 이유는 대다수 온실가스들의 농도가 지속적으로 증가했을 뿐만 아니라 에어로졸이 유도한 복사강제력을 더욱 잘 추정할 수 있게 되었기 때문이다. {WGI SPM C, 8.5.1}

구름 조정 등, 에어로졸이 유도하는 복사강제력에 대한 이해가 개선되었는데, 제 4 차 평가보고서에서보다 냉각효과는 약하게 나타난다. 1750-2011 년의 에어로졸 복사강제력은 $-0.9 [-1.9-0.1] \text{ W/m}^2$ 로 추정된다 (중간 신뢰도). 에어로졸의 복사강제력은 두 가지의 경쟁적 요소를 지닌다: 대부분의 에어로졸과 에어로졸의 구름 조정 효과에 의한 지배적인 냉각효과와 블랙카본(black carbon)이 태양 복사를 흡수하여 기여하는 온난화의 일부를 상쇄. 지구 평균 총 에어로졸의 복사강제력은 잘 혼합된 온실가스들의 복사강제력 중 상당한 부분을 상쇄했다 (높은 신뢰도). 에어로졸은 계속해서 총 복사강제력을 추정하는 데 있어 가장 큰 불확실성 요인으로 작용한다. {WGI SPM C, 7.5, 8.3, 8.5.1}

일사량과 화산성 에어로졸이 변화하여 자연적 복사강제력을 유발한다 (그림 1.4). 성층권 내 화산성

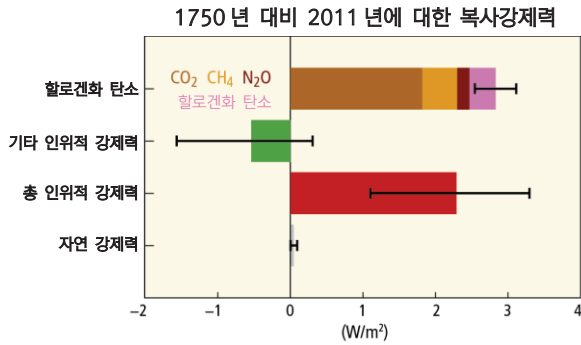


그림 1.4 | 산업화 시대(1750-2011년) 중 기후변화의 복사강제력. 막대는 잘 혼합된 온실가스, 기타 인위적 강제력, 총 인위적 강제력, 자연강제력에 의한 복사강제력을 보여준다. 오차 막대는 5%~95%의 불확실성을 나타낸다. 기타 인위적 강제력은 에어로졸, 토지 이용의 표면 반사율, 오존 변화를 포함한다. 자연 강제력은 태양과 화산 효과를 포함한다. 1750년 대비 2011년에 대한 총 인위적 복사강제력은 2.3 W/m²이다 (불확실성 범위 1.1~3.3 W/m²). 이것은 CO₂ 환산 농도 (용어집 참고) 430ppm(불확실성 범위 340~520 ppm)에 상응한다. {WGI 7.5 자료, 표 8.6}

에어로졸의 복사강제력은 주요 화산 폭발 이후에 수 년 동안 기후 시스템에 큰 냉각 효과를 가져올 수 있다. 1750년 대비 2011년의 총 복사강제력에 총 일사량의 변화가 기여한 바는 2% 정도에 불과한 것으로 계산된다. {WGI SPM C, 그림 SPM.5, 8.4}

1.2.2 배출 동인에 영향을 미치는 인간 활동

1750-2011년의 인위적 이산화탄소 누적배출량 중 절반 정도는 지난 40년 간 배출된 것이다 (높은 신뢰도). 2040 ± 310 GtCO₂의 인위적 누적 이산화탄소가 1750-2011년에 대기 중으로 배출되었다. 1970년 이래로, 화석 연료 연소, 시멘트 생산,

플레어링(flaring)으로 인한 누적된 이산화탄소 배출량은 세 배가 되었고 산림과 기타 토지 이용(FOLU)²²으로 인한 누적 이산화탄소 배출량은 40% 정도 증가하였다 (그림 1.5)²³. 2011년에 화석 연료 연소, 시멘트 생산, 플레어링에 의한 연간 이산화탄소 배출량은 34.8 ± 2.9 GtCO₂/yr이다. 2002-2011년에 산림과 기타 토지 이용에 의한 연평균 배출량은 3.3 ± 2.9 GtCO₂/yr이다. {WGI 6.3.1, 6.3.2, WGIII SPM.3}

1750년 이래로, 인위적 이산화탄소 배출량의 약 40%는 대기에 남아있다 (880 ± 35 GtCO₂). 나머지는 흡수원(sink)에 의해 대기로부터 제거되었거나 자연적 탄소 순환 저장고에 저장되었다. 해양 및 식생과 토양이 흡수한 이산화탄소량은 대기 중에 남아있는 이산화탄소량과 거의 유사한 수치를 보인다. 배출된 인위적 이산화탄소의 약 30%를 해양이 흡수함에 따라, 해양 산성화가 초래된다. {WGI 3.8.1, 6.3.1}

연간 총 인위적 온실가스 배출량은 1970-2010년 동안 계속해서 증가했는데, 특히 2000-2010년의 증가 수준이 크고 뚜렷하게 나타난다 (높은 신뢰도). 기후변화 완화 정책이 점차 많아지고 있음에도 불구하고 연간 온실가스 배출량은 1970-2000년 중의 연간 0.4 GtCO₂-eq(1.3%) 대비, 2000-2010년 중 연간 평균 1.0 GtCO₂-eq(2.2%)씩 증가했다 (그림 1.6)²⁴. 총 인위적 온실가스 배출량은 2000-2010년에 인류 역사상 가장 많았고, 2010년에 49 (±4.5) GtCO₂-eq/yr에 도달하였다. 2007/2008년의 전지구적 경제위기로 나타난 배출량 저감은 일시적인 것일 뿐이다. {WGIII SPM.3, 1.3, 5.2, 13.3, 15.2.2, 박스 TS.5, 그림 15.1}

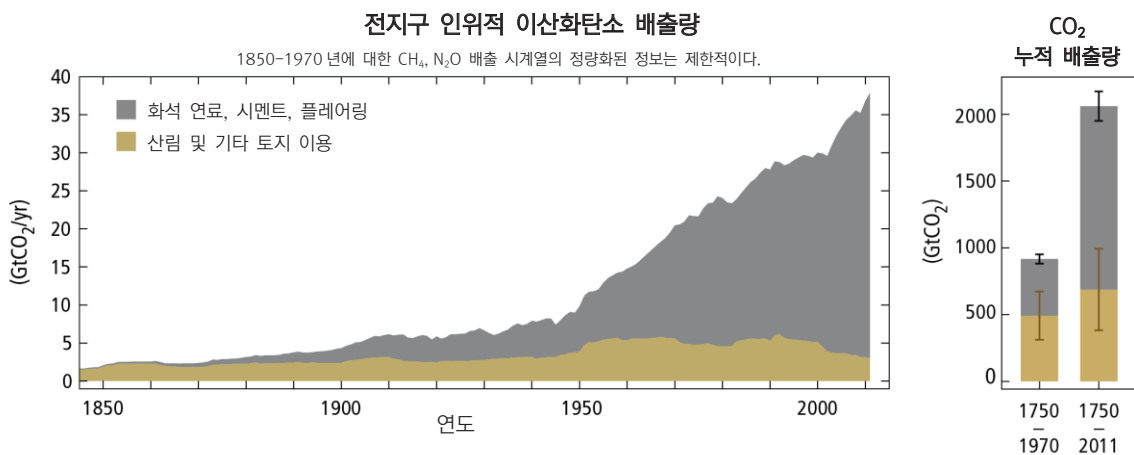


그림 1.5 | 1750-2011년의 화석연료 연소, 시멘트 생산, 플레어링, 산림과 기타 토지사용(FOLU)으로 인한 연간 전지구 인위적 이산화탄소 배출량(GtCO₂/yr). 누적 배출량과 해당 불확실성은 오른쪽에 각각 막대와 빗금으로 제시하였다. CH₄과 N₂O 누적 배출량의 전지구적 효과는 그림 1.3에 제시하였다. 1970-2010년의 GHG 배출량 자료는 그림 1.6에 제시하였다. {WGI의 그림 TS.4와 WGIII의 그림 TS.2에서 수정됨}

²² 산림과 기타 토지 이용(FOLU)-LULUCF라고도 사용함(토지 이용, 토지 이용 변화와 산림) - 농업 배출과 제거를 제외한 농업, 산림, 기타 토지 이용(AFOLU) 배출과 직접적인 인간에 의한 LULUCF 활동에 관련된 온실가스 제거의 일부이다 (WGIII AR5 용어집 참고).
²³ WGI 6.3의 수치들은 GtCO₂ 단위로 변환되었다. WGIII(WGIII SPM.3, TS.2.1)의 누적 배출량의 작은 차이는 반올림, 마지막 해, FOLU에 의한 배출에 대한 다른 데이터 세트의 사용에 대한 다른 접근 방식을 사용하기 때문이다. 추정치는 그들의 불확실성을 고려했을 때 굉장히 근접한 값이다.
²⁴ CO₂ 환산 배출량은 다른 온실가스를 비교하는 보편적인 범위이다. 종합보고서 전반에 걸쳐 온실가스의 과거배출이 GtCO₂-eq에 제공되었을 때, 별도로 언급하지 않는 한 그것들은 IPCC AR2의 100년 시간 범위(GWP 100)와 전지구 온난화 잠재력에 의해 가중된다. GtCO₂-eq의 축약형 단위가 사용되었다. {박스 3.2, 용어집 참고}

1970-2010년 연간 총 연간 인위적 온실가스(GHG) 배출량

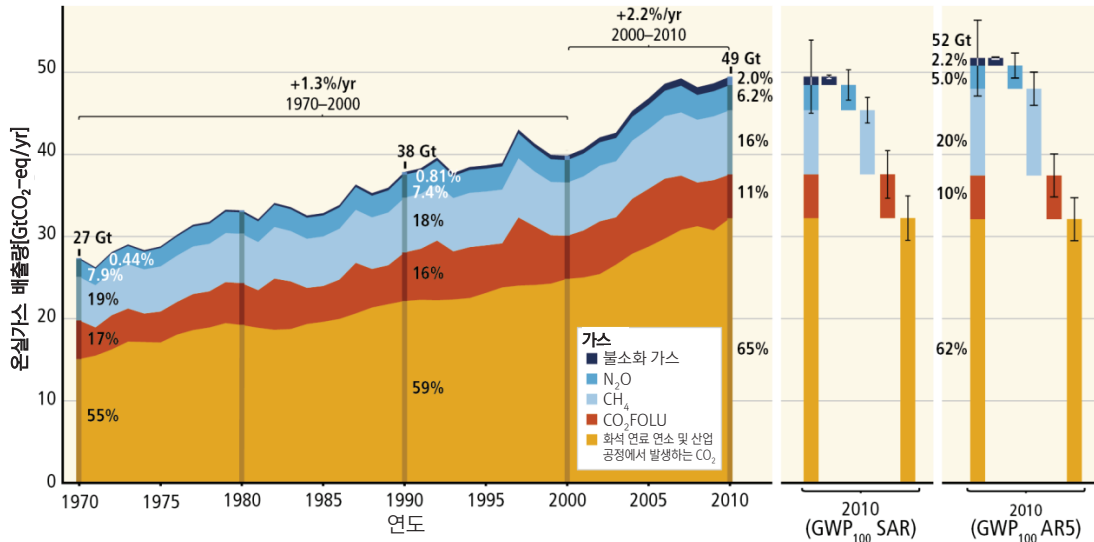


그림 1.6 | 1970-2010년 온실가스별 연간 총 인위적 배출량 (연간 CO₂ 환산 기가톤 환산, GtCO₂-eq/yr): 화석 연료 연소와 산업 공정에서 의한 이산화탄소; 산림 및 기타 토지사용(FOLU)에 의한 이산화탄소(CO₂); 메탄(CH₄); 아산화질소(N₂O); 플루오르화 가스는 교토의정서(불소화 가스)에서 다루어졌다. 오른쪽 막대그래프는 SAR 과 AR5 의 값을 기반으로 한 CO₂ 환산 배출량 가중치를 사용하여, 2010년 배출량을 보여준다. 별도로 언급하지 않는 한, SAR 의 100년 지구 온난화 지수(GWP₁₀₀) 값을 기준으로 계산된 교토 가스 (CO₂, CH₄, N₂O, 불소화 가스)를 포함한 CO₂ 환산 배출량이 오른쪽에 나타난다 (용어집 참고). AR5 의 최근 100년 지구 온난화 지수 값(오른쪽 막대)을 사용하면 증가한 메탄의 기여도 때문에 더 높은 총 연간 온실가스 배출량(52 GtCO₂-eq/yr)을 얻게 되지만, 장기적인 추세에 있어서 크게 영향을 미치지 않는다. 기타 범위의 선택은 다른 가스들의 기여도를 변화시킬 것이다 (박스 3.2 참고). 2010년 값은 오차막대로 표시되는 연관된 불확실성(90% 신뢰도 구간)과 함께 각각의 요소로 다시 나눠져 표시된다. 화석연료 연소에 의한 전지구적 이산화탄소 배출량은 8%의 불확실성 차이(90% 신뢰도 구간)를 가진다. FOLU 로 인한 이산화탄소 배출량에 대한 불확실성(±50% 정도)은 매우 크다. 메탄, 아산화질소, 불소화 가스의 전지구적 배출량에 대한 불확실성은 각각 20%, 60%, 20%로 추정되어왔다. 2010년은 불확실성 평가와 모든 가스에 대한 배출 수치가 이 보고서를 위한 자료 마감시점에 맞춰 완료된 가장 최근의 시점이다. 불확실성은 지구 온난화지수에 대한 것이 아닌 단지 배출에 대한 불확실성만 추정한다 (WG1 8.7에서 주어진 것처럼). {WGIII 그림 SPM.1}

화석연료의 연소와 산업 공정으로 인한 이산화탄소 배출량은 1970-2010년 총 온실가스 배출량 증가의 78% 정도를 차지하는데, 2000-2010년에도 이와 비슷한 비율을 차지한다 (높은 신뢰도). 화석연료 관련 이산화탄소 배출량은 2010년에 32 (±2.7) GtCO₂/yr 에 도달했고, 2010-2011년에 약 3%, 2011-2012년에 약 1-2% 더 증가했다. 이산화탄소는 2010년 총 인위적 온실가스 배출량의 76%를 차지하는 가장 주요한 인위적 온실가스이다. 전체 중에서 16%는 메탄, 6.2%는 아산화질소, 2%는 플루오르화 가스이다 (그림 1.6)²⁵. 1970년부터 매년, 인위적 온실가스 배출량의 약 25% 정도는 비-이산화탄소 가스의 형태였다 ²⁶. {WG III SPM.3, 1.2, 5.2}

총 연간 인위적 온실가스 배출량은 2000-2010년에 약 10 GtCO₂-eq 증가하였다. 이러한 증가치는 에너지(47%), 산업(30%), 운송(11%), 건설(3%) 부문에서 기인한 것이다(중간 신뢰도). 건설과 산업 부문은 간접 배출량에 대한 기여도가 높다 (높은 신뢰도). 2000년 이래로, 온실가스 배출량은 농업,

산림, 및 기타 토지 이용(AFOLU)²² 을 제외하고 모든 부문에서 증가해 왔다. 2010년의 온실가스 배출량 중 35%는 에너지 부문, 24%(순배출)는 AFOLU, 21%는 산업, 14%는 운송, 6.4%는 건설부문에서 비롯된 것이다. 전기와 열 생산으로 인한 배출량이 최종에너지를 사용하는 부문에서 기인한 것일 때(예: 간접적 배출), 전지구 온실가스 배출량에서 산업과 건설 부문이 차지하는 부분은 각각 31%, 19%로 증가한다 (그림 1.7). {WGIII SPM.3, 7.3, 8.1, 9.2, 10.3, 11.2} GWP₁₀₀ 외에 기타 측정기준에 근거한 여러 가지 부문의 기여도는 박스 3.2를 참조한다.

전지구적으로 화석연료 연소에 의한 이산화탄소 배출량 증가를 이끄는 가장 중요한 두 동인은 경제 성장과 인구 증가이다. 2000-2010년에 경제 성장의 기여도는 급격히 증가한 반면, 인구 성장의 기여도는 그 이전의 30년과 거의 비슷한 수준이다 (높은 신뢰도). 2000-2010년에 이 두 가지 동인으로 인해 증가된 배출량은 GDP의 에너지 원단위 개선에 따라 저감된 배출량보다 많았다(그림 1.8). 기타 에너지원(energy source)과 비교하여 석탄의 사용량이 증가함에 따라, 세계 에너지

²⁵ AR2의 지구 온난화 지수 수치 대신 AR5 (WG1 8.7)의 가장 최근의 수치를 사용했기 때문에 전지구적 온실가스 배출의 총량은 약간 높을 것이고 비-이산화탄소 배출이 차지하는 부분은 CH₄이 20%, N₂O가 5%, 불소화 가스가 2.2%일 것이다.

²⁶ 이 보고서에서 플루오르화 가스를 포함한 비-이산화탄소 온실가스에 대한 자료는 첫 번째 공약기간에 대한 교토가스를 다루는 EDGAR 데이터베이스에서 얻은 것이다. {WGIII 부속서 II.9}

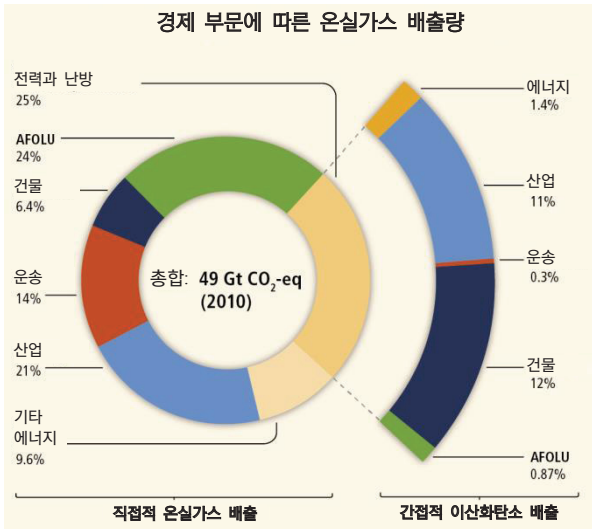


그림 1.7 | 2010년 경제 부문 총 인위적 온실가스 배출량(GtCO₂-eq/yr). 원은 2010년 다섯 가지 경제 부문의 직접적 온실가스 배출량(총 인위적 온실가스 배출량 대비 %)이 차지하는 부분을 보여준다. 풀아웃(pull-out)은 전력과 난방으로 인한 간접적 이산화탄소 배출량(총 인위적 온실가스 배출량 대비 %)의 역할이 어떻게 최종 에너지 사용 부문에서 비롯되는 것인지를 보여준다. '기타 에너지'는 전력과 난방뿐만 아니라 WGIII 부속서 II에서 정의된 것처럼 에너지 부문에서의 모든 온실가스 배출원을 지칭한다 {WGIII 부속서 II.9.1}. 농업, 산림 및 기타 토지 이용(AFOLU)에 대한 배출 데이터는 WGIII 보고서의 11장에서 설명된 것처럼 산림과 다양한 토지 이용(FOLU)의 하위 부문으로부터의 순 이산화탄소 플럭스에 근접한 산불, 이탄 화재, 이탄 부식으로 인한 토지 기반 이산화탄소 배출량을 포함한다. 배출량은 IPCC SAR의 지구 온난화 지수 기반 이산화탄소 환산으로 변형된다. 부문 정의는 WGIII 부속서 II.9에 제공된다. {WGIII 그림 SPM.2}

공급 패턴에서 오랫동안 점진적으로 유지되어 왔던 탈탄소화(decarbonization)(예: 에너지의 탄소 농도 감소)의 경향이 역전되었다. {WG III SPM.3, TS.2.2, 1.3,

5.3, 7.2, 7.3, 14.3}

1.3 기후변화와 영향의 원인 규명

제 4차 평가보고서 이후 인간이 기후 시스템에 영향을 미치고 있다는 증거가 계속해서 늘어나고 있다. 구체적으로, 인간의 영향은 대기 및 해양의 온난화, 전지구적 물 순환의 변화, 눈과 빙하의 감소, 그리고 전지구 평균 해수면 상승에서 탐지되며, 이는 20세기 중반 이후 관측된 온난화의 가장 주된 이유가 되었을 가능성이 대단히 높다. 최근 수십 년 동안 기후가 변화함에 따라 전 대륙과 해양에 걸쳐 최근 수십 년 동안 기후에 변화가 일어나 자연계 및 인간계가 영향을 받아왔다. 그 원인이 무엇인지를 간에 지금까지 관측된 기후변화가 이러한 영향을 초래했으며, 이는 기후가 변화함에 따라 자연계 및 인간계가 민감하게 반응한다는 것을 의미한다.

기후에 의해 영향을 받은 모든 자연계 또는 인간계뿐만 아니라, 기후 시스템에서 관측된 변화의 원인은 일련의 방법론에 따라 설정된다. 기후변화의 원인 규명에서는 다수의 원인 인자가 관측된 변화 혹은 현상에 상대적으로 기여한 바를 평가하고, 이에 통계적 신뢰도²⁷를 부여하는 반면, 탐지는 기후나 기후에 의해 영향을 받은 자연계 혹은 인간계가 실제로 통계적 측면에서 변하였는지를 여부를 밝힌다. 기후변화의 원인규명에서는 관측된 기후변화 및 인간 활동과 기타 동인, 자연 동인 및 기후 동인 사이에 존재하는 연결관계(link)를 정량화한다. 반면, 관측된 영향이 기후변화에서 기인한 것인지를 밝히는 '관측된 영향에 대한 기후변화의 원인규명'에서는 기후변화를 초래한

화석 연료의 연소로 인한 10년당 전지구 총 이산화탄소 배출량 변화의 분류

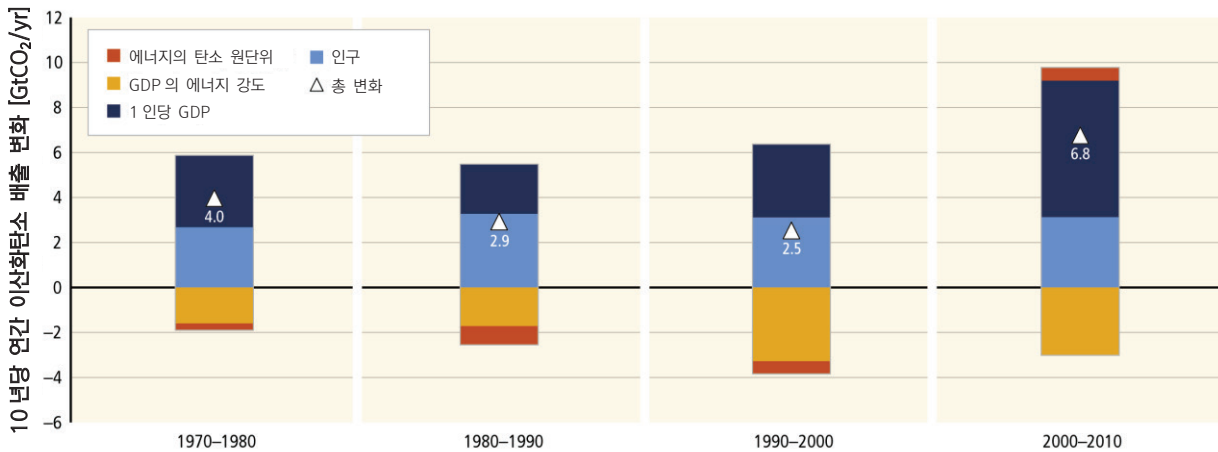


그림 1.8 | 네 개의 동인(인구, 1인당 소득(GDP), GDP의 에너지 원단위와 에너지의 탄소 강도)과 10년당 화석 연료 연소로 인한 전지구 총 연간 이산화탄소 배출량 변화의 분류. 막대의 분할은 각각의 다른 동인과 함께, 각각의 개별 요소와 관련된 변화 사항을 보여준다. 총 배출량 변화는 삼각형으로 표시했다. 각 10년당 변화는 연간 이산화탄소 기가톤[GtCO₂/yr]으로 측정된다; 소득은 구매력 평가를 사용하여, 공통 단위로 전환된다. {WGIII SPM.3}

²⁷ 정의는 '인위적 기후변화 관련 탐지와 원인 규명에 대한 IPCC 전문가 회의에서 동의된 결과물인 탐지 및 원인 규명에 대한 우수 실행 지침 문서'에서 발췌하였다; 용어집 참조

원인이 무엇이든지 간에 자연계 혹은 인간계에서 관측된 변화와 관측된 기후변화 사이의 연결관계를 연구한다. 기후변화의 원인을 밝히는 연구 결과에서는 복사강제력 변화에 따른 온난화의 규모를 추정하여 제시하기 때문에, 미래 기후변화를 전망하는 데 도움이 된다 (주제 2). 영향의 원인이 기후변화에 있다고 제시하는 연구 결과에서는, 미래 기후변화에 대해 자연계 혹은 인간계가 상당히 민감하게 반응하는 것을 보인다. {WGI 10.8, WGII SPM A-1, WGI/II/III/SYR 용어집}

1.3.1 기후 시스템에서 인간과 자연의 영향에 대한 기후변화의 원인규명

1951-2010 년에 관측된 전지구 평균 표면 온도 상승의 절반 이상은 온실가스 농도와 기타 인위적 강제력의 증가에 의해 나타났을 가능성이 대단히 높다 (그림 1.9). 온난화에 대한 인위적 기여의 최적 추정치는 이 기간 동안 관측된 온난화와 거의 비슷하다. 에어로졸의 냉각효과를 포함한 기타 인위적 강제력, 자연 강제력 및 자연 내부 변동성의 추가적인 기여와 함께, 온실가스는 1951-2010 년에 0.5-1.3°C의 범위에 있을 가능성이 높은 전지구 평균 지표 온난화에 기여하였다 (그림 1.9 참조). 이와 같이 평가된 기여도의 합은 동 기간 중 약 0.6-0.7°C로 관측된 온난화에 상응한다. {WGI SPM D.3, 10.3.1}

1961 년부터 탐지 가능한 대류권의 온난화의 관측 패턴과 이에 상응하는 성층권 하부에서의 냉각은

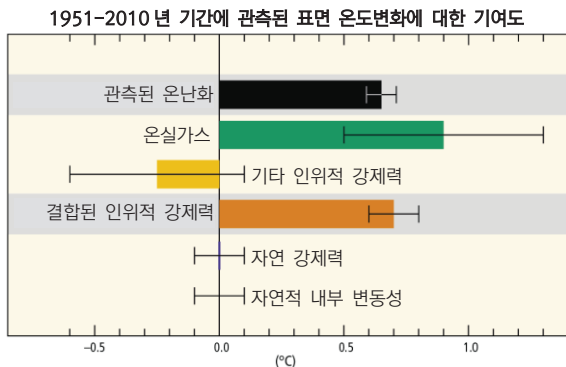


그림 1.9 | 잘 혼합된 온실가스와 기타 인위적 강제력(에어로졸의 냉각효과와 토지 이용 변화의 효과 포함)의 1951-2010 년 기간 중 온난화 경향에 대해 평가된 가능성 범위(위스커; 양쪽으로 연장된 막대선)와 중간 점(막대)은 인위적 강제력, 자연 강제력, 자연적 내부 기후 변동성(강제력이 없는 상태에서도 기후변화 내에서 자연적으로 발생하는 기후 변동성의 요소)을 결합하여 나타낸다. 관측 불확실성으로 인해 관측된 표면 온도 변화는 5%-95 %의 불확실성 범위에서 검은 색으로 표시된다. 원인이 규명된 온난화 범위(색)는 관측된 온난화 각각에 대한 외부 강제력의 기여도를 추정하기 위해 기후 모델 모의와 결합된 관측에 기초한다. 결합된 인위적 강제력의 기여도는 온실가스와 기타 인위적 강제력 각각의 기여보다 적은 불확실성을 가지고 추정될 수 있는데, 이는 두 기여가 상쇄되는 부분이 있어, 결합된 신호가 관측과 더 일관된 결과를 보이기 때문이다 {그림 WGI TS.10 에 기초}.

인위적 영향(특히 온실 가스와 성층권 오존 고갈)에 의해 주도되었을 가능성이 매우 높다. {WGI SPM D.3, 2.4.4, 9.4.1, 10.3.1}

남극 대륙을 제외한 모든 대륙 지역에 걸쳐 인위적 강제력은 20 세기 중반 이후 표면 온도 상승에 상당한 기여를 했을 가능성이 높다 (그림 1.10). 남극 대륙의 경우, 관측의 불확실성이 크기 때문에 관측 지점의 온난화 평균에 인위적 강제력이 기여했다는 데에 신뢰도는 낮다. 반면, 인위적 강제력이 20 세기 중반 이후의 북극 온난화에 상당히 기여했다는 것의 가능성은 높다. 인간의 영향으로 인해 다수의 소규모 대륙 지역의 온도가 상승했을 가능성이 높다. {WGI SPM D.3, TS. 4.8, 10.3.1}

1979 년 이래로, 인위적 영향이 북극 해양빙의 감소에 기여했을 가능성이 매우 높다 (그림 1.10). 남극 지역의 경우, 해양빙 변화의 원인을 완전히 규명할 수가 없고, 이 주제에 있어서 과학적 견해들 간 차이가 있으며, 남극 지역의 자연적 내부변동성을 추정하는 데에 낮은 신뢰도가 있기 때문에, 남극 해양빙 면적에서 관측된 작은 변화들에 대한 과학적 이해의 신뢰도가 낮다. {WGI SPM D.3, 10.5.1, 그림 10.16}

인위적 영향은 1960 년대 이후 빙하 후퇴와 1993 년 이후 그린란드 빙상의 표면 녹음 증가에 기여했을 가능성이 높다. 그러나 이에 대한 과학적 이해도가 낮기 때문에, 지난 20 년간 남극 얼음에서 관측된 질량 감소의 원인규명에 대한 신뢰도는 낮다. 1970 년 이후 관측된 북반구의 봄철 적설량 저감에 인위적 기여가 있었을 가능성이 높다. {WGI 4.3.3, 10.5.2, 10.5.3}

1960 년 이래로 인위적 영향은 전지구적 물 순환에 영향을 미쳤을 가능성이 높다. 대기 수분 함유량의 증가 (중간 신뢰도), 전지구 육지에서의 강수 패턴 변화(중간 신뢰도), 데이터가 충분한 육지 지역에서의 호우 빈도 및 강도 증가(중간 신뢰도; 1.4 참조), 표층과 아표층 해양 염도 변화에 인위적 영향이 있었을 가능성이 매우 높다. {WGI SPM D.3, 2.5.1, 2.6.2, 3.3.2, 3.3.3, 7.6.2, 10.3.2, 10.4.2, 10.6}

1970 년대부터 관측된 전지구적 상층 해양 열 용량 증가(0-700m)에 인위적 강제력이 상당한 기여를 했을 가능성은 매우 높다 (그림 1.10). 일부 개별 해양 분지에서 인간의 영향에 대한 증거가 있다. 1970 년대 이후 전지구 평균 해수면 상승에 인위적 기여가 상당히 컸을 가능성은 매우 높는데, 이는 해수면 상승에 가장 크게 기여한 두 요인인 열팽창과 빙하 질량 감소에 인위적 영향이 있다는 데 높은 신뢰도가 있기 때문이다. 인위적 이산화탄소를 해양이 흡수함에 따라 해양

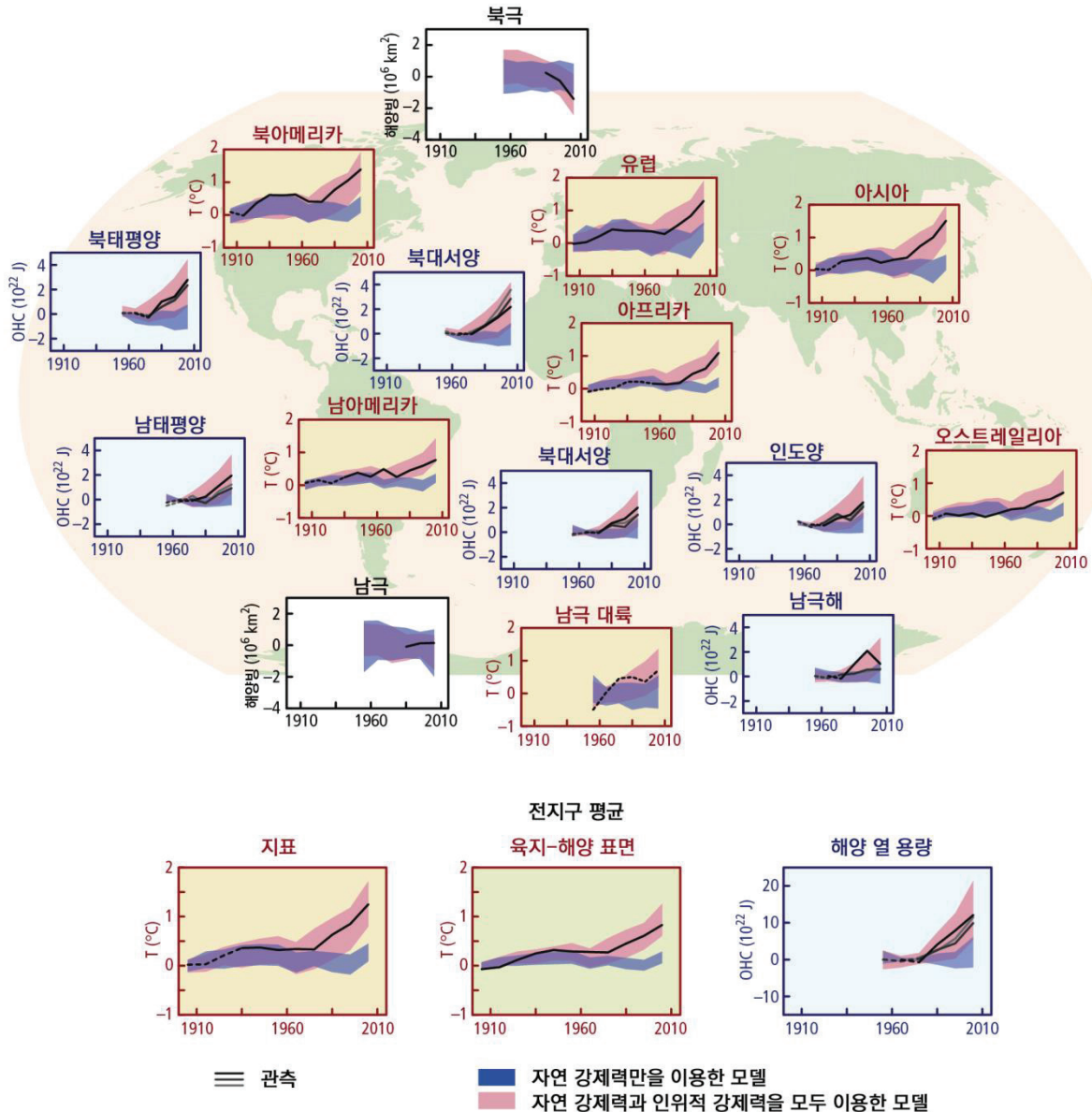


그림 1.10 | 대륙 육지 표면 온도(노란색 패널), 북극과 남극의 9 월 해양빙 면적 (흰색 패널), 주요 해양 분지에서의 상층 해양 열 용량(파란색 패널)의 관측 및 모의된 변화의 비교. 전지구 평균 변화도 포함된다. 표면 온도에 대해서는 1880-1919 년, 해양 열 용량에 대해서는 1960-1980 년, 해양빙에 대해서는 1979-1999 년 대비 편차가 주어진다. 모든 시계열은 10 년 평균이고, 10 년의 중심에 표시하였다. 온도 패널의 경우, 조사된 지역의 공간적 범위가 50%일 때 관측은 점선으로 표시했다. 해양 열 용량과 해양빙 패널의 경우 실선은 데이터의 범위가 질적으로 충분하고 높은 곳이고, 점선은 데이터의 범위가 적절한 것으로 불확실성이 더 큰 곳이다 (기타 선은 다른 데이터 세트를 의미한다. 세부 사항은 WGI 그림 SPM6 을 참조). 제시된 모델의 결과는 5-95%의 신뢰 구간을 나타내는 음영 밴드, 모델 상호 비교 프로젝트 5 단계 (CMIP5) 다중 모델 앙상블 범위를 결합한다. {WGI 그림 SPM 6: 세부 사항은 WGI 그림 TS.12 참조}

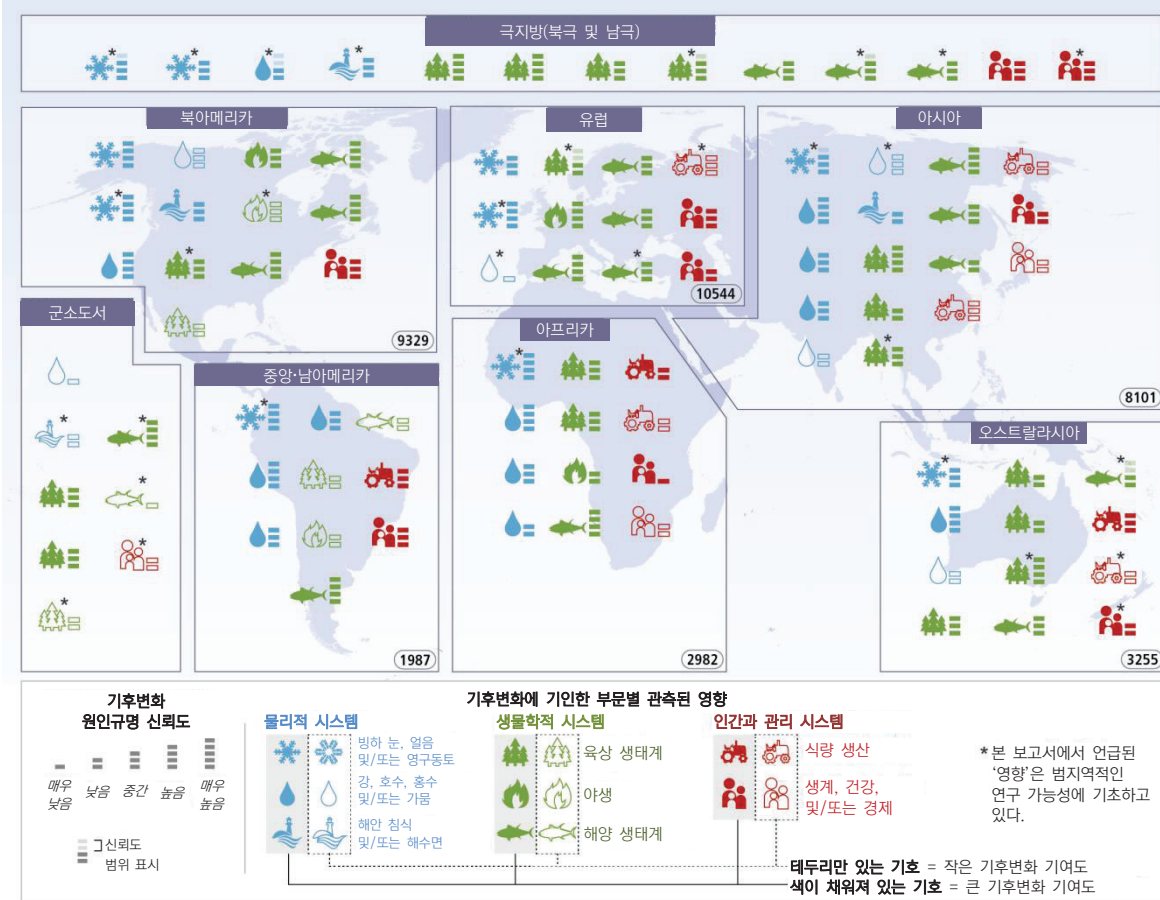
표층수는 점진적으로 산성화된다(높은 신뢰도). {WGI SPM D.3, 3.2.3, 3.8.2, 10.4.1, 10.4.3, 10.4.4, 10.5.2, 13.3, 박스 3.2, TS 4.4, WGII 6.1.1.2, 박스 CC-OA}

1.3.2 기후변화에서 기인한 관측된 영향

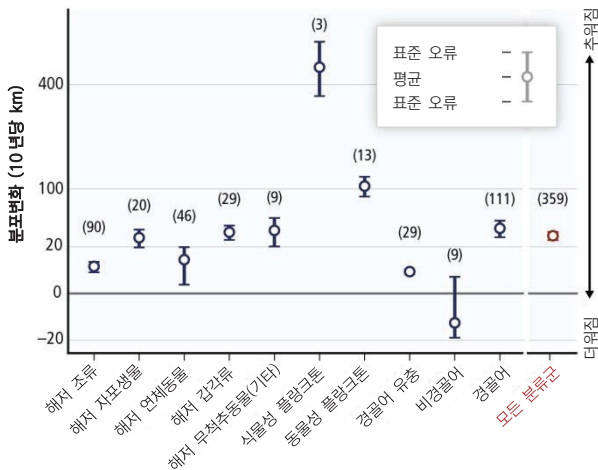
최근 수십 년 동안 기후변화는 모든 대륙과 해양에 걸쳐 자연계 및 인간계에 영향을 미쳤다. 그 영향은 원인에 관계없이 관측된 기후변화에서 기인하며, 이는 자연계 및 인간계가 기후변화에 민감하게 반응한다는

것을 보여준다. 관측된 기후변화 영향의 증거는 자연계에 대해 가장 강력하고 포괄적으로 제시되고 있다. 기후변화는 인간계에도 일부 크고 작은 영향을 주었는데, 인간계에 대한 다른 영향들과는 차이를 보인다 (그림 1.11). 지역마다 기후 변동요인 뿐만 아니라 사회 및 경제적 요인이 달라지기 때문에, 기후변화가 인간계에 미치는 영향은 종종 지리적인 차이를 보인다. 따라서 지역수준에서 나타나는 변화를 관측하는 것은 비교적 수월하지만, 그 근본적인 원인을 규명하는 것은 어렵다. {WGII SPM A-1, SPM A-3, 18.1, 18.3-18.6}

(A) 기후변화에서 기인한 광범위한 영향(AR4 이후 참고 가능한 과학적 문헌 바탕)



(b)



(c)

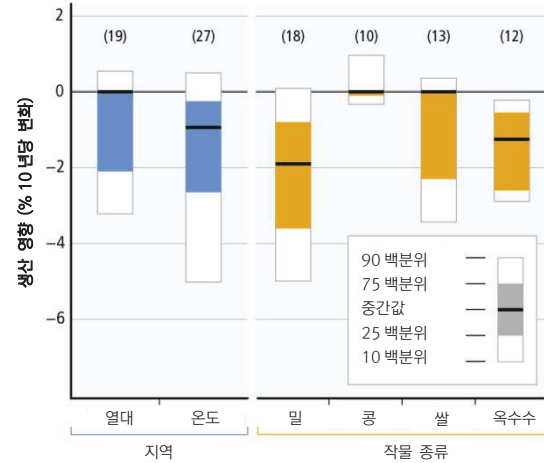




그림 1.11 | 변화하고 있는 세계에서 식별된 광범위한 영향. (A) AR4 이후 사용 가능한 과학적 연구에 의하면 기후변화에서 실질적으로 기인한 영향은 최근 수십 년 동안 증가하고 있다. 이에 대한 원인규명을 위해서는 기후변화의 역할을 정의할 과학적 증거가 필요하다. 기후변화에서 기인한 추가적 영향이 지도에 없다고 해서 그러한 영향이 일어나지 않았다는 것을 의미하는 것은 아니다. 기후변화에서 기인한 영향을 뒷받침하는 보고서의 출판이 증가하고 있다는 것은 지식 기반이 늘어났음을 의미하지만, 여전히 다수의 지역, 시스템 및 진행과정, 자료와 연구의 간 격차와 관련한 한계점이 나타나고 있다. 기호는 기인한 영향의 범주, 관측된 영향과 관련된 (크고 작은) 기후변화의 상대적 기여, 기여에 대한 신뢰도를 나타낸다. 각각의 기호는 관련된 지역규모의 영향을 분류하는 WGII 표 SPM.A1 에 하나 혹은 그 이상의 항목을 나타낸다. 타원 안의 숫자는 제목, 초록, 키워드(2011 년 7 월 기준)에 언급되어있는 각 나라의 영어출판물에 대한 스킵스 도서목록 데이터 베이스를 기반으로 한 2001-2010 년 기후변화 출판물의 지역적 총합을 나타낸다. 이 숫자들은 해당 지역을 통틀어 기후변화와 관련하여 참고 가능했던 과학 보고서의 전체 수를 의미한다; 이는 각 지역에서 기후변화 영향의 원인규명을 지원하는 출판물의 수를 나타내는 것은 아니다. IPCC 과학적 증거 범주를 따르는 원인 규명의 평가에 포함된 출판물은 WGII 18 장에 정의되었다. 극지역과 군소도서지역은 인근 대륙지역과 함께 분류되었다. 원인규명 연구 범위에 속한다고 고려된 출판물은 WGII AR5 에 평가된 문헌 내 광범위한 범위를 기준으로 분류하였다. 기후변화에서 기인된 영향에 대한 설명은 WGII 표 SPM.A1 를 참고한다. (B) 1900-2010 년 관측을 바탕으로 한, 각 해양 분류 그룹 분포 변화의 평균 비율(10 년당 km). 양의 분포 변화는 온난화와 일치한다 (기존에는 온도가 낮은(한랭한) 물 쪽으로 이동, 일반적으로 극 방향). 각 범주에 대한 반응 분석의 수를 괄호 안에 제시하였다. (C) 1960-2013 년 중 온대와 열대 지역의 네 가지 주요 작물의 생산에서 관측된 기후변화 영향의 추정치 개요. 괄호 안에는 각 범주에 대한 데이터 포인트 수를 제시하였다 {WGII 그림 SPM.2, 박스 TS.1 그림 1}

다수의 지역에서 강수량의 변화가 나타나고, 눈 및 빙하가 녹아 녹지화되면서 수문 시스템에도 변화가 초래되어 결과적으로 수자원의 양과 질이 영향을 받고 있다 (중간 신뢰도). 기후변화로 인해 전세계의 거의 모든 빙하가 계속해서 축소됨에 따라 (높은 신뢰도), 유출량(run-off) 및 수자원 또한 영향을 받고 있다 (중간 신뢰도). 고위도 지역과 고지대 지역에서는 기후변화로 인해 영구동토층이 온난화 및 융해되고 있다 (높은 신뢰도). {WGII SPM A-1}

기후변화가 계속해서 나타남에 따라 여러 육상, 담수, 해양 종의 지리적 범위, 계절 활동, 이주 패턴, 개체 수, 종의 상호 작용에도 변화가 일어났다 (높은 신뢰도). 최근의 기후변화가 야기한 멸종은 적은 반면(높은 신뢰도), 현재의 인위적 기후변화보다 비교적 느린 속도로 진행된 전지구의 자연적 기후변화는 지난 수백만 년 동안 상당한 수의 생태계 변화 및 멸종을 야기하였다 (높은 신뢰도). 전 세계의 많은 곳에서 관측되고 있는 수목의 고사는 일부 지역의 경우 기후변화로 인한 것이다. 전세계 내 많은 지역에서 가뭄, 폭풍, 화재, 해충 발생 등 생태계 교란의 강도 및 빈도가 증가하고 있는데, 이 또한 일부 경우 기후변화로 인한 것이다 (중간 신뢰도). 모든 해양 분지에서 지난 수십 년간 진행된 다수의 관찰을 바탕으로 볼 때, 해양 어류, 무척추 동물, 식물 플랑크톤의 수량 및 분포 범위 또한 기후 경향에 따라 변화하고 있는데, 대개 이들은 극 방향 및/또는 심해의 한랭한 해수 쪽으로 이동하고 있으며 (매우 높은 신뢰도), 생태계 조성 또한 변화고 있다 (높은 신뢰도). 온난 해류의 산호 및 산호초 중 일부에서는 온난화에 반응하여 종 교체, 백화, 서식지 손실이 나타났고 이는 산호 면적의 감소로 이어졌다 (높은 신뢰도). 익족류와 유공충류의 감소(중간 신뢰도)부터 산호의 성장률 감소(낮은 신뢰도)까지, 해양 산성화는 해양 생물에 영향을 미치는데 이 중 일부는 인간이 영향을 미친 것이다. 해양 온난화가 심화되고 해양 층화(層化, stratification)가 뚜렷해짐에 따라, 해양 공기순환과 산소가 감소되어 산소최소구역(Oxygen

minimum zone)은 점차 열대 태평양, 대서양 및 인도양으로 확대되고 있으며, 이는 어류의 서식을 제약하고 있다 (중간 신뢰도). {WGII SPM A-1, 표 SPM.A1, TS A-1, 6.3.2.5, 6.3.3, 18.3-18.4, 30.5.1.1, 박스 CC-OA, 박스 CC-CR}

광범위한 지역 및 작물을 다룬 다수의 연구들을 바탕으로 볼 때, 작물 수확량에 대한 기후변화의 영향은 긍정적이기보다는 부정적인 것이 더욱 일반적이다 (높은 신뢰도). 기후변화가 작물 수확량에 긍정적인 영향 미친다고 제시하는 연구는 많지 않고, 주로 고위도 지역에 제한되어있지만, 고위도 지역에서도 이러한 영향의 균형이 부정적인지 혹은 긍정적인지는 아직 명확하지 않다 (높은 신뢰도). 기후변화는 다수 지역 및 전지구적 총계에서 밀과 옥수수 수확량에 부정적인 영향을 미쳤다 (중간 신뢰도). 쌀과 콩 생산량에 기후변화가 미치는 영향은 전지구 및 주요 생산 지역에서 비교적 적은 편이었고, 모든 적용가능한 데이터(기타 작물과 비교하여 콩에 대해 상대적으로 적음)에 걸쳐 0 의 중간값 변화를 보였다 (그림 1.11C 참고.) 관측된 영향은 식량 접근성이나 식량 안보를 이루는 기타 구성요소보다는 생산 측면과 주로 관련이 있다. 제 4 차 평가보고서 이래로, 주요 생산지역에서 기후 극한현상이 나타남에 따라 식량 및 곡물 가격이 오르는 기간이 여러번 있었는데, 이는 현재 식량 및 곡물 시장이 기타 요소들 보다 기후 극한현상에 민감하게 반응한다는 것을 의미한다 (중간 신뢰도). {WGII SPM A-1}

현재 기후변화가 초래하는 인간 질병에 대한 전세계적 부담은 기타 스트레스 요인의 효과와 비교했을 때 상대적으로 적고 잘 정량화되지 않았다. 그러나, 온난화의 결과로 일부 지역에서 고온 관련 사망률은 증가해왔고 저온 관련 사망률은 감소되어왔다 (중간 신뢰도). 기온과 강수량의 지역적 변화는 물을 매개로 한 질병 및 질병 매개 곤충의 분포에도 변화를 가져왔다 (중간 신뢰도). {WGII SPM A-1}

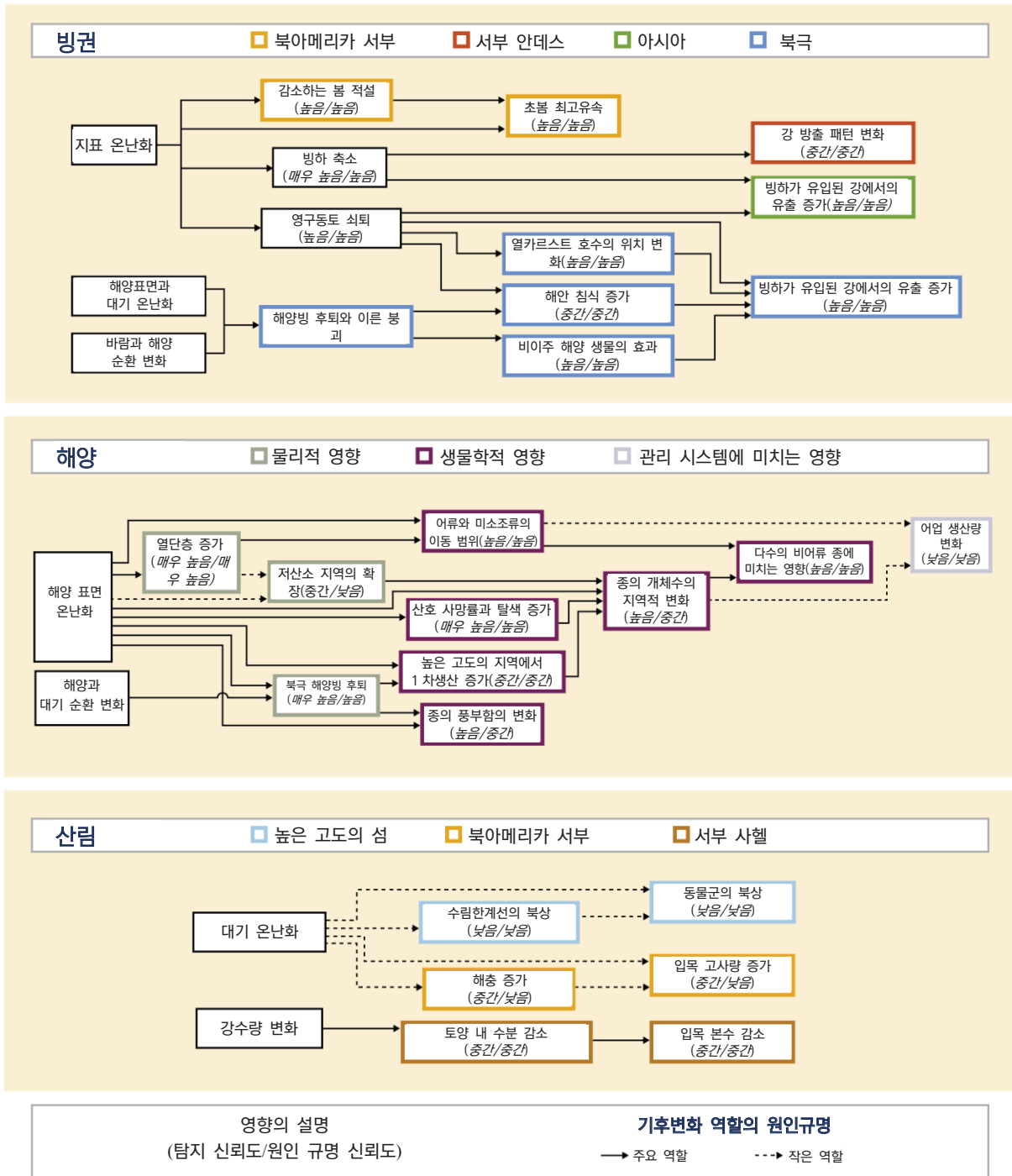


그림 1.12 | 새로운 증거가 상호 연결되어 있는 주요 시스템. 여기서 다수의 자연 및 인간 하위시스템에 걸쳐 최근 기후변화에 의한 '폭포수' 영향이 나타난다. 괄호안 텍스트는 관측된 기후변화 효과의 원인규명과 탐지의 신뢰도를 나타낸다. 기후변화의 역할은 주요하거나(실선 화살표) 사소할(점선 화살표) 수 있다. 초기 증거는 해양이 온난해짐에 따라 해양 산성화가 인간계의 영향과 관련된 유사한 경향을 따라가고 있음을 나타낸다. {WGII 그림 18-4}

기후변화의 '폭포수(cascading)'영향은 물리적 기후에서 시작하여 중간 시스템을 거친 후 사람에게까지 이어지는 증거의 사슬에 따라 나타난다. (그림 1.12) 기후변화는 폭포수와 같이 연쇄적으로 흘러 이어지는데, 일부 경우 인간 동인과 연결되기도 한다 (예: 서북

아메리카에서 봄철 기간 중 스노우 팩의 물 감소). 반면, 폭포수처럼 이어지는 관측된 기후변화의 원인을 밝힐 수 없는 경우도 있다. 모든 경우에 관측된 기후변화에 대한 탐지 및 원인 규명의 신뢰도는 각 영향 사슬에서 아래로 내려갈수록 감소한다. {WGII 18.6.3}

1.4 극한 현상

1950 년 이래로 다수의 극한 기상 및 기후 현상에서 변화가 관측되었다. 이러한 변화들 중 일부는 인간 활동과 관련된 것인데, 이에는 극한 저온 현상 감소, 극한 고온 현상과 극한 해수면 증가 및 많은 지역에서의 호우 빈도 증가가 있다.

전지구적으로 추운 낮과 밤의 빈도는 감소하는 반면, 따뜻한 낮과 밤의 빈도는 증가할 가능성이 매우 높다. 유럽, 아시아, 오스트레일리아의 대부분 지역에서는 폭염의 빈도가 증가할 가능성이 높다. 20 세기 중반 이후 전지구적으로 관측된 일 극한 기온 현상의 강도와 빈도의 변화에 인간 활동이 영향을 주었을 가능성은 매우 높다. 일부 지역에서 폭염의 발생 가능성은 인간의 영향으로 인해 두 배 이상 증가하였을 가능성이 높다. {WGI SPM B.1, SPM D.3, 표 SPM.1, FAQ 2.2, 2.6.1, 10.6}

관측된 온난화는 일부 지역에서 폭염 관련 사망률은 증가시키는 반면 한파 관련 사망률은 감소시켰다 (중간 신뢰도). 극한 고온 현상은 현재 북아메리카의 발병률과 사망률의 증가로 이어지고(매우 높은 신뢰도), 유럽에서는 사람의 나이, 위치, 사회 경제적 요인에 따라 영향이 달라진다 (높은 신뢰도). {WGII SPM A-1, 11.4.1, 표 23-1, 26.6.1.2}

호우 빈도가 감소하는 육지 지역보다 증가하는 육지 지역이 더욱 많아질 가능성이 높다. 호우 현상의 빈도와 강도는 북아메리카와 유럽에서 증가했을 가능성이 높다. 기타 대륙에서의 변화 경향은 대부분 중간 신뢰도를 갖는다. 전지구 표면과 대류권 공기의 비습(specific humidity)은 1970 년대 이후 증가했을 가능성이 매우 높다. 평가를 위한 관측 범위가 충분한 육지 지역의 경우, 인위적 강제력이 20 세기 중반 이후 전지구적 규모의 호우 강화에 기여했다는 것은 중간 신뢰도를 갖는다. {WGI SPM B-1, 2.5.1, 2.5.4-2.5.5, 2.6.2, 10.6, 표 SPM.1, FAQ 2.2, SREX 표 3-1, 3.2}

인위적 기후변화가 전지구적 규모에서 하천 홍수의 빈도와 규모에 영향을 미쳤다는 것의 신뢰도는 낮다. 대개 저수지가 적절히 관리되지 못하여 장기 기록이 부족한 이유로 하천 홍수와 관련된 강력한 증거를 얻기 힘들다. 또한, 다수의 인간활동은 저수지에 영향을 주고, 저수지는 다시 홍수에 영향을 미치므로, 관측된 홍수 관련 변화의 원인을 기후변화로 돌리는 데 어려움이 있다. 그러나 최근 일부 저수지에서 극한 강수 및 배수(discharge)의 증가 경향이 감지된 것은, 지역적인 규모에서의 홍수 위험이 상대적으로 크다는 것을

의미한다 (중간 신뢰도). 전세계적으로 홍수피해와 관련된 비용을 발생시키는 부분적 원인은 사람과 자산의 홍수에 대한 노출 증가로 볼 수 있으며, 이는 1970 년대 이후 증가하고 있다. {WGI 2.6.2, WGII 3.2.7, SREX SPM B}

전지구적 규모에서 관측된 가뭄 경향의 신뢰도는 낮는데, 이는 직접 관측이 부족하고, 가뭄의 정의 선택에 대해 유추된 경향의 의존성이 높으며, 가뭄 경향이 지리적으로 고르게 나타나지는 않기 때문이다. 가뭄의 장기 경향에서 십 년 주기 규모 변동성을 구별하는 데는 동일한 관측적 불확실성 및 어려움이 있기 때문에 20 세기 중반 이후 전지구적 육지지역의 가뭄 변화의 원인 규명에 대한 신뢰도는 낮다. {WGI 표 SPM.1, 2.6.2.3, 10.6, 그림 2.33, WGII 3.ES, 3.2.7}

열대성 저기압 활동에서 나타난 장기적인 변화가 확실하다는 것에 대한 신뢰도는 낮고 전지구적 변화가 어떠한 특정 원인에서 기인했다는 것에 대한 신뢰도도 낮다. 그러나, 강력한 열대 저기압 활동이 1970 년 이후 북대서양에서 증가했다는 것은 사실상 확실하다. {WGI 표 SPM.1, 2.6.3, 10.6}

대개 평균 해수면 상승의 결과로 나타나는 극한 해수면(예: 해일에서 경험)은 1970 년 이후 증가했을 가능성이 높다. 관련 연구가 부족하고, 해안 지역의 기타 변형에서 초래된 영향을 구분하기 어렵기 때문에, 해수면 상승의 영향에 대해 적용할 수 있는 증거는 제한적이다. {WGI 3.7.4-3.7.6, 그림 3.15, WGII 5.3.3.2, 18.3}

폭염, 가뭄, 홍수, 사이클론 및 산불과 같은 최근의 극한 기후현상이 미친 영향을 볼 때, 일부 생태계와 다수의 인간계가 현재 기후변동성에 상당히 취약하고 심각하게 노출되어 있다는 것을 알 수 있다 (매우 높은 신뢰도). 생태계의 변화, 식량 생산 및 수자원 공급의 붕괴 등을 포함한 기후 관련 극한현상의 영향으로 인해 기반시설과 주거 정착, 인간 질병률과 사망률, 정신 건강 및 인류 복지는 타격을 받는다. 모든 개발 단계의 국가에서, 현재의 기후 변동성에 대한 준비가 부족할 경우 일부 부문에서 기후 관련 극한현상의 영향은 상당히 크게 나타난다. {WGII SPM A-1, 3.2, 4.2-3, 8.1, 9.3, 10.7, 11.3, 11.7, 13.2, 14.1, 18.6, 22.2.3, 22.3, 23.3.1.2, 24.4.1, 25.6-8, 26.6-7, 30.5, 표 18-3, 표 23-1, 그림 26-2, 박스 4-3, 박스 4-4, 박스 25-5, 박스 25-6, 박스 25-8, 박스 CC-CR}

기상 관련 재해로 인한 직접적 손실 및 보험 측면의 손실 모두 전지구적 및 지역적으로 최근 수십 년간 현저히 증가하고 있다. 인간 및 경제 자산의 노출을



증가시키는 주된 요인은 기상 및 기후 관련 재해로 인한 경제적 손실이 장기적으로 증가하는 데 있다 (높은 신뢰도). {WGII 10.7.3, SREX SPM B, 4.5.3.3}

1.5 노출 및 취약성

기후변화 및 극한현상이 초래하는 영향의 특성과 심각성 정도는 위험에서 나타나는데, 여기서 위험은 기후 관련 위해(hazard)뿐만 아니라 인간 및 자연계의 노출(위험에 처한 인간 및 자산)과 취약성(유해에 대한 민감성)에 따라 달라진다.

노출 및 취약성은 광범위한 사회, 경제 및 문화적 요인들과 과정들에 의해 영향을 받는데, 이러한 요인 및 과정은 아직 완전하게 고려되지 못했고 그 미래 경향을 정량적으로 평가하는 것 또한 어렵다 (높은 신뢰도). 이러한 요인에는 사회 전반에 걸친 부(wealth) 및 그 분포, 인구 통계, 이주, 기술 및 정보 접근성, 고용 패턴, 적응 반응의 질, 사회적 가치, 거버넌스, 갈등 해소 제도 등이 포함된다. {WGII SPM A-3, SREX SPM B}

비기후 요인(non-climatic factor)과 불균등한 개발 과정으로 인해 다 측면을 지니는 불평등이 종종 양산되는데, 이로 인해 취약성과 노출에서의 차이가 나타난다(매우 높은 신뢰도). 또한 이러한 차이로 인해 기후변화에 의한 위험은 다양한 수준으로 나타난다. 사회, 경제, 문화, 정치, 제도적으로 혹은 기타 측면에서 소외된 계층은 특히 기후변화 및 일부 적응과 완화 반응에 대해 높은 취약성을 보인다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 취약성을 증가시키는 단 하나의 원인은 없다. 즉, 사회 경제적 상태 및 수입뿐만 아니라 노출에서 불평등을 초래하는 사회적 과정들이 상호작용하여 결과적으로 소외 계층의 취약성을 높이는 것이다. 사회적 과정에서의 차별에는 성별, 계층, 인종, 연령, 능력(장애)에 대한 차별이 포함된다. {WGII SPM A-1, 그림 SPM.1, 8.1-8.2, 9.3-9.4, 10.9, 11.1, 11.3-11.5, 12.2-12.5, 13.1-13.3, 14.1-14.3, 18.4, 19.6, 23.5, 25.8, 26.6, 26.8, 28.4, 박스 CC-GC}

기후 관련 위해(hazard)는 특히 빈곤계층의 생계에 부정적인 결과를 가져오며, 이와 함께 기타 스트레스 요인들 또한 악화시킨다 (높은 신뢰도). 기후 관련 위해(hazard)는 생계에 대한 영향, 작물 수확량 감소, 또는 주거 파손 등을 통해 빈곤 계층에 직접적으로 영향을 주며, 간접적으로는 식량 가격을 높이고 식량 불안정을 초래하는 등의 과정을 통해 영향을 준다. 대개 제한적이고 간접적이지만, 빈곤 및 소외 계층에 대해 관측된 긍정적인 효과에는 사회 네트워크 및 농업 관행의 다양화 등이 있다. {WGII SPM A-1, 8.2-8.3, 9.3, 11.3, 13.1-13.3, 22.3, 24.4, 26.8}

폭력 충돌이 기후변화에 대한 취약성을 증가시킨다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 대규모 폭력 충돌은 기반시설, 제도, 천연 자원, 사회 자본, 및 생계 기회를 포함하여 적응을 돕는 자산을 해친다. {WGII SPM A-1, 12.5, 19.2, 19.6}

1.6 기후변화에 대한 인류의 대응: 적응 및 완화

전지구 인위적 온실가스 배출량이 계속 증가하고 있지만, 적응 및 완화 경험은 전 지역과 규모에 걸쳐 축적되고 있다.

성과 정도는 다양하지만, 오래전부터 사람과 사회는 기후, 기후변동, 극한현상에 맞춰 적응하거나 이에 대응해왔다. 오늘날 기후변화에 대해 축적된 적응 및 완화 노력을 통해 학습이나 개선을 위한 기회를 마련할 수 있다 (3, 4). {WGII SPM A-2}

적응이 일부 계획과정에 포함되고 있지만, 실질적인 대응 이행은 비교적 제한적으로 이루어지고 있다 (높은 신뢰도). 공학 및 기술적인 방안은 재해 위험 관리 및 수자원 관리 등과 같은 기존의 프로그램 내에 통합되기도 하는데, 이를 통해 적응 대응이 이행된다. 적응의 사회적 가치(지역 및 토착적 가치), 제도적 가치 및 생태계 기반 대책의 가치에 대한 인식이 높아지고 있으며, 적응 제약 범위에 대한 인식도 높아지고 있다. {WGII SPM A-2, 4.4, 5.5, 6.4, 8.3, 9.4, 11.7, 14.1, 14.3-14.4, 15.2-15.5, 17.2-17.3, 21.3, 21.5, 22.4, 23.7, 25.4, 26.8-26.9, 30.6, 박스 25-1, 박스 25-2, 박스 25-9, 박스 CC-EA}

다양한 수준의 정부는 적응 계획 및 정책을 개발하고 기후변화 고려 사항을 광범위한 개발 계획에 통합하기 시작하였다. 적응의 예는 이제 전세계의 모든 지역에서 보여지고 있다 (적응 실행을 지원하는 방안과 정책에 대한 자세한 내용은 주제 4 참조). {WGII SPM A-2, 22.4, 23.7, 24.4-24.6, 24.9, 25.4, 25.10, 26.7-26.9, 27.3, 28.2, 28.4, 29.3, 29.6, 30.6, 표 25-2, 표 29-3, 그림 29-1, 박스 5-1, 박스 23-3, 박스 25-1, 박스 25-2, 박스 25-9, 박스 CC-TC}

전세계 내 다수의 지역에서 완화 활동이 이루어지고 있음에도 불구하고, 전지구적으로 인위적 배출량과 기후 영향은 증가하고 있다. 하위 국가 및 전지구 규모에서 다양한 완화 계획이 마련 및 추진되고 있지만, 그 영향을 전반적으로 평가하는 것은 아직 시기상조일 수 있다. {WGII SPM.3, SPM.5}

2

미래의 기후변화와 위험, 영향

주제 2: 미래의 기후변화와 위험, 영향

온실가스 배출이 계속됨에 따라 온난화 현상이 더욱 심화되고 기후 시스템을 이루는 모든 구성요소들은 장기적으로 변화하여, 결과적으로 인간계 및 생태계에 심각하고 광범위하며 돌이킬 수 없는 영향을 미칠 것이다. 기후변화를 제한하기 위해서는 온실가스 배출량을 큰 폭으로 줄이려는 지속적인 노력이 필요하며, 감축과 적응을 통해 기후변화 위험을 예방할 수 있을 것이다.

주제 2에서는 미래 기후변화 및 기후변화가 초래할 위험과 그 영향을 평가한다. 또한, 미래의 온실가스 (GHG) 배출 시나리오를 포함하여 미래 기후변화의 양상을 결정하는 요인들을 개략적으로 설명한다 (2.1 절). 박스 2.1, 2.2 및 2.3에서는 제 4 차 평가보고서(IPCC Fourth Assessment Report, AR4) 이후 새롭게 개발한 것을 포함하여 기후변화뿐만 아니라 기후변화가 초래할 영향과 위험을 전망하는 데 사용한 방법 및 도구를 설명하였다. 2.2 절에서는 전문가가 제시한 '전망의 신뢰도' 및 전망 관련 불확실성과 더불어 기후 시스템 변화의 전망을 설명한다. 2.3 절에서는 인간계에 대한 기후변화의 영향과 이에 따른 위험을 평가한다. 2.4 절에서는 비가역적인 변화, 갑작스러운 변화 및 2100년 이후의 변화를 설명하면서 주제 2의 결론을 내린다.

2.1 미래 기후의 주요 동인과 전망이 만들어진 기반

이산화탄소 누적 배출량은 21세기 후반과 그 이후의 평균 지구 표면 온난화에 상당한 영향을 미친다. 미래 온실가스 배출량은 사회경제적 개발과 기후 정책에 의존해서 매우 다르게 전망되고 있다.

지구 기후 시스템에서 나타나는 중요한 과정들은 기후 모델을 사용하여 수학적으로 나타낼 수 있다. 본 보고서에서는 탄소순환을 모의하는 지구 시스템 모델(Earth System Models, EMS)을 포함, 단순 이상적 모델(Simple idealized model)에서부터 중간 복잡성 모델(intermediate complexity model) 및 종합적인 대순환모델(General Circulation Model, GCM)에 이르기 까지, 여러 기후 모델에서 얻은 결과를 반영한다. 대순환모델은 다양한 기후 측면(대기 및

해양의 온도, 강수량, 바람, 구름, 해류, 해양빙의 범위 등)를 모의한다. 위 모델들의 결과는 과거의 관측 자료를 통해 광범위한 수준에서 테스트할 수 있다 (박스 2.1). {WGI 1.5.2, 9.1.2, 9.2, 9.8.1}

온실가스 및 대기 중 오염물질 배출량과 토지사용 패턴 시나리오를 통해 얻은 정보를 이용하여 미래 기후변화를 전망하기 위한 기후 모델을 구동하였다. 단순 이상적(simple idealised) 실험에서부터 통합 평가모델(Integrated Assessment Models, 용어집 참조)에 이르기까지 다양한 접근법들을 바탕으로 시나리오를 개발하였다. 경제개발, 인구성장 및 생활양식에서의 변화를 명확히 파악하는 것에 불확실성은 높지만, 이들 요소는 에너지 사용, 토지 이용, 기술 및 기후 정책 부분과 상당히 밀접한 관계를 갖고 있으므로, 인위적 온실가스 배출량의 변화를 결정한다고 볼 수 있다. {WGI 11.3, 12.4, WGIII 5, 6, 6.1}

박스 2.1 | 지구 기후 시스템 모델링의 개선 사항, 신뢰성 및 불확실성

전 대륙에 걸쳐 지표 온도, 대규모 강수량, 몬순(계절풍), 북극 해양빙, 해양의 열 함유량, 극한 기후 현상, 탄소 순환, 대기 중 화학물질 및 에어로졸, 성층권 오존의 영향, 엘니뇨 남방진동을 모의하는 기후 모델이 IPCC 제 4 차 평가보고서(AR4) 이후 개선된 것은 자명하다. 기후 모델들은 20세기 중반 이후 점차 가속화되고 있는 온난화와 대규모 화산 분출 이후의 즉각적 냉각 등을 포함하여 전 대륙에 걸친 지표 온도 패턴에 대한 과거의 관측 결과 및 수십 년간의 동향을 재현한다 (매우 높은 신뢰도). 광범위한 수준에서 강수량의 패턴을 모의 (simulation)하는 기후 모델들의 능력은 AR4 이후 어느 정도 개선되었지만, 여전히 지표 온도에 대한 모의에 비하여 강수량에 대한 모의 능력이 낮다. 구름 및 에어로졸 관련 과정의 대표성(representation)에 대한 신뢰도는 여전히 낮다. {WGI SPM D.1, 7.2.3, 7.3.3, 7.6.2, 9.4, 9.5, 9.8, 10.3.1}

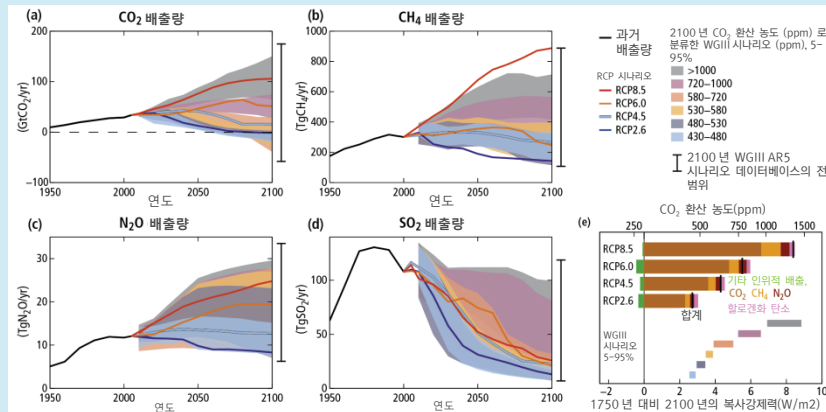
해양 열팽창과 빙하 및 빙상을 모의하는 (결과적으로 해수면의 변화를 나타냄) 기후변화 모델의 능력은 AR4 이후 개선되었지만, 기후 모델이 그린란드 및 남극 빙상의 역할을 나타내는 능력은 아직 상당히 부족하다. 위에서 설명한 것처럼 기후 모델의 능력이 향상됨과 더불어 과학적 정보 및 역량 또한 개선되었기 때문에, 본 보고서는 AR4와 비교하여 해수면 전망을 개선할 수 있었다. {WGI SPM E.6, 9.1.3, 9.2, 9.4.2, 9.6, 9.8, 13.1, 13.4, 13.5}

대규모의 변화 패턴에 대해 AR4의 기후 모델이 전망한 것과 AR5의 것은 전반적으로 동일하며, 불확실성 정도에서도 주목할 만한 차이는 없었지만, AR5에서는 새로운 실험 및 연구를 바탕으로 먼 미래에 대한 전망에서 나타나는 불확실성의 특징을 좀 더 완성도 높고 철저하게 연구하였다. {WGI 12.4}

박스 2.2 | '대표농도경로(Representative Concentration Pathways)'

대표농도경로(Representative Concentration Pathways, 이하 RCP) RCP는 'GHG 배출량', '대기 중 GHG 농도', '대기 중 오염물질 배출량' 및 '토지 이용'이 21세기 전반에 걸쳐 전개되는 과정을 4가지 경로에 따라 묘사한 것이다. RCP는 통합평가모델(Integrated Assessment Model, IAMs)을 활용하여 개발하였으며, 기후 모델을 통해 얻은 다양한 모의 결과를 반영하여 기후 시스템이 향후 어떻게 전개될 것인지 예측하였다. 이렇게 RCP를 통해 얻어진 기후 전망 결과는 영향 및 적응 평가에 다시 사용하였다. WGIII²⁸에서 평가한 광범위한 완화 관련 문헌의 시나리오들을 망라하여 RCP를 만들었으며, 이 시나리오들을 바탕으로 각 농도 경로에 따라 배출량 감축에 소요되는 비용을 평가하였다. 각종 문헌에서 제시된 GHG 배출량의 범위를 정리하여 다음과 같은 4가지 시나리오로 RCP를 제시한다 (박스 2.2, 그림 1): 엄격한 완화 시나리오(RCP2.6); 2가지의 중간 시나리오(RCP4.5 및 RCP6.0); 매우 높은 GHG 배출 수준의 시나리오(RCP8.5). 온실가스 배출 감축을 위한 추가적인 노력이 이루어지지 않은 경우의 시나리오('베이스라인 시나리오'; 'baseline scenarios')는 RCP6.0과 RCP8.5 사이에 존재한다. RCP2.6은 전지구 온난화 수준이 산업화 이전 기온 대비 2°C 상승 이하로 유지될 가능성을 높이는 것을 목표로 하는 시나리오이다. 대다수의 기후 모델들은 RCP2.6와 유사한 수준의 복사강제력에 부합하는 시나리오에서 2100년까지 막대한 양의 순 마이너스 배출량²⁹ (연간 2 GtCO₂)이 필요하다는 것을 보여준다. 미래 토지사용을 예측한 모든 문헌들을 바탕으로, RCP의 토지사용 시나리오는 재조림에 따른 순 흡수로부터 산림전용에 따른 배출까지 다양한 수준에서 앞으로 나타날 토지사용의 변화를 전망하였다. 대기 중 오염물질 규제 및 온실가스 저감 정책이 마련될 것으로 예상됨에 따라, RCP 시나리오들은 이산화황(SO₂)과 같은 대기 중 오염물질이 지속적으로 감소될 것이라 예측하였다. RCP 미래 시나리오들은 자연적 강제력(예: 화산 분출)에서의 변화를 반영하지 않았다는 점을 유의한다 (박스 1.1 참조). {WG1 박스 SPM 1, 6.4, 8.5.3, 12.3, 부속서 II, WGII 19, 21, WGIII 6.3.2, 6.3.6}

RCP는 기후 정책을 고려한 시나리오이기 때문에, 기존의 평가 보고서들에서 사용한 SRES(배출시나리오에 관한 특별보고서) 시나리오와 비교하여 좀 더 광범위하다고 볼 수 있다. 전반적인 강제력을 고려할 때, RCP8.5는 SRES A2/A1FI 시나리오와 유사하고, RCP6.0와 RCP4.5는 각각 B2, B 시나리오와 유사하다. SRES에서 RCP2.6과 유사한 시나리오는 없다. 결과적으로, 제 4차와 5차 평가보고서 기후 전망 규모에서의 차이는 대개 광범위한 배출을 평가에 포함했는지의 여부에서 비롯된 것이다. {WG1 TS 박스 TS.6, 12.4.9}



박스 2.2, 그림 1 | 배출 시나리오 및 각 시나리오와 관련된 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP)의 복사강제력(선)과 WGIII에 사용된 관련 시나리오 범주 (색상으로 채워진 부분, 표 3.1 참조). 패널 a, b, c, d는 각각 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 이산화질소(N₂O), 이산화황(SO₂)의 배출량이다. 패널 e는 계산된 각 RCP와 WGIII에서 사용된 범주 (모든 범주)의 미래 복사강제력 수준을 나타내며, 각 RCP에 대해서는 복사강제력의 동인별로 단순 탄소 순환(simple carbon cycle) 온실가스 유도 기후변화 평가 모델 (Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change, MAGICC)을 사용하였다. {WG/ 8.2.2, 8.5.3, 그림 8.2, 부속서 II, WGIII 표 SPM.1 및 표 6.3}. WGIII는 각종 과학 문헌에서 나타난 다양한 배출 시나리오들을 요약하여 WGIII 시나리오 범주(categories)를 제시하였으며 WGIII 시나리오 범주는 2100년의 CO₂ 환산 농도(ppm)를 기준으로 분류되었다 (표 3.1). 각 패널 (패널 a-d)에서 오른쪽의 수직선은 WGIII AR5에서 사용된 시나리오 데이터베이스의 전체 범위를 의미한다.

²⁸ 2100년까지의 CO₂ 환산 농도(CO₂-equivalent, CO₂ 환산)를 기준으로 대략 300여개의 베이스라인과 900여개의 완화 시나리오가 분류되었다. CO₂ 환산 농도에는 모든 온실가스 (할로겐 기체와 대류권 오존 포함) 및 에어로졸과 알베도 변화에 의한 복사강제력이 포함된다.

²⁹ 순 마이너스 배출(net negative emissions)은 대기 중에 방출된 온실가스보다 격리된 온실가스의 양이 많을 때 발생한다 (예: 탄소포집 및 저장과 연계한 바이오에너지의 사용)

제 5 차 평가보고서에서 사용한 베이스라인 시나리오 세트(set)는 대표농도경로(RCP, 박스 2.2)이다. {WGI 박스 SPM.1}

기후변화가 초래할 미래 영향 및 위험을 측정하는 데 사용한 방법은 박스 2.3 에서 설명한다. 본 보고서에서는 미래 영향을 모델화하여 평가하는 데 대개 RCP 를 사용한 기후 모델의 전망을 사용하였지만, 일부 경우 RCP 이전의 '배출시나리오에 관한 특별보고서 (SRES)'에서 제시된 시나리오를 적용한 모델을 사용하기도 하였다. {WGI 박스 SPM.1, WGII 1.1, 1.3, 2.2-2.3, 19.6, 20.2, 21.3, 21.5, 26.2, 박스 CC-RC}

기후 관련 영향의 위험은 기후-관련 위해(hazard) 요소(위해한(hazardous) 사건 및 경향 포함)와 인간 및 자연계의 노출 및 취약성이 상호작용함에 따라 발생한다. 대안 개발 경로(alternative development paths)는 온실가스, 오염물질 및 토지사용에 영향을 미침으로써, 기후적인 사건 및 동향이 나타날 가능성을 변화시킬 뿐만 아니라 취약성과 노출의 정도 또한 변화시켜

위험에 영향을 미친다. {WGII SPM, 19.2.4, 그림 19-1, 박스 19-2}

제 4차 평가보고서 이후, 전 부문 및 지역에 걸쳐 기후 관련 이해도가 향상됨에 따라 미래 기후변화 영향 및 위험을 예측하는 데 사용되는 실험, 관측 및 모델 또한 개선되었다. 예를 들어, 지식 기반(knowledge base)이 개선됨에 따라, 인간 안보 및 생계에 대한 위험이나 해양에 대한 위험 등을 더욱 광범위한 안목에서 평가할 수 있게 되었다. 기후변화 및 그 영향의 일부 측면에 대해서는, 미래 전망의 불확실성의 폭을 좁힐 수 있었다. 이와 다른 측면들은 불확실성 정도에서 변동이 없을 것이다. 이처럼 불확실성이 좁혀지지 않는 것은 대개 기후변화의 규모와 속도를 조절하는 메커니즘에서 근본적으로 비롯된 것이며, 다른 몇몇은 '인류, 사회, 생태계의 근원적인 취약성 및 노출' 과 '기후변화' 간 잠재적으로 존재하는 복잡한 상호작용 때문이다. 본 보고서에서는, 주요 메커니즘에서 계속적으로 나타나는 불확실성뿐만 아니라 복잡한 상호작용에 대한 전망을 함께 고려한 후, 미래 위험 수준을 분석하는 데 집중하였다. 위험의 '발생 확률'과 '위험으로

박스 2.3 | 기후변화 위험, 취약성 및 영향을 추산하는 데 사용한 모델 및 방법

제 5차 평가보고서에서는 이전의 평가에서와 같이 실험, 유추(analogies) 및 모델을 사용하여 미래 기후 관련 위험, 취약성 및 영향을 추정하였다. 특정 관심 주제(미래에 예상되는 조건 반영)에 영향을 주는 하나 혹은 그 이상의 기후 시스템 요소가 변하게끔 고의적으로 유도하면서 해당 주제에 대한 기타 영향 요소들은 변하지 않도록 유지시키는 것이 '실험(Experiment)'이다. '유추(Analogy)'는 기존의 변수들(variations)을 바탕으로 미래의 변화를 예측하는 것이며, 윤리적 문제가 있거나, 실험 지역이 너무 광범위하거나, 오랜 시간이 소요되거나, 시스템의 복잡성이 높아 대조 실험(controlled experiments)이 불가능할 경우 사용된다. 공간적 유추와 시간적 유추, 이 두 가지 유형의 유추가 기후 및 영향의 전망에 사용된다. 공간적 유추는 어떠한 한 지역에 나타나는 변화가 기타 유사한 조건을 지닌 다른 지역에서도 미래 나타날 것을 전제로 하는 유추이다. 시간적 유추는 과거의 변화를 바탕으로 미래의 변화를 추론하는 것이며, 일부 경우 원시 생태학적 데이터(paleo-ecological data)가 사용되기도 한다. 실제 지구 시스템을 모의한 후 수치로 나타내는 데는 일반적으로 '모델'을 사용하며, 모델을 보정하고 모델의 타당성을 검증하고자 할 때는 실험 및 유추를 통해 도출한 결과를 이용한다. 미래에 발생 가능한 상황을 광범위한 수준에서 묘사적으로 설명하는 것 또한 하나의 모델이며, 이러한 묘사적 설명(descriptive narratives)은 시나리오 구성에도 사용된다. 수치적 (quantitative) 모델과 묘사적(descriptive) 모델은 함께 사용되는 경우가 많다. 기타 여러 부문 중에서도 다음 부문에 대한 영향을 모델화한다; 수자원, 육지의 생물다양성 및 생태계서비스, 내수(inland waters), 해양 및 빙하 부문, 도시 기반시설, 농업 생산성, 건강, 경제 성장 및 빈곤. {WGII 2.2.1, 2.4.2, 3.4.1, 4.2.2, 5.4.1, 6.5, 7.3.1, 11.3.6, 13.2.2}

'지구 시스템에서 전망되는 변화'와 '여러 측면의 사회 및 생태계 취약성' 간 상호작용을 토대로 위험을 평가한다. 하나의 위험이 나타날 확률을 직접적으로 추산하는 데 필요한 데이터는 충분하지 않으므로, 특정한 기준(위험의 발생 규모 및 확률 혹은 비가역성; 영향이 나타나는 시기; 위험에 기여하는 취약성 및 노출의 영구적으로 지속되는 정도; 적응이나 완화를 통한 위험 저감 잠재성이 제한된 정도)을 바탕으로 한 전문가 판단을 통해 특정 위해(hazard) 요소의 맥락에서 노출 및 취약성을 고려하고 향후 나타날 결과의 심각성 및 발생 가능성을 위험 평가에 통합한다. {WGII 11.3, 19.2, 21.1, 21.3-21.5, 25.3-25.4, 25.11, 26.2}

³⁰ 1850-1900년 대비 1986-2005년 기간의 기온은 약 0.61 [0.55-0.67]°C 더 높았다. {WGI SPM E, 2.4.3}

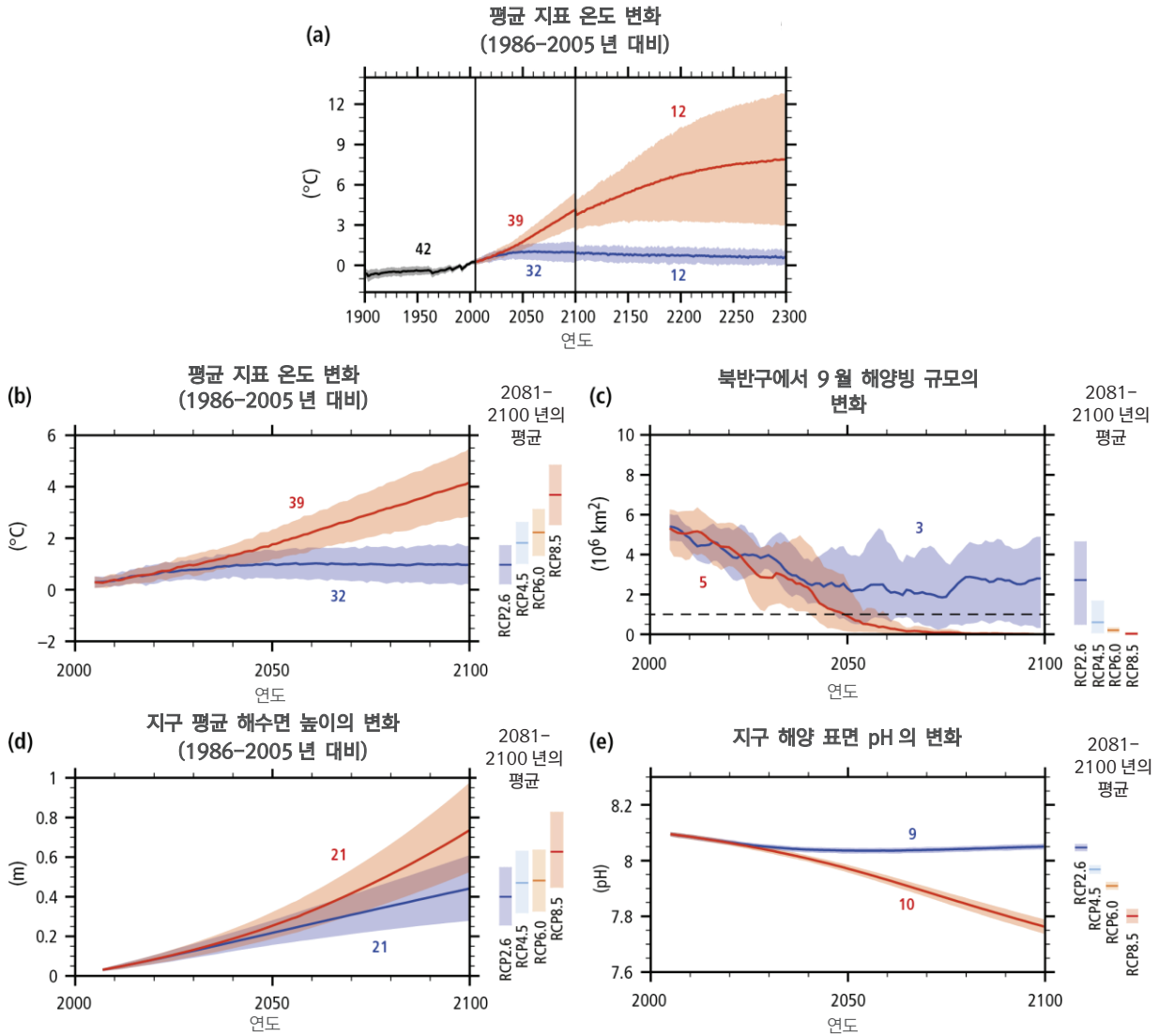


그림 2.1 | (a) 결합모델 상호비교 프로젝트 5 단계 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, 이하 CMIP5) 농도 주도형 실험에서 1986-2005 년 수준 대비 1900-2300 년 기간에 나타난 시간에 따른 평균 지표 온도의 연간 변화. 다중 모델 평균에 대한 전망은 실선으로 나타내었고, 개별 모델의 분포에 걸쳐 5%-95% 범위는 음영으로 나타내었다. 회색선 및 그 주위의 회색 음영은 CMIP5 의 과거 시뮬레이션 결과이다. 2100 년에 수직선을 그은 이유는 21 세기 이후와 그 전을 전망하는 데 사용한 모델의 수가 다르기 때문이고, 물리적 의미는 없다. **(b)** (a) 와 동일한 내용이나 1986-2005 년 대비, 2006-2100 년 기간의 수준. **(c)** 북반구에서 9 월 해양빙 규모의 변화 (5 년 연속 평균). 파선은 거의 얼지 않는 바다를 나타낸다 (즉, 최소한 5 년 연속으로 9 월 해양빙의 범위가 106 km² 이하인 경우). **(d)** 지구 평균 해수면 높이의 변화. **(e)** 해양 표면 pH 의 변화. 모든 패널에서 전망 시계열 및 불확실성 측정(음영)은 RCP 2.6(파란색) 및 RCP8.5(붉은색) 시나리오에 대해 나타낸 것이다. 각 패널에는 다중-모델 평균을 계산하는 데 사용된 CMIP5 모델의 수 또한 표시하였다. 2081-2100 년 평균의 경우, 모든 시나리오 각각에 대한 평균 및 해당 평균과 연계된 불확실성 범위를 나타내었다 ((b)에서 (e)까지 패널의 오른쪽 끝에 음영 처리를 한 수직 막대로 나타냄). (c)에서 해양빙 범위에 대한 전망값 평균 및 불확실성 범위(최저-최고 범위)는 기후학적인 평균 상태를 가장 정교하게 재현한 모델의 하위 세트(sub-set)와 1979-2012 년의 북극 해양빙 동향만을 바탕으로 한 것이다. 해수면 높이(d)에 대한 최근 정보에 의하면 (관측, 물리적 이해 및 모델링), 남극 빙하의 해양 기반 부문(marine-based sectors)이 붕괴하기 시작할 경우에만, 지구 해수면 높이가 21 세기 예상 가능 해수면 상승 범위를 크게 넘는 수준으로 상승할 것이다. 그러나 이러한 추가적인 해수면 상승은 21 세기 동안 1m 의 수심 cm 를 넘어서지 않을 것이다 (중간 신뢰도). {WG1 그림 SPM.7, 그림 SPM.9, 그림 12.5, 6.4.4, 12.4.1, 13.4.4, 13.5.1}

인해 초래될 결과'는 모두 위험을 분석하는 데 필요한 요소이기 때문에, 모의하기가 어려운 '낮은 발생 확률(low-probability)'의 '심각한 결과(high-consequence)'를 지닌 영향을 포함하여 최대한 넓은 범위에서 미래를 전망하는 것이 중요하다. {WGII 2.1-2.4, 3.6, 4.3, 11.3, 12.6, 19.2, 19.6, 21.3-21.5, 22.4, 25.3-25.4, 25.11, 26.2}

2.2 기후 시스템에서 전망되는 변화

본 보고서에서 평가한 모든 배출 시나리오에서 표면 온도는 21 세기 전반에 걸쳐 상승할 것으로 전망된다. 많은 지역에서 폭염의 발생 빈도와 지속 기간뿐만 아니라 강한 강수 현상의 발생 빈도 및 강도 또한 증가할 가능성이 매우 높다. 해양에서는 온난화와 산성화가 지속될 것이며 전지구 평균 해수면 높이는 계속해서 상승할 것이다.

표 2.1 | 1986-2005 년 대비, 21 세기 중-후반에 대해 전망되는 지구 평균 표면 온도의 변화 및 지구 평균 해수면 높이 상승 {WG I / I SPM.2, 12.4.1, 13.5.1, II 12.2, II 13.5}

	시나리오	2046-2065		2081-2100	
		평균	가능 범위 ^c	평균	가능 범위 ^c
지구 평균 표면 온도 변화 (°C) ^a	RCP2.6	1.0	0.4-1.6	1.0	0.3-1.7
	RCP4.5	1.4	0.9-2.0	1.8	1.1-2.6
	RCP6.0	1.3	0.8-1.8	2.2	1.4-3.1
	RCP8.5	2.0	1.4-2.6	3.7	2.6-4.8
	시나리오	평균	가능 범위 ^d	평균	가능 범위 ^d
지구 평균 해수면 높이 상승 (m) ^b	RCP2.6	0.24	0.17-0.32	0.40	0.26-0.55
	RCP4.5	0.26	0.19-0.33	0.47	0.32-0.63
	RCP6.0	0.25	0.18-0.32	0.48	0.33-0.63
	RCP8.5	0.30	0.22-0.38	0.63	0.45-0.82

비고:

^a 결합대순환모델 5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase, CMIP5) 앙상블(ensemble) 결과 바탕: 1986-2005 년 대비 변화 계산. 해들리 센터 기후 연구팀 격자 지표면 기온 데이터세트 4(Hadley Climatic Research Unit Gridded Surface Temperature Data Set 4, HadCRUT4) 와 이 데이터세트의 불확실성 범위 추산값을 (5-95% 신뢰구간) 바탕으로, 1850-1900 년에서 1986-2005 년(기준 기간)까지 관측된 온난화 정도는 0.61 [0.55-0.67]C° 이다. 모델 및 관측치의 불확실성을 결합하는 데 필요한 자료가 충분치 않았기 때문에, 이보다 더 과거의 기준 기간을 고려한 온난화 '가능성(likely)'의 범위는 평가할 수 없었다. 전망된 변화와 관측된 변화를 합할 때, 관측치와 비교한 모델 편향(model biases)의 잠재적 영향과 관측의 기준 기간 중의 내부 변동성(internal variability)은 고려되지 않았다. {WGI 2.4.3; 11.2.2, 12.4.1; II 12.2 및 12.3}

^b 21 개 CMIP5 앙상블(ensemble)의 결과 바탕: 1986-2005 년 대비 변화 계산. 최근 정보 (관측, 물리적 이해 및 모델링) 에 의하면, 남극 빙하의 해양 기반 부문(marine-based sectors)이 붕괴하기 시작할 경우에만, 21 세기 중 가능할 것으로 예상되는 해수면 상승 범위를 크게 넘는 수준으로 지구 해수면 높이가 상승할 것이다. 이러한 추가적인 해수면 상승은 21 세기 동안 1m 의 수십 cm 를 넘어서지는 않을 것이다 (중간 신뢰도).

^c 전망을 통해 5-95% 모델 범위로 계산한 값. 추가적 불확실성 혹은 모델의 다양한 신뢰도를 고려하여 이 범위를 다시 '가능성(likely)'의 범위로 평가하였다. 2046-2065 년의 평균 지표 온도 변화에 대한 전망은 중간 신뢰도를 갖는데, 이는 자연적 내부 변동성의 상대적 중요성 및 온실가스 강제력과 반응에서 불확실성이 2081-2100 년보다 크기 때문이다. 5-95% 모델 범위보다 낮은 '가까운 미래(2016-2035)의 평균 지표 온도 변화'에 대한 범위를 평가하는 데 사용한 요소들이 '먼 미래에 대한 전망'에 미칠 수 있는 영향을 2046 -2065 년의 '가능성' 범위에서는 고려하지 않았는데, 이는 해당 영향을 정량화할 과학적 지식이 충분하지 않기 때문이다. {WGI 11.3.1}

^d 전망을 통해 5-95% 모델 범위로 계산한 값. 추가적 불확실성 혹은 모델의 다양한 신뢰도를 고려하여 이 범위를 다시 '가능성(likely)'의 범위로 평가하였다. 지구 평균 해수면 상승의 전망에 대한 신뢰도는 두 시계(time horizons) 모두에서 '중간'이다

별다른 언급이 없는 한, 2.2 절에서 전망하는 변화는 1986-2005 년 대비 2081-2100 년에 예상되는 변화이다.

2.2.1 기온

1986-2005 년과 비교하여 2016-2035 년에 나타날 평균 지표 온도 변화는 4 가지 RCP 에서 비슷하게 나타나며, 0.3°C-0.7°C의 범위가 될 가능성이 높다 (중간 신뢰도)³⁰. 이 범위는 주요 화산 폭발 사건이나 일부 자연원 (natural resource: 메탄 (CH₄)과 이산화질소 (N₂O))의 변화, 혹은 예측할 수 없는 총 일사량의 변화를 고려하지 않은 범위이다. 미래의 기후는 과거의 인위적 배출이 초래한 온난화뿐만 아니라 미래 인위적 배출량 및 자연 기후 변동성에 따라 결정된다. 21 세기 중반부터는, 전망되는 기후변화의 정도가 배출 시나리오에 따라 상당히 달라지기 시작한다. 이와 같은 배출 시나리오 간 기후변화의 격차는 2100 년을 지나 그 이후까지도 계속해서 벌어질 것이다(표 2.1, 그림 2.1). 특정 RCP 에 대해 제시된 범위(표 2.1) 및 2.2 절에서 언급된 범위는 특정 강제력에 대한 기후 모델들의 민감도(sensitivity) 차이에서 일차적으로 도출한 것이다. {WGI SPM E.1, 11.3.2, 12.4.1}

1850-1900 년 대비, 2081-2100 년의 지표 온도 변화는 RCP4.5, RCP6.0, RCP 8.5 에서 1.5°C를 초과할 가능성이 높을 것으로 전망된다 (높은 신뢰도). 한편, RCP6.0 과 RCP8.5 에서는 온난화가 2°C를 초과할 가능성이 높고 (높은 신뢰도), RCP4.5 에서는 2°C를 초과하지 않을 가능성보다 초과할 가능성이 높은 것으로 보이지만 (중간 신뢰도), RCP2.6 에서는 2°C를 초과할 가능성이 낮다 (중간 신뢰도). {WGI SPM E.1, 12.4.1, II 12.3}

북극 지역의 온난화는 지구 평균 온난화 속도보다 계속해서 더욱 빠르게 진행될 것이다 (그림 2.2, 매우 높은 신뢰도). 육지의 평균 온난화 수준은 해양(매우 높은 신뢰도) 및 전지구적 평균보다 크다 (그림 2.2). {WGI SPM E.1, 11.3.2, 12.4.3, 14.8.2}

평균 지표 온도가 증가함에 따라, 일(daily)과 계절(seasonal) 시간 범위에서 대다수 육지 지역의 극한 고온 현상은 더욱 증가하는 반면 극한 저온 현상은 더욱 감소할 것이 사실상 확실하다. 폭염의 발생 빈도와 지속 기간은 증가할 가능성이 매우 높다. 간헐적으로 발생하는 겨울의 극한 혹은 현상은 계속해서 나타날 것이다. {WGI SPM E.1, 12.4.3}

2.2.2 물 순환

강수량의 변화는 일정하지 않을 것이다. RCP8.5 시나리오에서 21 세기 말까지 고위도 및 적도 부근 태평양의 연간 평균 강수량은 증가할 가능성이 높다. RCP8.5 시나리오에서 중위도 및 아열대 건조 지역의 평균 강수량은 대개 감소하는 반면 중위도 습윤 지역의 평균 강수량은 대개 증가할 가능성이 높다 (그림 2.2). {WGI SPM E.2, 7.6.2, 12.4.5, 14.3.1, 14.3.5}

대부분의 중위도 대륙 및 열대 습윤 지역에서는 극한 강수 현상의 빈도 및 강도가 증가할 가능성이 매우 높다. {WGI SPM E.2, 7.6.2, 12.4.5}

모든 RCP 시나리오에서, 전지구적으로 몬순(계절풍) 시스템에 둘러싸인 지역의 수, 몬순 강수의 강도 및 지역적 수준의 강수 변동성과 연계되어 나타나는 엘니뇨-남방진동의 강도는 증가할 가능성이 높다. {WGI SPM E.2, 14.2, 14.4}

2.2.3 해양, 빙권, 해수면

전지구적으로 해양 온난화는 21 세기 동안 계속될 것이다. 해양 표면의 온난화는 열대 지역 및 북반구 아열대 지역에서 가장 강력하게 나타날 것으로 예상된다. 해양 심층부의 온난화는 남빙양(Southern Ocean)에서 가장 두드러지게 나타날 것이다 (높은 신뢰도). {WGI SPM E.4, WGI 6.4.5, 12.4.7}

대서양 자오면 순환류(Atlantic Meridional Overturning Circulation, AMOC)는 21 세기 전반에 걸쳐 약화될 가능성이 매우 높다. AMOC 감소에 대한 최적 추정값(best estimates) 및 모델 범위는 RCP2.6 시나리오에서 11% (1-24%), RCP8.5에서 34% (12-54%) 이다. 그럼에도, AMOC 는 21 세기에 갑작스럽게 변하거나 붕괴할 가능성이 매우 낮다. {WGI SPM E.4, 12.4.7.2}

모든 RCP 시나리오에서 연차적인(Year-round) 북극 해양빙의 감소가 예상된다. 북극 해양빙의 관측³¹ 을 가장 완성도 높게 재현한 기후 모델들의 부분 집합들은 RCP 8.5 에서 21 세기 중반까지 9 월의 북극해에서 거의 얼지 않는 바다³² 가 나타날 가능성이 높다고 전망한다 (중간 신뢰도) (그림 2.1). 남극에서 해양빙의 범위와 부피는 감소할 것으로 예상된다 (낮은 신뢰도). {WGI SPM E.5 12.4.6.1}

북반구 봄눈(spring snow)의 면적은 다중-모델 평균에서 21 세기 말까지 RCP2.6 에서 7%, RCP8.5 에서 25%까지 감소할 가능성이 높다 (중간 신뢰도). {WGI SPM E.5, 12.4.6}

평균 지표 온도가 상승함에 따라, 북부 고위도(high northern)까지 분포되어 있는 지표 근처 영구동토층은 감소할 것이 사실상 확실하다. 지표 근처 영구동토층(토양 상층의 3.5 m)은 다중-모델 평균에 대해 최소 37%(RCP2.6) 에서 최대 81% (RCP8.5)까지 감소할 것이다 (중간 신뢰도). {WGI SPM E.5, 12.4.6}

남극 대륙 주변 빙하 (및 그린란드와 남극의 빙상(ice-sheets))를 제외한 지구 빙하량은 RCP 2.6 에서 15-55% 감소하고, RCP8.5 에서 35-85% 감소할 것으로 예상된다 (중간 신뢰도). {WGI SPM E.5, 13.4.2, 13.5.1}

지구 평균 해수면은 21 세기 중 및 그 후에도 계속해서 상승할 것이다 (표 2.1, 그림 2.1). 제 4 차 평가보고서 이후 해수면 변화의 전망 및 이해가 상당 부분 개선되었다. 모든 RCP 시나리오 하에서, 해수면 상승률은 1971-2010 년 기간에 대해 관측된 2.0 [1.7-2.3]mm/yr 을 초과할 가능성이 매우 높으며, RCP8.5 에서 2081-2100 년 중 해수면 상승률은 8-16mm/yr 이다 (중간 신뢰도). {WGI SPM B4, SPM E.6, 13.5.1}

해수면이 전 지역에 걸쳐 일정하게 상승하지는 않을 것이다. 21세기 말까지, 약 95% 이상의 해양 지역에서 해수면이 상승할 가능성은 매우 높다. 해수면 상승 수준은 이산화탄소 누적 총량뿐만 아니라, 이산화탄소 배출 경로에 따라 달라진다. 즉, 이산화탄소의 누적 총량이 동일하다면 배출량을 좀 더 빨리 줄여야 해수면 상승을 더욱 많이 완화할 수 있을 것이다. 전 세계 해안 지역의 약 70%에서는 지구 평균의 20% 이내로 해수면이 상승할 것이다 (그림 2.2). 2100년까지, 일부 지역에서 해수면 극한 현상(sea level extremes)의 발생은 현저히 증가할 가능성이 매우 높다. {WGI SPM E.6, TS 5.7.1, 12.4.1, 13.4.1, 13.5.1, 13.6.5, 13.7.2, 표 13.5}

2.2.4 탄소 순환과 생지화학

4 가지 RCP 시나리오 모두에서 2100 년까지, 해양은 인위적 이산화탄소를 지속적으로 흡수할 것이며, 고농도 경로일수록 흡수량이 크다 (매우 높은 신뢰도). 시간이 지남에 따라 육지가 어떠한 양상을 띄고 탄소를 흡수할 것인지는 확실하지 않다. 대다수의 모델은 모든 RCP 하에서 육지가 계속 탄소를 흡수할 것이라 예측하였지만, 일부 모델은 기후변화와 함께 토지사용

³¹ 북극 해양빙 범위의 기후학적 평균 상태 및 1979-2012 년의 동향.

³² 얼지 않는 바다(不凍海)라는 것은, 최소한 5 년 연속으로 해양빙의 범위가 100 만 km² 이하인 바다를 말한다.

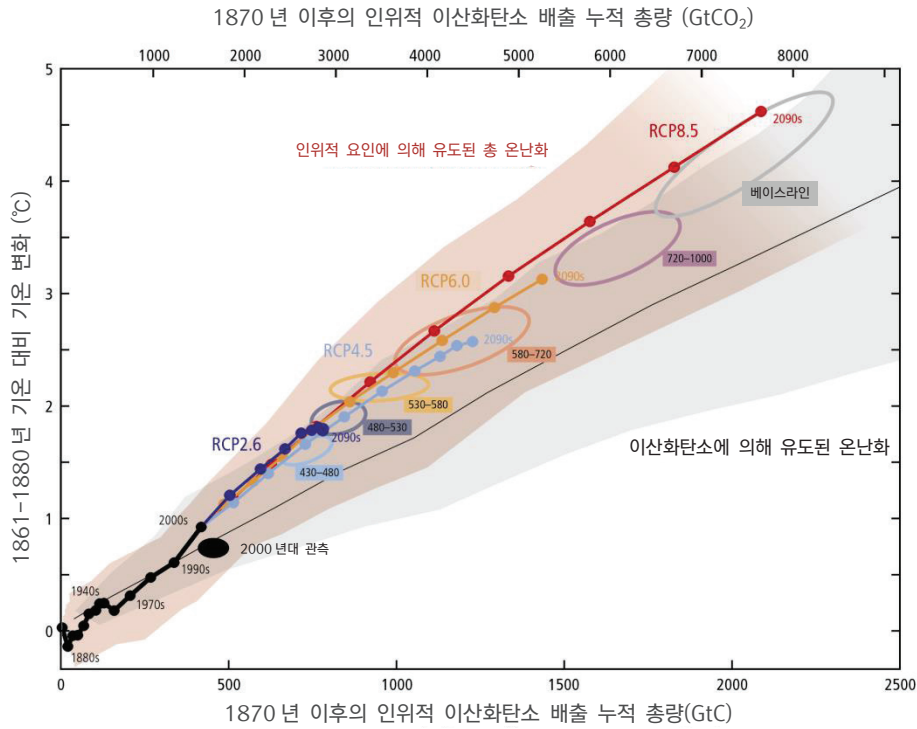


그림 2.3 | 다양한 증거를 미루어 보아, 전지구적으로 총 누적 이산화탄소(CO₂) 배출량이 증가함에 따라 지표의 평균 온도 또한 상승하는 것을 알 수 있다. 2100년까지의 각 대표농도경로(RCP)에 대한 일련의 기후-탄소 순환 모델에서 도출된 다중 모델 결과는 색선으로 나타내었다. 과거의 기간(1860-2010)에 대한 모델 결과는 검정색으로 표시하였다. 색으로 채워진 기둥은 4 가지 RCP 시나리오에 걸친 다중 모델 범위를 나타내며, RCP 8.5 의 경우 적용할 수 있는 모델의 수가 줄어들기 때문에 색이 열려진다. 점은 10 년 단위 평균을 나타내며, 몇몇은 해당 평균의 년대를 별도로 표시하였다. 타원은 WGI의 각 시나리오 범주 하에서 단순 기후 모델 (평균 기후 반응)의 1870-2100 년 누적 이산화탄소 배출량 대비 2100 년의 총 인위적 온난화 정도를 나타낸다. 모든 기온값은 1861-1880 년 기간을 기준으로 제시되었으며 배출량은 1870 년부터 누적된 값이다. 검은색으로 채워진 타원은 관련 불확실성과 함께 2005년까지 관측된 배출량과 2000-2009 년 사이 10년간 관측된 기온이다. {WGI SPM E.8, TS TFE.8, 그림 1, TS.SM.10, 12.5.4, 그림 12.45, WGI의 표 SPM.1, 표 6.3}

변화가 결합적으로 작용하여 육지의 탄소 손실을 이끌 것이라 모의하였다. {WGI SPM E.7, 6.4.2, 6.4.3}

62%), RCP8.5에서는 0.30-0.32(100-109%)가 감소할 것이다 (그림 2.1). {WGI SPM, E.7, 6.4.4}

지구 시스템 모델(Earth System Model, ESM)들을 바탕으로 볼 때, 전지구적 온난화가 진행됨에 따라 기후변화와 탄소순환 사이 되먹임 작용(feedback)은 강화될 것으로 예상된다. 기후변화가 진행되면 대기 중 이산화탄소량이 증가하기 때문에, 토지 및 해양의 탄소 흡수 증가량은 일부 상쇄될 것이다. 결과적으로, 인간 활동에 의해 배출된 인위적 이산화탄소는 대기 중에 잔류하여 온난화를 심화시킬 것이다. {WGI SPM E.7, 6.4.2, 6.4.3}

해양 표면의 온난화가 진행됨에 따라, 21세기 동안 해양의 용존산소량은 수 퍼센트 감소할 가능성이 매우 높다 (대개 중위도의 해저에서 용존산소량의 뚜렷한 감소가 나타남). 그러나, 시간에 따른 잠재적인 생지화학적 영향 및 열대 해양 역학(dynamics)의 변화 과정에 상당한 불확실성이 존재하기 때문에, 외양(open ocean)의 저 산소수량(volume of low oxygen waters)에 대한 동의 수준은 상당히 낮다. {WGI TS 5.6, 6.4.5, WGI TS B-2, 6.1}

지구 시스템 모델(Earth System Model)에 따르면, RCP2.6 하에서는 21세기 중반 이후 느린 속도로 해양 산성화가 회복될 수 있지만, 모든 RCP 시나리오 하에서 21세기 말까지 해양 산성화는 전지구적으로 더욱 심화될 것이 전망된다. 해양 표면의 pH는 RCP2.6에서 0.06-0.07(산성도가 15-17% 증가), RCP4.5에서 0.14-0.15 (38-41%), RCP6.0에서 0.20-0.21 (58-

2.2.5 기후 시스템 반응

기후 모델뿐만 아니라 과거와 현재의 기후변화 분석 자료를 바탕으로, 외부 강제력에 대한 기후 시스템의 반응을 파악하였다. 평형 기후민감도(-equilibrium climate sensitivity, ECS)³³는 1.5°C-4.5°C 범위일 가능성이 높고, 1°C 미만일 가능성은 대단히 낮으며, 6°C

³³ 이산화탄소 농도가 산업화 이전 수준 대비 두 배가 됨에 따라 나타나는 평형 지구 평균 표면 온난화(-equilibrium global average surface warming)로 정의한다.

표 2.2 | 여러 수준의 확률에서 특정 기온 이하로 온난화를 제한하는 것에 상응하는 누적 이산화탄소(CO₂) 배출량 (다수의 증거 기반) {WGII 12.5.4; WGIII, 6}

1870년 이후 누적 이산화탄소 배출량 (단위: GtCO ₂)									
순 인위적 온난화 ^a	<1.5°C			<2°C			<3°C		
기온 목표를 달성한 시뮬레이션의 비율 ^b	66%	50%	33%	66%	50%	33%	66%	50%	33%
복합 모델, RCP 시나리오만을 고려 ^c	2250	2250	2550	2900	3000	3300	4200	4500	4850
단순 모델, WGIII 시나리오 ^d	데이터 없음	2300-2350	2400-2950	2550-3150	2900-3200	2950-3800	데이터 없음 ^e	4150-5750	5250-6000
누적 이산화탄소 배출량 (단위: GtCO ₂)									
복합 모델, RCP 시나리오만을 고려 ^c	400	550	850	1000	1300	1500	2400	2800	3250
단순 모델, WGIII 시나리오 ^d	데이터 없음	550-600	600-1150	750-1400	1150-1400	1150-2050	데이터 없음 ^e	2350-4000	3500-4250
2011년에 이용 가능한 화석 탄소 총량 ^f : 3670-7100 GtCO ₂ (저장량) & 31300-50050 GtCO ₂ (자원량)									

^a 이산화탄소 및 비-이산화탄소(non-CO₂) 동인에 의한 온난화. 주어진 기온값은 1861-1880(기준 기간)년의 수준과 비교한 것이다.
^b 위 표에서 66% 범위는 표 SPM.1, 표 3.1, 및 WGIII 표 SPM.1 에서 가능성(likelihood)을 표현한 수치와 동일한 것이 아님을 주의한다. 이 표들에서 평가는 단일 기후 모델을 사용한 WGIII 시나리오에 앙상블에 대하여 계산된 확률뿐만 아니라, 기후 모델에서는 다루지 않은 기온 전망의 불확실성에 대한 WGI의 평가 또한 바탕으로 하였다.
^c 기온 임계값이 초과된 경우, 접합대순환모델 5 (CMIP5) 복합 모델 지구 시스템 모델(Earth System Model, ESM) 및 중간복잡성의 지구 시스템 모델(Earth System Models of Intermediate Complexity, EMIC) 시뮬레이션의 66%, 50% 혹은 33%가 지구 평균 기온 상승을 주어진 임계값 이하로 유지하는 데 필요한 누적 이산화탄소 배출량 (비-이산화탄소 동인이 RCP8.5 시나리오를 따른다고 가정). 기타 RCP 시나리오에서도 유사한 누적 배출량이 나타난다. 임계값이 초과된 후일 지라도, 대개의 시나리오-임계값 조합에서 배출과 온난화는 계속된다. 그러나, 이산화탄소 배출량은 누적되는 성질을 지니기 때문에, 이 숫자들은 RCP 와 유사한 시나리오들에서 CMIP5 모델 시뮬레이션이 제시한 누적 이산화탄소 배출량을 나타낸다. 각 값은 50 의 자리에서 반올림한다.
^d WGIII 시나리오들에서 온난화가 최고점에 달했을 때, 기후 시뮬레이션의 66% 이상(66-100%), 50% 이상(50-66%) 혹은 33%이상 (33-50%)이 지구 평균 기온 상승을 주어진 임계값 이하로 유지하기 위한 누적 이산화탄소 배출량. 여기서 각 값들을 범위로 나타낸 이유는 비-이산화탄소 동인(non-CO₂ driver)에서의 차이로 인해 누적 이산화탄소 배출량에서도 차이가 나타나기 때문이다. 각각의 시나리오에 대한 기후 시뮬레이션의 비율은 확률론적 방법(probabilistic mode)에서 단순 탄소순환 기후모델인 온실가스 유도 기후변화 평가 모델 (Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change, MAGICC)의 600 개 단위 매개변수 앙상블(Parameter ensemble)을 통해 얻은 것이다. 매개변수와 시나리오 불확실성 또한 이 앙상블에서 분석하였다. 구조적 불확실성(Structural uncertainties)은 단순 모델 환경에서는 분석할 수 없었다. 범위는 시나리오의 불확실성에 따른 영향을 나타낸다 (주어진 시뮬레이션의 비율에 대해, 주어진 범위내에서, 누적 이산화탄소 배출량을 제시한 시나리오의 80%). 단순 모델 예측은 (Simple model estimates) 지난 세기에 걸쳐 관측된 변화로 인해 제한되었으며, 모델 구조의 불확실성은 고려되지 않았고, 일부 되먹임(feedback) 과정 또한 결과에 반영되지 않았을 수 있다. 따라서, 이 표의 결과값은 CMIP5 복합 모델 예측(Complex model estimates)보다 약간 크다. 각 값은 50 의 자리에서 반올림한다.
^e 66% 이상(66-100%)에서 3°C 이하로 기온을 유지시키기 위한 누적 이산화탄소 배출량의 수치적 결과값은 2°C 온난화 목표를 달성할 수 있는 다수의 시나리오에 상당한 영향을 받기 때문에 기타 기온 임계값에 대해 제시된 수치들과 비교할 수 없다.
^f 저장량은 기존의 경제 및 운영 조건에서 회수할 수 있는 양이고, 자원은 잠재적으로 경제적 추출이 가능한 것이다. {WGIII 표 7.2}

이상일 가능성은 대단히 낮다. {WGI SPM D.2, TS TFE.6, 10.8.1, 10.8.2, 12.5.4, 박스 12.2}

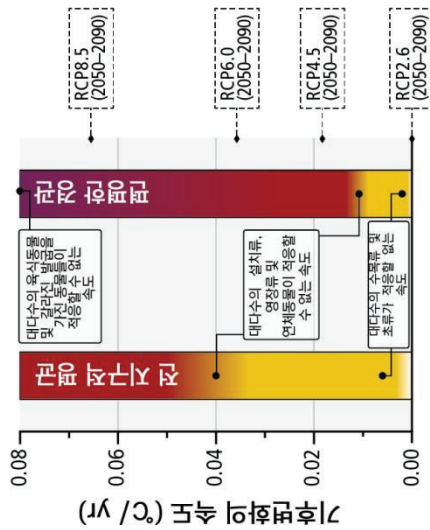
이산화탄소 누적 배출량은 21세기 후반과 그 이후의 평균 지구 표면 온난화에 상당한 영향을 미친다. 여러 방면의 증거를 미루어 보아, 이산화탄소 제거의 영향을 포함한 이산화탄소 순 누적 배출량(net cumulative CO₂ emission)과 2100년까지의 전지구적 기온 변화 전망 간에는 강력하고 일정하며 선형에 가까운 관계가 모든 시나리오에 걸쳐 나타남을 알 수 있다 (그림 2.3). 불확실성이 어느 정도 존재하는 상황에서 이러한 관계는 과거 배출량과 관측된 온난화를 통해 파악할 수 있다. 모든 수준의 온난화는 누적 이산화탄소 배출량의 범위 (비-이산화탄소 동인(non-CO₂ driver)에 의해 달라짐)와 밀접한 관계를 지니는데, 예를 들어, 초반 수십 년간의 배출량이 많다는 것은 후반의 배출량은 적다는 것을 의미한다. {WGI SPM E.8, TS TFE.8, 12.5.4}

이산화탄소로써 배출된 탄소 1 조 톤 (탄소 1000 기가톤; 1000 GtC) 당 최고 지표 평균 온도는 0.8°C-2.5°C 범위일 가능성이 높다. 이른바 '탄소 누적 배출량에 대한 점진적 기후 반응(transient climate response to cumulative carbon emissions, TCRE)'이라 불리는 이 정량치는 모델링 및 관측 증거를 바탕으로 산출한 것이며, 최대 약 2000 GtC 까지의 누적 배출량에 적용된다. {WGI SPM D.2, TS TFE.6, 12.5.4, 박스 12.2}

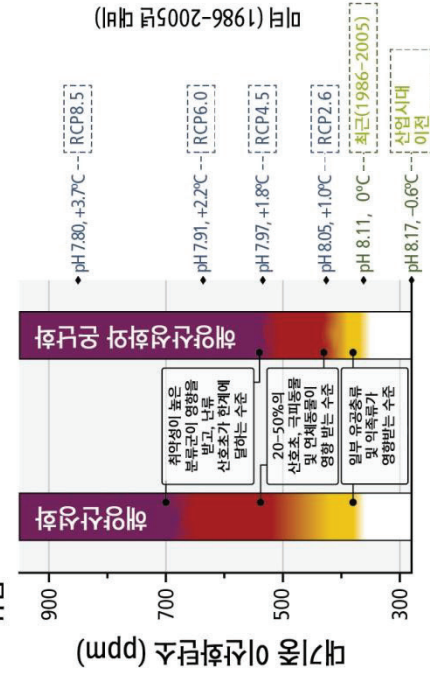
이산화탄소를 대기에서 제거할 방법이 없는 한, 이산화탄소 배출에 의한 온난화는 몇백 년의 기간이 지나도 사실상 돌이킬 수 없는 비가역적인 것이다. 이산화탄소에 의한 온난화를 2°C 미만으로 한정하려면, 모든 인위적 원인에 의해 발생한 총 누적 이산화탄소 배출량이 3650 GtCO₂ (1000 GtC) 이하로 유지될 가능성이 높아야 하는데, 이 누적량의 절반은 이미 2011년까지 배출되었다. {WGI SPM E.8, TS TFE.8, 12.5.2, 12.5.3, 12.5.4}

RCP2.6에서 RCP8.5까지 위험 증가 정도

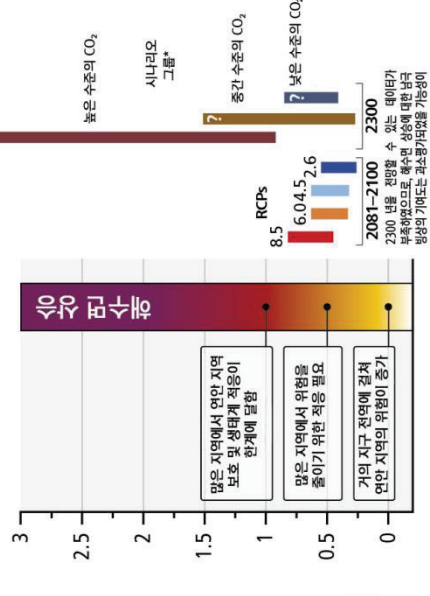
(a) 온난화 속도에 따른 육상증 및 담수증에 대한 위험



(b) 해양산성화가 해양중에 미치는 영향의 위험, 혹은 해양산성화와 온난화 극한현상이 함께 해양중에 미치는 위험



(c) 해수면 상승이 연안지역 인간 및 자연계에 미치는 위험



2081-2100년에 대해 전망된 pH 및 기온, 관측된 pH 및 기온 (1986-2005년 대비 온도(°C))

기후변화로 인한 추가 위험 수준

그림 2.5 | (a) 온난화 속도에 따른 육상 및 담수 증발 및 증발 속도 (community composition)의 붕괴 위험 수준; (b) 해양 산성화(ocean acidification, OA) 영향의 위험 혹은 OA 와 온난화 극한 현상(warming extremes)이 결합하여 해양 유기체에 미치는 영향의 위험 수준; (c) 연안 지역 인간 및 자연계에 대한 해수면 상승 영향의 위험 수준. 위험 수준의 기준(criteria)은 박스 2.4 에서 사용된 기준과 동일하며 각각의 막대에 글상자를 달아 특정 농도에서의 위험 내용을 설명하였다. (a) 온난화의 속도가 높은 경우, 육상 및 담수 증발의 대다수는 지리적으로 이동하는 기후 범위에 맞출 정도로 충분히 빠르게 적응하지 못한다. 종 개체군 이동의 관측 (혹은 모델화된) 속도 (km/10 년) 중간값은 기후 포락선(climate envelopes)이 전경관(landscape)에 걸쳐 이동하는 속도와 비교하였다 (2050-2100 년 기간에 걸쳐 나타나는 각각의 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP)에 대한 기후변화 속도를 바탕으로 함). 결과는 모든 경관, 전지구, 그리고 기후 포락선이 특히 빠르게 이동하는 편평한 경관에 대하여 나타내었다. (b) 해양 산성화에 대한 민감도는 탄산 칼슘 껍질로 된 해양 유기체에서 높게 나타났다. 산호초 및 갯벌에서 보인 것처럼 해양 산성화가 유기체의 열 노출에 대한 내성을 감소시키기 때문에, 온난화가 진행됨에 따라 해양 산성화에 의한 위험은 증가한다. (c) 50 년 주기 범람 사건의 높이는 이미 많은 연안 지역에서 증가한 바 있다. 많은 지역에서 범람의 빈도가 10 배-100 배 증가함에 따라, 아무런 적응 행동이 이루어지지 않을 경우 0.5m 의 해수면 상승이 나타날 것이다. 해수면이 1m 상승하는 경우, 많은 지역 내 생태계와 인간계의 지역적 적응 능력 (특히, 보호)은 한계에 달한다. (2.2.4, 표 2.1, 그림 2.8) {WGI 3.7.5.3.8, 6.4.4, 그림 13.2.5, WGI 그림 SPM.5, 그림 4-5, 그림 6-10, 박스 CC-OA, 4.4.2.5.5.2, 5.3-5.5.5.4.4, 5.5.6.6.3}

아니라 자연과 인간계에 새로운 위험을 가할 것이다. *{WGII SPM B, 그림 SPM.1}*

주요 위험(Key risks)이라는 것은 이미 알려진 기후 시스템에 위험한 인위적 개입과 관련하여 잠재적으로 심각하게 나타나는 영향이다. 위해(hazard) 수준이 높거나 위험에 노출된 사회 및 시스템의 취약성이 높은 경우, 위험을 '주요 위험'으로 분류한다. 위험의 규모, 영향 발생 확률, 위험의 비가역성, 발생 시기, 취약성 및 노출의 지속성 혹은 위험 저감 잠재성의 한계 정도를 토대로 주요 위험을 식별한다. 특정 지역에서만 제한적으로 나타나는 위험이 있는가 하면 (그림 2.4), 전지구적으로 나타나는 위험도 있다 (표 2.3). 위험을 평가할 때는, 발생 확률은 낮지만 대규모 피해가 예상되는 결과를 포함하여, 최대한 광범위하게 영향의 가능성을 판단하는 것이 중요하다. 기온이 상승하면 대개 위험 수준 또한 증가하며 (박스 2.3), 일부 경우 온난화의 속도, 해양 산성화의 정도 및 속도, 해수면 상승 등과 같은 기후변화의 여러 측면들과 직접적으로 상호 작용하면서 위험이 발생할 수 있다 (그림 2.5). *{WGII SPM A-3, SPM B-1}*

전 부문과 지역에 걸쳐 나타나는 주요 위험들은 다음과 같다 (**높은 신뢰도**) *{WGII SPM B-1}*:

1. 폭풍 해일, 해수면 상승, 연안 지역 범람; 일부 도시 지역의 내륙 홍수; 폭염이 야기하는 심각한 질병 및 생계 지장의 위험.
2. 극한현상이 사회기반시설 네트워크와 핵심 공공서비스의 와해를 야기하면서 발생하는 시스템 위험.
3. 특히 빈곤 계층에서 발생하는 식량과 수자원 불안정 및 비 도시 생계와 수입 손실의 위험
4. 생태계, 생물다양성, 생태계 재화, 생태계 기능 및 서비스 손실의 위험

해양 산성화를 포함하여 기후변화의 속도 및 정도를 제한한다면, 기후변화 영향으로 인해 앞으로 발생할 전반적 위험을 줄일 수 있다. 산업화 이전 수준과 비교하여 지구 평균 기온이 1°C 상승한다 해도 일부 위험은 상당한(considerable) 수준으로 나타난다. 지구 평균 기온이 4°C 이상 상승하면 전지구적 위험의 대다수는 '높은'-'매우 높은' 수준으로 나타난다 (박스 2.4 참조). 이러한 위험들에는 위협받는 고유한 시스템(unique and threatened systems)에 대한 심각하고 광범위한 위험, 많은 종의 멸종, 식량 안보에 대한 막대한 위험 및 인류의 일상 활동 제약 (일부

지역에서 1 년중 얼마 동안 식량 재배나 야외 활동 등이 제약)이 포함되며, 이들 위험은 높은 기온과 함께 습도 또한 높아짐에 따라 발생하게 된다 (**높은 신뢰도**). 갑작스럽고 비가역적인 변화를 촉발시키기 충분한 기후변화의 정확한 수준이 무엇인지 아직 확실히 알 수 없지만, 기온이 상승함에 따라 지구시스템 또는 이와 상호연계된 인간계 및 자연계에서 위험이 기온 임계값을 초과하여 위와 같은 변화를 촉발시킬 가능성이 증가한다 (**중간 신뢰도**). *{WGII SPM B-1}*

적응을 통해 기후변화 영향의 위험을 상당 수준 줄일 수 있지만 기후변화의 속도와 규모가 증가할수록, 적응 한계가 초과할 가능성 또한 증가한다 (높은 신뢰도**).** 적응에 대한 잠재성뿐만 아니라 적응을 제약하는 요소와 적응 한계는 부문, 지역, 지역사회 및 생태계 전반에 걸쳐 다양하게 나타난다. 적응의 범위는 사회경제적 개발 경로 및 상황과 밀접하게 상호작용하면서 시간이 지남에 따라 변한다. 주제 3 및 4 와 함께 그림 2.4 와 표 2.3 을 참조한다. *{WGII SPM B, SPM C, TS B, TS C}*

2.3.1 생태계와 해양, 연안, 육지 및 담수 자원의 생태계서비스

온난화, 해양 산성화, 해수면 상승 및 기타 기후변화의 여러 측면은 생태계와 인간계에 해로운 영향을 미침으로써 위험을 증가시킨다 (**높은 신뢰도**). 과거 수백만 년 동안 육지와 해양에 대한 자연적인 지구의 기후변화는 현재의 인위적 기후변화보다 훨씬 느리게 진행되었음에도 종의 멸종을 포함하여 상당한 수준의 생태계 변화를 가져온 것이 관측된 바 있으므로, 향후 위험 수준은 더욱 높아질 것으로 보인다 (**높은 신뢰도**). 중간-높은 범위의 기후변화 속도 (RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5)에서, 21 세기 동안 많은 식물종과 동물종은 각자가 위치한 지역에서 기후변화에 적응할 수 없거나, 기후변화 속도에 맞추어 서식에 적합한 기후 조건을 스스로 찾을 수 없을 것이다 (**중간 신뢰도**) (그림 2.5.a). 산호초와 극지방 생태계의 취약성은 높다. *{WGII SPM A-1, SPM B-2, 4.3-4, 5.4, 6.1, 6.3, 6.5, 25.6, 26.4, 29.4, 박스 CC-CR, 박스 CC-MB, 박스 CC-RF}*

기후변화가 진행됨에 따라 21 세기 중과 후에 멸종 위기에 처한 육상, 담수 및 해양종들의 수가 증가할 것이며, 특히 기후변화가 다른 스트레스 요인들과 상호작용함에 따라 종 멸종의 위험은 더욱 증가할 것이다 (**높은 신뢰도**). 기후변화의 규모뿐만 아니라 속도가 증가함에 따라, 산업화 이전 및 현재 수준과 비교하여 멸종 위험은 모든 RCP 시나리오 하에서 증가한다 (**높은 신뢰도**). 기후 관련 동인(온난화, 해양빙 손실, 강수량 변동, 하천 유량의 감소, 해양 산성화 및



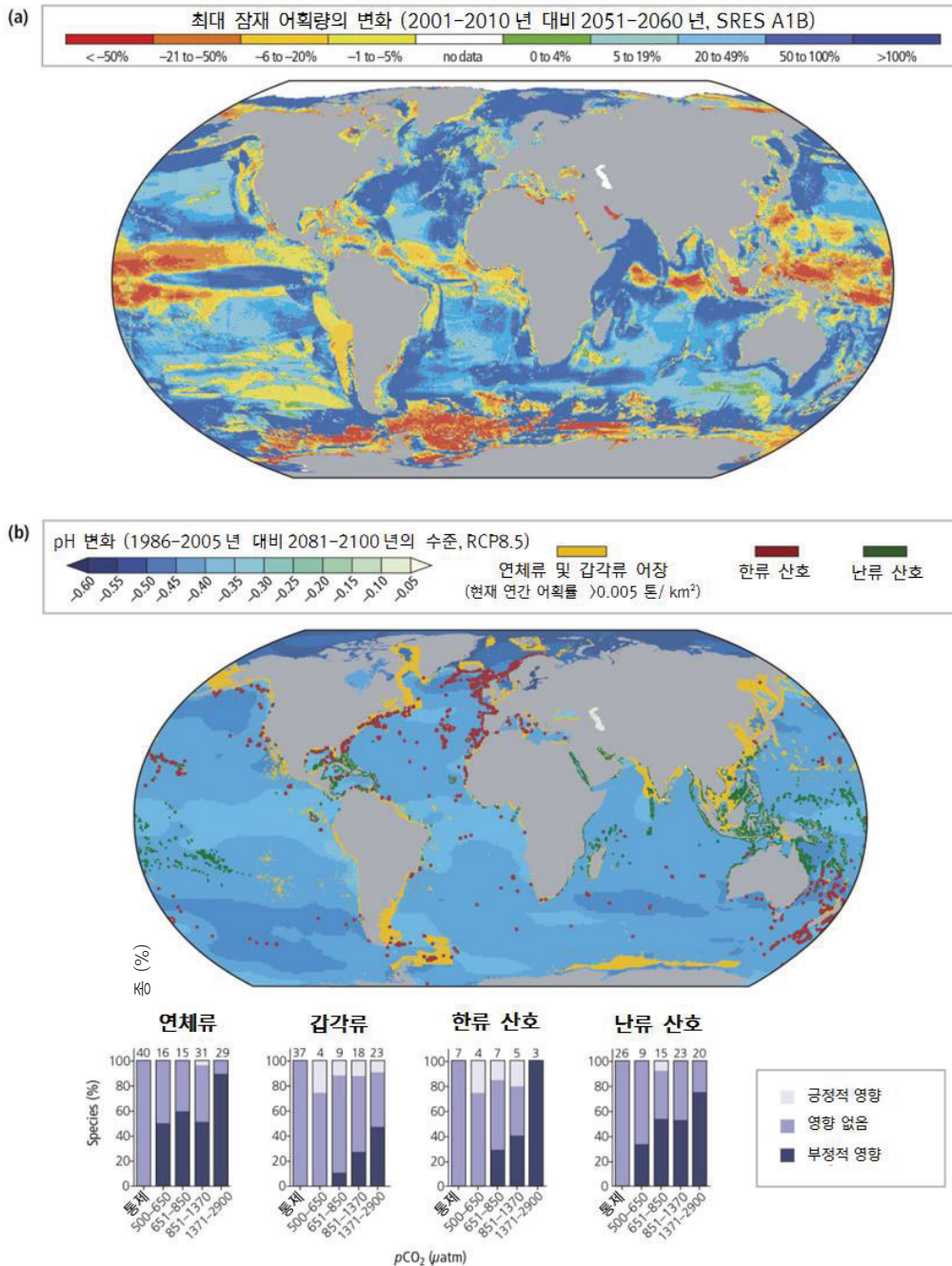


그림 2.6 | 수산업에 대한 기후변화 위험. (a) 주요 포획 어류 및 무척추 동물 약 1,000 종에 대한 최대 잠재 어획량의 전지구적 재 분포 전망. ‘중간(moderate)에서 높은(high)’ 온난화 시나리오 (산업화 이전 기온 대비 2°C 온난화) 하에서 단일 기후 모델을 바탕으로 한 해양 조건을 사용하여 2001-2010 년과 2051-2060 년의 10 년 평균 비교. 남획이나 해양 산성화가 미치는 잠재적 영향은 고려하지 않았다. (b) 해양 연체류 및 갑각류 어장 (현재 연간 어획물 ≥ 0.005 톤 km^2)과 난류 및 한류 산호의 서식지로 알려진 지역 (지역이 표시된 세계지도는 RCP 8.5 에서 2100 년까지의 해수 표면 해양 산성화 분포 전망을 나타낸다). 그림 아래의 그래프는, 사회경제적 요소(예: 연안 보호와 어업)와의 연관성을 바탕으로 취약 동물종으로 분류된 산호, 연체류 및 갑각류의 해양 산성화에 대한 민감성을 비교한다. 연구에 사용된 종의 수는 그래프의 각 막대 (CO2 수준에 따라 분류, 왼쪽에서 오른쪽으로 가면서 이산화탄소 분압 증가)의 상단에 표시하였다. 2100 년에 대하여, 각 RCP 시나리오에 따른 pCO₂ 범주는 다음과 같다: RCP4.5 는 500-650 uatm, RCP6.0 은 651-850 uatm, RCP8.5 는 851-1370 uatm, 2150 년부터, RCP8.5 는 1371-2900 uatm 에 속한다. 대조군 범주는 380 uatm 이다 (단위 uatm⁷ 는 대기 중 ppm 과 거의 동일하다). {WGII SPM B-2, 6.1, 6.3, 30.5, 그림 6-10 및 6-14, SPM.6; WGI 그림 SPM.8, WGI5 박스 SPM.1}

해양의 산소 수준 저하 등)들은 상호 작용하면서 종 멸종의 위험을 높이며, 서식지 변화, 자원의 무분별한 개발, 오염, 부영양화 및 침입종 같은 기타 요소와 이들 동인이 상호작용하는 것 또한 종 멸종 위험을 높인다 (높은 신뢰도). {WGII SPM B-2,4.3-4.4, 6.1, 6.3, 6.5,25.6,26.4, 박스 CC-RF, 박스 CC-MB}

기후변화로 인해 해양 종이 전지구에 걸쳐 재 분포되고 해양 생물다양성이 감소하면서 기후변화에 민감하게 반응하는 일부 지역 (특히 저위도 지역)에서는 수산업 생산성과 기타 생태계 서비스의 공급이 유지되기 어려울 것이다 (높은 신뢰도). 산업화 이전 수준과 비교하여 지구 기온이 2°C 상승할 경우 해양 종의

지리적 범위가 이동되기 때문에, 21 세기 중반까지 중의 풍부도와 어획 잠재량은 평균적으로 중-고위도 지역에서 증가하고 (높은 신뢰도), 열대 위도 지역과 반폐쇄해(semi-enclosed sea)에서는 감소할 것이다 (그림 2.6a) (중간 신뢰도). 산소극소대역(Oxygen Minimum Zones)과 무산소 '데드 존(dead zones)'의 점진적 확장으로 인해 앞으로 어류 서식지는 축소될 것이다 (중간 신뢰도). 모든 RCP 시나리오 하에서 2100 년까지 외양(外洋)의 순일차생산량은 재 분포되고, 전지구적으로 감소될 전망이다 (중간 신뢰도). 기후변화는 남획 문제 및 기타 비기후성 스트레스 요인의 위협을 악화시킨다 (높은 신뢰도). {WGII SPM B-2, 6.3-5, 7.4, 25.6, 28.3, 29.3, 30.6-7, 박스 CC-MB 및 CC-PP}

해양 생태계의 경우, 특히 산호초와 극지방의 생태계가 해양 산성화로 인한 위험에 처해있다 (중간에서 높은 신뢰도). 해양 산성화는 유기체의 생리학, 행동 및 개체군 역학에 영향을 준다. RCP4.5 와 8.5 에서 개개의 종이 받는 영향이 증가할 뿐만 아니라 종 집단(species groups) 내 영향을 받는 종의 수 또한 증가한다. 석회화 정도가 높은 연체동물, 극피동물 및 암초를 이루는 산호는 갑각류 (높은 신뢰도) 및 어류보다도 민감하다 (낮은 신뢰도) (그림 2.6B). 해양 산성화는 기타 전지구적 변화(예: 온난화를 심화시키고 해양 산소 수준을 점차 고갈시킴)뿐만 아니라 지역적 변화(예: 오염, 부영양화)와도 밀접하게 연계되어 작용하면서 (높은 신뢰도), 종 및 생태계에 상호연계적이고 복잡하며 광범위한 영향을 미친다 (그림 2.5b) {WGII SPM B-2, 그림 SPM.6B, 5.4, 6.3.2, 6.3.5, 22.3, 25.6, 28.3, 30.5, 그림 6-10, 박스 CC-CR, 박스 CC-OA, 박스 TS.7}

육상 생물권에 저장된 탄소는 기후변화, 산림 벌채 및 생태계 손상으로 인해 대기 중으로 방출되기 쉽다 (높은 신뢰도). 내륙 탄소함유량에 직접적으로 영향을 미치는 기후의 측면은 높은 기온, 가뭄 그리고 태풍인 반면 간접적으로 영향을 미치는 기후의 측면은 화재 위험 증가, 해충 및 질병 발생 등이다. 21 세기 동안 많은 지역에서, 입목의 고사가 증가될 것으로 전망되며 (중간 신뢰도), 이는 탄소 저장, 생물다양성, 목재 생산, 수질, 생활 편의시설 및 경제활동에 위험으로 작용할 것이다. 영구동토층이 녹으면서 상당한 양의 탄소 및 메탄이 배출될 위험이 높으며, 이는 심지어 RCP 2.6 시나리오와 먼 미래에도 나타난다 {WGII SPM, 4.2-4.3, 그림 4-8, 박스 4-2, 박스 4-3, 박스 4-4}

해수면이 상승함에 따라, 21 세기 전반에 걸쳐 연안 시스템 및 저지대는 침수, 연안 홍수 및 연안 침식과 같은 악영향을 더욱 심하게 겪을 것이다 (매우 높은 신뢰도). 인구 증가, 경제 발전 및 도시화로 인해, 연안 생태계에 대한 인간의 압력뿐만 아니라 연안 위험에 노출되는 인구와 자산은 향후 수십 년 안에 상당히 증가할 것으로 예상된다 (높은 신뢰도). 산호초에 영향을 미치는 기후 및 비 기후 동인들은 서식지를 부식시키고, 파도 및 폭풍에 대한 해안선의 노출 정도를 증가시키며, 어업 및 관광업에 중요한 환경적 질을 격하시킬 것이다 (높은 신뢰도). 일부 저지대 개발도상국과 군소도서국은 기후변화에 의한 피해를 복구하고 이에 적응하기 위한 비용으로서 자국 국내총생산(GDP)의 수 % 포인트를 사용해야 할 정도로 매우 심각한 기후변화의 영향에 직면할 것으로 보인다 (그림 2.5c). {WGII 5.3-5.5, 22.3, 24.4, 25.6, 26.3, 26.8, 29.4, 표 26-1, 박스 25-1, 박스 CC-CR}

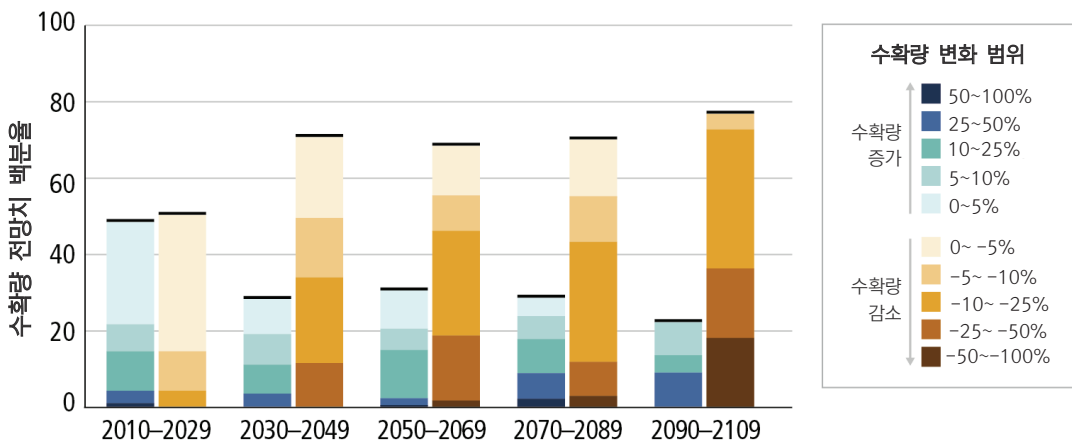


그림 2.7 | 21 세기 중 기후변화에 의한 농작물 수확량 변화 개요 (밀, 옥수수, 쌀, 콩을 주요 대상으로 연구) 위 그림은 다양한 배출 시나리오, 열대 및 온대 지역, 및 적응 행동이 이루어진 경우와 이루어지지 않은 경우를 모두 아우르는 작물 모델 전망에서 1,090 개 데이터포인트를 얻어 통합한 것이다. 전망은 해당 기간 중 중간값이 나타나는 20 년 기간으로 분류하였다(수평축). 20 세기 후반의 수준과 비교하여 수확량의 변화를 산출하였으며 각각의 기간에 대한 데이터는 총합 100%가 된다. 전지구적 평균 기온이 4°C 혹은 그 이상으로 증가하는 시나리오에서 수확 시스템이 받는 영향을 고려한 연구는 상대적으로 적다. {WGII, 그림 SPM.7}

표 2.3 | 적응과 완화를 통한 위험 저감의 잠재성 및 적응 한계를 포함한 전지구적 주요 위험 사례. 각 주요 위험들의 특징은 매우 낮은, 낮은, 중간, 높은, 매우 높은 위험들로 분류하였다. 위험 수준은 3 가지 시간 프레임(frame)으로 분류하여 나타내었다.: 현재, 가까운 미래 (여기서는 2030-2040 년), 먼 미래(여기서는 2080-2100 년). 가까운 미래에 예상되는 지구 평균 기온 상승 수준은 배출 시나리오 간 큰 차이가 없다. 먼 미래의 위험 수준은 산업화 이전 기준 대비 2°C 및 4°C 기온 상승을 가정하여 제시하였다. 각 시간 프레임의 위험 수준은 '현재 수준의 적응이 지속'될 경우와 '현재와 미래의 적응 수준이 높다고 가정'하는 경우의 두 가지로 분류하였다. 위험 수준 간 비교가 반드시 필요한 것은 아니며 특히 지역 간 위험 수준의 비교는 무의미하다. 관련 기후 변수는 그림으로 표시하였다. {WGII 표 TS.4}

기후 관련 영향의 동인								위험 수준 & 적응 잠재성			
									추가 적응이 이루어질 경우의 위험 저감 정도 높은 수준의 적응이 달성된 경우 위험 수준 현재 수준의 적응이 계속될 경우의 위험 수준		
전지구적 위험											
주요 위험	적응 현안 & 문제	기후 동인	시간대	적응 위험 및 잠재성							
육상 탄소 흡수의 감소: 기후변화에 의해 화재 발생 빈도가 높아질 뿐만 아니라 기온 상승에 대해 생태계 호흡이 민감한 반응을 보이면서, 생태계에 저장되어 있는 탄소는 다시 대기중으로 쉽게 방출된다 (중간 신뢰도). {WGII 4.2, 4.3}	• 토지 이용(산림 벌채 포함), 화재 및 기타 교란 요소를 관리하는 등의 적응 대책		현재 가까운 미래 (2030-2040) 먼 미래 2°C (2080-2100) 4°C	매우 낮음	중간	매우 높음					
아한대 지역의 티핑 포인트: 북극 생태계는 영구 동토층 융해와 관련된 갑작스러운 변화, 툰드라의 관목 식생 범위 확대 및 아한대 산림의 병해충과 화재에 취약하다 (중간 신뢰도) {WGII 4.3, 박스 4-4}	• 북극 지역의 적응 수준이 매우 낮다.		현재 가까운 미래 (2030-2040) 먼 미래 2°C (2080-2100) 4°C	매우 낮음	중간	매우 높음					
아마존의 티핑 포인트: 습윤한 아마존 산림에서 적은 탄소 농도, 가뭄 및 화재에 적응한 생태계에 갑작스러운 변화가 나타날 수 있다 (낮은 신뢰도). {WGII 4.3, 박스 4-3}	• 정책 및 시장(market) 대책을 통해 산림벌채와 화재를 줄일 수 있다.		현재 가까운 미래 (2030-2040) 먼 미래 2°C (2080-2100) 4°C	매우 낮음	중간	매우 높음					
종 멸종 위험의 증가: 평가 대상인 종들 대다수는 기후변화에 의한 종 멸종 위험에 취약하게 반응하는데, 기후변화는 대개 기타 위험 요인들과 상호작용하여 종 멸종 위험을 증가시킨다. 본질적 특성상 확산률(dispersal rate)이 낮은 종이 위험에 처하며, 특히 이들 종이 기후 속도(climate velocity)가 높은 평지 경관(flat 및sape)을 점유하며 살아가는 경우 위험 수준은 더욱 높아진다. 또한, 산의 정상, 섬, 혹은 소규모의 보호 구역과 같은 고립된 서식지의 종들이 특히 위험에 처해있다. 유기체들이 상호작용하면서 폭포 효과가 나타나므로, 생물계절학적인 변화에 높은 취약성을 띠는 종들은 위험을 증폭시킨다 (높은 신뢰도). {WGII 4.3, 4.4}	• 서식지 변경 및 분열, 오염, 무분별한 개발, 침입종을 줄이는 것; 보호 구역을 확장하는 것; 종의 확산(dispersal)을 돕는 것; 현지 보전 등이 적응 방안에 포함된다.		현재 가까운 미래 (2030-2040) 먼 미래 2°C (2080-2100) 4°C	매우 낮음	중간	매우 높음					
움직임이 작은 어류를 어획하는 전 지구적 동향과 함께 나타나는 저위도 어업 생산량의 전 지구적 재분포 및 감소 (중간 신뢰도) {WGII 6.3-6.5, 30.5, 30.6}	• 수경재배 개발, 해양 공간 계획 및 어업 산업의 장려 등으로 발생한 수익을 활용하여 보상적인 차원에서 저위도 연안 지역을 지원함으로써, 어업으로 인해 증가한 연안 지역의 빈곤율을 부분적으로나마 줄일 수 있다.		현재 가까운 미래 (2030-2040) 먼 미래 2°C (2080-2100) 4°C	매우 낮음	중간	매우 높음					
해양산성화에 의해 상업적으로 가치가 높은 조개류 및 기타 석회류(예: 산호초, 석회성 홍조류)의 성장 및 생존이 감소 (높은 신뢰도) {WGII 5.3, 6.1, 6.3, 6.4, 30.3, 박스 CC-OA}	• 일부 종에서 다양한 수준의 저항 및 진화적 적응에 대한 증거가 존재하지만, 이산화탄소 농도가 증가하고 기온이 상승함에 따라 이는 제한될 가능성이 높다. • 적응 방안으로는 좀 더 회복력 높은 종을 이용하거나 자연적인 이산화탄소 수준이 낮은 서식지를 보호하고, 기타 스트레스 요인(주로 오염)을 줄이며 관광업 및 어업으로 인한 압력을 제한하는 것이 있다.		현재 가까운 미래 (2030-2040) 먼 미래 2°C (2080-2100) 4°C	매우 낮음	중간	매우 높음					
높은 기후변화 속도로 인한 해양 생물다양성의 손실 (중간 신뢰도) {WGII 6.3, 6.4, 표 30-4, 박스 CC-MB}	• 적응 방안은 기타 스트레스 요인(주로 오염)을 줄이는 것과 연안 지역 인간 활동(관광업 및 어업)으로 인한 압력을 제한하는 것으로 한정된다.		현재 가까운 미래 (2030-2040) 먼 미래 2°C (2080-2100) 4°C	매우 낮음	중간	매우 높음					

표 2.3 (계속)

전지구적 위험				
주요 위험	적응 현안 & 문제	기후 동인	시간대	적응 위험 및 잠재성
<p>평균 작물 생산량에 대한 부정적 영향 및 기후 변화에 의한 생산 변동성 증가 (높은 신뢰도)</p> <p>{WGII 7.2-7.5, 그림 7-5, 박스 7-1}</p>	<ul style="list-style-type: none"> 작물의 종류, 지리적 위치 및 적응 시나리오에 따라 영향은 다양하게 예상된다. 20세기 후반과 비교하여 2030-2049년에 대해 전망의 약 10%가 10% 이상의 수확량 증가를 나타내고, 전망의 약 10%가 25% 이상의 수확량 손실을 나타낸다. 2050년 이후에 좀 더 심각한 수확량 영향의 위험은 증가하며 온난화의 수준에 따라 다르다. 		<p>현재</p> <p>가까운 미래 (2030-2040)</p> <p>먼 미래 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>매우 낮음 중간 매우 높음</p>
<p>수자원 공급 시스템 관련 도시 위험 (높은 신뢰도)</p> <p>{WGII 8.2, 8.3}</p>	<ul style="list-style-type: none"> 적응 방안에는 네트워크 인프라의 변화 및 수요 측면 관리를 통한 충분한 수자원 공급 확보 및 수질 확보, 감소한 담수 자원 가용성을 관리하는 역량 제고 및 홍수 위험 저감 등이 있다. 		<p>현재</p> <p>가까운 미래 (2030-2040)</p> <p>먼 미래 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>매우 낮음 중간 매우 높음</p>
<p>에너지 시스템 관련 도시 위험 (높은 신뢰도)</p> <p>{WGII 8.2, 8.4}</p>	<ul style="list-style-type: none"> 대다수의 도심지는 에너지 집약형이고 에너지 관련 기후 정책은 완화 대책에만 초점을 맞춘다. 핵심 에너지 시스템에 대한 적응 사업을 추진하고 있는 도시는 많지 않다. 별다른 적응 대책을 마련하지 않는다면, 중앙화된 에너지 시스템은 기후변화의 영향을 폭시기고, 결과적으로 지역적인 극한 현상이 국가뿐만 아니라 국경을 넘어 영향을 미칠 수도 있다. 		<p>현재</p> <p>가까운 미래 (2030-2040)</p> <p>먼 미래 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>매우 낮음 중간 매우 높음</p>
<p>주거 관련 도시 위험 (높은 신뢰도)</p> <p>{WGII 8.3}</p>	<ul style="list-style-type: none"> 열악한 환경에 위치한 주거지는 대개 극한 현상에 취약하게 반응한다. 적응 방안으로는 건물 규제 강화 및 건물의 개선 등이 있다. 일부 연구는, 도시 주거지의 적응 잠재성을 연구하였으며 완화 적응 및 개발 목표를 동시에 추구할 방안을 제시하였다. 특히 속하게 성장하는 도시 혹은 재난 후 재건축된 도시 등은 회복력을 높일 기회를 가지고 있으나, 이를 실현화하기가 어려운 것은 사실이다. 별다른 적응 행동이 마련되지 않는다면, 극한 현상으로 인해 도시가 직면할 경제 손실의 위험은 상당할 것이고, 이는 고가치성 인프라 및 주거지 자산에 대한 피해를 통해 나타날 것이며 좀 더 광범위한 경제적 효과를 불러일으킬 수도 있다. 		<p>현재</p> <p>가까운 미래 (2030-2040)</p> <p>먼 미래 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>매우 낮음 중간 매우 높음</p>
<p>극한 현상 관련 범위 (높은 신뢰도)</p> <p>{WGII 12.4}</p>	<ul style="list-style-type: none"> 극한현상에 대한 적응은 잘 연구되어 왔지만, 현재 기후 조건에서 조차 적응 행동이 충분히 이루어지지 않고 있다. 범위(displacement)나 의도치 않은 이주 등은 대개 임시적인 성격을 띠지만, 기후 위험이 증가함에 따라 영구적 이주로 고착화될 가능성이 높다. 		<p>현재</p> <p>가까운 미래 (2030-2040)</p> <p>먼 미래 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>매우 낮음 중간 매우 높음</p>
<p>농업 및 유목 등 자원 의존성 생계에서 자원이 고갈됨에 따라 발생하는 폭력적 갈등 (높은 신뢰도)</p> <p>{WGII 12.5}</p>	<p>적응 방안:</p> <ul style="list-style-type: none"> 기후 충격에 대응한 농촌 수입의 완화와 방안 (예: 생계 수단의 다양화, 수입 이전, 사회적 안전망 공급) 초기 경보 메커니즘을 통해 효율적으로 위험 저감 효율적이고 체계적으로 구성된 폭력 갈등 관리 전략 (상당한 수준의 자원 투자 및 정치적 의지가 필요하다). 		<p>현재</p> <p>가까운 미래 (2030-2040)</p> <p>먼 미래 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>매우 낮음 중간 매우 높음</p>
<p>노동 생산성 감소, 질병률 증가 (예: 말수, 일사병, 열사병) 및 폭염에 대한 노출에서 기인하는 사망률 증가. 특히, 농업 및 건설 현장 노동자, 어린이, 노숙자, 노인, 및 물을 구하러 오랜 시간 걸어야 하는 여성이 위험에 처해있다 (높은 신뢰도).</p> <p>{WGII 13.2, 박스 13-1}</p>	<ul style="list-style-type: none"> 농업에 대한 의존도가 높지만 경제적 이유로 인해 농업 기계 및 기술을 사용하지 못하는 인구에 대해 적응 방안은 제한적이다. 많은 빈곤 계층이 불안정한 계약조건에서 일하는 건설 부문에서 적응 방안은 제한적이다. +4°C 온난화 상황의 경우 특정 지역에서 적응한계가 초과할 수 있다. 		<p>현재</p> <p>가까운 미래 (2030-2040)</p> <p>먼 미래 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>매우 낮음 중간 매우 높음</p>
<p>수자원 고갈 및 수자원에 대한 경쟁 증가로 농촌 및 도시 지역 빈곤 계층에 대한 수자원 접근성 감소 (높은 신뢰도)</p> <p>{WGII 13.2, 박스 13-1}</p>	<ul style="list-style-type: none"> 이미 다수의 인구가 충분한 안전한 수자원에 접근하지 못하고 있기 때문에 수자원 이용을 줄임으로써 적응하는 것은 적응 방안으로 볼 수 없다. 수자원 접근성은 다양한 요인(예: 성 및 지역에 의해 불평등적인 성격을 띠며, 빈곤 및 소외 계층의 수자원 이용자는 산업, 대규모 농업 및 기타 권력 계층과의 수자원 경쟁에서 밀리게 된다. 		<p>현재</p> <p>가까운 미래 (2030-2040)</p> <p>먼 미래 2°C (2080-2100)</p> <p>4°C</p>	<p>매우 낮음 중간 매우 높음</p>

박스 2.4 | 기후변화를 고려한 우려 요인

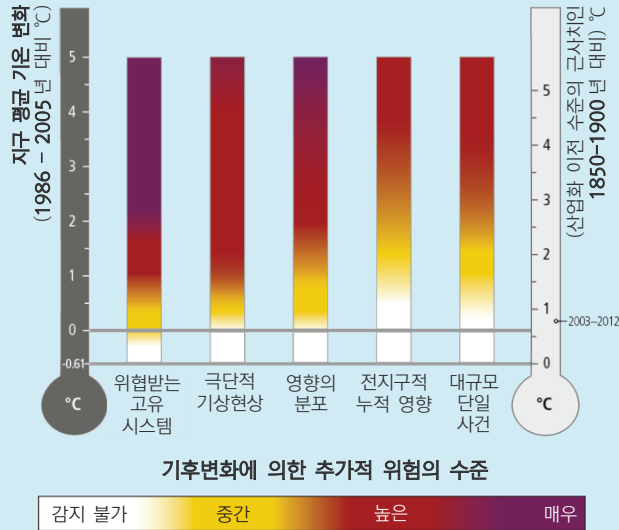
총 5 가지 항목으로 구성된 '우려 요인(RFC, 'Reasons For Concern')은 제 3 차 평가보고서에서 제시된 이래로, 주요 위험(key risk)을 요약 정리한 하나의 프레임워크(framework)로서 사용되고 있다. 우려 요인은 온난화와 적응 한계가 전 부문 및 지역에 걸쳐 인간, 경제 및 생태계에 미치는 영향을 설명하며, 기후 시스템에 위험 요소로서 작용하는 인위적 간섭을 평가하기 위한 하나의 시작점이라 할 수 있다. 박스 2.4 의 모든 온난화 수준은 1986-2005 년의 기온과 비교한 것이다. 1986-2005 년 기간은 산업화 이전 기준을 대신하여 사용되었으며, 이 기간 온난화 수준에 ~0.6°C를 더하면 대략 1850-1900 년 기간의 온난화 수준이다 (박스 2.4, 그림 1 의 오른쪽 부분). {WGII 평가 박스 SPM.1}

다섯 가지 우려 요인은 다음과 같다:

1. **위협받는 고유한 시스템:** 일부 생태계와 문화는 이미 기후변화로 인해 위협에 처해 있다 (*높은 신뢰도*). 약 1°C 기온 상승의 추가적인 온난화가 발생하면, 결과적으로 심각한 위협에 처하는 위협받는 고유한 시스템의 수가 증가한다. 2°C 의 추가적인 온난화가 진행되는 경우 적응 능력이 부족한 다수의 시스템은 매우 높은 위협에 처하게 되는데, 대표적인 것이 북극 해양빙 시스템과 산호초이다 (*높은 신뢰도*). 이와 같이 온난화의 정도가 달라지면서 발생하는 위험과 더불어, 육상종은 온난화의 속도에, 해양종은 해양 산성화의 속도와 정도에, 연안 시스템은 해수면 상승에 또한 민감하게 반응한다 (그림 2.5).
2. **극단적 기상현상:** 폭염, 폭우 및 연안 홍수 등의 극한 현상으로부터 오는 기후변화 관련 위험은 최근 기온 수준에서 중간 정도의 위험도를 (*높은 신뢰도*) 보이며, 1°C 온난화 수준에서는 높은 위험도를 보인다 (*중간 신뢰도*). 일부 유형의 극한 현상 (예: 극한 폭염)과 관련된 위험은 온난화가 더욱 심화됨에 따라 점차 증가할 수 있다 (*높은 신뢰도*).
3. **영향의 분포:** 위험은 여러 인구 집단 및 지역에 걸쳐 불균등하게 분포하는데, 모든 지역에서, 사회적 소외 계층 및 지역사회가 위험에 노출될 가능성은 상대적으로 높다. 기후변화 영향은 지역마다 다르게 관측되었기 때문에 (특히 작물 생산량), 위험은 중간 정도 수준이다 (*중간에서 높은 신뢰도*). 지역적으로 작물 생산량과 수자원 가용성의 감소가 전망되기 때문에, 2°C 온난화 수준에서는 불균일하게 분포하는 영향의 위험이 높다 (*중간 신뢰도*).
4. **전지구적 총 영향:** 전지구적 총 영향의 위험은 1°C에서 2°C 사이의 추가적 온난화 수준에서 중간 정도이며, 이는 지구 생물다양성 및 전반적인 세계 경제에 영향을 미친다 (*중간 신뢰도*). 약 3°C의 추가적 온난화 상황은 생태계 재화 및 서비스의 손실과 함께 생물다양성의 광범위한 손실 또한 초래하여, 높은 수준의 위험을 가져올 것이다. 기온이 상승함에 따라 경제 부문이 받는 누적 피해는 급격히 증가할 것이지만 (*제한된 증거, 높은 동의 수준*), 3°C 이상의 추가적 온난화를 연구하는 데 필요한 정량적 추산치가 부족하다.
5. **대규모 단일 현상:** 지구온난화가 심화되면 일부 물리적 시스템이나 생태계는 갑작스럽고 비가역적인 변화의 위협에 처할 수 있다 (2.4절 참조). 이처럼 갑작스럽고 비가역적인 변화를 촉발하는 임계점에서의 위험은 0-1°C 온난화 상황에서 중간 수준인데, 이는 산호초와 북극 생태계가 이미 비가역적인 체제 변화를 겪고 있다는 조기 경고 신호를 보내고 있기 때문이다 (*중간 신뢰도*). 1-2°C 사이의 추가적인 온난화에서 위험도는 가파르게 높아지며, 3°C에 이르러 위험은 높은 수준이 되는데, 이는 빙상 손실로 인해 대규모의 비가역적인 해수면 상승 잠재성이 커지기 때문이다. ~0.5°C 추가적 온난화보다 크지만 (*낮은 신뢰도*), ~3.5°C 보다 적은 (*중간 신뢰도*) 임계값 이상의 온난화가 지속되는 경우, 그린란드 빙상은 천년 혹은 그 이상의 기간에 걸쳐 거의 완전히 손실될 수 있고, 결과적으로 최대 7m의 전지구적 평균 해수면 상승을 초래할 것이다.

(다음 페이지에 계속)

박스 2.4 (계속)



박스 2.4, 그림 1 | 전지구적 수준의 위험 관련 우려 요인을 기후변화 수준의 증가에 따라 나타내었다. 특정 기온 수준에 도달되어, 그 기온이 유지되거나 초과할 때의 기후변화로 인한 추가적 위험은 색으로 구분한 음영으로 나타내었다. 관련 영향을 탐지할 수 없거나, 해당 영향의 원인을 기후변화에 돌릴 수 없는 경우는 하얀색으로 나타내었다. 최소 중간 신뢰도에서 관련 영향이 감지되고 그 원인이 기후변화에 있는 경우는 노란색으로 나타내었다. 붉은색이 의미하는 것은 심각하고 광범위한 영향이다. 보라색은 본 평가에서 처음 제시되는 것으로 모든 주요 위험 기준에서 매우 높은 위험으로 구분되는 경우이다. {WGII 평가 박스 SPM.1, 그림 19-4}

2.3.2 수자원, 식량 및 도시 시스템, 인류 건강, 안보 및 생계

21 세기에 온난화가 진행됨에 따라 물 부족과 주요 하천 범람에 영향 받을 전 세계 인구 비율은 증가할 것으로 예상된다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). {WGII 3.4-5, 26.3, 29.4, 표 3-2, 박스 25-8}

21 세기 전반에 걸쳐, 기후변화는 대부분의 건조 아열대 지역에서 재생 가능한 지표수와 지하수 자원을 고갈시켜 (명확한 증거, 높은 동의 수준) 지역 간 수자원 경쟁을 심화시킬 것이다 (제한된 증거, 중간 동의 수준). RCP8.5 하에서 이번 세기 말까지 현재 건조 지역의 가뭄 빈도수는 더욱 증가할 가능성이 높을 것이다 (중간 신뢰도). 반면, 고위도 지역의 수자원은 증가할 것으로 전망된다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 기온의 상승, 퇴적물 증가, 영양소 및 오염물질 부하량의 증가, 가뭄기간 동안 오염물질의 농도 증가 및 홍수 기간 동안의 물 처리 시설의 파손 등의 요인들은 상호작용하여 원수(raw water)의 질을 저하시키고 식수의 질에도 위험을 줄 것으로 전망된다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {WG112.4, WGII3.2,3.4-3.6,22.3,23.9,25.5,26.3, 표 3-2, 표 23-3, 박스 25-2, 박스 CC-RF, 박스 CC-WE}

식량 생산량, 식량 접근성 및 식량 가격 안정성 등을 포함한 모든 식량 안보 측면들은 기후변화에 잠재적인 영향을 받을 것이다 (높은 신뢰도). 적응행동이 부재한 상황에서 산업화 이전 수준과 비교하여 지역 기온이 2°C 혹은 20 세기 후반 수준 이상으로 상승한다면, 열대 및

온대 지역에서 밀, 쌀 및 옥수수의 수확량은 감소할 것으로 전망되지만, 반대로 일부 지역에서는 이들 작물의 수확량 증가에 따른 혜택을 볼 수도 있다 (중간 신뢰도). 작물의 종류, 지리적 위치 및 적응 시나리오에 따라 식량 안보에 대한 기후변화의 영향은 다양하게 전망된다. 20 세기 후반과 비교하여 2030-2049 년에 대해, 전망의 약 10%가 10% 이상의 수확량 증가를 나타내고, 전망의 약 10%가 25% 이상의 수확량 손실을 나타낸다. 20 세기 후반 수준 대비 지구 기온이 4°C까지 혹은 4°C 이상 상승하는 것은 식량 수요의 증가와 더불어 전 세계 및 지역의 식량 안보에 막대한 위험을 미칠 수 있다 (높은 신뢰도) (그림 2.4, 2.7). 전지구적 온난화와 지역별 온난화 간의 관계는 2.2.1 절에서 설명한다. {WGII 6.3-6.5,7.4-7.5,9.3, 22.3, 24.4, 25.7, 26.5, 표 7-2, 표 7-3, 그림 7-1, 그림 7-4, 그림 7-5, 그림 7-6, 그림 7-7, 그림 7-8, 박스 7-1}

이번 세기 중반까지, 전망되는 기후변화는 대개 기존의 건강 문제를 악화시키는 방식으로 인간 건강에 영향을 줄 것이다 (매우 높은 신뢰도). 기후변화를 고려하지 않은 베이스라인(baseline)과 비교하여 기후변화가 심화될 경우, 21 세기에 걸쳐 많은 지역에서 질병률이 높아질 것이며, 이는 특히 개발도상국 내 저소득층에서 두드러지게 나타날 것이다 (높은 신뢰도). 기후변화가 인류 건강에 미치는 영향에는 폭염 및 화재 강도 증가에 따른 부상 및 사망률의 증가, 음식 매개성 질병 및 수인성 질병 위험의 증가, 취약 계층의 노동 역량 감소 및 노동 생산성 감소 등을 들 수 있다 (높은 신뢰도). 빈곤 지역의 영양 실조 위험은 증가할 것이다

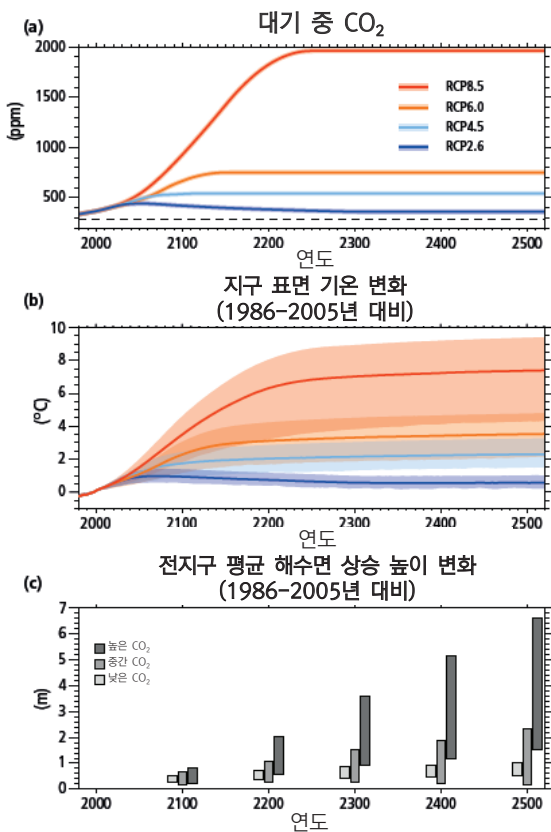


그림 2.8 | 복사강제력이 일정하게(2300년 수준) 유지될 경우, 2300년까지 4가지 RCP에 대해 나타날(1986-2005년 대비) 수 있는 (A) 대기 중 CO₂ 및 (B) 평균 지표 온도 변화 예상 (중간 정도 복잡성의 지구 시스템 모델(EMICs)로 시뮬레이션). 10년 단위 스무딩(smoothing)을 적용하였다. (A)의 파선은 산업화 이전의 이산화탄소 농도를 의미한다. (C) 2100년의 GHG(CO₂ 환산)농도에 따라 3 그룹으로 분류하여 나타낸 해수면 변화 (낮은 수준: RCP2.6 시나리오에서와 같이 농도가 최고점에 다다른 후 감소하다 500ppm 이하 수준을 유지; 중간 수준: RCP4.5에서와 같이 500-700ppm 이하 수준을 유지; 높은 수준: RCP6.0 및 RCP8.5에서와 같이 농도가 700ppm 이상이나 1500ppm 이하). (C)의 막대는 매우 적지만 참고 가능한 일부 모델 결과를 통해 얻은 최대 가능 분포 정도(maximum possible spread)를 나타낸다 (불확실성 범위로 오인하지 않도록 유의한다). 이들 모델은 남극 빙상의 기여도를 과소평가하여, 결과적으로 2100년 이후의 해수면 상승 전망을 낮게 추산했을 가능성이 높다. {WGI 그림 12.43 및 13.13, 표 13.8; WGII SPM B-2}

(**높은 신뢰도**). 비록 일부 고온 지역에서는 온난화에 따라 질병 매개체가 생존하기 부적절한 정도로 기온이 높아져 감염성 질병이 감소할 수도 있지만, 대개의 경우 감염성 질병의 발생 지역 및 시기는 증가할 것이다(**중간 신뢰도**). 전 세계적으로 기후변화의 긍정적 영향보다 부정적 영향의 세기 및 심각도가 더욱 크게 나타날 것이다 (**높은 신뢰도**). RCP8.5 하에서 2100년까지 일 년 중 얼마 동안은 고온 및 고습도가 함께 작용하여 식량 재배 및 야외 작업과 같은 인간 활동이 제약 받는 일부 지역이 있을 것으로 예상된다 (**높은 신뢰도**) {WGII, SPM B-2, 8.2, 11.3-8, 19.3, 22.3, 25.8, 26.6, 그림 25-5, 박스 CC-HS}

도시 지역에서 기후변화로 인한 위험이 증가할 것으로

전망되는데, 기후변화는 폭염 스트레스, 폭우, 내륙과 연안 지역의 범람, 산사태, 대기오염, 가뭄과 물 부족, 해수면 상승 및 폭풍 해일 등을 통해 도시 지역의 주민, 자산, 경제 및 생태계에 위험을 초래한다 (**매우 높은 신뢰도**). 필수 사회 기반시설과 공공서비스가 갖추어지지 않았거나 기후변화에 대한 노출 정도가 높은 도시의 경우 이러한 위험은 더욱 크게 나타난다. {WGII 3.5, 8.2-8.4, 22.3, 24.4-24.5, 26.8, 표 8-2, 박스 25-9, 박스 CC-HS}

비 도시 지역에서 기후변화의 영향에 가장 민감한 부문은 수자원 가용성 및 공급, 식량 안보, 기반시설, 농촌 수익(예: 전 세계 식량 및 식량 외 농작 지역의 변화) 이다 (**높은 신뢰도**). 기후변화의 영향은 비 도시 지역 빈곤 계층의 복지(welfare)에 불균등적으로 영향을 미칠 것이다. 예를 들어, 여성가장(female-headed) 가구 및 토지, 최신 농업기술, 기반시설 및 교육에 대한 접근이 제한된 가구는 기후변화의 영향에 상대적으로 큰 영향을 받을 것이다. {WGII 5.4, 9.3, 25.9, 26.8, 28.2, 28.4, 박스 25-5}

기온이 상승함에 따라 경제 부문의 총 손실 규모 또한 급격히 증가할 것이지만 (**제한된 증거, 높은 동의 수준**). **현재 기후변화가 전 세계 경제에 미치는 영향을 추정하기는 쉽지 않다.** 몇 가지 제약들로 인해 기후변화에 따른 경제 부문의 손실 규모를 확실하게 추산하기는 어렵지만, 지구 평균 기온이 산업화 이전 수준 대비 2.5°C까지 상승하는 경우 전지구 경제 연간 총 손실은 소득의 0.2%에서 2.0%에 달할 것이다 (**중간 증거, 중간 동의 수준**). 대부분의 경제 부문은 기후변화에 따른 영향보다 인구, 연령구조, 소득, 기술, 상대 가격, 생활양식, 규제, 및 거버넌스의 변화에 상대적으로 큰 영향을 받을 것이 전망된다 (**중간 증거, 높은 동의 수준**). 기상 위해(weather hazard)의 발생 빈도 및 /혹은 강도가 점차 증가함에 따라, 재해에 의한 손실 및 손실 변동성이 증가하여 특히 개발도상국에서 보험과 관련한 경제적 측면의 문제가 나타날 것이다. 무역이나 국가간 관계와 같은 국제적 측면을 고려하는 것 또한 기후변화가 지역적 수준에서 어떠한 위험을 발생시킬지 이해하는 데 중요한 부분이다. (박스 3.1) {WGII 3.5, 10.2, 10.7, 10.9-10.10, 17.4-17.5, 25.7, 26.7-26.9, 박스 25-7}

이와 더불어, 기후변화는 전 세계 빈곤 수준에도 영향을 준다. 기후변화의 영향은 경제성장과 빈곤퇴치를 더디게 할 뿐만 아니라 식량 안보를 해치며, 새로운 빈곤의 덫을 놓게 되는데, 후자는 특히 도시 지역이나 심각한 기아 문제를 보이는 신흥 분쟁지대에서 발생할 것이다 (**중간 신뢰도**). 기후변화의 영향으로 인해, 대부분의 개발도상국에서는 빈곤 문제가 더욱 불거지고, 선진국

및 개발도상국 중 불평등 수준이 높은 국가에서는 새로운 빈곤 가계(家計)가 출현할 것으로 보인다 (그림 2.4). {WGII 8.1, 8.3-4, 9.3, 10.9, 13.2-4, 22.3, 26.8}

기후변화로 인해, 인구 이동(displacement)이 증가할 것으로 예상된다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 이동하는데 필요한 재원이 부족하여 이동하지 못하는 인구는 홍수 및 가뭄과 같은 극단적 기상현상에 높은 수준으로 노출되기 때문에, 이들에 대한 이동 관련 위험은 증가할 것이나, 이동할 수 있는 기회가 확대되면 취약성은 줄어들 수 있다. 극단적 기상현상뿐만 아니라 기후 변동성과 변화에 대한 대응으로서 '이동 패턴의 변화'를 고려할 수 있으며, 이동은 일종의 효율적인 적응 전략으로 볼 수 있다. {WGII 9.3, 12.4, 19.4, 22.3, 25.9}

기후변화는 빈곤 및 경제적 충격 같이 이미 확고히 자리잡은 갈등 유발 동인을 악화시킴으로써 폭력적 갈등 위험을 간접적으로 증가시킨다 (중간 신뢰도). 여러 통계 연구들을 통해 기후 변동성이 일부 형태의 갈등과 매우 밀접하게 연관되어 있음을 볼 수 있다. {WGII SPM, 12.5, 13.2, 19.4}

2.4 2100 년 이후의 기후변화, 비가역적이고 갑작스러운 변화

인위적 온실가스가 더 이상 배출되지 않는다 할지라도, 다양하게 나타나는 기후변화와 관련 영향은 앞으로 수세기에 걸쳐 계속될 것이다. 온난화가 심화됨에 따라, 갑작스럽게 나타나며 비가역적인 변화의 위험은 증가할 것이다.

2100 년 이후에도 RCP2.6 을 제외한 모든 RCP 시나리오 하에서 온난화가 지속될 것이다. 인위적 이산화탄소의 순 배출량(net emission)을 0 으로 수렴시킨 후일지라도, 지구 표면 온도는 수 세기에 걸쳐 현재의 상승 수준을 거의 일정하게 유지할 것이다 (2.2.5 절의 이산화탄소 배출과 전지구적 기온 변화 간 관계 참조). 앞으로 수 년 안에 대기 중의 이산화탄소를 광범위한 수준에서 완전히 제거하는 경우가 아니라면, 이산화탄소 배출로 인해 초래된 인위적 기후변화는 대개 수 세기에서 수천 년이 지나도 회복될 수 없는 비가역적 성격을 지닌다 (그림 2.8 a,b). {WGI SPM E.1, SPM E.8, 12.5.2}

또한 평균 지표 온도를 안정화시킨다고 해서, 기후 시스템의 모든 측면을 안정화시킬 수 있는 것은 아니다. 생물 군계 변화, 토양 탄소의 재평형(re-equilibrating), 빙상, 해양 온도 및 이와 관련한 해수면 상승은 지구

표면 온도가 안정화된 후에도 수백 년 혹은 수천 년까지 계속해서 변화를 유지하는, 즉 본질적으로 오랜 기간 변화가 지속되는 특성을 지닌다. {WGI SPM E.8, 12.5.2-12.5.4, WGII 4.2}

이산화탄소 배출이 지속될 경우, 해양 산성화는 향후 수 세기 동안 지속될 것이고 (높은 신뢰도), 극한 기온 현상이 나타남에 따라 해양 산성화의 영향은 악화될 것이다 (그림 2.5b). {WGI 3.8.2, 6.4.4, WGII SPM B-2, 6.3.2, 6.3.5, 30.5, 박스 CC-OA}

2100 년 이후 수 세기에 걸쳐 지구 평균 해수면이 지속적으로 상승할 것이다 (사실상 확실). 2100 년 이후의 해수면 상승을 예측한 분석은 많지 않지만, RCP2.6 에서와 같이 온실가스 농도가 최고점에 달하고 감소 추세를 보이다가 CO₂ 환산 500 ppm 이하로 유지되는 경우, 2300 년까지의 해수면 상승 수준은 산업화 이전 수준 대비 1m 이하일 것이다. 또한 RCP8.5 에서와 같이 2100 년에 CO₂ 환산 농도에 해당하는 복사강제력이 700 ppm 이상 1500 ppm 이하인 경우, 해수면 상승 수준은 2300 년까지 1m 에서 3m 이상인 것으로 전망된다 (중간 신뢰도) (그림 2.8c). 남극 빙상 내 고형 해양빙(solid ice)의 이탈을 전망하는 데 사용할 수 있는 모델은 낮은 신뢰도를 가지므로, 남극 빙상의 기여도를 과소 추정할 수 있고, 결과적으로 2100 년 이후의 해수면 상승 또한 과소 추정할 가능성이 높다. {WGI SPM E.8, 13.4.4, 13.5.4}

북극해에서 연중 내내 해양빙으로 덮여있는 (perennially ice-covered) 상황이 계절적으로 거의 얼지 않는(seasonally ice-free) 상황으로 이어져 더 이상의 해양빙 손실을 멈추거나 되돌릴 수 없게 되는 상황으로 전환하는 티핑 포인트(tipping point) 혹은 치명적인 임계값에 대한 지구 기후 모델의 증거는 많지 않다. {WGI 12.5.5}

분석 자료가 부족하고 모호한 결과가 많기 때문에, AMOC 가 21 세기 이후 시간에 따라 어떻게 전개될지 평가하는 데에는 낮은 신뢰도가 존재한다. 그러나 21 세기 이후 심각한 수준의 온난화가 계속된다면 AMOC 의 붕괴는 피할 수 없을 것이다. {WGI SPM E.4, 12.4.7, 12.5.5}

빙상의 대량 손실이 지속된다면 해수면 상승 정도는 더욱 클 것이고, 손실된 빙상 중 일부는 되돌릴 수 없을 것이다. 임계값보다 큰 수준의 지구 평균 온난화가 지속되는 경우, 천년 혹은 그 이상의 기간에 걸쳐 그린란드 빙상은 거의 완전하게(near-complete) 손실될 것이고, 결과적으로 최대 7m 의 해수면 상승이

나타날 것이다 (높은 신뢰도). 최근 진행된 추정 연구들은 이 임계값에 해당하는 전지구적 온난화 수준이 산업화 이전 기온 대비 약 1°C (낮은 신뢰도) 이상 4°C (중간 신뢰도) 미만이라 밝혔다. 남극 빙상에서 해양 기반(marine-based) 부문은 기후 강제력에 반응하여 잠재적인 불안정성(potential instability)을 보이기 때문에, 갑작스럽고 비가역적인 해양빙 손실이 나타날 수 있지만 이를 양적으로 평가하는 데 필요한 관련 증거 및 정보가 현재 부족한 상황이다. {WG1 SPM E.8, 5.6.2, 5.8.1, 13.4.3, 13.5.4}

중간 및 고배출 시나리오 (RCP4.5, 6.0 및 8.5)에서 21 세기 동안 나타날 기후변화의 규모와 속도는 온수에 서식하는 산호초뿐만 아니라 습지 (중간 신뢰도)를 포함한 해양, 육상 및 담수 생태계의 구성, 구조 및

기능에 갑작스럽고 비가역적이며 지역적인 변화의 높은 위험을 초래할 수 있는 수준이다 (높은 신뢰도). 아한대 툰드라 북극 시스템(boreal-tundra Arctic system) (중간 신뢰도)과 아마존 산림의 변화는 기후변화를 상당히 악화시킬 수 있다 (낮은 신뢰도). {WGII 4.3.3.1, 박스 4.3, 박스 4.4, 5.4.2.4, 6.3.1-6.3.4, 6.4.2, 30.5.3-30.5.6, 박스 CC-CR, 박스 CC-MB}

지구 기온의 상승이 계속됨에 따라 영구동토층의 범위가 감소할 것은 **사실상 확실하다**. RCP8.5 시나리오 하에서 21 세기 전반에 걸쳐 현재의 영구동토층이 잃은 180-920 GtCO₂ (50-250 GtC)는 순 탄소 방출원 (이산화탄소 및 메탄)이 될 것으로 전망된다 (낮은 신뢰도). {WG1 TFE.5, 6.4.3.4, 12.5.5, WGII 4.3.3.4}

3

적응, 완화 및 지속 가능한 발전에 대한 미래 경로

주제 3: 적응, 완화 및 지속 가능한 발전에 대한 미래 경로

적응과 완화는 기후변화의 위험을 저감하고 관리하기 위한 상호 보완적 전략이다. 향후 수십 년 내 배출량을 현저히 줄인다면, 21 세기부터 나타나고 있는 기후 위험을 저감시키고, 효과적인 적응에 대한 기대를 높일 수 있으며, 장기적으로는 완화에 따르는 비용과 관련 문제를 줄여 지속 가능한 발전을 향한 기후-복원경로에 기여할 수 있다.

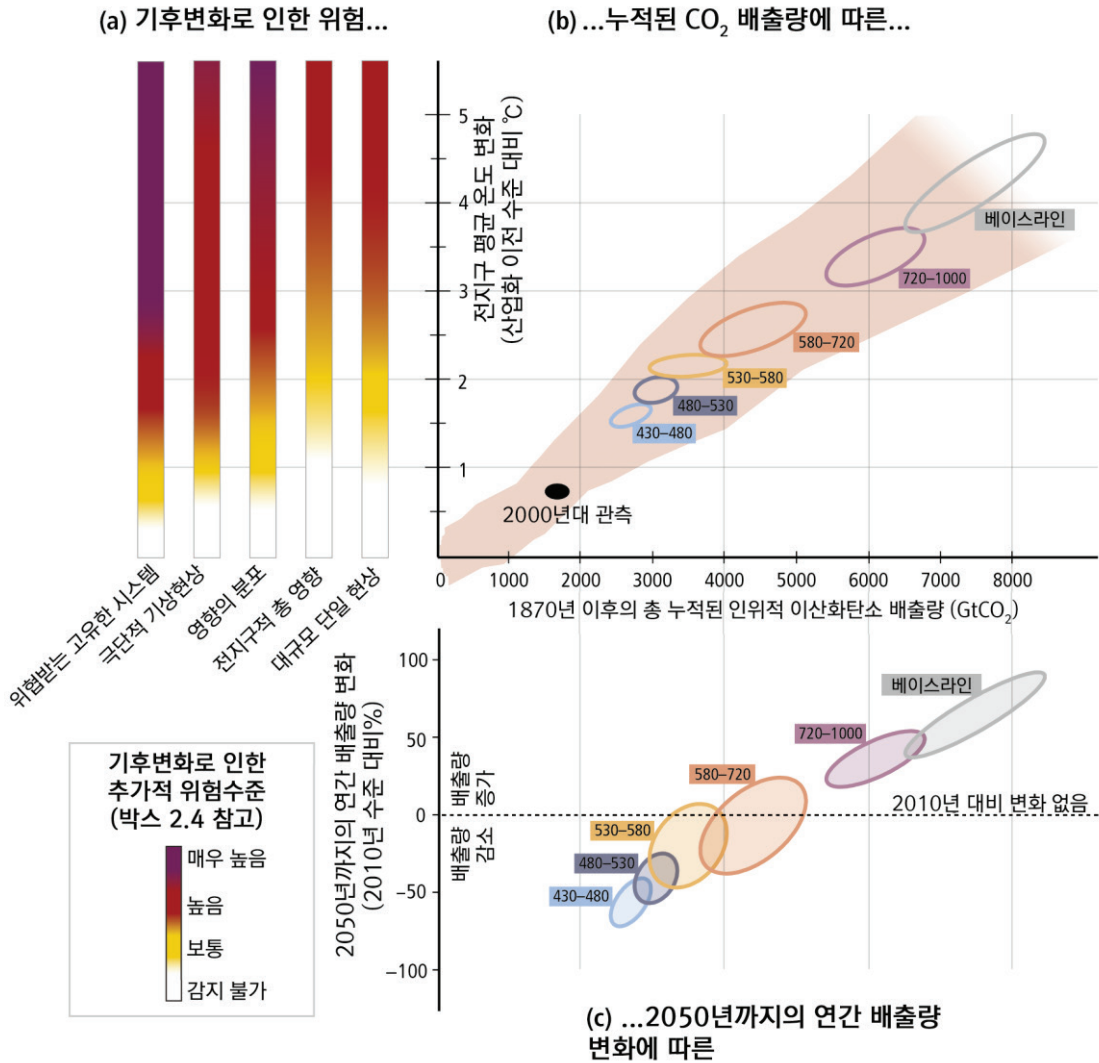


그림 3.1 | 기후변화로 인한 위험, 기온 변화, 누적 이산화탄소 배출량 및 2050 년까지의 연간 배출량 변화 간의 관계. 우려 요인에 따른 위험 제한(a)은 누적 배출량에 대한 제한(b)을 나타내며, 이는 향후 수십 년간 연간 배출량을 제한(c)할 것이다. **패널 a**에서는 다섯 가지의 우려 요인에 대해 설명한다 {박스 2.4}. **패널 b**에서는 누적 이산화탄소 배출량(1870년 이후) (GtCO₂)과 기온 변화 간의 관계를 나타낸다. 이는 CMIP5의 시뮬레이션(분홍 기둥)과 단순 기후 모형(2100년도 중간 기후 반응) 및 베이스라인과 5개의 완화 시나리오(6개 타원)를 기반으로 한 것이다. 자세한 사항은 그림 SPM.5에서 설명한다. **패널 c**에서는 각 시나리오 범주의 누적 이산화탄소 배출량(GtCO₂)과 이로 인한 2050년까지의 연간 온실가스 배출량 변화를 2010년도 대비 백분율 변화로 나타낸다 (연간 GtCO₂-eq %). 여기서 각 타원은 패널 b에서 나타난 시나리오 범주와 동일하며, 이와 비슷한 방법으로 산출하였다 (자세한 사항은 그림 2.3 참조).

기후변화 대응 전략은 크게 적응과 완화로 나뉜다. 적응은 실제로 일어나고 있거나, 일어날 것으로 예상되는 기후변화 그리고 그 영향에 적응하는 과정으로서, 기후변화로 인한 위험을 최소화시키고, 나아가 이를 유익한 기회로 활용하는 방법이다. 완화는 온실가스 배출을 감축하거나 흡수하는 과정으로서, 미래의 기후변화 및 그 영향을 완화시키는 방법이다. 적응과 완화 모두 기후변화 위험을 감소 및 조절한다. 그러나 적응과 완화는 긍정적인 효과뿐만 아니라 기타 위험까지 발생시킬 수 있다. 이러한 측면에서 기후변화에 대한 대응 전략은 기본적으로 기후변화와 관련된 위험을 반영함과 동시에 적응 및 완화로 인해 발생하는 위험뿐만 아니라 부수적 이익까지도 숙고해야 한다. {WGII SPM A-3, SPM C, 용어집, WGIII SPM.2, 4.1, 5.1, 용어집}

완화, 적응 및 기후변화 영향은 시스템의 변형(transformation) 및 변화(change)를 초래한다. 기후변화의 속도와 강도뿐만 아니라 인간계 및 자연계의 취약성과 노출 정도에 따라 어느 정도 차이는 있겠지만, 기후변화는 기본적으로 생태계, 식량 체계, 기반시설, 연안 지역, 도시 지역, 비도시 지역, 인류의 보건과 생활을 크게 바꾸어 놓을 것이다. 기후변화 적응의 경우, 점진적인 변화에서부터 좀 더 근본적이고 혁신적이며 형태적인 변화까지 다양한 수준의 변화가 필요하다³⁴. 완화의 경우, 특히 인류가 제품을 생산하고 에너지 서비스 및 토지를 이용하는 과정에서 근본적인 변화를 시도할 수 있다. {WGII B, C, TS C, 박스 TS.8, 용어집, WGIII SPM.4}

주제 3에서는 완화 및 적응 전략 평가에 영향을 미치는 요소들을 설명한다. 또한 완화, 적응 및 기타 기후 영향 간의 다양한 조합이 가져올 수 있는 편익, 위험, 점진적 변화와 잠재적 변형을 다룬다. 나아가 장기적인 측면에서 향후 적응 및 완화 방안을 통해 기후변화를 어떻게 완화시킬지 및 적응할 수 있는지를 알아본다. 마지막으로 적응 및 완화 방안 선택에 영향을 미치는 요소들(불확실성, 도덕적 고려, 다른 사회적 목표와의 연계성)을 제시한다. 주제 4에서는 현재 사용되고 있는 관련 방법론, 제도 및 정책을 바탕으로 완화와 적응의 미래를 진단한다.

3.1 기후변화 정책 결정의 기반

4.1.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6, 4.8}

기후변화와 그 영향을 제한하기 위한 효과적인 정책 결정은 거버넌스, 윤리적 측면, 형평성, 가치판단, 경제 평가, 위험 및 불확실성에 대한 다양한 인식과 대응 등의 중요성을 깨닫고, 예상되는 위험 및 편익을 평가하기 위한 광범위한 분석적인 방법을 통해 마련될 수 있다.

기후 정책을 평가할 때 지속 가능한 발전과 형평성은 가장 기본이 되는 개념이다. 지속 가능한 발전과 형평성(예: 빈곤퇴치) 관련 목표를 달성하기 위해서는 반드시 기후변화로 인한 영향을 제한해야 한다. 과거 및 미래의 대기 중 온실가스 축적량에 대한 기여 정도는 국가마다 다르며, 직면한 문제 및 상황이나 완화 및 적응을 다룰 수 있는 역량 또한 국가마다 다르다. 완화 및 적응과 관련하여 형평성, 정의 및 공정성의 문제가 불거지고 있는데, 이는 기후변화에 가장 취약하게 반응하는 사람들 중 대부분이 온실가스 배출량에 기여했던 바 혹은 기여하고 있는 바가 매우 적은 이들이기 때문이다. 완화 행동을 이루는 것은 현재 세대가 부담해야 할 책임을 미래 세대에 전가하는 것이며, 기후변화에 의해 발생하고 있는 영향에 충분히 적응 및 대응하지 못할 경우 지속 가능한 발전의 기반은 약화될 수 밖에 없는데, 이미 이러한 우려는 현실로 나타나고 있다. 적응 및 완화에 따른 효과는 지역적, 국가적 그리고 국제적인 수준에서 광범위하게 나타나지만 균일하게 나타나지는 않다. 기후변화와 관련된 정책 결정 과정에서 모든 이해당사자의 권리와 의견을 어느 정도까지 반영해야 하는지는 공정성에 관한 문제이다. WGII 2.2, 2.3, 13.3, 13.4, 17.3, 20.2, 20.5, WGIII SPM.2, 3.3, 3.10,

각 기관이 독단적으로 해당 기관의 이익만을 고려한다면 기후변화를 효과적으로 완화시킬 수 없다. 기후변화는 전지구적 수준에서 해결해야 하는 문제인데, 시간이 경과함에 따라 온실가스는 대기 중에 누적되고, 전지구적으로 확산되며 경제 주체(예: 개인, 지역 사회, 기업, 국가)가 배출하는 온실가스는 제 3 자의 경제 활동이나 생활에 영향을 미치기 때문이다. 따라서 온실가스 배출량을 효과적으로 완화시키고 기타 기후변화 문제를 해결하기 위해서는 국제 협력 등의 협력적 대응이 요구된다. 적응의 효율성을 높이기 위해서도 국가간의 협력 등 다양한 수준의 상호협력이 필요하다. 문제 해결 방식의 공정성을 높일 경우, 협력의 효율성 또한 높아진다. {WGII 20.3.1, WGIII SPM.2, TS.1, 1.2, 2.6, 3.2, 4.2, 13.2, 13.3}

기후변화 관련 정책 결정을 위해서는 다양한 가치를 평가하고 조정하여 정책 결정의 기준을 마련하고, 일부 규범적 이론의 분석 방법을 사용함으로써 정책 결정에 필요한 기초 자료를 마련한다. 윤리학은 다양한 가치들을 분석하고 가치들 간 관계를 파악한다. 정치철학은 최근 온실가스 배출의 영향에 대한 사회적 책임 문제를 중점적으로 다루고 있다. 경제학 및 결정분석은 탄소의 사회적 비용 측정(박스 3.1 참조), 비용-편익 및 비용-효과성 분석, 통합 모델 그리고 기타 분석에 사용되는 정량적 평가 방법을 제시한다. 경제학적 분석 방법은 윤리 이론을 반영할 뿐만 아니라, 기타 학문의 개념인 비 시장 재화(non-marketed good), 자기 자본, 행동주의적 편향, 부수적 편익 분석 및 재화에 대한 상이한 가치도 함께 고려한다. 그러나 학문적으로만 접근하는 데에는 한계가 있으며, 이러한

³⁴ 위에서 언급한 '변형'은 한 시스템의 근본적 속성을 변화시키는 것을 의미한다(용어집 참조). 변형은 다양한 수준에서 일어나며; 특히 지속 가능한 발전을 위해 국가의 상황을 고려하고, 해당 국가의 목표 및 방법을 반영하는 수준에서 일어날 경우, 가장 효과적으로 나타난다. {WGII SPM .C-2, 2 장-13 장, 20.5; WGIII SPM, 6 장-12 장}



박스 3.1 | 경제 지표를 이용한 기후변화 위험 측정의 한계

일부 기후변화의 위험과 영향을 정량적으로 측정할 경우, 국내총생산(GDP) 또는 총소득과 같은 경제 지표를 활용한다. 그러나 경제 지표를 이용한 방법에는 주요한 개념 및 실증적 한계가 있다. 기온이 2.5°C 상승하게 될 경우, 기후변화로 인한 전지구적 경제 손실 규모는 산업화 이전 대비 연간 총소득의 0.2~2.0%에 달할 것이다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 손실 규모가 이보다 크게 발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높으며, 다소 작을 가능성도 높다 (제한된 증거, 높은 동의 수준). 2000년부터 2015년까지 이산화탄소 1 톤을 배출하는데 드는 경제적 비용은 탄소 1 톤당 수 달러에서 수백 달러에 이를 것으로 추정된다 (명확한 증거, 중간 동의 수준). 수많은 가정에 기초하여 이러한 비용을 추산하였으며, 정확한 수치는 아니기 때문에 여전히 논란의 여지가 있다. 또한, 이러한 추산에는 광범위하고 이례적으로 일어나는 기후변화, 기후변화의 비가역성, 임계점 및 생물다양성 손실 등 금전적으로 환산할 수 없지만 중요한 사항들이 반영되지 않았다. 총 비용만을 추산하는 방식에서는, 분야별, 지역별, 국가별 및 개인별로 크게 차이가 있는 다양한 기후변화의 영향을 간과하게 된다. 결과적으로 윤리적 고려, 즉 경제적 손실이 국가간 그리고 국가 내에서 어떻게 분포되어 있는지의 상대적 중요성이 커지게 된다 (높은 신뢰도). 경제적 손실 규모는 지구 온도가 낮아진다는 가정 하에서만 추산한다. 추가적인 완화 노력이 이루어지지 않는다면, 21 세기 동안 예상을 뛰어넘는 수준의 손실이 나타나며, 추가적인 경제적 비용이 늘어날 것이다. 다양한 온도 변화 수준에서 발생하는 총 경제적 손실에는 완화 비용, 완화에 따른 혜택, 완화에 따른 부작용, 적응 비용 그리고 기후변화에 따른 피해가 모두 포함된다. 모든 기온 상승 시나리오 하에서 나타나는 경제적 손실 규모는 파악할 수 없다. 기온이 현재 수준대비 3°C 이상 상승할 경우, 기후변화에 따른 경제적 손실 규모는 알 수 없다. 기후변화 위험(그리고 완화의 혜택)을 정확하게 추산하기 위해서는 기후변화 영향이 미치는 최대 범위를 고려해야 하며, 특히 낮은 발생 확률을 지니지만 막대한 영향을 미치는 기후변화 영향까지 고려해야 하는데, 이는 완화에 따른 편익이 과소 평가되지 않도록 하기 위함이다 (높은 신뢰도). 일부 한계의 경우, 관련 지식이 상당 수준으로 늘어났더라도 해결할 수 없다. 예를 들어, 다양한 가치가 존재하는 환경 속에서 시간이 경과함에 따라 기후변화가 개별 주체에 영향을 미치는 것은 우리가 조절할 수 있는 것이 아니다. 이러한 맥락에서, 단 하나의 기후변화 목표와 최적의 기후 정책을 수립하는 것은 과학적인 과정에 입각한 결론이 아니다 (3.1, 3.4). {WGII SPM B-2, 10.9.2, 10.9.4, 13.2, 17.2-17.3, 18.4, 19.6, WGIII 3.6}

한계는 이미 입증되어 나타난 바 있다. {WGII 2.2, 2.3, WGIII SPM.2, 박스 TS.2, 2.4, 2.5, 2.6, 3.2-3.6, 3.9.4}

분석 방법만으로는 완화, 적응 그리고 기후 영향 간의 균형을 유지할 수 있는 최상의 방법을 알아낼 수 없다. 이유는, 기후변화가 높은 복잡성을 띠는 자연 및 사회적 과정이며, 가치 반영과 관련한 의견 불일치가 심각한 수준이고, 기후변화 영향 및 완화 방안의 효과는 광범위하게 나타나기 때문이다. 그럼에도 불구하고 온실가스 안정화를 위한 배출 경로 및 위험 수준에 관한 내용은 정책 결정 과정에서 유용하게 쓰일 수 있다. 기후변화 대응을 평가할 때는 기후변화가 미치는 최대 가능 범위(발생 확률은 낮지만 대규모 피해가 예상되는 결과까지 모두 포함)를 파악한다. {WGII 1.1.4, 2.3, 2.4, 17.3, 19.6, 19.7, WGIII 2.5, 2.6, 3.4, 3.7, 박스 3-9}

복잡한 기후변화의 환경 속에서 효과적인 정책 결정과 위험 관리는 반복될 수 있다: 정책을 실제로 이행할 때 발생하는 지식기반과 새로운 정보를 바탕으로 전략을 조정할 수 있다. 그럼에도, 가까운 미래에 선택될 적응 및 완화 관련 행동은, 21 세기 동안, 나아가 21 세기를

넘어 기후변화 위험에 영향을 미칠 것이다. 지속 가능한 발전을 위한 기후-복원경로의 미래는 인류가 기후변화를 완화시킴으로써 무엇을 얻고자 기대하는지에 좌우된다. 적응과 완화 사이에 나타나는 시너지 효과를 활용할 수 있는 기회는 시간이 경과할 수록 감소한다. 특히 완화를 오랜 기간 미룰 경우, 시너지 효과는 감소하게 된다. 기후변화 정책을 결정할 때는, 인간과 제도가 기후변화의 위험 및 불확실성을 어느 정도 인지하고 이해하는지가 중요하다. 여기서 의사 결정 원칙은 단순하며, 기후변화 위험을 과대 및 과소 평가할 수 있고, 현재의 상황을 객관적이 아닌 편향된 시각으로 바라볼 수 있다. 또한 어느 정도까지 위험을 피해야 하는지, 또는 구체적인 행동의 단기 및 장기적 영향 중 어느 영향에 더욱 중요성을 두어야 하는지는 대상에 따라 모두 다르게 인식하고 있다. 불확실성을 전제로 한 정형화된 분석 방법은 위험을 정확하게 이해하도록 도우며, 단기 및 장기적 결과에 초점을 맞추고 있다. {WGII SPM A-3, SPM C-2, 2.1-2.4, 3.6, 14.1-14.3, 15.2-15.4, 17.1-17.3, 17.5, 20.2, 20.3, 20.6, WGIII SPM.2, 2.4, 2.5, 5.5, 16.4}

3.2 적응 및 완화를 통한 기후변화 위험 감소

오늘날의 노력 외의 추가적인 완화 노력이 이루어지지 않는다면, 적응이 추진된다고 할지라도 온난화로 인해 21 세기 말까지 높음에서 매우 높은 수준의 비가역적이고, 광범위하며 심각한 영향이 전지구적으로 나타날 것이다 (높은 신뢰도). 완화는 단기 완화노력으로 인한 편익을 증대시키는 여러 수준의 부수적인 이익과 부정적인 역효과를 동반한다. 하지만 이에 동반되는 위험은 기후변화로 인한 위험처럼 광범위하고 돌이킬 수 없는 심각한 영향이 발생할 가능성과 같지 않다.

기후변화, 적응 그리고 완화에 따른 위험은 본질적 특성, 시기, 세기 그리고 지속성 측면에서 차이가 난다 (높은 신뢰도). 적응에 따른 위험은 크게 부적응과 부정적인 부가적 영향으로 나뉜다. 완화에 따른 위험은 저탄소 기술 및 경제적 비용의 과도한 사용과 지출에 따른 부정적 영향을 말한다. 기후변화에 따른 위험은 수천 년 동안 지속되는 특성을 가지며, 위험도가 매우 높고 적응 능력의 한계와 함께 돌이킬 수 없는 비가역성을 지닌다. 반면, 기후 정책의 엄격성은 정책 결과에 따라 훨씬 유연하게 변할 수 있으며, 기후변화 위험의 비가역성을 줄일 수 있다. (3.3, 3.4, 4.3) {WGI SPM E.8, 12.4, 12.5.2, 13.5, WGII 4.2, 17.2, 19.6, WGIII TS.3.1.4, II TS.4, II TS.5, II TS.6, II TS.7, II TS.8, 2.5, 6.6}

완화와 적응은 기후변화 위험을 감소시키는 상호 보완적 접근 방식이다. 완화와 적응은 상호 작용을 하며 다양한 시간 범위의 위험을 감소시킨다 (높은 신뢰도). 적응에 따른 긍정적인 편익은 현재의 위험을 해결하는 과정뿐만 아니라 미래의 위험을 다루는 과정에서도 나타날 수 있다. 적응은 향후 수십 년간 기후변화 영향을 감소시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있으나, 완화는 상대적으로 낮은 잠재력을 지닌다. 21 세기 중반 이후 기후변화가 어떻게 전개될지를 결정짓는 요소는 가까운 미래와 먼 미래의 완화 및 적응과 지속 가능한 발전 경로이다. 적응 잠재력은 각 분야마다 다르며, 제도적 한계 그리고 역량 부족으로 감소하기도 한다. 반면 완화에 따른 장기적인 혜택은 증가한다 (높은 신뢰도). 완화의 수준은 기후변화의 속도와 강도에 영향을 미치며, 기후변화의 속도와 강도가 증가할수록 적응 한계가 초과될 가능성도 증가한다 (높은 신뢰도). (3.3) WGI 11.3, 12.4, WGII SPM A-3, SPM B-2, SPM C-2, 1.1.4.4, 2.5, 16.3-16.6, 17.3, 19.2, 20.2.3, 20.3, 20.6}

오늘날의 노력 이외의 추가 완화 노력이 이루어지지 않는다면, 적응이 추진된다고 할지라도 21 세기 말까지 온난화는 전지구적으로 확산되어 높음에서 매우 높은 수준의 돌이킬 수 없는 심각한 영향으로 이어질 것이다 (높은 신뢰도) (주제 2 그리고 그림 3.1a). 추가적인 완화 노력이 없다면, 2100 년 지구 평균 기온은 산업화 이전과 대비하여 3.7°C~4.8°C 상승할 것이 전망된다 (기후 예측 중앙값; 예측 결과의 5 번째~95 번째 값을 이용할 경우, 기온 상승 범위는 2.5°C~7.8°C) (그림 3.1). 기온 상승이 4°C를 상회할 경우, 기후변화는 위험받는 고유한 시스템, 상당 수의 생물종의 멸종 및 전지구와 지역적 식량 안보에 심각하면서도 광범위한 영향을 미치게 된다. 또한 기온 상승으로 인류활동이 제약을 받게 되고, 티핑 포인트(치명적인 임계값)에 도달할 가능성이 높아지며, 일부의 경우 적응 잠재력이 제한된다 (높은 신뢰도). 기온이 산업화 이전과 대비하여 1~2°C 상승할 경우, 극한 기후 현상과 관련된 위험 및 위험받는 고유한 시스템에 대한 위험은 완만하거나 높게 나타난다. {WGII SPM B-1, SPM C-2, WGIII SPM.3}

향후 수십 년 중 온실가스 배출을 상당량 감축하여 온난화를 제한할 경우, 21 세기 후반의 기후변화 위험은 현저히 감소할 수 있다 (높은 신뢰도). 지구 평균 기온은 여러 기간에 걸쳐 누적된 온실가스 배출량에 의해 결정된다 (그림 3.1). 전 우려 요인에 걸쳐 나타나는 위험을 제한한다는 것은 누적 이산화탄소 배출량을 제한한다는 것을 의미할 수 있다. 즉, 전 세계 이산화탄소 순 배출량을 결국 0 으로 수렴시키고 향후 수십 년 동안 연간 배출량을 제한하는 것이 필요하다 (그림 3.1a,b) (높은 신뢰도). 기후변화 위험을 완화시키는 방법은 향후 수십 년간 발생할 인위적 온실가스 배출을 현저히 줄이는 것이다 (그림 3.1c). 그러나 어떠한 완화 및 적응 시나리오 하에서도 피할 수 없는 일부 잔여(residual) 위험이 있다 (매우 높은 신뢰도). 일부 위험은 경제 지표를 이용하여 정량화되어 왔는데, 이러한 측정이 보이는 주요 한계는 장기적 완화 목표와 관련된 정책 결정을 내릴 경우 이러한 지표가 유용하게 쓰일 수 있어도 그 정도가 충분하지는 않다는 점이다 (박스 3.1 참조). {WGII 19.7.1, WGIII SPM.3, 그림 3.1}

완화에는 여러 수준의 부수적 이익뿐만 아니라 위험도 수반되지만, 이처럼 완화에 따르는 위험이 널리 확산되어 심각하고 돌이킬 수 없는 영향을 발생시킬 가능성은 기후변화로 인한 위험의 것과 동일하지 않다 (높은 신뢰도). 기온 상승이 산업화 이전과 대비하여 2°C 또는 3°C 내에서 일어날 가능성이 높은 시나리오의 경우, 향후 수십 년간 에너지 시스템의 전반적인 변화 그리고 잠재적으로 토지 이용 변화가 예상된다 (3.4).



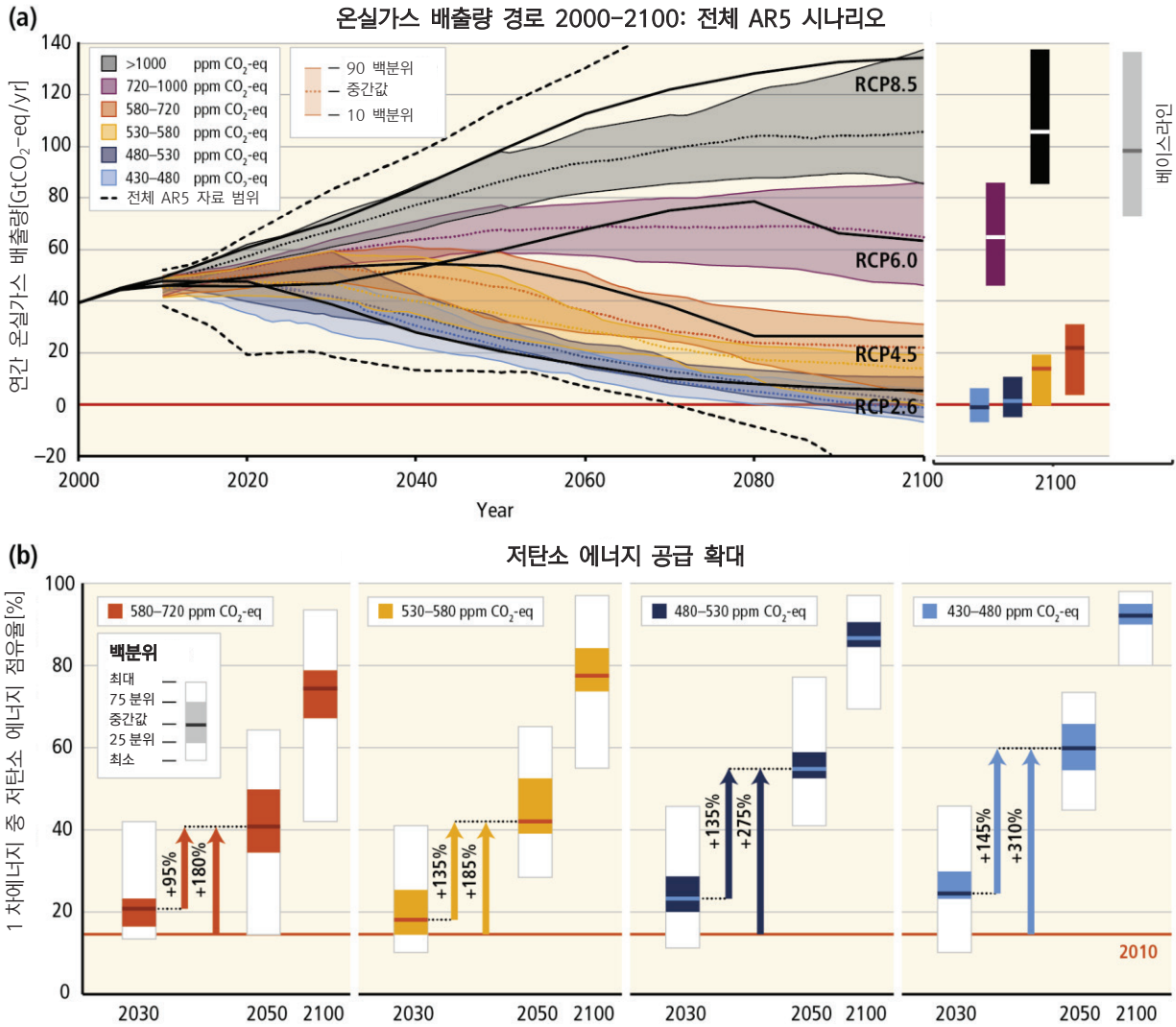


그림 3.2 |베이스라인 및 완화 시나리오의 가정 하에서 다양한 장기적 농도 수준(a)에 따른 전지구적 연간 온실가스 배출량(GtCO₂-eq/yr) 및 각 완화 시나리오(b)에서 2010 년도 수준 대비 2030 년, 2050 년 및 2100 년도에 대한 저-탄소 에너지 확대 조건(1 차에너지의 %). {WG SPM.4, 그림 6.7, 그림 7.16} [주의: 교토의정서에서 규정한 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소 그리고 불소화가스) 배출량을 IPCC 제 2 차 평가보고서에서 언급된 GWP100 추산법을 사용하여 이산화탄소 배출량으로 환산].

엄격한 완화 정책으로 저탄소 에너지 기술이 대량 보급되지만, 경제적 측면에서 높은 비용을 부담하게 되고, 이로 인해 취약 국가 및 산업은 피해를 입게 된다. 이외에도 인류 보건, 식량 안보, 에너지 안보, 빈곤 감소, 생물다양성 보전, 물 가용성, 소득 분배, 조세 시스템의 효율성, 노동력 공급 및 고용률, 도시의 무분별 확산, 화석연료 수출·수입 그리고 개도국의 경제 성장에도 위험 및 부수적 이익이 주어진다 (표 4.5). *WGIII SPM.4.1, SPM.4.2, TS.3.1.4, 표 TS.4, 표 TS.5, 표 TS.6, 표 TS.7, 표 TS.8, 6.6*

경제 및 기후 시스템은 고착화된 경향(타성)을 보이고 있으며 기후변화 영향은 비가역성을 띄기 때문에 가까운 미래에 완화 노력을 취할 경우 편익은 증가한다 (높은 신뢰도). 온실가스 배출을 감소시키고, 기온 상승을 제한하며, 기후변화에 적응하기 위해 오늘 취한 행동은 미래의 선택을 좌우할 수 있다.

나아가 가까운 미래에 우리가 내린 선택은 의사 결정에서 중요하게 작용하는 오래된 타성을 생산, 확대 및 제한시킨다. 해양 표층에서부터 심층으로 열 전환(heat transfer)이 이루어짐에 따라 배출 시나리오와 상관 없이 수십 년 동안 해양 온난화가 지속되었는데, 이와 같이 기후시스템 구성요소의 일부에서 보여지는 대규모 관성(large inertia)으로 인해 기후 시스템에서 록인(lock-in) 현상 및 비가역성이 나타나게 된다. 이러한 록인 현상 및 비가역성은 또한 대기 중의 이산화탄소를 일정 기간 내 대규모로 감축시키려는 인위적 개입 없이 수 세기와 수천 년 동안 배출된 이산화탄소량으로 인해 광범위한 인위적 기후변화가 나타나 초래되는 비가역성에서도 기인한다 (박스 3.3 참조). 사회-경제적 및 생물학적 시스템에서 보여지는 비가역성은 기반시설 개발, 수명이 긴 제품 생산 및 종의 멸종과 같은 기후변화 영향에 의해 발생한다. 기후변화의 비가역성과 심각성은 완화 위험보다는 기후변화

표 3.1 | WGⅢ AR5 에서 수집 및 평가된 시나리오의 주요 특성. 모든 매개 변수에 대해, 시나리오의 10 번째부터 90 번째까지의 백분위수를 제시한다.^a

2100 년도의 CO ₂ 환산 농도 (ppm CO ₂ -eq) ^f 범주 라벨 (농도 범위)	하위범주	RCPs 의 상대위치 ^d	2010 년 대비 CO ₂ 환산 배출량 변화(% 내) ^e		21 세기 이후에도 특정 온도 수준 이하로 유지할 가능성 (1850-1900 대비) ^{d,e}			
			2050	2100	1.5°C	2°C	3°C	4°C
<430	CO ₂ 환산 430ppm 이하의 수준에 대한 개별적인 모형 연구는 제한되었다. ^g							
450 (430-480)	전체 범위 ^h	RCP2.6	-72~-41	-118~-78	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높음	가능성이 높음	가능성이 높음	가능성이 높음
500 (480-530)	CO ₂ 환산 530ppm 초과하지 않음		-52~-42	-107~-73	가능성이 낮음	발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높음		
	CO ₂ 환산 530ppm 초과		-55~-25	-114~-90		가능성이 있는		
550 (530-580)	CO ₂ 환산 580ppm 초과하지 않음		-47~-19	-81~-59		가능성이 낮음	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높음 ⁱ	
	CO ₂ 환산 580ppm 초과		-16~-7	-183~-86				
(580-650)	전체 범위		-38~-24	-134~-50				
(650-720)	전체 범위	RCP4.5	-11~17	-54~-21		가능성이 낮음	발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높음	
(720-1000) ^b	전체 범위	RCP6.0	18~54	-7~72		가능성이 낮음	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높음	
>1000 ^b	전체 범위	RCP8.5	52~95	74~178		가능성이 낮음	가능성이 낮음	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높음

비고:

^a CO₂ 환산 농도의 시나리오 전체 범위인 430-480 ppm 은 WGⅢ 보고서의 표 6.3 에서 제시된 하위범주의 10-90 번째 백분위수의 범위와 일치한다.

^b 베이스라인 시나리오는 CO₂ 환산 >1000 과 750-1000 ppm 범주로 나뉜다. 후자에는 완화 시나리오 또한 포함된다. 후자의 베이스라인 시나리오에서는 2100 년에 1850-1900 년 평균 기온 대비 2.5-5.8°C의 기온 상승이 나타난다. CO₂ 환산 >1000 ppm 범주의 베이스라인 시나리오와 함께 위 두 농도 범주에서 베이스라인 시나리오에 대한 2100 년도 전체 기온 변화 범위는 2.5-7.8°C(중간값 기후 반응 범위를 기반으로 한 범위: 3.7-4.8°C)로 이어질 것이다.

^c 2010 년도 전세계 배출량은 1990 년 대비 31% 증가하였다 (본 보고서에서 제시한 과거 온실가스 배출량 추정치와 일치). CO₂ 환산 배출량에는 교도의정서에서 규정한 가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소 및 불소화 가스)가 포함된다.

^d 본 평가에는 과학 문헌에 발표된 시나리오의 다수가 포함되며, 대표농도경로에 국한되지 않는다. 이러한 시나리오의 CO₂ 환산 농도와 기후 영향을 평가하기 위해 확률 모드에서 MAGICC(Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change) 모형이 사용되었다. MAGICC 모형과 WGⅠ에서 사용된 모형을 비교한 결과는 WGⅠ의 12.4.1.2 절과 12.4.8 절 및 6.3.2.6 절에서 확인할 수 있다.

^e 위 표에 대한 평가는 MAGICC 와 WGⅠ의 기후 모형을 사용하지 않은 기온 예측의 불확실성 평가 결과를 사용하여 WGⅢ에서 시나리오의 전체 양상별에 대해 계산한 확률을 기반으로 한다. 따라서 본 보고서의 서술은 대표농도경로의 CMIP5(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5)와 불확실성에 대한 평가를 기반으로 한 WGⅠ의 서술과 일치한다. 즉, 가능성에 대한 서술은 두 실무그룹이 제시한 여러 방면의 서로 다른 증거를 반영한 것이다. 이러한 WGⅠ의 방법은 CMIP5 을 사용할 수 없는 중간 수준의 농도 시나리오에서도 적용되었다. 가능성에 대한 서술은 예시일 뿐이며 {WGⅢ 6.3}, 기온 예측을 위해 WGⅠ SPM 에서 사용한 다음과 같은 용어를 넓은 범위에서 제시한다.: 가능성이 높은 66-100%, 발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높음 >50-100%, 가능성이 있는 33-66%, 그리고 가능성이 낮음 0-33%이 포함된다. 이와 더불어, 확률이 0-(<50% 경우에, 발생할 가능성보다 발생하지 않을 가능성이 높음)이라 가능성을 서술하였다.

^f CO₂ 환산 농도(용어집 참조)는 단순 탄소 순환/기후 모형인 MAGICC 의 전체 강제력을 기반으로 계산하였다. 2011 년도의 CO₂ 환산 농도는 430ppm (불확실성 범위 340ppm-520ppm)인 것으로 추정되었다. 이는 1750 년 대비 2011 년도의 모든 인위적 복사강제력에 대한 WGⅠ의 평가를 기반으로 추정된 것으로 예를 들어, 불확실성의 범위는 1.1-3.3 W m⁻²이다.

^g 이러한 오버슈트 범주에서 시나리오의 대부분은 CO₂ 환산 480 ppm 농도의 범주 경계를 초과한다.

^h 위 범주에서 시나리오의 경우, CMIP5 실행이나 MAGICC 실행이 없었으며, 각각에 대한 기온 수준 이하로 유지된다. '가능성이 낮음'에도 할당된 이유는 기존의 기후 모형에 반영되지 않는 불확실성을 나타내기 위한 것이다.

ⁱ CO₂ 환산 580ppm-650 ppm 범주의 시나리오에는 오버슈트 시나리오(overshoot scenarios)와 높은 수준의 범주(예, RCP4.5)에서 농도 수준을 초과하지 않는 시나리오가 모두 포함된다. 일반적으로 후자의 시나리오는 온도 수준을 2°C 이하로 유지하는 상황이 발생할 가능성보다 발생하지 않을 가능성이 높음 확률을 평가하는 반면, 전자는 주로 위 수준 이하로 유지하는 상황이 발생할 가능성이 낮음 확률에 대해 평가한다.

^j 이러한 시나리오에서는 2050 년도의 지구 CO₂ 환산 배출량이 2010 년도 배출량의 70-95% 이하로, 그리고 2100 년도의 배출량은 2010 년도의 배출량의 110-120% 이하인 것으로 나타났다.

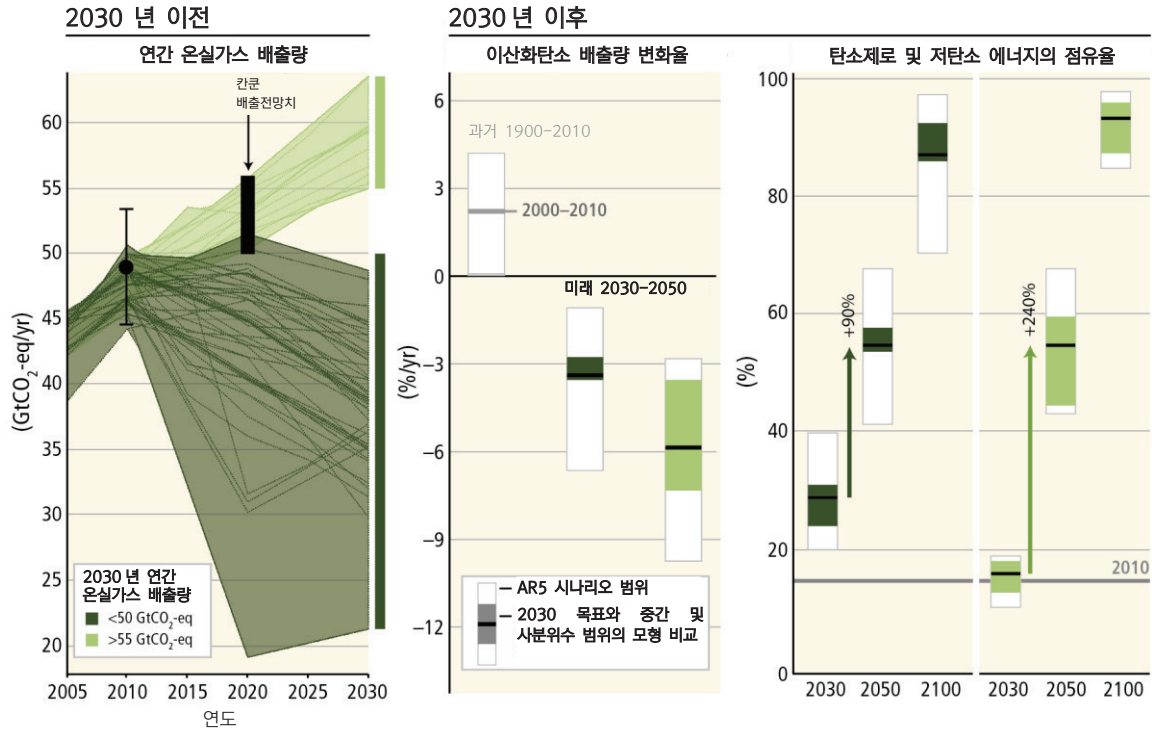


그림 3.3 | 이산화탄소 배출량 감축률 및 21 세기까지 최소한 가능성이 있음 확률로 산업화 이전 수준 대비 온난화가 지속될 전망하는 완화 시나리오 하(2100년까지 CO₂ 환산 농도는 430ppm-530ppm)에서 저탄소 에너지 확대에 따른 각기 다른 수준의 온실가스 배출량. 시나리오는 2030년까지의 여러 배출량 수준에 따라 분류된다 (녹색계열의 색으로 표시됨). 좌측 패널은 2030년까지의 온실가스 배출량 (GtCO₂-eq/yr)의 경로를 보여준다. 그림 SPM.2 에서 보고한 바와 같이, 검은색 점에서 위아래로 연장된 얇은 막대부분은 과거 온실가스 배출량 수준과 2010 년의 관련 불확실성을 나타낸다. 검은색 막대기는 칸쿤 협정(Cancun Agreements)에서 언급된 온실가스 배출 예측의 불확실성 범위를 나타낸다. 중간 패널은 2030-2050 년 사이의 연평균 이산화탄소 배출량 감축률을 나타낸다. 이는 2030년까지의 명시적 잠정 목표치와 함께 최근 모형 간의 비교를 통한 시나리오의 중간 및 사분위수 범위와 WGIII AR5 의 시나리오 데이터베이스에서의 시나리오 범위를 비교한다. 또한 연간 과거 배출량 변화율(20 년 이상 지속되고 2000-2010 년 사이의 연평균 이산화탄소 배출량 변화)을 보여준다. 우측 패널의 화살표는 각기 다른 수준의 2030 년 온실가스 배출량을 대상으로 2030-2050 년 동안 탄소제로(carbon zero) 및 저탄소 에너지 공급이 확대되는 정도를 나타낸다. 탄소 제로 및 저탄소 에너지 공급에는 재생에너지, 핵에너지 및 이산화탄소 포집 및 저장(CCS)이나 바이오에너지 및 탄소포집(BECCS)에 따른 화석에너지가 포함된다. [비고: 기본적 모형(기본 기술 가정)에서 전체적으로 완화기술이 제약되지 않은 포트폴리오를 적용하는 시나리오만 표시된다. 전세계 배출량이 비관적인 시나리오(>20 GtCO₂-eq/yr)와 외생 탄소 가격(exogenous carbon price)을 추정한 시나리오, 그리고 2010 년의 배출량이 과거의 범위에서 상당히 벗어난 시나리오의 경우 제외하였다.] {WGIII 그림 SPM.5., 그림 6.32, 그림 7.16, 13.13.1.3}

위험에 의해 더욱 심각하게 야기되며, 오히려 단기적인 완화 노력으로 인한 효과를 증대시킨다. 온실가스를 추가적으로 감축하려는 완화 노력을 미루거나, 기술적 완화 수단과 관련하여 문제가 발생할 경우, 활용할 수 있는 장기적인 완화 방안이 제한될 뿐만 아니라 기후변화 영향을 특정 수준으로 유지시키는데 소요되는 비용과 이로 인한 위험이 중장기적으로 증가하게 된다 (표 WGIII.SPM.2, 파란색 부분). {WGI SPM E-8, WGII SPM B-2,2.1, 19.7, 20.3, 박스 20-4, WGIII SPM.4.1, SPM.4.2.1, 3.6, 6.4, 6.6, 6.9}

3.3 적응 경로의 특성

적응을 통해 기후변화 영향의 위험을 줄일 수 있지만, 기후변화의 규모가 커지고 진행 속도가 빨라질 경우 그 효과성은 제한될 수 있다. 지속 가능한 발전의 맥락에서 좀 더 장기적인 관점으로 본다면, 보다 즉각적 적응 행동을 할 가능성이 높아질 경우 미래의 선택권과 준비성을 향상시킬 것이다.

적응은 현재와 미래의 인류 복지 및 자산을 보장하고 생태계 재화, 기능 및 서비스를 유지할 수 있도록 돕는다. 적응은 지역과 상황에 따라 다르며, 모든 지역과 상황을 만족시키는 단 하나의 적응 방안은 존재하지 않는다 (높은 신뢰도). 위험 저감 및 적응 전략의 효율성을 높이기 위해서는 기후변화에 대한 취약성과 노출을 고려해야 하며, 나아가 이들이 사회경제적 과정, 지속 가능한 발전 및 기후변화 간에 어떠한 연결고리가 존재하는지를 파악해야 한다. 제 4 차 평가보고서(AR4) 이후, 적응 연구는 공학적이고 기술적인 측면에서 발전해 왔는데, 구체적으로 생태계 중심의 적응, 제도 그리고 사회 정책을 중점적으로 다루었다. 제 4 차 평가보고서 이전에 적응 연구는 비용-편익 분석, 최적화 그리고 효율성에 초점을 맞췄지만, 제 4 차 평가보고서 이후에는 적응 연구가 기후변화의 위험성 및 불확실성을 고려한 다변수(multi-metric) 분석을 중심으로 확대되었다. 다변수 평가를 활용하여 다양한 정책 및 윤리 체계에서 통합적으로 발생하는 충돌 및 한계를 측정할 수 있다.

베이스라인 시나리오에서의 전지구적 완화 비용과 소비량

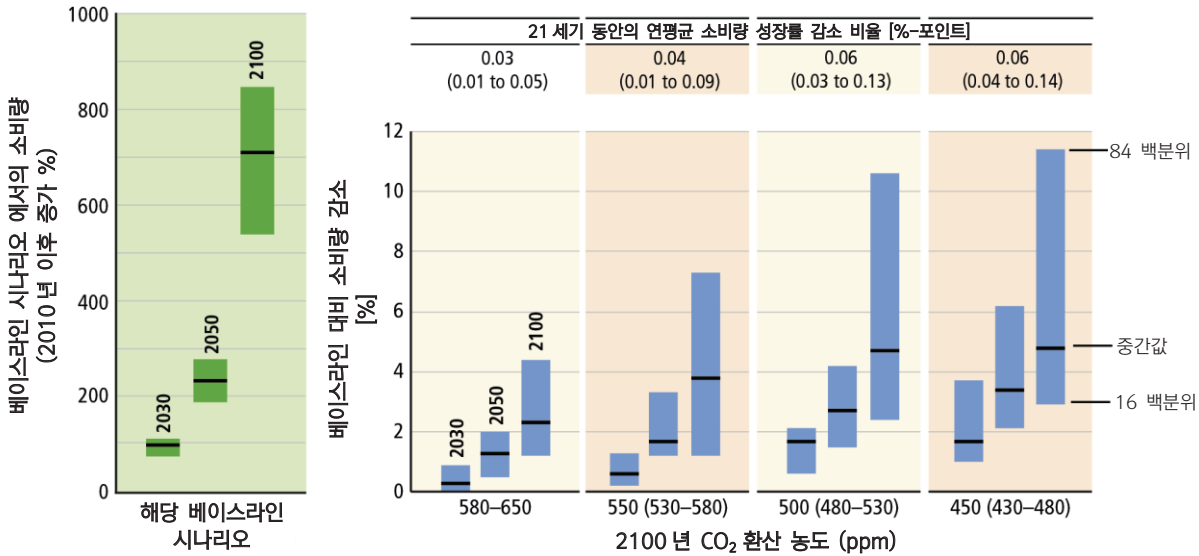


그림 3.4 | 2100년도 각각의 대기 중 농도 수준에 따른 비용 효과적인 시나리오 하 전지구의 완화 비용(우측 패널). 베이스라인 시나리오 대비 경제적 소비 증가(추가 완화 노력이 없는 경우(좌측 패널). 위의 표는 연간 소비 증가가 기준 소비 증가에 비해 3%에서 1.6%로 하락하였음을 표시(완화로 인한 연간 소비 감소율은 0.06%, 기준 소비 증가율은 연간 2.0%. 완화를 통한 연간 소비 증가율은 연간 1.94%)한다. 비용 효과적인 시나리오는 모든 국가의 즉각적인 완화 조치와 전 세계적으로 단일화된 탄소 가격을 추정하고 모형의 기본적인 기술 가정과 관련하여 기술에 대한 추가적인 제약이 없다. 소비량 감소는 기후 정책이 없는 기준 개발과 비교하여 나타낸다. 아래의 표에 나타난 비용 추정치는 온실가스 저감에 따른 혜택뿐만 아니라 부수적 이익과 완화의 부작용을 고려하지 않는다. 다양한 모델 시뮬레이션을 통해 비용의 최대치가 추정되었으며, 이러한 모델들은 장기적인 목표를 달성하는데 필요한 온실가스 감축에 유연하지 않은 편이다. 그리고/혹은 비용을 증가시키는 불완전한 시장의 가정들을 포함시키는데에도 유연하지 않다. {WGIII 표 SPM.2, 그림 TS. 12, 6.3.6, 그림 6.21}

각 적응 방안의 범위 역시 확대되었으며 (4.2, 4.4.2.1), 지속 가능한 발전과의 연계성 또한 높아졌다 (3.5). 적응 비용과 편익에 관한 지역별 그리고 분야별 연구가 많이 이루어지고 있으나 전지구적 수준에서의 연구는 적으며, 연구 결과의 신뢰도 또한 낮다. {WGII SPM C-1, 표 SPM.1, 14.1, 14.ES, 15.2, 15.5, 17.2, 17.ES}

알림으로써 적응 활동을 조정한다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 적응 과정 전반에 걸쳐 지역 정부 및 민간 부문의 역할이 지니는 중요성은 점차 부각되고 있는데, 이는 이들이 위험 정보와 재정을 관리할 뿐만 아니라 지역사회, 가정 및 시민 사회의 적응을 장려하기 때문이다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {WGII SPM C-1}

모든 수준의 거버넌스에서 적응 계획과 이행은 사회적 가치, 목표, 위험 인식에 따라 결정된다 (높은 신뢰도). 적응에 대한 다양한 이해관계, 상황, 사회문화적 맥락 및 요구를 파악하는 것이 적응 관련 정책 결정 과정에 도움이 된다. 기후변화의 적응에서 해당 지역의 토착, 지방 그리고 전통 지식 시스템과 사례가 가장 중요하게 작용할 수 있지만, 이러한 지식은 적응 과정에서 지속적으로 사용되어 오지 않았다. 우선 토착, 지역 및 전통 지식(예: 토착민이 지역 공동체와 환경을 바라보는 관점)을 적응에 적극적으로 반영하는 것이 필요한데, 이를 통해 적응에 대한 지지 및 참여를 이끌 수 있고 정책 과정의 효율성을 높일 수 있으며, 적응 자체의 효과 또한 증대시킬 수 있다 (4.4.2). {WGII SPM C-1}

기후변화 적응을 위한 첫 단계는 현재의 기후변동에 대한 취약성과 노출을 줄이는 것이다 (높은 신뢰도). 그러나 가까운 미래에 취한 일부 적응 활동은 미래의 선택 (option)을 제약할 수 있다. 다양한 정책 계획 및 결정에 적응 문제를 통합시킬 경우, 개발과 적응 간 시너지 효과를 증대시키고 재해 위험 또한 감소시킬 수 있다. 그러나 적응의 계획 및 이행이 원활하게 진행되지 못하고 단기적인 결과에만 집착하거나 향후 결과를 충분히 예상하지 못한다면 오히려 대상 집단의 부적응을 초래하고, 이들의 취약성 또는 노출을 증가시킬 수 있으며, 기타 집단, 장소 또는 분야의 취약성을 증가시킬 수 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 예를 들어, 기후변화에 노출된 자산을 보전하려고만 한다면 기후변화에 대한 적응 능력을 배양하지 못하고 오히려 보전 정책에만 의존하게 된다. 완화 방안과 적응 방안의 부수적 이익 그리고 완화 방안이 적응 방안에 미치는 영향을 고려할 경우, 적응 방안에 대한 적합성 평가의 정확도를 높일 수 있다 (3.5 그리고 4.2). {WGII SPM C-1}

적응의 계획 및 이행은 개인부터 정부까지 다양한 주체의 협동을 통해 강화될 수 있다 (높은 신뢰도). 국가 중앙 정부는 지역 및 하위 국가 수준의 정부의 적응 활동을 조정한다. 예를 들어 취약 계층을 보호하고, 경제적 다양성을 지원하며 정보, 정책 및 법적 체계를



적응 방안을 선택하고 이행하는 과정에서 효율성을 높이기 위해서는 관련 역량을 배양하는 것이 가장 중요하다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 적응을 성공적으로 이끌기 위해서는 적합한 적응 방안을 선택하고, 선택한 적응 방안의 비용과 편익을 정확히 평가해야 하며, 나아가 인간 및 자연계의 적응 능력을 높일 수 있어야 한다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 이를 위해서는 높은 복잡성을 띠는 거버넌스 관련 문제를 해결되어야 하며, 새로운 제도 및 제도적 설계가 마련되어야 한다 (4.2) {WGII 8.1, 12.3, 14.1-3, 16.2, 16.3, 16.5, 16.8}

사이에도, 시너지 효과 및 트레이드 오프(trade-off)가 존재하며, 이러한 상호 작용은 지역 내와 지역간 모두에서 발생한다 (매우 높은 신뢰도). 완화 및 적응 노력이 증대될수록 이들 간의 상호 작용은 더욱 복잡해지며, 물, 에너지, 토지 이용 그리고 생물 다양성 간의 관계도 더욱 복잡해진다. 그러나 이러한 상호 관계를 이해하는데 필요한 수단은 여전히 부족하다. 공동 편익으로는 예로는 다음을 들 수 있다: (i) 에너지 효율성 향상과 청정에너지원 개선을 통한 대기 오염물질의 감소; (ii) 도시의 녹색화 및 물의 재활용을 통한 도시 지역의 에너지 및 수자원 사용 감소; (iii) 지속 가능한 농업과 산림; iv) 생태계와 생태계 서비스를 보호를 통한 탄소 저장고 확대. {WGII SPM C-1}

완화와 적응 사이 뿐만 아니라 각기 다른 적응 대응들

표 3.2 | 특정 기술의 적용성 제한 또는 비용 효과적인 시나리오 대비 추가적인 완화 지연^a으로 인한 전 세계 완화 비용 증가.^b 비용의 증가는 중간값의 추정치와 시나리오의 16 번째와 84 번째 백분위수에서 보여준다 (괄호).^c 또한 각 시나리오의 표본 크기는 색상으로 표시된 그림에 나타난다. 각 그림의 색상은 성공적으로 목표한 농도 수준에 도달할 수 있도록 한 체계적인 모형 비교 연습에 따른 모형의 일부분을 나타낸다.^d {WGII 표 SPM.2, 표 TS.2, 그림 TS. 13, 그림 6.24, 그림 6.25}

기술의 제한적 사용에 따른 완화 비용 증가율 ^d					2030년까지 추가 완화 정책의 지연에 따른 비용 증가율	
[각 기술의 제한적 ^a 사용에 따른 총비용 증가율 (2015년-2100년), %]					[현재 대비 완화 비용 증가율, %]	
2100년 이산화탄소 농도 시나리오 (ppm CO ₂ -eq)	CCS 비사용	원자력 폐기	태양력/풍력 제한	바이오에너지 제한	중기 비용 (2030-2050)	장기 비용 (2050-2100)
450 (430-480)	138% (29-297%)	7% (4-18%)	6% (2-29%)	64% (44-78%)	} 44% (2-78%)	} 37% (16-82%)
500 (480-530)	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능		
550 (530-580)	39% (18-78%)	13% (2-23%)	8% (5-15%)	18% (4-66%)	} 15% (3-32%)	} 16% (5-24%)
580-650	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능		
범례 - 이산화탄소 농도 목표 달성 모델 현황(달성한 모델의 수를 의미)						
: 모든 모형이 목표 농도 달성			: 모형 중 50~80%가 목표 농도 달성			
: 모형 중 80~100%가 목표 농도 달성			: 모형 중 50% 이하가 목표 농도 달성			

비고:

^a 지연된 완화 시나리오로 인해 2030 년도의 온실가스 배출량은 55 GtCO₂-eq 이상으로 증가할 것이며, 완화 비용 증가는 동일한 장기적인 농도 수준에 대한 비용 효과적인 완화 시나리오를 기반으로 추산된 것이다.

^b 비용 효과적인 시나리오는 모든 국가의 즉각적인 완화 조치와 전 세계적으로 단일화된 탄소 가격을 추정하고 모형의 기본적인 기술 가정과 관련하여 기술에 추가적인 제약을 주지 않는다.

^c 범위는 시나리오 세트의 16 번째와 84 번째 백분위수를 포함하여 중심이 되는 시나리오에 의해 결정된다. 2100 년까지의 시간 범위가 설정된 시나리오만 포함된다. 2100 년의 농도 수준이 CO₂ 환산 530 ppm 이상인 경우, 비용 범위에 포함된 일부 모형으로는 기술의 제한된 유용성 및/또는 지연된 추가 완화에 대한 가정으로 인해 2100 년도 CO₂ 환산 530 ppm 이하의 농도 수준에 대한 관련 시나리오를 생성할 수 없다.

^d 이산화탄소 포집 및 저장이 없는 경우(No CCS): 이산화탄소 포집 및 저장은 위 시나리오에 포함되지 않았다. 원자력 단계적 폐지: 현재 공사 중인 원자력 발전소 이외의 향후 추가적인 건설은 없을 것이며, 기존의 발전소는 수명이 다할 때까지 운영한다. 제한된 태양열/풍력: 이러한 시나리오에서는 태양열과 풍력 발전에서 최대 20%의 전 세계 발전량이 발생한다. 제한된 바이오에너지: 전 세계적으로 현대의 바이오에너지 공급은 최대 100 EJ/yr 이다 (2008 년의 난방, 전력, 결합 및 산업에서 사용된 현대의 바이오에너지는 약 18 EJ/yr 이었다.). EJ=엑사줄=10¹⁸J

^e 연간 5%의 할인율을 적용했을 때, 2015-2100 년 기간 동안의 기준 소비량에서 소비량 감소에 대한 순 현재가치의 백분율 증가(일반균형모형에 따른 시나리오)와 기준 GDP에서 감소 비용(부분균형모형에 따른 시나리오)을 나타낸다.

박스 3.2 | 온실가스 배출량 산정법 및 완화 경로

완화 전략을 수립하고 평가하기 위해서는 이산화탄소 환산량이 필요하며, 이산화탄소 환산량을 산출하기 위해서 배출량 기준의 산정법을 사용한다. 배출량 기준의 산정법은 본 보고서에서 사용된 농도 기준의 미터법과는 상이하다 (CO₂-equivalent concentration, 이산화탄소 환산 농도). 이산화탄소 환산 배출량과 농도에 관한 자세한 설명은 용어집을 참조한다.

배출량 기준의 산정법은 지구온난화에 미치는 이산화탄소의 영향을 기준으로 각각의 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도를 수치로 나타내어 각 온실가스 배출량을 하나의 단위로 환산시킨다. 이처럼 단위를 통일(이산화탄소 환산 배출량)하여 다양한 온실가스를 대상으로 하는 기후 정책을 더욱 강력할 수 있다. 지구온난화지수(GWP)는 제 1 차 IPCC 평가보고서에서 처음 도입되었으며, 다양한 특성을 지닌 온실가스를 서로 비교할 때 각기 다른 단위를 사용하는 데서 발생하는 어려움을 해결하기 위해 사용되었다. UN 기후변화협약(UNFCCC)과 교토의정서는 100 년 GWP(GWP₁₀₀) 개념을 채택하였고, 현재 가장 많이 사용되는 미터법이다. 그러나 GWP 는 다양한 배출량 산정법과 시계(시평; time horizon) 중의 하나일 뿐이다. {WGI 8.7, WGIII.3.9}

적용 유형과 정책적 맥락에 따라, 각기 다른 배출량 산정법과 시계(시평)를 선택한다. 따라서 단 하나의 방법만으로는 모든 정책적 목표를 달성할 수 없다. 모든 산정법에는 단점이 있으며, 산정법을 선택하는 과정에서 가치 판단이 필요하다. 예를 들어 주의해야 할 기후 효과, 시간이 경과함에 따라 가중되는 효과(외양적 또는 내면적으로 시간이 경과함에 따라 영향을 감소시킴), 기후 정책 목표, 그리고 산정법이 경제적 사항을 어느 정도 포함하는지 또는 물리적 사항만을 포함하는지를 고려하게 된다. 산정법과 관련하여 상당한 불확실성이 존재하며, 불확실성의 수준은 산정법의 종류와 설정 기간에 따라 다르게 나타난다. 일반적으로 인과 관계의 산정법을 사용할 경우 불확실성은 높아진다. {WGI 8.7, WGIII.3.9}

이산화탄소가 지구온난화에 미치는 영향을 기준으로 각각의 온실가스(이산화탄소를 제외)가 지구온난화에 기여하는 정도는 어떤 배출량 산정법과 시계가 사용되었는지에 따라 크게 달라진다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). GWP 는 특정기간에 누적된 복사강제력을 바탕으로 산출하며, 시계는 100 년을 기준으로 한다. GWP 대신 지구온도지수(GTP; 용어 참조)를 적용하는 것과 관련하여 문제가 불거지고 있다. GTP 는 특정 시점의 전지구 평균 지표 온도의 변화를 바탕으로 산출하며, 특정 시점 이전 또는 이후의 온도 변화는 산출하지 않는다. GWP 와 GTP 경우, 기간이 20 년, 100 년 또는 500 년으로 구분되는데 이러한 시계상의 차이는 각각의 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도에 크게 영향을 미치지 못한다; 특히 대기 중 잔류 수명이 긴 이산화탄소의 경우에 그러하다. 그러나 대기 중 잔류 수명이 짧은 메탄인 경우, 기간이 달라짐에 따라 메탄(CH₄)이 지구온난화에 기여하는 정도가 크게 달라진다 (박스 3.2 표 1; 박스 3.2 그림 1 a 참조). 일부 산정법의 경우(예: 동적 GTP; 용어 참조), 목표년도와 가까운 기간일수록 산출 지수가 변하게 된다. {WGI 8.7, WGIII.3.9}

박스 3.2, 표 1 | WGI 에서 정의된 지구온난화지수(GWP)와 지구온도지수(GTP)*a

	수명(년)	GWP		GTP	
		20 년 동안의 누적 복사강제력	100 년 동안의 누적 복사강제력	20 년 후의 온도 변화	100 년후의 온도 변화
CO ₂	b	1	1	1	1
CH ₄	12.4	84	28	67	4
N ₂ O	121.0	264	265	277	234
CF ₄	50,000.0	4,880	6,630	5,270	8,040
HfC-152a	1.5	506	138	174	19

비고:

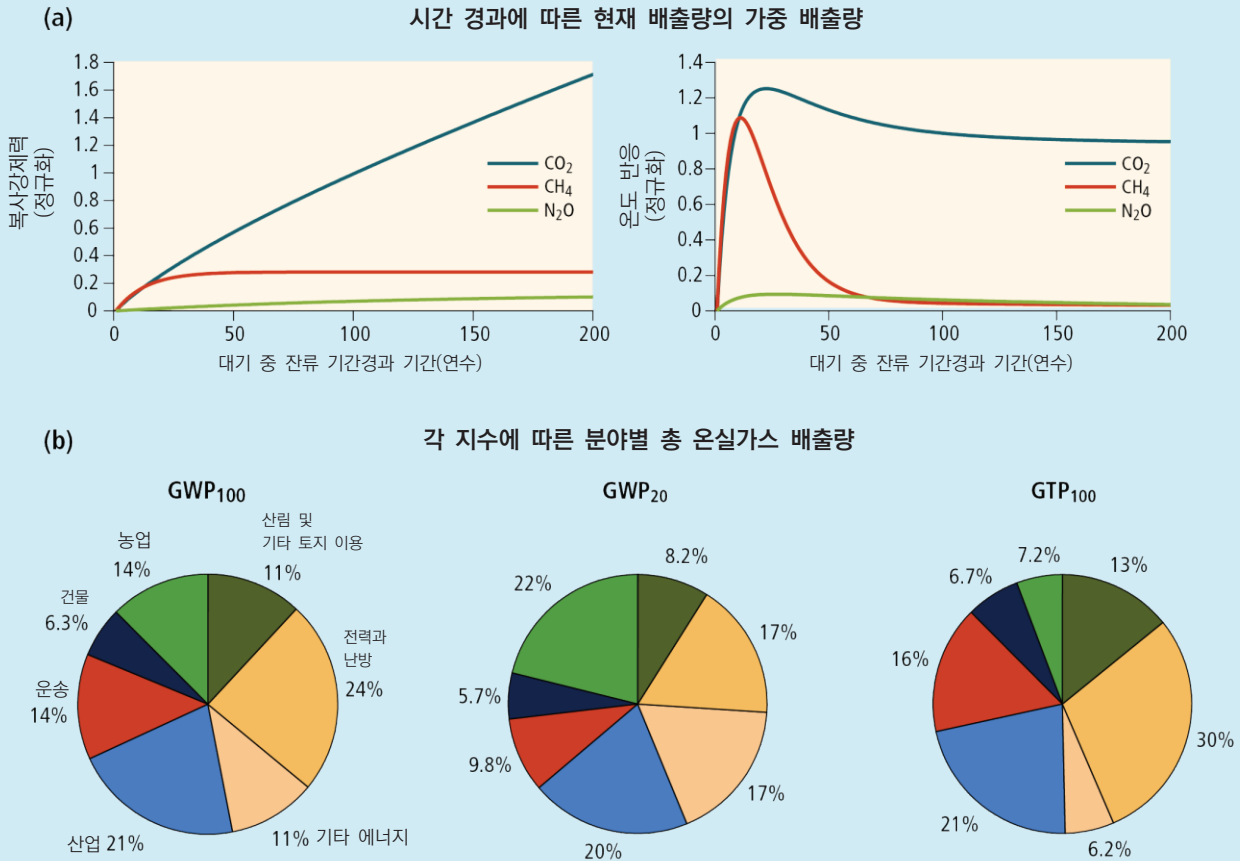
^a 지구온난화지수(GWP)는 IPCC 보고서를 통해 지속적으로 갱신되어왔다; AR5 의 GWP100 지수는 제 2 차 평가보고서(SAR)에서 정의되었고 교토의정서의 제 1 차 의무기간에 적용되었던 GWP 지수와는 다르다. 일관성 있는 평가를 위해, 본 종합보고서에서 사용된 이산화탄소 환산량은 AR5 가 아닌 SAR 의 GWP 지수에 기반하여 산출하였다 (2010 년 온실가스 배출량을 SAR 과 AR5 GWP100 를 이용하여 환산한 결과를 비교하려면 그림 1.6 을 참조).

^b 이산화탄소의 경우, 대기 중 잔류 수명이 하나의 수치로 표기되기 어려움. {WGI 박스 6.1, 6.1.1, 8.7}

어떠한 산정법을 선택하느냐에 따라 단기 및 장기적으로 잔류하는 온실가스의 배출을 저감시키기 위해 시행하는 정책이 달라지며 그 시행 시기 또한 달라지게 된다. 대부분 산정법의 경우, 전지구적으로 완화 노력을 추진한다는 가정 하에 비용적인 측면에서 국가별 그리고 분야별로 차이가 크게 나지 않지만 산정법 적용에 있어서는 국가 및 분야별로 큰 차이가 나타난다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 산정법과 기간(시계)에 따라 주요 배출원/분야 및 부문의 온실가스 배출량은 크게 달라진다; 특히 잔류 수명이 짧은 온실가스의 경우, 이러한 특징이 나타난다

박스 3.2 (계속)

(박스 3.2, 그림 1b). 잔류 수명이 짧은 온실가스인 메탄(CH₄)의 경우, 동일 기간 내 낮은 수치를 기록하는 산정법(예: GWP100 대신 GTP100 사용)을 사용하게 되면 높은 수치를 기록하는 산정법과 동일한 온실가스 감축량을 달성하기 위해 보다 조속하고 엄격한 저감 노력이 요구된다. GWP와 GTP와는 다르게 시간 변화에 따라 지수가 추산되는 '동적 GTP(dynamic GTP)'의 경우, 단기적으로는 메탄 저감 노력이 덜 이뤄질 수 있으나 목표년도가 가까워지는 장기적으로는 메탄 저감 노력이 훨씬 많이 이뤄진다. 결과적으로, 일부 잔류 수명이 짧은 온실가스의 경우 산정법의 선택이 완화 정책과 시기에 영향을 미친다는 사실을 의미한다 (특히 비-이산화탄소 온실가스의 배출량이 높은 분야 및 국가의 경우). {WGI 8.7, WGIII 6.3}



박스 3.2, 그림 1 | 측정 방법에 따른 온실가스 강제력과 온도 변화 및 부문별 온실가스 배출량 변화. 그림 (a): 2010년 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄) 그리고 아산화질소(N₂O) 순배출량에 따른 복사강제력 변화(좌측 그림)와 특정 시점의 전지구 평균 지표기온의 변화(우측 그림)(이후 배출 없음을 가정). 기간은 최대 200년까지로 설정. 복사강제력은 지구온난화지수(GWP) 산출에 이용되며, 특정 시점의 전지구 평균 지표기온의 변화는 지구온도지수(GTP) 산출에 이용됨. 복사강제력과 온도 변화는 WGIII 5.2의 2010년 전지구 온실가스 배출 자료 및 WGI 8.7의 GWP와 GTP 정의에 기초. 복사강제력과 온도 변화는 각각 2010년 이산화탄소 순배출량을 기준으로 100년 동안 수치를 정규화한 수치. 그림(b): 측정 방법에 따른 부문별 온실가스 배출량 변화(2010년). 측정 방법은 100년 GWP(GWP100, 좌측), 20년 GWP(GWP20, 중앙) 그리고 100년 GTP(GTP100, 우측)이며, 수치는 WGIII의 2010년 온실가스 배출량 자료에 기초하여 산출. {WGIII 5.2} 주의: 제2차 평가보고서에서 사용된 정의에 따르면 GWP100 수치가 약간 다르게 산출: 주제 1, 그림 1.7을 참조. 각 분야의 배출 활동에 대한 자세한 사항은 WGIII를 참조한다.

박스 3.3 | 지구 공학 기술인 이산화탄소제거(CDR) 및 태양복사관리(SRM)-역할, 방법, 위험 및 현황

지구공학은 기후 시스템을 인위적으로 통제 및 조절하여 기후변화 및 그 영향을 감소시키고자 하며, 다양하고 새로운 방법 및 기술들을 이용하여 기후 시스템의 대규모 변화를 의도한다. 대개 태양복사관리기술(SRM)과 이산화탄소제거기술(CDR)이 이용되는데, SRM 은 기후 시스템으로 흡수되는 태양 복사열을 감소시켜 지구 온난화를 방지하는 기술이다. CDR 은 대기 중의 이산화탄소(CO₂) 농도 증가를 늦추거나 감소시키는 기술이다 (용어 참조). 증거가 제한적이기 때문에 이러한 SRM 과 CDR 기술들의 실효성, 비용, 부작용 그리고 환경적 영향을 심도 있게 평가하지 못하고 있다. {WGI SPM E.8, 6.5, 7.7, WGII 6.4, 표 6-5, 박스 0-4, WGIII TS.3.1.3, 6.9}

많은 완화 시나리오에서 CDR 은 중요한 역할을 한다. 완화 시나리오에서 사용된 구체적인 CDR 기술은 BECCS 와 조림이다. CDR 기술은 대기 중 온실가스 농도가 갑자기 올라가는 시나리오에서 특히 중요하게 고려하지만, 일반적으로 많은 시나리오에 내 완화 비용이 부담되는 일부 분야에서 사용된다. {WG II 6.4; WG III 6.9, TS} 완화와 마찬가지로, 대기 중의 이산화탄소 농도를 현저히 감소시키기 위해서는 CDR 기술을 광범위하고 지속적으로 적용해야 한다 (3.1 절 참조). {WGII 6.4, WGIII SPM 4.1, TS.3.1.2, TS 3.1.3, 6.3, 6.9}

일부 CDR 기술은 대기 중의 온실가스 배출량을 감소시킬 수 있다. 그러나, CDR 기술로 인해 감축된 온실가스 배출량을 정량적으로 수치화하기에는 생물지구화학적, 기술적 그리고 사회적 한계가 다양하게 존재한다. CDR 기술을 이용한 완화 방안으로는 기후 시스템으로 배출된 모든 이산화탄소를 제거할 수 없는데, 과거에 탄소를 흡수하였던 바다와 육지가 이산화탄소의 일부를 다시 방출하기 때문이다. 심해에 이산화탄소를 저장하는 기술을 사용하는 일부 지역이 있으며, 누출(leakage)로 인한 해양 생태계의 영향은 현재 보고된 바가 없다. CDR 에 따라 부수적으로 나타나는 기후적 그리고 환경적 영향은 사용 기술 및 범위에 따라 다양하게 나타난다. 예를 들면, CDR 의 기술들 중 하나인 조림의 경우, 지표면의 태양에너지 반사율을 감소시키며, 또 다른 기술인 해양 비옥화(ocean fertilization)는 해수의 탈산성화를 이끈다. 내륙에서 시행되는 대부분의 CDR 기술은 토지 확보 문제를 보일 뿐만 아니라 적용 지역 및 지방을 위협을 가하기도 한다. 해양에서 시행되는 대부분의 CDR 기술은 해양 생태계를 위험하게 만들 수 있으므로 국가간의 협력을 강화하는 것이 필요하다. {WGI 6.5, FAQ 7.3, WGII 6.4, 표 6.5, WGIII 6.9}

SRM 의 실효성은 검증되지 않았으며, 이 기술을 고려하는 완화 시나리오는 없다. 그럼에도, SRM 기술이 현실화 된다면, 지구온난화를 지연시킬 수 있다. 지구 냉각 속도는 이산화탄소 완화보다는 오히려 SRM 기술이 빠르다. 성층권에 에어로졸을 주입하는 지구공학기술은 SRM 기술 중의 하나로서, 성층권에 입자를 주입하여 복사강제력의 일부를 반사함으로써 지구의 냉각을 의도한다. 결과적으로 대기 중의 이산화탄소 농도가 감소할 뿐만 아니라 지구의 온도가 낮아지게 되어 지구온난화가 지연되는 것이다(중간 신뢰도). 구름 표백 기술(cloud brightening)은 구름의 밝기를 높여 햇빛을 반사시킴으로써 지구 온난화에 대응하는 기술이다. 그러나 구름표백기술에 대한 이해가 충분치 않아 그 실효성에 대한 의견은 공통적으로 모아지지 않고 있다. 지표면 알베도(Albedo)의 변화는 복사강제력을 크게 감소시키지 못한다. SRM 을 통해 전지구적 차원에서 지구온난화에 대응할 수 있지만, 지역적 차원에서는 SRM 과는 다른 형태로 대응한다. SRM 기술에 대한 문헌 연구가 부족하기 때문에, SRM 에 대한 평가는 충분히 이뤄지지 못하고 있다. {WGI 7.7, WGIII TS.3.1.3, 6.9}

SRM 기술이 적용될 때 다양한 불확실성, 부작용, 위험 그리고 단점이 나타날 것이다. 일부 증거에 따르면, SRM 은 자체적으로 적지만 유의미하게 강수량을 감소시킨다 (단, 지역적 편차가 큼). 성층권에 에어로졸을 주입하는 SRM 기술은 극 성층권의 오존 농도를 점차적으로 상승시킬 가능성이 높다. SRM 은 지구온난화와 관련이 없는 기후변화 문제, 즉 생태계에 미치는 이산화탄소 영향 및 해양 산성화 문제를 방지할 수 없다. 또한 SRM 에 의해 의도치 않은 결과가 발생할 수도 있다. 본 보고서에서 언급된 모든 시나리오의 경우, SRM 은 지구온난화 방지 노력과 함께 증가해야 하지만, 해당 기술이 증가할수록 이에 따른 부작용은 더욱 심화될 수 있다. 더욱이 SRM 이 수십 년 동안 도입되었다가 갑자기 중단되었을 경우, 지구 기온의 상승은 이전보다 더욱 급격해질 것(10 년 또는 20 년내)이라는 사실의 신뢰도는 높다. 따라서 지구온난화 속도에 민감한 지구시스템에 위협을 가할 수도 있다. {WGI 7.6-7.7, FAQ 7.3, WGI 119.5, WGIII 6.9}

SRM 기술의 비용, 위험, 거버넌스 그리고 개발과 이용의 도덕적 측면에서 많은 문제가 제기되고 있다. SRM 기술과 관련된 연구 활동을 조직하고 현장 실험 및 기술 이용을 조정하는 데 있어 국제 기구와 국제 체계의 역할은 점차 중요해지고 있다. SRM 이 인위적 활동에 의한 전지구적 기온 상승 문제를 해결할 수 있다고 할지라도, 기후변화의 위험은 저감시키지 못하여 위험은 공간 및 시간적으로 분포하게 된다. 이로 인해, 동일 세대 내의 정의(justice) 및 세대 간의 정의 차원에서 문제가 발생한다. 현재 SRM 에 관한 연구와 기술은 도덕적 논란의 대상이 되고 있다. SRM 기술에 소요되는 비용이 적을지라도, 기술의 위험성과 부작용을 고려하는 비용-편익 분석 과정에서 문제점을 보일 수 있다. 또한 SRM 기술의 관리 구조의 문제는 더욱 불거지고 있는 상황이다. 특히 일방적인 행동으로 기타 활동에 심각한 영향을 미치거나 비용을 발생시킨다면, 더욱 심각한 문제가 발생할 수 있다. {WGIII TS.3.1.3, 1.4, 3.3, 6.9, 13.4}

기후변화의 속도와 규모가 증가할수록, 적응 한계가 초과될 가능성 역시 높아진다 (높은 신뢰도). 적응 활동 행위자의 특정 목적들 혹은 한 시스템의 요구를 위해 기후변화가 초래하는 불가피한 위험에 대처해야 하지만, 적응 활동을 마련하는 것이 불가능하거나, 해당 시기에 적용할만한 적응 활동이 없을 경우 적응 한계가 나타난다. 단, 무엇이 불가피한 위험을 야기시키는지에 대한 가치 판단은 다를 수 있다. 적응 한계는 생물 물리적 및/또는 사회경제적인 제약이 기후변화와 작용하면서 나타난다. 적응과 완화가 상호적으로 이끄는 긍정적인 시너지를 이용할 수 있는 기회는 시간이 지남에 따라 감소하는 데 이는 특히 적응 한계가 초과될 경우에 그러하다. 일부 지역의 경우, 가시화되는 기후 영향에 대한 대응이 부족하며, 이는 지속 가능한 발전의 기반이 잠식되고 있음을 의미한다. 대부분의 지역 및 분야의 경우, 향후 적응이 한계치에 도달하려면 어느 정도의 기후변화가 일어나야 하는지를 파악할 수 있는 경험적 연구가 선행되어야 하는데, 이러한 연구가 부족하다. 적응의 한계를 극복하기 위한 시스템의 역량을 강화 또는 약화시키는 경제 발전, 기술, 문화적 규범 및 가치는 시간에 따라 변화한다. 결과적으로 시간에 따라 완화될 수 있는 '연성(soft)' 한계가 있는 반면, 불가피한 한계로서 완화될 가능성이 없는 '강성(hard)' 한계도 있다. {WGII SPM C-2, TS}

변형(transformation)은 적응을 강화시킬 뿐만 아니라 지속 가능한 발전의 실현가능성을 더욱 높일 수 있다(높은 신뢰도). 혁신적 변형을 고려하지 않고 기존의 시스템과 구조를 점진적으로 변화시키는 데에만 적응 방안을 제한하면, 비용과 손실을 증가될 수 있으며, 관련 기회를 놓칠 수도 있다. 예를 들어, 기존 건축물을 보호하기 위해 사회 기반시설을 강화한다면, 비용적인 부담이 점차 높아져, 결국에는 막대한 비용과 위험을 감당할 수 없게 된다. 반면 거주지 이주나 생태계 서비스 이용과 같은 적응 방안은 현재뿐만 아니라 미래에도 다양한 혜택을 가져올 것이다. 기존의 적응과는 다른 변형된 적응의 예로는 신기술 또는 사례 적용, 새로운 재정 구조나 거버넌스의 형성, 규모 또는 세기 측면에서 더욱 강력한 적응 및 활동 지역의 변경 등이 있다. 변형적 적응을 계획하고 이행한다는 것은 패러다임의 강화, 변화 혹은 재정비를 의미하며, 결과적으로 미래에 대해 상충하는 목표와 비전을 조화시키고, 형평성과 윤리적 가치를 실현하기 위해 새로운 거버넌스에 대한 요구가 증가 할 수 있는데, 적응 경로는 반복적인 학습, 심의 과정 및 혁신을 통해 강화된다. 국가 수준의 변형은 각국의 상황과 우선 순위에 따라 지속 가능한 발전을 위한 국가의 비전 및 접근방식을 반영할 때 가장 효과적인 것으로 간주된다. {WGII SPM C-2, 1.1, 2.5, 5.5, 8.4, 14.1, 14.3, 16.2-7, 20.3.3, 20.5, 25.10, 표 14-4, 표 16-3, 박스 16.1, 박스 16.4, 박스 25.1}

경제적, 사회적, 기술적 및 정치적 의사결정과 행동의

기후변화 완화 정책과 대기질의 부수적 이익

엄격한 기후 정책이 대기오염물질에 미치는 영향(전지구, 2005-2050)

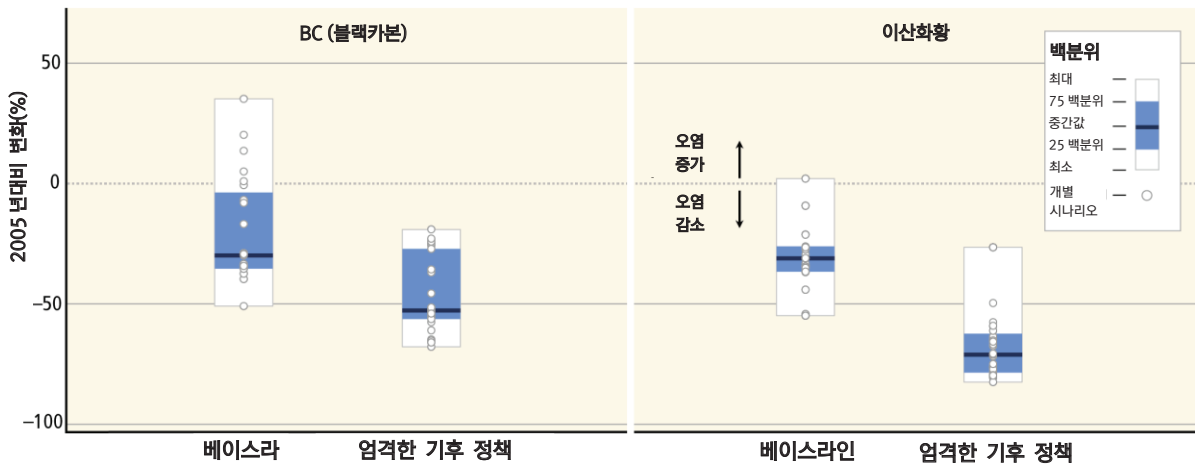


그림 3.5 | 2050년까지 2005년 대비 BC(블랙카본) 및 이산화황의 배출 변화(0=2005 수준). 온실가스 추가 감축이 없는 베이스라인 시나리오와 엄격한 기후 정책이 시행되는 완화 시나리오 비교. 완화 시나리오에서는 2100년까지 대기 중의 이산화탄소 농도가 CO₂ 환산 450-500 (430-530) ppm 수준에 머무르는 상태를 가정. {WGIII SPM.6, TS. 14, 그림 6.33}

박스 3.4 | 부수적 이익과 부작용

하나의 정책 및 수단이 특정 목표를 의도할 경우, 기타 목표는 긍정적인 영향을 받을 수도 있고 부정적인 영향을 받을 수도 있다. 예를 들어, 완화 정책은 지역적 대기질에 영향을 미칠 수 있는데 (그림 3.5 를 참조), 이러한 영향이 긍정적일 경우 '부수적 이익' 또는 '부수적 편익'이라 정의한다. 반면, 부정적인 영향일 경우, '부작용'으로 정의한다. 일부 정책은 '무유감(no-regret) 또는 저유감(low-regret)'이라 일컫는데, 이는 정책 이행됨에도 불구하고 부수적 이익이 충분히 발생하지 않은 상태를 말하며, 즉각적이며 직접적인 이익이 발생하지 않은 경우 또한 일컫는다. 부수적 이익과 부작용은 금전적으로 또는 비-금전적으로 측정할 수 있다. 전반적인 사회 복지에 미치는 부수적 이익과 부작용의 영향을 아직까지 충분히 정량화시키지 못하고 있으나, 정량화를 의도한 소수의 다목적 연구들이 있다. 그러나 적절히 정량화되지 못한 영향들은 상당수 존재하며, 각 영향은 지역적 상황 및 발생 지점마다 다르게 나타난다. {WG1111.9, 16.3.1,17.2,20.4.1, WGIII 박스 TS. 11,3.6,5.7}

완화 정책으로 인해 발생하는 부수적 이익은 기타 사회적 목표에도 영향을 미친다. 기타 사회적 목표로는 에너지 안보, 대기질, 생태계에 미치는 영향을 감소시키려는 노력, 소득 분배, 노동력 공급과 고용 및 도시의 무분별한 확산이 있다 (표 4.2 와 표 4.5 참조). 보조 정책이 없다면 적어도 단기적으로 일부 완화 정책은 부작용을 일으킬 수 있는데, 예를 들어 생물다양성, 식량 안보, 에너지 접근성, 경제성장 및 소득 분배와 같은 사회적 목표에 부작용이 나타날 수 있다. 적응 정책이 이끄는 부수적 이익으로는 사회적 기반시설 및 서비스의 접근성 향상, 교육 및 보건 시스템 확대, 재해 손실 감소, 거버넌스 혁신 등이 있다. {WGII 4.4.4, 11.9, 15.2, 17.2, 20.3.3, 20.4.1, WGIII 박스 TS.11, 6.6}

지속 가능한 발전을 위한 통합적인 대응 전략에는 적응 및 완화 정책이 이끄는 다양한 부수적 이익, 부작용 및 위험이 포괄적으로 반영된다. 부수적 이익이 전반적인 사회 복지에 미치는 영향을 평가하는 것은 복잡한 문제인데, 기존의 비-기후 정책과 기후변화 정책 간 충돌이 발생하기 때문이다. 예를 들어 대기질의 경우, 완화 정책으로 화석 연료 사용이 감소하면서 이산화황(SO₂) 배출량이 추가로 감축되지만 기존의 이산화황 규제 정책이 엄격하지 또는 관대한지에 따라 감축의 의미가 달라지게 된다. 예를 들어, 기존 정책이 관대하다면 추가 감축 노력은 큰 의미를 지니지만, 기존 정책이 엄격하다면 추가 감축은 거의 아무런 의미도 지니지 않는다. 이와 유사하게, 적응 및 재해위험 관리의 경우, 관대한 정책은 적응결핍을 초래하고, 기후 다양성으로 인한 인적 및 경제적 손실을 증가시킨다. 기후 변동에 따른 부정적인 영향을 효과적으로 관리할 수 있는 능력이 부족한 상태를 '적응 결핍'이라 일컫는다. 기존의 적응결핍은 기후변화와 기후 다양성을 효과적으로 관리할 수 있는 적응 정책의 이익을 증대시킨다. {WGII 20.4.1, WGIII 박스 TS. 11, 6.3}

3.4 완화 경로의 특성

온난화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이내로 제한하기 위한 다양한 완화 경로가 존재한다. 이러한 경로들을 실현하기 위해서는 향후 수십 년 내 배출량을 상당 수준 감축해야 하며, 이산화탄소 순 배출량을 0 에 가깝게 수렴시키고, 대기에 잔류하는 시간이 긴 온실가스들을 이번 세기 말까지 줄여야 한다. 이렇게 감축하는 것은 부수적인 기술적, 경제적, 사회적 및 제도적 문제를 유발시킬 수 있으며, 관련 핵심 기술을 사용할 수 없거나 추가적인 완화가 지연될 경우 이 문제는 증가한다. 온난화를 좀 더 낮은 혹은 높은 수준으로 제한할 때도 비슷한 문제들이 나타나지만, 시간 범위는 다르다.

온실가스 배출은 인구 증가 및 경제 활동과 함께 증가할 것이다 (높은 신뢰도) (그림 3.2). 추가적인 감축 노력이 없는 대부분의 시나리오의 경우(베이스라인 시나리오), 2100 년³⁵ 대기 중의 온실가스 배출량은 75 GtCO₂-eq/yr ~140 GtCO₂-eq/yr 이다. 이 수치는 동 기간 RCP 6.0 시나리오의 예상 배출량과 RCP 8.5 시나리오의 예상 배출량 사이에 존재하는 값이다 (그림 3.2)³⁶. 베이스라인 시나리오의 경우, 2030 년 대기 중 이산화탄소 농도는 CO₂ 환산 450 ppm 을 상회하며, 2100 년 대기 중 이산화탄소 농도는 약 CO₂ 환산 750 ppm~1,300ppm 수준에 머무를 것이다. 2100 년 지구 평균 온도는 3.7°C~4.8°C 상승할 것이다 (1850-1900 년의 평균값들의 중앙값을 기준으로 불확실성을 고려할 경우)(5-95 번째 백분위 수³⁷, 상승

추가적인 감축 노력이 이루어지지 않을 경우, 대기 중의

³⁵ 별도의 언급이 없을 경우, 주제 3 과 4 에 언급된 시나리오 범위는 10 번째와 90 번째 범위를 기준으로 한다(표 3.1 참조)
³⁶ 이산화탄소 환산량(CO₂-eq) 및 농도에 관한 자세한 사항은 박스 3.2 의 온실가스 배출량 및 완화 경로와 용어집을 참조한다.
³⁷ 여기서 인용된 범위는 약 300 개 베이스 시나리오들의 배출량에 대한 단순 기후 모델의 온난화 결과를 기반으로 한 것이며, 1850-1900 년 기간과 비교하여 나타난 것이다. 2.2 절에서 인용된 온난화 결과는 CMIP5 지구 시스템 모델의 미래 농도를 묘사하여 얻은 것이다. 결과적으로 평균 온난화는 RCP 2.5 에서 1.0°C (5-95 번째 백분위수: 0.3-1.7°C), RCP8.5 에서 3.7°C (2.6-4.8°C)이며 이는 1986-2005 년 기간의 수준과 비교한 것이다. 동일한 농도 유인 실험에서, 단일 기후 모델 접근법을 통해 일관된 결과를 얻을 수 있었다. 평균 온난화값은 RCP2.6 에서 0.9°C(0.5-1.6°C) 이고 RCP 8.5 에서 3.7°C(2.5-5.9°C)이며 역시 1986-2005 년 기간의 수준과 비교한 것이다. 그러나 CMIP5 EMS 범위의 최상위 부분은 좀 더 제한적이다. 또한, 여기서 인용한 베이스라인 기온 상승은 위에서 언급된 농도 유인 실험의 것보다 좀 더 넓은 범위를 보이는데, 이는 좀 더 광범위한 시나리오를 바탕으로 하였고, 탄소 순환 반응 불확실성을 포함하였으며 다른 기준 년도를 사용했기 때문이다.



범위는 2.5°C~7.8°C). 단, 미래 시나리오와 완화 시나리오는 기후 시스템의 자연 강제력(natural forcing)이 변할 수 있다는 가능성을 고려하지 않았다 (박스 1.1 참조). {WGIII SPM.3, SPM.4.1, TS.2.2, TS.3.1, 6.3, 박스 TS.6}

다양한 기술, 활동 및 정책을 적절하게 조합하여 온실가스 배출 저감하고 더 이상의 기온 상승을 막을 수 있다 (높은 신뢰도). 장기적인 기후 목표를 달성할 수 있는 배출 경로를 파악하기 위해, 본 보고서는 약 900 개의 완화 시나리오를 사용하였다. 각 시나리오는 기술적, 사회경제적 및 제도적 측면에서 상이하다. 약 900 개 완화 시나리오의 경우, 2100 년 대기 중의 이산화탄소 농도는 최소 CO₂ 환산 430 ppm 에서 최대 CO₂ 환산 720ppm 에 이른다. 이는 RCP 2.6 시나리오와 RCP 6.0 시나리오 하에서 예상된 동 기간 농도 범위 내에 존재한다. 일부 시나리오의 경우, 2100 년까지 대기 중의 이산화탄소 농도가 CO₂ 환산 430 ppm 를 하회하였지만, 이들 역시 평가에 포함되었다. {WGIII SPM.4.1, TS3.1, 6.1, 6.2, 6.3, 부속서 III}

2100 년 대기 중의 이산화탄소 농도가 CO₂ 환산 450 ppm 또는 이를 하회하는 시나리오의 경우, 21 세기 기온 상승이 산업화 이전과 대비하여 2°C를 하회할 가능성이 높다 (높은 신뢰도). 2100 년 대기 중의 이산화탄소 농도를 CO₂ 환산 500 ppm 로 제한하는 완화 시나리오의 경우, 21 세기 기온 상승이 산업화 이전 대비 2°C를 하회할 가능성이 그렇지 않을 가능성보다 높다. 단, 이에는 2100 년까지 이산화탄소 농도가 일시적으로 CO₂ 환산 530 ppm 을 넘지 않는다는 가정이 필요한데, 이 경우, 기온 상승이 산업화 이전 대비 2°C 이하가 될 가능성이 있다. 2100 년 대기 중의 이산화탄소 농도가 CO₂ 환산 650 ppm 을 상회하는 시나리오의 경우, 기온 상승이 2°C 이하가 될 가능성이 낮다. 2100 년까지 기온 상승이 산업화 이전 대비 1.5°C 이하가 될 가능성이 그렇지 않을 가능성보다 높은 시나리오의 경우, 대기 중의 이산화탄소 농도가 CO₂ 환산 430ppm 을 하회한다. 이러한 시나리오의 경우, 21 세기 기온이 최고조로 상승하다가 갑자기 하락할 것이다. (표 3.1){WGIII SPM.4.1, 표 SPM.1, TS.3.1, 박스 TS.6, 6.3}

2100 년 대기 중 이산화탄소 농도가 CO₂ 환산 450 ppm 에 도달할 것이라는 완화 시나리오(지구 기온 상승이 산업화 이전 대비 2°C 이하로 유지될 경우)의 경우, 대기 중 농도의 일시적인 오버슈트³⁸를 포함하며, 이는 2100 년에 약 CO₂ 환산 500-550 ppm 에 도달할 것이라는 많은 시나리오에서도 포함된다 (표 3.1). 오버슈트의 수준에서 차이는 있지만, 오버슈트 시나리오에서는 일반적으로 바이오에너지 및 탄소포집(BECCS)의 가용성과 적용 범위 및 금세기 후반기의 조림 사업에 대한 높은 의존성을 보인다 (높은 신뢰도). BECCS, 조림 및 기타 이산화탄소제거(CDR) 기술과 방법의 적용 가능성이나 이용 범위는 명확하지 않으며, CDR 기술과 방법은 다양한 수준에서 기후변화 문제 및 위험과 밀접한 관련이 있다 (박스 3.3 참조)³⁹. 완화에 소요되는 비용이 상대적으로 높은 부문에서 비롯된 잔류 배출량을 보상하기 위한 오버슈트가 없는 많은 시나리오에서도 CDR 은 지배적으로 나타난다{WGIII SPM.4.1, 표 SPM.1, TS.3.1, 6.3, 6.9.1, 그림 6.7, 7.11, 11.13}

지구 기온 상승을 2°C 이하로 제한하는 경우, 에너지 체계와 토지 이용의 전반적 변화를 피하여 21 세기 중반까지 온실가스를 현저히 줄일 수 있을 것이다⁴⁰. 또한 고 농도 이산화탄소 시나리오에서도 지구 기온 상승을 제한할 경우 이와 비슷한 온실가스 감축이 실현될 수 있지, 감축 속도는 느릴 것이다. 지구 기온 상승 수준을 낮추기 위해서는 에너지 체계 및 토지 이용에서의 변화를 속히 추진해야 한다 (높은 신뢰도). 2100 년 지구 기온 상승을 2°C 이하로 제한할 가능성이 높은 시나리오의 경우, 2050 년까지 온실가스 배출량을 2010 년 대비 40~70% 감축해야 하며, 2100 년 온실가스 배출량이 거의 '0' 수준에 이르러야 한다 (그림 3.2, 표 3.1). 2050 년까지 높은 배출량을 예상하는 시나리오의 경우, 21 세기 중반까지 CDR 기술에 크게 의존하며, CDR 기술 역시 높은 배출량의 시나리오에 따라 크게 변한다. 지구 기온 상승을 2°C 이하로 제한할 가능성이 높은 시나리오의 경우, 에너지 효율성은 빠르게 향상되며, 2050 년까지 재생가능에너지, 원자력, CCS, BECCS 등

³⁸ '오버슈트'는 대기 중 이산화탄소 농도가 최고점을 기록한 뒤 하락하는 경우를 의미한다

³⁹ 전지구적 차원에서 볼 때, CDR 방법은 생물지구화학적 그리고 기술적 한계를 보인다. 예를 들어, 10 년 동안 CDR 방법을 통해 얼마만큼의 이산화탄소 배출량이 상쇄되었는지에 관한 정확하고 정량화된 자료가 부족하다. 또한 CDR 방법은 부작용을 야기시킬 뿐만 아니라 단기적 결과보다는 장기적 결과에 초점을 두고 있다.

⁴⁰ 본 보고서의 온실가스 농도 범위는 제 4 차 평가보고서의 범위와는 다르다(이산화탄소만을 대상으로 한 경우, 2000 년 보다 50%-80% 낮음). 이러한 차이는 시나리오의 수와 대상 온실가스가 다르기 때문이며, 본 보고서의 시나리오는 수는 제 4 차 평가보고서의 시나리오 수보다 상당히 많을 뿐만 아니라 모든 온실가스(6 대 온실가스)를 대상으로 하고 있다. 또한 새로운 시나리오의 대부분이 CDR 기술을 포함하고 있다. 기타 차이점으로는 본 보고서는 2100 년 대기 중 이산화탄소 농도 수준에 따라 시나리오를 분류하고 있는 반면, 이전 보고서들은 대기의 이산화탄소 안정화 수준에 기초하고 있다. 기준 연도 역시 2000 년에서 2010 년으로 변경되었다. 2050 년까지 온실가스 고배출이 예상되는 시나리오의 경우, 21 세기 중반 이후 CDR 기술에 대한 의존도가 높아질 것이다.

저탄소 에너지 공급량이 3-4 배 증가한다 (그림 3.2b). 또한 이러한 시나리오는 토지 이용 변화를 포함하고 있다. 단, 각 시나리오에서는 바이오에너지 생산 범위, 신규조림 및 산림전용 감소에 대해 각기 다른 가정을 설정하고 있다. 2100 년까지 대기 중 농도가 CO₂ 환산 500 ppm 인 시나리오의 경우, 2050 년까지 온실가스 배출량을 2010 년 대비 25~55% 감축해야 한다. 지구 기온 상승이 3°C 이하일 가능성이 높은 시나리오는 2°C 이하일 경우보다 온실가스 배출량을 감축하는 속도가 느리다. 2100 년까지 기온 상승을 1.5°C 이하로 제한하지 못할 가능성보다 제한할 가능성이 높다고 결론짓는 연구는 소수에 불과하다: 이 연구들은 2100 년까지 대기 중 농도가 CO₂ 환산 430 ppm 에 달하며, 2050 년까지 온실가스 배출량을 2010 년 대비 70~95% 감축해야 한다고 제시한다. 배출 시나리오, 이산화탄소 환산 농도 및 일정 수준의 기온 유지 가능성에 대해서는 표 3.1 에서 자세히 설명하였다 {WGIII SPM.4.1, TS.3.1, 6.3.7.11}.

완화 전략에서 비-이산화탄소 기술 강제력 물질의 배출 저감은 중요한 부분이다. 비-이산화탄소 온실가스(메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 기타 불소화 가스) 배출량은 2010 년 전체 온실가스(교토의정서의 6 대 온실가스) 배출량(이산화탄소 환산량)의 27%를 차지했다. 대부분의 비-이산화탄소 온실가스 배출량은 빠른 시간 내에 낮은 비용으로 감축할 수 있지만, 일부 비-이산화탄소 온실가스의 경우, 배출 저감이 어려울 수 있는데, 이는 비료 사용으로 배출되는 아산화질소와 가축에서 배출되는 메탄이 해당된다. 결과적으로 비-이산화탄소의 배출량은 엄격한 완화 시나리오 하에서도 '0' 수준으로 감소될 수 없다 (그림 4.1 참조). 이산화탄소와 비-이산화탄소 온실가스는 복사력과 잔류 수명에서 차이가 나는데, 이러한 차이가 완화 전략을 수립하는 데 중요한 영향을 미친다 (박스 3.2 참조). {WGIII 6.3.2}

기후에 영향을 미치는 물질과 모든 온실가스는 향후 수십 년 동안 기후변화의 속도 및 규모에 영향을 미친다. 대기 중 잔류 수명이 짧은 비-이산화탄소 온실가스의 배출 감축은 지구 온난화를 단기적으로 늦출 수 있지만, 대개 이산화탄소 배출이 야기하는 장기적 온난화에 미치는 영향은 미비하다. 비-이산화탄소 온실가스에 의한 기후변화 영향은 아직도 불확실하다. 메탄이 기후변화에 영향을 미친다는 점은 확실하지만, 기후변화의 유발인자이자 에어로졸의 대표 물질인 BC(블랙 카본)이 기후변화에 미치는 영향은 불확실하다. 냉각효과를 지니는 동시 배출 물질(co-emitted components)의 경우, 배출량 저감이 갖는 기후영향을 더욱 복잡하게 만들 뿐만 아니라 감소시킬 수도 있다. 이산화황(SO₂)의 배출 감소는 지구 온난화를

야기시킬 수도 있다. 대기 잔류 수명이 짧은 온실가스의 배출량이 단 기간 내 감소할 경우, 기후변화는 상대적으로 빠르게 영향을 받으며, 대기 오염이 감소하는 부수적 이익이 발생한다. {WGI 8.2.3, 8.3.2, 8.3.4, 8.5.1, 8.7.2, FAQ 8.2, 12.5, WGIII 6.6.2.1}

2030 년까지 추가적인 완화 노력을 미룬다면, 21 세기 중 기온 상승을 산업화 이전 대비 2°C 이하로 제한하기 위해서 온실가스 배출 감축을 더욱 증가시켜야 할 것이다 (높은 신뢰도). 비용효과적인 완화 노력이 추진된다면, 2030 년 이산화탄소 배출량은 연간 30 GtCO₂-eq/yr~50 GtCO₂-eq/yr 수준으로 감축될 것이다. 이러한 시나리오 하에서는 2100 년까지 기온 상승이 2°C를 하회할 가능성이 있다 (2100 년 대기 중의 이산화탄소 농도는 CO₂ 환산 450 ppm~500 ppm) (그림 3.3. 좌측 패널). 2030~2050 년 중 상당한 완화 노력을 기울이지 않을 경우, 2030 년 이산화탄소 배출량은 연간 55 GtCO₂-eq 이 된다 (비용효과적인 시나리오의 기준 3% 대비 연평균 6% 감축; 그림 3.3. 중앙 패널). 구체적으로 동 기간 내 저탄소 에너지 공급을 크게 증가시키며(2010 년대비 저탄소에너지 비중의 3 이상); 장기적으로 CDR 기술을 최대한 활용하고; 과도기적이고 장기적인 경제적 영향을 더욱 증대시켜야 한다 (표 3.2) (3.5, 4.3). {WGIII SPM.4.1, TS.3.1, 6.4, 7.11}

칸쿤에서 합의된 2020 년 배출전망치는 장기적으로 비용효과적인 감축 노력이 발생하는 완화 시나리오의 배출전망치와 일치하지 않는다. 이러한 완화 시나리오는 적어도 2100 년까지 기온 상승을 2°C 이내로 제한할 가능성이 있다 (2100 년 대기 중 이산화탄소 농도는 CO₂ 환산 500 ppm 또는 그 이하). 그럼에도 지구 기온 상승을 2°C 이하로 제한하는 것이 불가능한 것은 아니다 (높은 신뢰도). 칸쿤에서 합의된 2020 년 배출전망치는 기온 상승을 3°C 이내로 제한할 가능성이 높은 완화 시나리오의 배출전망치와 대략적으로 일치한다. {WGIII SPM.4.1, 6.4, 13.13, 그림 TS.11}

완화에 드는 총 비용은 방법론 및 가정에 따라 크게 달라지지만, 공통적으로 완화 정책이 엄격할수록 비용은 증가한다 (높은 신뢰도). 전세계 모든 국가가 완화 노력을 기울이며, 탄소 거래 시장에는 단 하나의 가격만이 성립하는 일물일가의 법칙이 존재하고, 모든 주요 기술을 적용할 수 있는 시나리오의 경우 완화 비용을 거시적으로 추산하는 데 비용 효과적인 기준을 사용해 오고 있다 (그림 3.4). 이러한 가정들 하에서 21 세기 지구 기온 상승이 2°C 이하인 완화 시나리오의 경우, 전지구적으로 소비량이 감소될 것이다. 구체적으로 2030 년까지 전세계 소비의 1~4% 손실이 수반되며(중앙값: 1.7%), 2050 년에는 2~6%,



2100년에는 3%~11%의 소비 손실이 뒤따를 것이다. 단, 베이스라인 시나리오에서 전세계 소비량은 21세기 중 300%에서 900% 증가한다⁴¹. 이는 21세기 전세계 연간 소비 감소율인 4%~14%(중앙값: 6%)와 일치한다. 단, 베이스라인 시나리오의 전세계 연간 소비 증가율을 기준으로 한 수치이며, 이는 1.6%~3%이다(그림 3.4) 주요 기술을 활용할 수 없거나, 사용 범위가 제한적인 경우(바이오에너지, CCS, 그리고 BECCS, 원자력, 풍력 그리고 태양력), 어떠한 기술을 사용하느냐에 따라 완화 비용은 크게 증가할 수 있다(표 3.2). 온실가스 감축 노력을 미룰 경우, 가까운 미래에 완화 비용은 감소하지만, 중장기적 완화 비용은 증가한다(표 3.2). 온실가스 감축 노력이 상당히 지연되거나 주요 기술을 활용할 수 없는 경우(즉 바이오에너지, CCS, BECCS(바이오에너지+CCS)의 사용이 제한), 기온 상승을 2°C 이내로 제한할 가능성은 낮다(높은 신뢰도)(표 3.2). {WGIII SPM.4.1, 표 SPM.2, 표 TS.2, TS.3.1, 6.3, 6.6}

각 국가별로 완화 노력과 비용은 다르게 나타난다. 또한 완화 활동이 이뤄지는 지역과 완화 비용이 사용되는 지역이 다르게 분포된다(높은 신뢰도). 전지구적으로 비용 효과적인 시나리오의 경우, 베이스라인 시나리오 대비 가장 많이 온실가스를 배출하는 국가에서 대부분의 완화 노력이 절대적으로 이루어진다. 전세계 탄소 시장의 가정 하에 노력 분담 프레임워크(effort-sharing framework)를 다루는 일부 연구에서는, 21세기 지구 기온 상승이 산업화 이전 대비 2°C 이하일 가능성이 그렇지 않을 가능성보다 낮은 완화 시나리오에서 전지구적으로 막대한 자금 흐름이 발생한다고 추정한다. {WGIII SPM.4.1, TS.3.1, 박스 3.5, 4.6, 6.3.6, 표 6.4, 그림 6.9, 그림 6.27, 그림 6.28, 그림 6.29, 13.4.2.4}

3.5 완화, 적응 및 지속 가능한 발전의 상호 작용

기후변화는 공정하고 지속 가능한 발전을 저해하는 위협 요인이다. 적응, 완화 및 지속 가능한 발전은 서로 밀접하게 연관되어 있으며, 상호 간 시너지 효과 및 트레이드 오프(trade-off)가 잠재적으로 나타난다.

기후변화는 공정하고 지속 가능한 발전을 점차 위협하고 있다(높은 신뢰도). 발전에 미치는 일부 기후 관련 영향은 이미 관측되고 있다. 기후변화는 여러

시스템을 위협하는데, 특히 빈곤층에게 위협을 가하며, 인류의 지속 가능한 발전을 저해할 뿐만 아니라, 인류 사회와 생태계에 미치는 기후변화 영향을 더욱 악화시킨다. 현재 상태로 개발이 진행된다면, 기후 위험과 취약성이 더욱 높아질 것이며, 나아가 지속 가능한 발전의 기초가 잠식될 것이다. {WGII SPM B-2, 2.5, 10.9, 13.1-13.3, 20.1, 20.2, 20.6, WGIII SPM.2, 4.2}

지속 가능한 발전을 위한 기후정책을 마련하기 위해서는 적응 및 완화 모두를 고려해야 한다(높은 신뢰도). 적응, 완화 및 지속 가능한 발전 간의 상호 작용은 지역 및 규모를 막론하고 어디에서나 발생하며, 특히 다양한 위협 요인이 존재하는 상황에서 현저하게 나타난다. 일부 기후변화 대응 방안은 기타 환경적 및 사회적 비용을 발생시키고, 부정적인 분배 효과를 초래하며, 빈곤 퇴치를 포함한 개발 과제에 우선적으로 이용되어야 하는 자원을 끌어와 사용한다. {WGII 2.5, 8.4, 9.3, 13.3-13.4, 20.2-20.4, 21.4, 25.9, 26.8, WGIII SPM.2, 4.8, 6.6}

기후변화의 완화와 적응은 서로에게 부수적 이익을 유도하는 상호보완적 관계이다(중간 신뢰도). 부수적 이익의 구체적 예로는 (i) 대기질 향상(그림 3.5 참조); (ii) 에너지 안보 강화, (iii) 도시 녹색화와 수자원 재활용을 통한 도시 지역 내 에너지 및 수자원 소비 감소; (iv) 지속 가능한 농업 및 산림; (v) 탄소를 저장하고 생태계 서비스를 제공하는 생태계 보호가 있다{WGII SPM C-1, WGIII SPM.4.1}

지금부터 전략을 수립하고 직접 실행에 옮기는 것이 가장 중요하다. 오늘 취한 전략과 실행이 곧 인류의 지속 가능한 발전을 이끄는 기후-복원 경로를 만드는 것이다. 이를 통해 인류의 생활은 더욱 풍요로워지고, 사회 및 경제적 삶의 질이 높아질 뿐만 아니라 효과적으로 환경을 관리할 수 있다(높은 신뢰도). 지속 가능한 발전을 위한 기후-복원 경로는 궁극적으로 인류가 기후변화를 어느 정도까지 완화시킬 것인가에 따라 달라진다(높은 신뢰도). 완화는 지구온난화의 속도와 강도를 줄일 수 있기 때문에, 특정 기후변화 수준에 적응할 수 있는 시간을 그 만큼 벌 수 있는 것이다(잠재적으로 수십 년까지 증가). 완화가 지연될 경우, 미래 기후-복원경로를 실현시킬 수 있는 기회가 줄어들 수 있다. {WGII SPM C-2, 20.2, 20.6.2}

⁴¹ 완화 비용의 범주는 기본 샘플의 16~84 번째 백분위를 인용한다(그림 3.4 참조)

4

적응 및 완화

주제 4: 적응 및 완화

기후변화에 대처하는 것을 도와주는 많은 적응과 완화 방안들이 있지만, 하나의 방안만을 사용할 경우 그 효과가 충분히 나타날 수 없다. 이들 방안을 효율적으로 이행하기 위해서는 규모를 막론하고 모든 유형의 관련 정책과 협력을 유도하는 것이 중요하며, 적응 및 완화를 다른 사회적 목표와 연계하는 통합적 대응을 통해 그 효과성을 향상시킬 수 있다. {4}

주제 3에서는 기후변화에 따른 위험을 관리하기 위해 전세계적 수준의 적응 및 완화가 필요하다는 것을 강조하였으며 이를 위한 전략에서 고려해야 할 사항들을 제시하였다. 주제 3에서의 고찰을 바탕으로, 주제 4에서는 이러한 전략적 목표를 달성하기 위해 가까운 미래에 실행할 수 있는 대응 방안을 소개한다. 단기적인 적응 및 완화 행동은 지역 및 분야마다 각기 다르게 나타나며, 개발 상태, 대응 역량뿐만 아니라 기후/비기후적 결과에 대한 장단기 목표를 반영한다. 적응 및 완화는 다수의 목표와 관련될 수 밖에 없기 때문에, 통합적 접근법을 개발하고 이행할 역량을 갖추어 부수적 이익을 조직하고 트레이드 오프를 관리하는 것이 중요하다.

표 4.1 | 적응 및 완화를 제약하는 요인

제약 요인	적응 제약 요인	완화 제약 요인
인구 증가 및 도시화에 따른 부정적 외부 효과	기후 다양성 및 기후변화에 대한 인류의 노출 증가, 자연 자원과 생태계 서비스에 대한 수요 증가 및 자연 자원과 생태계 서비스에 대한 압박 증가 {WGII 16.3.2.3; 박스 16-3}	경제 성장, 에너지 수요 및 에너지 소비 증가로 인한 온실가스 배출량 증가 {WGIII SPM.3}
지식, 교육 및 인적 자본의 부족	국가, 제도 및 개인적 수준에서 기후변화 위험에 대한 인식과 적응 방안의 비용 및 혜택에 대한 인식 부족 {WGII 16.3.2.1}	국가, 제도 및 개인적 수준에서 기후변화 위험에 대한 인식 부족, 행동 유형 및 습관을 바꾸려는 의지 부족, 온실가스 감축을 위해 사회 및 기술 혁신을 이루려는 의지 부족 {WGIII SPM.3, SPM.5.1, 2.4.1, 3.10.1, 5.4.3, 5, 9.8, 11.8.1}
사회적/문화적 태도, 가치 및 행동에서의 의견차이	기후 위험에 대한 사회적 공감대가 부족하여 구체적인 적응 정책 및 적응 방안에 대한 요구 감소 {WGII 16.3.2.7}	배출 유형 및 완화 정책/ 기술의 이용에 대한 사회적 인식과 지속 가능한 행동 및 기술 추구에 영향 {WGIII SPM.2, 2.4.5, 2.6.6.1, 3.7.2.2, 3.9.2, 4.3.4, 5.5.1}
거버넌스 및 제도 설계 상 문제	적응 정책 및 방안을 조정하는 능력 저하, 적응 계획 및 적용에 필요한 역량 감소 {WGII 16.3.2.8}	완화 정책의 개발 및 탄소 중립/신재생에너지 기술의 효율적 적용과 관련한 정책, 인센티브 및 협력에 부정적 영향 {WGIII SPM.3, SPM.5.2, 4.3.2, 6.4.3, 14.1.3.1, 14.3.2.2, 15.12.2, 16.5.3}
국가 및 국제 기후 자금에 대한 접근성 부족	적응 정책 및 적응 방안에 대한 투자 규모 감소하여 적응의 효과가 축소 {WGII 16.3.2.5}	온실가스 저감 정책 및 기술을 적용할 선진국과 개발도상국의 역량 감소 {WGIII TS.4.3, 12.6.2, 16.2.2.2}
부적합한 기술	기후변화의 규모 및 속도가 증가함에 따라 위험 저감 및 제거에 적용되는 적응 방안의 범위 및 효과가 감소 {WGII 16.3.2.1}	에너지 서비스의 탄소 원단위를 감소시키는 속도 감소, 저탄소와 탄소중립 기술로 전환되는 속도 감소 {WGIII TS.3.1.3, 4.3.6, 6.3.2.2, 11.8.4}
자연 자원의 양적/질적 부족	기후변화 대응 범위 감소, 비기후 요인에 대한 취약성 증가, 자연자원에 대한 잠재적 경쟁이 증가하여 취약성 증가 {WGII 16.3.2.3}	다양한 에너지 기술의 장기적 지속 가능성 감소 {WGIII 4.3.7, 4.4.1, 11.8.3}
적응 및 개발 미비	현재 및 미래 기후의 다양성에 대한 취약성 증가 {WGII TSA-1, 표 TS 5, 16.3.2.4}	기후 완화 능력 감소, 개발 협력에 관한 논쟁적으로 기후 부문의 국제적 협력 약화 {WGIII 4.3.1, 4.6.1}
불평등성	기후변화 영향 및 적응 부담이 특히 가장 취약한 계층에 가해짐 및/또는 다음 세대에게 전가됨 {WGII TS B-2, 박스 TS 4, 박스 13-1, 16.7}	저소득국인 개발도상국 또는 해당 국가의 지역 공동체 또는 부문의 완화 역량을 제약 {WGIII 4.6.2.1}

4.1 적응 및 완화 대응의 공동 장려 요인 혹은 공동 제약 요인

적응과 완화 대응을 모두 강화시킬 수 있는 요인을 공동 장려 요인이라고 하며, 이에는 효율적인 제도 및 거버넌스, 환경 친화적인 기술과 기반시설 혁신과 투자, 지속 가능한 생활 및 행동양식과 라이프스타일의 선택 등이 있다.

친환경 기술 및 기반시설에 대한 혁신 및 투자는 온실가스 배출을 감소시키고, 기후변화에 대한 회복력(resilience)을 높인다 (매우 높은 신뢰도). 혁신과 변화는 적응 및 완화 수단의 적용 가능성 그리고(또는) 효과를 높인다. 예를 들어, 저탄소 및 탄소-중립 에너지 기술에 대한 투자는 경제발전이라는 에너지 원단위, 사용 에너지원의 탄소 강도, 온실가스 배출량 그리고 완화 실행에 따른 장기적 비용을 감소시킨다. 이와 함께 신기술과 친환경 시설은 기후변화에 대한 인류의 적응력을 높이며, 생태계에

표 4.2 | 기후변화 위험 관리를 위한 적응 방법. 이러한 방법은 개별적으로 적용되기 보다는 다른 방법과 함께 동시에 시행되어야 한다. 제시된 예들은 순서 없이 나열되었으며, 1 개 이상의 범주에 동시에 관련될 수 있다. {WGII Ⅱ SPM. 1}

해부 접근	범주	예시	WGII 참조	
취약성 및 노출 감소 다수의 저유감 정책을 포함한 개발, 계획 및 사례 이용 적응 및 변화(Transformation)	인류 발전	교육, 영양섭취, 의료 시설, 에너지, 안전한 거주지 및 정착지, 사회 지원 시설에의 접근 개선; 다양한 형태의 성불평등 및 사회소의 저감	8.3, 9.3, 13.1-3, 14.2-3, 22.4	
	빈곤 퇴치	지역 자원의 접근 및 이용 확대; 토지 소유권; 재해위험 감소; 사회 안전망 및 사회적 보호; 보험 제도	8.3-4, 9.3, 13.1-3	
	생계 안보	소득, 자산, 생계 수단 다양화; 기반시설 개선; 기술 및 의사결정에 대한 접근성; 의사결정 권한 강화; 작물 재배, 가축 사양 & 수종 생태계 관리 변화; 사회적 네트워크 신뢰 제고	7.5, 9.4, 13.1-3, 22.3-4, 23.4, 26.5, 27.3, 29.6, 표 SM24-7	
	재해위험 관리	조기경보체계; 위해 & 취약성 도식화; 수자원 다양화; 배수 체계 개선; 홍수 및 태풍 대피소 마련; 대응 매뉴얼 작성 및 실행; 태풍 & 폐수 관리; 운송 & 도로 시설 개선	8.2-4, 11.7, 14.3, 15.4, 22.4, 24.4, 26.6, 28.4, 박스 25-1, 표 3-3	
	생태계 관리	습지 및 도시 녹지 공간 보전; 연안 지역 조림; 수로 및 호수 관리; 생태계 위협 요인 및 서식지 분절화 방지; 유전자 다양성 보전; 생태계 교란 체계 조정; 공동체 기반의 자연 자원 관리요인	4.3-4, 8.3, 22.4, 표 3-3, 박스 4-3, 8-2, 15-1, 25-8, 25-9, & CC-EA	
	공간 또는 토지사용계획	적절한 주거, 기반시설 그리고 서비스 제공; 홍수 지역 및 이외 위험 지역의 개발 지양; 도시 계획 및 프로그램 개선; 토지 이용제한법; 지역권; 보호 구역	4.4, 8.1-4, 22.4, 23.7-8, 27.3, 박스 25-8	
	구조적/물리적	공학적 방법 및 시설 구축	방조제 및 연안 보호 시설; 홍수 대비 제방; 수조; 배수 개선; 홍수 및 태풍 피난처; 대응 매뉴얼 작성 및 실행; 태풍 & 폐수 관리; 운송 & 도로 시설 개선; 수상 가옥; 발전소 및 전력망 조정	3.5-6, 5.5, 8.2-3, 10.2, 11.7, 23.3, 24.4, 25.7, 26.3, 26.8, 박스 15-1, 25-1, 25-2, & 25-8
		기술적 방법	신규 작물 및 동물의 다양성; 토착, 전통 및 지역 지식/기술/방법; 효율적인 관개; 용수 절약 기술; 담수화; 농업 보호; 식량 저장 및 보존 시설; 위해(hazard) 및 취약성 지도화 그리고 모니터링; 조기경보체계; 건물 절연성; 기계 및 수동 냉각; 기술 개발, 기술 이전 그리고 기술 확산	7.5, 8.3, 9.4, 10.3, 15.4, 22.4, 24.4, 26.3, 26.5, 27.3, 28.2, 28.4, 29.6-7, 박스 20-5 & 25-2, 표 s 3-3 & 15-1
		생태계 기반 적응	생태학적 복원; 토양 보전; 조림 및 재조림; 맹그로브 산림 보전 및 재식림; 녹색 시설(예: 녹음수, 녹색지붕); 어류 남획 규제; 어장 공동 관리; 종의 이동 및 확산; 생태이동통로; 종자 은행, 유전자 은행 그리고 현지 외 보전; 공동체 기반 자연 자원 관리	4.4, 5.5, 6.4, 8.3, 9.4, 11.7, 15.4, 22.4, 23.6-7, 24.4, 25.6, 27.3, 28.2, 29.7, 30.6, 박스 15-1, 22-2, 25-9, 26-2, & CC-EA
		서비스	사회적 안전망 및 사회적 보호; 식량 은행 및 식량 잉여분 분배; 물과 위생을 포함한 도시 서비스; 예방접종 프로그램; 기본적인 공중보건 서비스; 강화된 응급 치료 서비스	3.5-6, 8.3, 9.3, 11.7, 11.9, 22.4, 29.6, 박스 13-2
		경제적 방법	재정 혜택: 보험; 재해 채권(갯본드); 생태계 서비스에 대한 경제적 지불; 공급 확대와 안전한 사용을 위한 물의 가격화; 소액재정; 재해대비펀드; 현금 지원; 민관 협력	8.3-4, 9.4, 10.7, 11.7, 13.3, 15.4, 17.5, 22.4, 26.7, 27.6, 29.6, 박스 25-7
	제도적	법 및 제도	토지 이용제한법; 건설 표준 및 시행; 지역권; 수자원 규제 및 협약; 재해위험 감소 지원법; 보험 구입 장려 제도; 재산권 확인 및 토지소유권 보장; 보호 구역; 어획량 할당; 특허 풀(pool) 및 기술 이전	4.4, 8.3, 9.3, 10.5, 10.7, 15.2, 15.4, 17.5, 22.4, 23.4, 23.7, 24.4, 25.4, 26.3, 27.3, 30.6, 표 25-2, 박스 CC-CR
		국가, 정부 정책, 프로그램	주요화를 포함하는 국가 및 지역적 수준의 적응 계획; 하위 국가 및 지자체 적응 계획; 경제적 다양성; 도시 개선 프로그램; 도시 수자원 관리 프로그램; 재해 계획 및 예방; 통합수자원관리; 통합연안지역관리; 생태계 기반 관리; 공동체 기반 적응	2.4, 3.6, 4.4, 5.5, 6.4, 7.5, 8.3, 11.7, 15.2-5, 22.4, 23.7, 25.4, 25.8, 26.8-9, 27.3-4, 29.6, 박스 25-1, 25-2, & 25-9, 표 9-2 & 17-1
		교육 대안	인식 증진 및 교육 통합; 교육의 성 평등화; 서비스 확대; 토착, 전통 지자체 및 지역 지식 공유; 참여 활동 연구 및 사회적 교육; 지식 공유 및 교육의 장 제공	8.3-4, 9.4, 11.7, 12.3, 15.2-4, 22.4, 25.4, 28.4, 29.6, 표 15-1 & 25-2
	사회적	정보 대안	위해(hazard) 및 취약성 도식화; 조기경보 및 대응체계; 체계적 모니터링 및 원격 조정; 기후 서비스; 토착 지역의 기후 관측 자료 사용; 참여 시나리오 개발; 통합 평가	2.4, 5.5, 8.3-4, 9.4, 11.7, 15.2-4, 22.4, 23.5, 24.4, 25.8, 26.6, 26.8, 27.3, 28.2, 28.5, 30.6, 표 25-2, 박스 26-3
		행동적 대안	가계 측면에서의 대비 및 철수 계획; 이주; 토양 및 수자원 보전; 빗물 배수관 소거; 생계 수단 다양화; 작물 재배, 가축 사양 그리고 해양 생태계 관리의 변화; 사회적 네트워크 신뢰 제고	5.5, 7.5, 9.4, 12.4, 22.3-4, 23.4, 23.7, 25.7, 26.5, 27.3, 29.6, 표 SM24-7, 박스 25-5
		현실적	사회적 그리고 기술적 혁신, 행동 변화, 또는 결과의 상당한 변화를 야기시킬 수 있는 제도적 그리고 관리상의 변화	8.3, 17.3, 20.5, 박스 25-5
	변화 영역	정치적	정치적, 사회적, 문화적 그리고 생태학적 의사 결정과 활동은 기후변화에 대한 취약성 및 위험을 감소시키며 적응, 완화 및 지속 가능한 발전을 지원	14.2-3, 20.5, 25.4, 30.7, 표 14-1
		개인적	개인적 및 집단적 추측, 신념, 가치 및 세계관은 기후변화 대응에 영향을 미침	14.2-3, 20.5, 25.4, 표 14-1



표 4.3 | 주요 부문별 적응 목표와 방안 및 실질적 혹은 인지적 트레이드 오프 사례. {WGII 표 16-2}

부문	적응 목표	적응 방안	실질적 또는 인지적 트레이드 오프
농업	가뭄 및 병충해 적응력 강화; 생산량 증가	바이오 기술 및 유전자변형 농작물	공공 보건 및 안전에 영향을 미치는 인지적 위험; 유전자변형 작물 재배와 관련된 생태학적 위험
	영농기업의 지속적 운영을 위한 재정안정성 제공	가뭄 보조금 지원; 농작물 재해보험	적절하게 운영되지 않을 경우, 도덕적 위해 및 분배 불균형 야기
	농작물 생산량 유지 및 증가; 농업 해충 및 외래종 방지	화학 비료 및 화학 농약 사용을 높임	부영양화 및 화학 물질 오염 증가; 해당 생물종이 아닌 타 생물종에 미치는 화학 농약의 부정적 영향; 온실가스 배출 증가; 오염물질에 대한 인류의 노출 증가
생물다양성	기후변화에 대한 자연의 적응 및 완화 능력 향상	완화 경로; 보호 구역 확대	효과 미비; 토지 인수 관련 소유권 관련 문제; 거버넌스 상 문제
	기후 및 비기후적 변화로 인해 위험에 처한 종들의 제도적 보호 강화	취약 종들의 주요 서식지 보호	직접적 위험 보다는 간접적 위험 해결; 소유권 관련 문제; 지역 경제 개발을 저해하는 제도적 제약
	종들의 서식지 이동을 통해, 기후변화 위험으로부터 가치 종들을 보전	인위적 이주	인위적 이주의 효과를 예측하기 어려움; 토착 식물 및 동물에 미치는 부정적 영향
연안 생태계	침수 및 침식으로부터 재정 자산 보호(가까운 미래)	방조제	높은 직접 비용 및 기회 비용; 형평성 문제; 연안 습지에 미치는 생태학적 영향
	자연적, 생태학적 과정 진행; 소유권 및 자산에 미치는 장기적 위험 감소	계획된 이주	사유재산권 약화; 이행과 관련 거버넌스 문제
	인류 보건 및 안전 보장; 재산 피해 및 좌초 자산의 위험 최소화	저지대로부터 이주	지역성 및 문화적 정체성 상실; 친밀감과 유대적 관계 약화; 수혜 공동체에 미치는 영향
수자원관리	수자원 공급의 신뢰성 확보 및 가뭄 적응력 강화	담수화	염분 침착의 생태학적 위험; 높은 에너지 수요 및 관련 탄소 배출 증가; 수자원 보호에 대한 의욕 감소
	수자원 관리 및 사용의 효율 최대화; 유연성 증가	수리권 거래	수자원의 공공재 및 사회적 중요성 인식 약화
	가뭄 수자원의 효율성 향상	수자원 재활용/재사용	공공 보건 및 안전에 영향을 미치는 인지적 위험

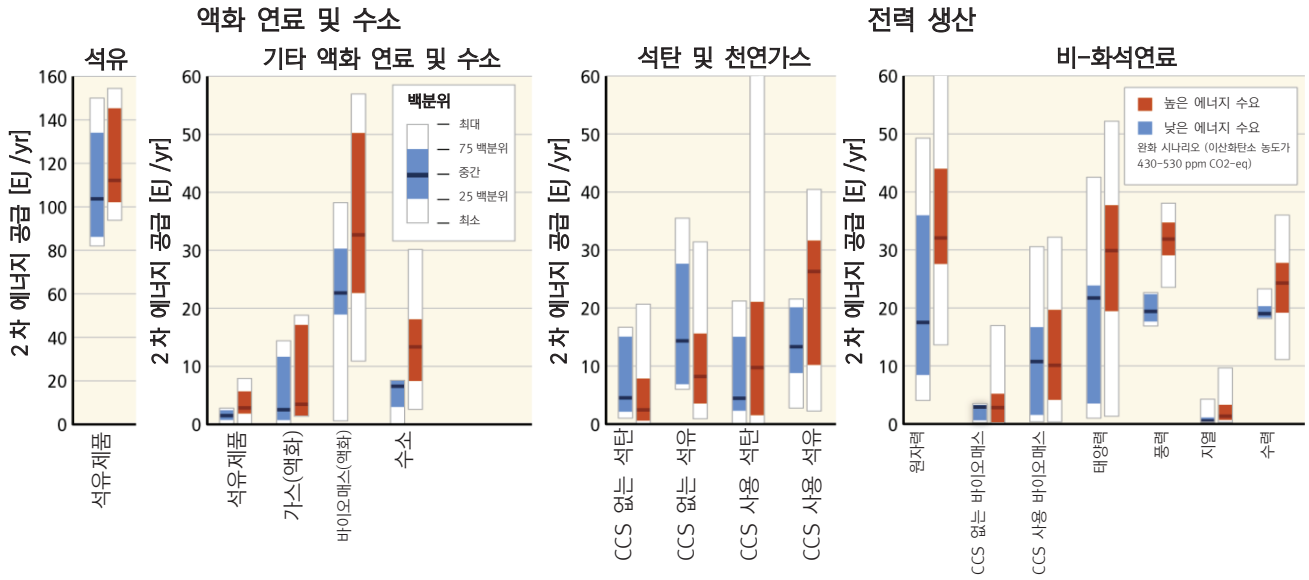
미치는 기후변화의 부정적인 영향을 감소시킨다. 기술 및 기반시설 투자는 정책적 상황, 재정 및 기술에 대한 접근성 그리고 역량을 높일 수 있는 경제 개발 수준에 따라 달라진다 (표 4.1, 4.4 절). {WGII SPM C-2, 표 SPM.1, 표 TS.8, WGIII SPM.4.1, 표 SPM.2, TS.3.1.1, TS 3.1.2, TS.3.2.1}

경제 발전, 온실가스 배출, 자원 소비, 기반시설 및 거주 패턴, 제도와 기술에서 전 세계 및 전 지역이 보이고 있는 고착화된 경향(타성)은 적응 및 완화를 제약하고 있다(중간 증거, 높은 동의 수준). 구체적으로 고착화된 경향은 온실가스를 감축하고, 특정 기후 한계값이 초과되지 않게 유지하거나, 기후변화의 부정적 영향을 예방하는 데 필요한 역량을 제약한다 (표 4.1). 일부 제약요인은 새로운 기술, 재정 재정, 효율적 제도 및 거버넌스를 통해 해결할 수 있고, 사회 및 문화적 태도와 행동에 변화를 시도했을 때 극복되기도 한다. {WGII SPM C-1, WGIII SPM.3, SPM.4.2, 표 SPM.2}

생활양식, 라이프스타일, 행동양식 및 문화는 기후변화 취약성, 온실가스 배출 및 적응과 완화 역량에 상당한 영향을 미친다 (중간 증거, 중간 동의 수준) (표 4.1). 에너지원단위가 높은 생활 방식에서는 에너지 및 자원 소비량 역시 많으며, 에너지 생산량뿐만 아니라 온실가스 배출량을 증가시키고 완화 비용을 높인다.

반면, 소비 패턴 등에서의 변화를 통해 온실가스 배출량을 크게 줄일 수 있다 (자세한 사항은 4.3 참조). 하나의 사회가 적응 및 완화를 수용하는 여부 및 정도 혹은 그 효과는 적응 및 완화가 각 지역별 행동 양식이나 생활습관에 변화를 주어 어느 정도 혜택을 주는지 혹은 적응과 완화에 이러한 부분이 얼마나 반영되는지에 따라 달라진다. 마찬가지로, 생계는 기후변화에 민감하게 반응하는 부문 혹은 자원에 크게 영향을 받기 때문에 기후변화 및 관련 정책에 특히 취약하게 반응할 수 있다. 기후 위험에 노출된 지역의 경제 개발 및 도시화는 인류 주거지의 노출 또한 증가시키고 생태계의 복원력을 낮춘다. {WGII SPM A-2, SPM B-2, 표 SPM.1, TS A-1, TS A-2, TS C-1, TS C-2, 16.3.2.7, WGIII SPM.4.2, TS.2.2, 4.2}

다수의 지역과 부문에서 적응 및 완화 능력을 높이는 것은 기후변화 위험 관리의 필수 기반을 강화하기 위한 노력의 일환이다 (높은 신뢰도). 적응 및 완화 역량은 지역 및 상황에 따라 달라지기 때문에, 모든 지역과 상황에 맞는 단 하나의 접근법은 존재하지 않는다. 예를 들어, 저소득국가 및 개발도상국의 경우, 기후-복원 저탄소 개발경로를 추구하는 데 필요한 재정, 기술 및 제도적 역량이 매우 부족하다. 선진국의 경우, 기후변화 위험 관리 역량이 개발도상국보다는 상대적으로 높으나, 그렇다고 해도 적응 및 완화 옵션을 성공적으로



1	2	3	4
에너지 수요가 많을 경우, 에너지 공급이 많음	에너지 수요가 많을 경우, 액화 연료 및 수소 에너지 공급이 매우 많음	에너지 수요가 많을 경우, CCS 기술을 사용한 석탄 및 천연가스의 에너지 공급이 많음. 반면 CCS 기술을 사용하지 않은 석탄 및 천연가스의 에너지 공급은 적음	에너지 수요가 많을 경우, 비-화석연료의 에너지 공급이 매우 많음

그림 4.2 | 2050 년 에너지 수요가 에너지 공급 기술에 미치는 영향. 2100 년까지 대기 중 이산화탄소의 농도가 CO₂ 환산 450-500 ppm 수준에 머무르는 완화 시나리오를 가정(온난화가 산업화 이전 수준 대비 2°C이하에 머무를 가능성이 있음). ‘낮은 에너지 수요(청색 막대)’은 2050 년의 최종 에너지 수요가 2010 년대비 20% 미만인(<20%) 상태를 의미. ‘높은 에너지 수요(적색 막대)’는 2050 년의 최종 에너지 수요가 2010 년대비 20% 초과(>20%)인 상태를 의미. 각 기술 별로 중앙값(50 분위), 사분위 그리고 백분위 표시. 주의: 기술 사용 제약을 가정한 시나리오는 제외. 다양한 통합 모델의 예측 결과를 제시. 동일 모델이지만 다양한 예측 결과들이 도출될 경우, 이들의 평균값을 표시. {WGIII 그림 TS.16}

문제 또한 증가할 것으로 예상된다 (**매우 높은 신뢰도**). 아래는 적응 제약 및 한계를 포함하여 특정 부문들의 주요 적응 접근법을 요약한 것이다. {WGII SPM B, SPM C, 16.4, 16.6, 17.2, 19.6, 19.7, 표 16.3}

담수 자원

시나리오 계획, 학습 기반 접근 및 유연하고 저유감(low-regret) 대책 등 수자원 적응 관리 기술은 기후변화 및 그 영향으로 인해 변화 패턴이 확실하지 않은 수문학 체계에 적응하는 데 도움이 된다 (**제한적 증거, 높은 동의 수준**). 구체적인 전략에는 통합 수자원 관리, 공급 증대, 수급 균형 유지, 비-기후적 위험요인 제거, 제도적 역량 강화, 효율적인 수자원 관리 및 절약 기술 도입 등이 있다. {WGII SPM B-2, 평가 박스 SPM.2 표 1, SPMB-3,3.6, 22.3-22.4, 23.4, 23.7, 24.4, 27.2-27.3, 박스 25-2}

육상 및 담수 생태계

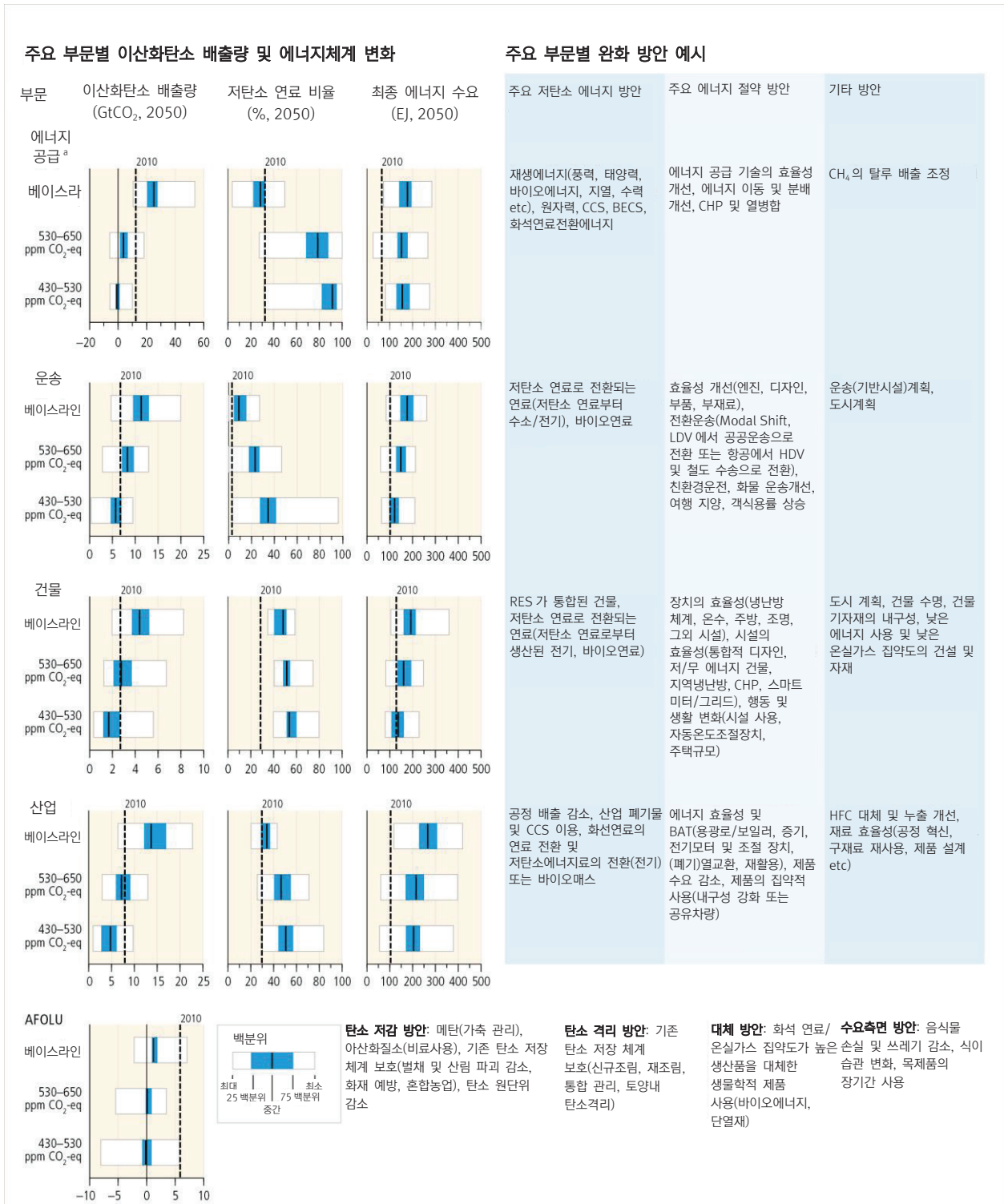
육상 및 담수 생태계에 대한 기후변화 영향의 위험을 제거할 수는 없지만 관리 행동을 통해 줄일 수는 있다 (**높은 신뢰도**). 여기서 관리 행동이라는 것은 유전적 다양성 보전, 종의 이주 및 확산 지원, 생태계 교란

체계 조정(예: 화재, 홍수), 및 기타 위험 요인 제거 등을 일컫는다. 서식지 변화, 남획, 오염 및 외래종의 침입과 같은 비-기후적 스트레스 요인들을 줄이는 등의 관리 방식을 통해 생태계와 종이 기후변화에 대해 지니는 내재적인 적응 능력을 높일 수 있다. 기타 관리 방법으로는 조기경보체계 및 관련 대응 체계 개선이 있다. 종의 변위(translocation; 變位)에 대해서는 아직 논란이 많으며, 생태계 전체가 위험에 처할 경우, 이 방법이 현실적으로 도입되기는 어려울 것으로 보인다. {WGII SPM B-2, SPM B-3, 그림 SPM.5, 표 TS.8, 4.4,25.6,26.4, 박스 CC-RA}

연안 시스템 및 저지대 지역

연안 적응 옵션은 점차 관련 전략 및 관리 계획에 주류화되고 있으며, 이에는 통합 연안 구역 관리, 지역 사회 참여, 생태계 기반 접근법 및 재난 위험 저감이 포함된다 (**높은 신뢰도**). 개발도상국보다는 선진국에서 연안 지역의 적응 분석 및 이행과 관련하여 상당한 진전이 있었다 (**높은 신뢰도**). 상대적인 연안 적응 비용은 지역 및 국가 간 혹은 내에서 매우 큰 차이를 보인다{WGII SPM B-2, SPM B-3, 5.5, 8.3, 22.3, 24.4, 26.8, 박스 25-1}

표 4.4 | 주요 부문별 이산화탄소(CO₂) 배출량 및 에너지체계 변화, 주요 부문별 완화 방안 예시(이산화탄소를 제외한 온실가스 포함; 이산화탄소를 제외한 온실가스의 가중 및 저감은 박스 3.2를 참조). {WGIII SPM.7, 그림 SPM.8, 표 TS.2, 7.11.3, 7.13, 7.14}



^a 이산화탄소 배출, 저탄소 연료 공유 및 최종 에너지 수요는 전력 생산에서만 나타남

해양 시스템 및 해양

해양 예보 및 조기경보 시스템을 마련하고 비기후적 스트레스 요인을 감소시켜, 일부 어업 및 수산업에 대한 기후변화 위험을 잠재적으로 줄일 수 있다. 그러나 산호초와 같은 특이 생태계에 적용할 수 있는 적응 방안은 매우 제한적이다 (**높은 신뢰도**). 환경 모니터링, 모델링 및 자원 평가 부문이 상당히 발전함에 따라, 고도의 기술력이나 대규모 투자가 필요한 어업 및 양식업의 적응 능력이 크게 향상되었다. 적응 옵션에는 대규모 수준에서 산업적 어획 활동을 이동시키는 것과, 유연한 관리를 통해 변동성 및 변화에 대처하는 것이 있다. 어업의 규모가 작거나 적응 능력이 제한된 국가의 경우, 사회적 회복력을 구축하고 생계 대안을 마련하며 직종 상의 유연성을 확보하는 것이 중요하다. 산호 시스템에 대한 적응 옵션은 대개 기타 스트레스 요인을 줄이는 것(대개 수질을 개선하고 관광 및 어업으로 인한 스트레스를 제한하는 것)에 한정되어 있으나, 이마저도 열응력(thermal stress)이 증가하고 해양 산성화가 심해짐에 따라 그 효과가 상당히 떨어질 것이다. {WGII SPM B-2, SPM 평가 박스 SPM.2 표 1, TS B-2, 5.5, 6.4, 7.5, 25.6.2, 29.4, 30.6-7, 박스 CC-MB, 박스 CC-CR}

식량 생산 시스템/비 도시 지역

농업 부문에서 이루어지는 적응에는 기술적 대응, 신용 거래 및 기타 주요 생산 자원에 대한 영세농의 접근 확대, 지자체 및 지역 단위 제도 강화, 그리고 무역 개혁을 통한 시장 접근성 개선이 있다 (**중간 신뢰도**). 식량 생산 감소 및 품질 저하에 대응하기 위해서는 이산화탄소, 고온 그리고 가뭄에 적응할 수 있는 새로운 품종을 개발하고; 기후 위험 관리 역량을 강화하며; 토지 이용 변화에 따른 경제적 영향을 완화시켜야 한다. 이와 함께 소규모 영농에 대한 재정적 지원과 투자를 늘리는 것이 필요하다. 농산물 시장을 확대하고 전세계 무역 체계의 예측성 및 신뢰성을 개선하여 전세계 농작물 시장의 변동성을 감소시킬 수 있으며 기후변화에 의한 식량 공급 부족을 효율적으로 관리할 수 있다. {WGII SPM B-2, SPM B-3, 7.5, 9.3, 22.4, 22.6, 25.9, 27.3}

도시지역/ 주요 경제 부문 및 서비스

다양한 수준의 효율적인 거버넌스, 정책 및 인센티브를 통한 지원, 지자체 및 지역사회의 적응 능력 강화, 민간 부문과의 시너지, 재정 지원 및 제도 개발은 도시의 적응을 돕는다(**중간 신뢰도**). 저소득 및 취약계층의 적응 능력을 강화하고 이들과 지자체 간 협력을 이끌어 효과적인 도시 적응 전략을 마련할 수 있다. 도시 적응 메커니즘의 사례에는 대규모 공공-민간 위험 저감

인센티브, 경제 다원화 및 일부 분산되지 못한 위험에 대한 국영보험이 있다. 일부 지역, 특히 기후변화의 영향이 심각하게 나타날 것으로 예상되는 지역에서는 계획적 이주와 같은 변형적 형태의 적응이 필요하다. {WGII SPM B-2, 8.3-8.4, 24.4, 24.5, 26.8, 박스 25-9}

인류 건강, 안보 그리고 생계

기존의 전달 체계 및 제도, 보험 그리고 사회적 보호 전략에 주안점을 둔 적응 옵션은 가까운 미래의 건강, 안보 및 생계를 개선할 수 있다. (**높은 신뢰도**). 가까운 미래에 인류 건강을 개선할 수 있는 가장 효과적인 취약성 저감 대책으로는 깨끗한 물과 위생시설의 보급 등 기초 공중보건제도의 개선, 예방 접종과 아동 건강 서비스 등 기초 의료서비스 보장, 재해 대비 및 대응 역량 강화, 그리고 빈곤 저감 등이 있다 (**매우 높은 신뢰도**). 고온 관련 사망 문제를 해결하기 위한 옵션으로는 기후변화 대응 전략과 연계된 건강경보체계 마련 및 고온 관련 위험을 줄이기 위한 도시 계획과 도시 환경 개선 등이 있다. 국경을 막론하고 나타나는 기후변화의 영향을 강력한 제도를 통해 관리함으로써 공유재에 대한 국가간의 분쟁 위험을 줄일 수 있다. 보험 제도, 사회적 보호 장치와 재해위험 관리를 통해 빈곤층을 비롯한 취약계층의 삶을 개선할 수 있으며, 다양한 양상을 띄고 발생하는 빈곤 문제를 해결할 경우, 기후변화에 대한 취약 계층의 적응력을 높일 수 있다. {WGII SPM B-2, SPM B-3, 8.2, 10.8, 11.7-11.8, 12.5-12.6, 22.3, 23.9, 25.8, 26.6, 박스 CC-HS}

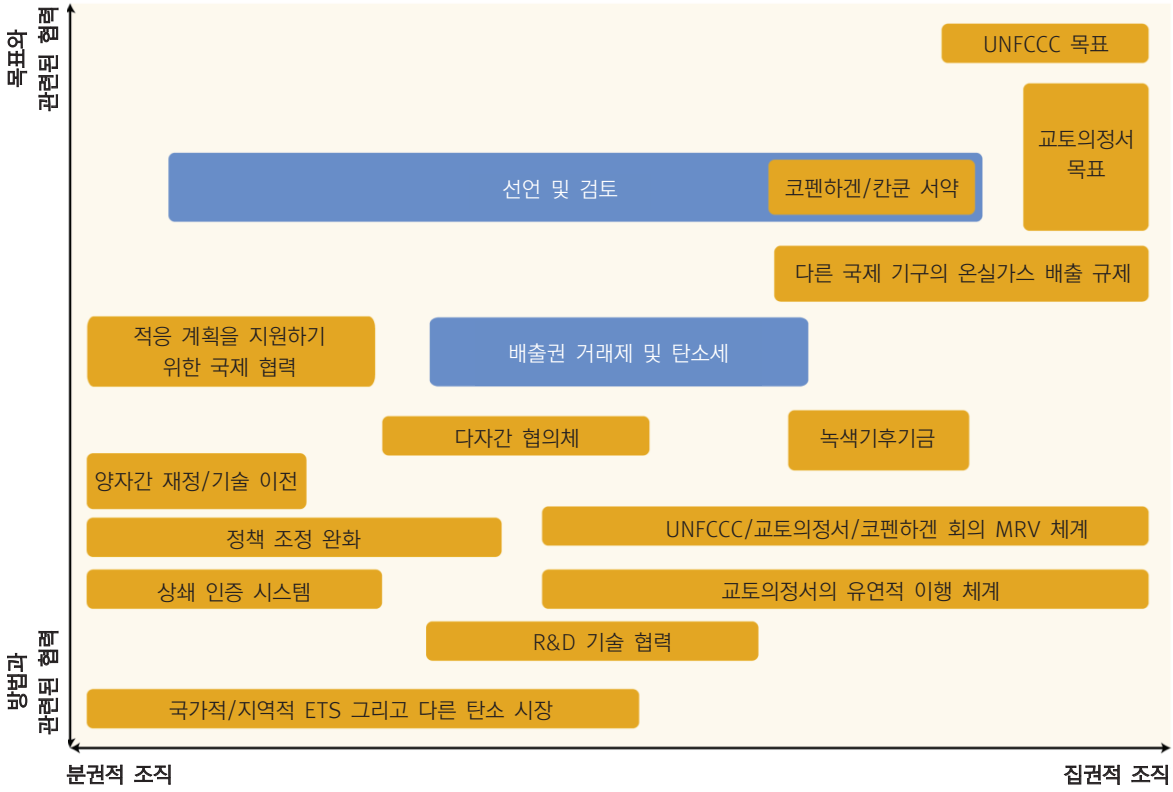
적응과 완화 사이뿐만 아니라 다양한 적응 대응들 사이에는 부수적 이익, 시너지 그리고 트레이드 오프가 뚜렷이 존재한다. 즉, 이들 사이의 상호작용은 전 지역과 부문에 걸쳐 혹은 지역과 부문 내에서도 나타난다 (**매우 높은 신뢰도**). 예를 들어, 기후변화 적응 작물에 대한 투자는 가뭄에 대한 농작물의 적응력을 높이며, 벡터 매개 질병에 대응하기 위해 마련한 하나의 공중보건제도가 보건 체계의 역량을 강화시켜 기타 질병에도 대응할 수 있게 된다. 비슷한 예로, 저지대 연안지대를 벗어나 기반시설을 설치할 경우 해수면 상승과 쓰나미(해일)로부터 지역 주민 및 지역 생태계를 보호할 수 있다. 그러나 일부 적응 옵션들은 부정적 역효과를 가져올 수도 있는데, 여기서 부정적 역효과란 하나의 적응 옵션이 기타 적응 목표와 상충하여 실질적으로 발생하거나 발생할 것으로 예상되는 트레이드 오프이다 (구체적인 예시는 표 4.3 참조). 예를 들어, 생태계 보전 행위는 기후변화 적응력을 높이고 탄소 보전량을 증가시키지만 실내 장소의 온도

표 4.5: 주요 원화 정책의 긍정적 잠재 효과 (청색) 그리고 부정적 잠재 효과(적색). 지역 상황, 원화 이행, 속도 및 규모에 따라 긍정적 및 부정적 효과가 다르게 나타남. 원화 정책과 관련하여 거시경제적, 범 부문적 효과는 Section 3.4 참조. 각 효과 별 증거 수준 그리고 의견 일치성을 표시. 개별 약자의 의미는 다음을 참조: 증거 수준의 경우, l=제한적 증거, m=중간 증거, r=명확한 증거 수준; 의견 일치성의 경우: l=낮은 동의 수준, m=중간 동의 수준, h=높은 동의 수준. {WGIII 표 TS.3, 표 TS.4, 표 TS.5, 표 TS.6, 표 TS.7, 표 6.7}

부담별 원화 방안		추가 목표/현안에 대한 영향	
경제적	사회적	환경적	
에너지 공급 부문			
석탄을 원자력으로 대체	바이오에너지 원료인 바이오매스 공급에 따른 상위 효과, AFOLU 부문 참조. 에너지 안보(연료 가격 변동성 감소) (m/m); 지역 고용(순효과는 불확실) (l/m); 폐기물 종류 및 폐기 비용; 폐원자로(m/h)	대기 오염 및 지역 탄광 사고 감소(m/h) 그리고 원자로, 폐기물, 우라늄 광산, 제분소 사고 감소(m/l)로 인해 인류 보건에 미치는 다양한 영향; 안전 및 예기치 못한 우려(r/h); 위험 확산(m/m)	대기 오염 감소(m/h), 석탄 채굴 감소(l/h), 원자로 사고(m/m)로 인한 생태계 영향
석탄을 재생가능에너지로 대체(풍력, PV, CSP, 수력, 지열, 바이오에너지)	에너지 안보(r/m); 지역 고용(순효과는 불확실)(m/m); 물관리(일부 수력에너지에 해당)(m/h); 수위를 충족시키기 위한 추가 방안(PV, 풍력, 일부 CSP 에 해당) (r/h); PV 및 직접구동형 풍력발전기의 주요 금속 사용 증가(r/m)	대기 오염 감소(바이오에너지 제외)(r/h)그리고 석탄 광산 사고 감소로 인해 인류 보건에 미치는 영향 감소(m/h); 에너지 접근성 증가(독립성)(m/l); 재생가능에너지로의 전환에 따른 위험(대규모 수력 장치인 경우)(m/h)	대기 오염 감소(바이오에너지 제외) (m/h) 그리고 석탄 채굴 에너지인 경우)(m/m) 경관 및 야생 동물에 영향 (m/m); 낮은/높은 물 사용 (풍력, PV 의 경우)(m/m); 바이오에너지 CSP, 지열 및 저수지 수력 발전(m/h)
석탄을 CCS 기술을 사용한 화석 에너지로 대체	보전 vs 화석 연료 산업의 인적 물적 자본 고착화(m/m); 이산화탄소 저장용 장기적으로 모니터링(m/h)	이산화탄소 누출 위험(m/m), 그리고 과도한 상류 에너지 공급(m/h)으로 인해 인류 보건에 영향; 안전 우려(이산화탄소 저장 및 운송)(m/h)	추가 상류 에너지 공급량(m/m), 그리고 높은 물 사용(m/h)으로 인해 생태계 영향
메탄 누출 방지, 포집 또는 처리	에너지 안보(일부 경우 가스 사용 가능) (l/h)	대기 오염 감소로 인류 보건에 미치는 영향 감소(m/m); 탄광 지역의 직업적 안정성 (m/m)	대기 오염 감소로 생태계 영향 감소(l/m)
운송			
저탄소 전력에 따른 상위 효과, 에너지 공급 부문 참조, 바이오매스 공급의 경우, AFOLU 부문 참조.			
연료의 탄소원단위 감소	에너지 안보(생물다양성, 석유 의존도 감소 및 유가 변동성 감소)(m/m); 기술 보급 (l/l)	전기 및 수송 연료(r/h), 디젤 (l/m); 도로 안전 우려(l/l)그리나 무거운 전차(DVs)로 인한 소음 감소로 인해 인류 보건에 미치는 영향 감소(l/m)	도시 대기 오염(m/m) 그리고 연료 사용(지속불가능한 채굴)(l/h)을 통한 전기 및 수송 연료의 생태계 영향
에너지원단위 감소	에너지 안보(석유 의존도 감소 및 유가 변동성 감소)(m/m)	대기 오염 감소로 인해 인류 보건에 미치는 영향 감소(r/h); 운송 안전(기준 설계에 따른 내충격성) (m/m)	도시 대기 오염 감소로 인해 생태계 및 생물다양성에 미치는 영향 감소(m/h)
압축사바운송시설 개선, 전환 운송	에너지 안보(석유 의존도 감소 및 유가 변동성 감소)(m/m); 생산성(도시 혼잡 및 이동 시간 감소, 가용성 및 접근성이 높은 운송 시설)(m/h)	비동력 방식으로 물리적 활동 증가(r/h), 대기 오염 노출 증가(r/h), 소음 감소(전환 운송 및 이동 감소)(r/h)로 인해 인류 보건에 미치는 영향의 다양화; 고용 기회의 공평한 유통성(r/h); 도로 안전성(전환 운송)(r/h)	도시 대기 오염 감소로 인해 생태계에 미치는 영향 감소(r/h); 토지 이용 경쟁(m/m)
여행 감소 및 회피	에너지 안보(석유 의존도 감소 및 유가 변동성 감소)(r/h); 생산성(도시 혼잡, 이동 및 도로 시간 감소)(r/h)	인류 보건에 미치는 영향 감소(비동력 운송 수단인 경우에 해당)(r/h)	도시 대기 오염 감소(r/h), 신규 및 단거리 도로(r/h)로 인해 생태계에 다양한 영향; 토지 이용 경쟁 감소(기반시설)(r/h)
건물			
연료 전환과 RES 에 따른 상위 효과, 에너지 공급 부문 참조.			
온실가스(GHG) 집약도 감소(에너지 효율, 녹색지붕)	에너지 안보(m/h); 지역 고용(m/m); 에너지 보조금 수요 감소(l/l); 건물의 자산가치 (l/m)	에너지 수요 감소에 따른 연료 부족 해소(m/h); 에너지 접근성(높은 에너지 비용)(l/m); 여성/아동의 생산적 시간 확보(전통적인 조리시설의 변화) (m/h)	인류 건강에 미치는 영향 및 생태계에 미치는 영향 감소(연료 부족 감소(r/h), 실내외 대기 오염(r/h), 그리고 UHI 효과(l/m)); 도시의 생물다양성(녹색 지붕)(m/m)
기존 건물 보강, 신규 건물 사례화, 효율적인 시설	에너지 안보(m/h); 지역 고용(m/m); 생산성(상업 건물의 경우)(m/h); 에너지 보조금 수요 감소(l/l); 건물의 자산가치 (l/m); 재해 적응(l/m)	에너지 수요 감소에 따른 연료 부족 해소(개보수 그리고 효율적인 시설) (m/h); 에너지 접근성(높은 에너지 비용)(l/m); 열적 쾌적성(m/h); 여성/아동의 생산적 시간 확보(전통적인 조리시설의 변화) (m/h)	인류 건강에 미치는 영향 및 생태계에 미치는 영향 감소(연료 부족 감소(r/h), 실내외 대기 오염(r/h), 그리고 UHI 효과(l/m)); 실내 환경 개선(m/h); 합기 부족으로 건강에 위험(m/m); 물 소비 감소 및 오물 발생 감소(l/l)

표 4.5 (계속)

부가 목표/현안에 대한 영향		환경적	사회적
부문별 완화 방안	경제적	환경적	
에너지 수요를 감소시키는 행동 변화	에너지 안보 (m/h): 에너지 보조금 수요 감소 (l/l)	인류 건강에 미치는 영향 및 생태계에 미치는 영향 감소(예: 실내 환경 개선 (m/h) 및 실외 대기 오염 감소 (r/h))	
산업	저탄소 에너지 공급에 따른 상위 효과(CCS 포함), 에너지 공급 부문 참조, AFOLU 부문 참조.	생태계에 미치는 영향 감소(지역 대기 및 물 오염 감소) (m/m): 물 보전 (l/m)	
이산화탄소/비-이산화탄소 배출 집약도 감소	경쟁력 및 생산성 (m/h)	지역 대기 오염 감소 및 근무 환경 개선으로 인류 보건에 미치는 영향 감소 (m/m)	
새로운 과정 및 기술 도입으로 기술적 측면에서의 에너지 효율성 개선	에너지 안보(에너지원단위 감소) (m/m): 지역 고용 (l/l): 경쟁력 및 생산성 (m/h): 개발도상국으로 기술 보급 (l/l)	지역 오염 감소로 인류 보건에 미치는 영향 감소 (l/m): 신규 사업 기회 (m/m): 물 가용성 및 수질 (l/l): 안전, 근무 환경 그리고 직업 만족도 (m/m)	
제품의 효율성, 재활용	정부 판매세(증기) (l/l): 지역 고용(폐기물 재활용) (l/l): 제조업 경쟁 (l/l): 산업 단지 조성에 따른 신규 기반시설 (l/l)	지역 대기 및 수질 오염 감소, 폐기물 투기 감소에 따른 생태계 영향 감소 (m/m): 원자재 및 자연 자원 사용 감소에 따른 구분별한 자원 채굴 감소 (l/l)	
제품 수요 감소	정부 판매세(증기) (l/l)	지역 갈등(소버의 불평등 감소) (l/l): 다양한 삶의 방식에 대한 인식 (l/l)	
AFOLU	비교: 개발 수준 및 정책의 범위(규모)에 따른 긍정적 그리고 부정적 효과		
공급 측면: 산림, 토지 기반 농업, 가축 사양, 통합적 체계 및 바이오에너지	기업가 정산의 발전 (m/h), 농업 부문에서 노동집약도가 낮은 기술 사용 (m/m)을 통해 고용에 다양한 영향을 미침; 소득원 다양화 및 시장 접근성 확대 (r/h); 지속 가능한 경관 관리로 추가 수익 (m/h); 소득 집중화 (m/m); 에너지 안보(자원의 풍부함) (m/h); 지속 가능한 자원 관리를 위한 혁신적 재정 지원 체계 (m/h); 기술 혁신 및 기술 이전 (m/m)	대규모 단일 재배 방식 (r/h), 생태계 보호, 지속 가능한 관리 및 농업 (r/h)을 통해 생태계 서비스에 다양한 영향을 미침; 토지 이용 경쟁 (r/m); 토질 (r/h); 침식 (r/h); 생태계 적응력 (m/h); 알베도(Albedo) 및 증발 (r/h)	지자체의 주거권 및 사용권(토착민 지역 공동체의 경우) (r/h) 토지 관리 결정에 참여할 수 있는 접근성 (r/h)에 영향을 미치는 다양한 영향; 지속 가능한 자원 관리를 위해 기존 정책 강화 (r/h)
수요 측면: 식량공급량의 손실 감소, 식이 습관 변화 그리고 목재와 산림 제품에 대한 수요의 변화	임축도시형태 및 운송 시설 개선의 경우, 운송 부문 참조.	물리적 활동으로 인한 건강: 운송 부문 참조	공공 장소 보호 (m/m)
집중 개발 및 기반시설	자원 이용의 혁신 및 효율성 (r/h); 높은 임대료 및 높은 부동산 가치 (m/m)	물리적 활동 증가에 따른 건강: 운송 부문 참조 사회적 교류 및 정신 건강 (m/m)	대기의 질 향상 그리고 생태계 및 인류 보건에 미치는 영향 감소 (m/h)
접근성 증가	통근 비용 절감 (r/h)	물리적 활동 증가에 따른 건강 (r/h); 사회적 교류 및 정신 건강 (l/m)	대기의 질 향상 그리고 생태계 및 인류 보건에 미치는 영향 감소 (m/h)
다양한 토지 이용	통근 비용 절감 (r/h); 높은 임대료 및 높은 부동산 가치 (m/m)		



정책 조정 완화의 경우, 초국가적 도시 연대 또는 NAMAs; R&D 기술 협력의 경우, 에너지 및 기후에 관한 주요 경제국 포럼(MEF), 국제메탄계획(GMI), 재생가능에너지 및 에너지효율 파트너십(REEEP); 기타 국제 기구의 온실가스 배출 규제로는 몬트리올 의정서, 국제민간항공기구(ICAO), 국제해사기구(IMO); 보다 자세한 내용은 WGIII 그림 13.1 참조한다.

그림 4.3 | 국제 협력의 다양한 형태. 기존 및 향후 국제 협력 형태를 다양하게 표시. 출간된 자료를 바탕으로 구성하였으나, 기존 또는 향후의 정책 구조를 완벽하게 재현하거나 규범적으로 정하는 것이 아님을 밝힌다. 주황색 박스의 예시는 기존의 협의의 결과이다. 청색 박스의 예시는 협의의 결과를 도출하는데 바탕이 되는 구조/체계를 의미하며 박스의 길이는 해당 협의의 결과 또는 구조/체계를 형성하는 조직의 집권화 정도를 표시한다. 단, 조직 의사결정의 집중도는 국제 기구를 통한 의사 결정이며, 개별적인 협의 과정을 통한 의사 결정이 아니다. {WGIII 그림 13.2}

조절을 위해 냉방 장치를 사용하거나 수자원 확보를 위해 담수화를 하게 되면, 오히려 에너지 사용량이 증가하게 되고 이와 동시에 온실가스 배출량도 많아지게 된다. {WGII SPM B-2, SPM C-1, 5.4.2, 16.3.2.9, 17.2.3.1, 표 16-2}

4.3 완화 방안

모든 주요 부문에서 완화 방안이 존재하며, 에너지 사용과 최종 사용자 부문에서의 온실가스 원단위를 감소시키고 에너지 공급의 탈탄소화를 유도하며 온실가스 순 배출량을 줄이고 토지 기반 부문의 탄소 흡수원은 늘리기 위한 대책들을 결합한 통합적인 접근법을 사용할 경우 보다 비용효과적이 될 수 있다.

온실가스 원단위를 감소 시키고, 기술, 행동 및 생산상의 변화를 통해 에너지 집중을 완화하며, 구조적 변화를 이끄는 데 적용할 수 있는 부문별 완화 옵션이 광범위하게 존재한다. AFOLU(농업, 산림, 및 기타 토지 이용) 부문의 경우, 산림전용, 산림황폐화, 산불 발생 감소, 신규조림을 통해 지상부의 탄소저장량 증가, 바이오에너지 원료 제공이 직접적인 감축 방안에 포함된다. 비-이산화탄소 배출량 저감 방안은 모든 부문에 걸쳐 존재하는 데, 특히 농업, 에너지 공급 그리고 산업 부문에서 집중적으로 보이고 있다. 표 4.4에서는 각 부문별 완화 방안 및 영향을 자세히 설명하였다 {WGIII TS3.2.1}

단일 기술 및 특정 부문에 집중하는 것보다 체계적이면서도 모든 부문을 아우를 수 있는 완화 전략을 설계하여 한 부문에서의 노력이 기타 부문의 완화에도 도움이 되도록 유도하는 것이 비용 효과적이다 (중간 신뢰도). 추가적인 완화 정책이 부재한 베이스라인 시나리오(baseline scenario)의



경우, AFOLU(농업, 산림, 기타 토지사용) 부문의 순 이산화탄소 배출량을 제외하고 나머지 모든 부문의 온실가스 배출이 증가할 것으로 전망된다 (그림 4.1, 좌측 그림). 2100년⁴²까지 이산화탄소의 농도가 낮은 수준(CO₂ 환산 450 ppm⁴³)으로 유지되는 되는 상태(지구 기온 상승이 산업화 이전 대비 2°C 이내로 유지될 가능성이 높은 상태)를 가정하는 완화 시나리오의 경우, 에너지 공급 부문의 온실가스 배출량은 크게 감소할 것으로 나타났다 (그림 4.1, 중앙 및 우측 그림). 또한 에너지 공급에서의 급격한 탈탄소화(decarbonization)는 대개 최종 소비 및 AFOLU 부문의 유연성을 높이지만, 에너지 수요 좀 더 뚜렷이 감소됨에 따라, 에너지 시스템의 공급 측면에 대한 완화 의지는 약화된다 (그림 4.1, 4.2). 이처럼 모든 부문들의 전반에 걸쳐 강력한 상관관계가 존재하며 이들 부문이 결과적으로 완화 노력을 어떻게 분담하느냐는 BECCS(바이오에너지+CCS)와 대규모 조림과 같은 미래 기술 적용 가능성 및 성과에 따라 크게 달라진다 (그림 4.1, 중앙 및 우측 그림). 향후 20년 동안 전세계적으로 도시 개발은 활발이 진행될 것이며, 이는 다시 말해서, 도시 지역의 완화 잠재력이 상당하다는 것을 의미한다. {WGIII SPM.4.2, TS.3.2}

전력 생산에서 탈탄소화(예: 탄소 원단위 감소)를 피하는 것은 이산화탄소 농도를 낮은 수준에서 안정화(CO₂ 환산 450~500 ppm 유지, 지구 기온 상승 수준이 산업화 이전 대비 2°C 이하로 머무를 가능성이 그렇지 않을 가능성보다 높은 경우) 시키기 위한 비용 효과적인 완화 전략의 핵심 요소이다 (중간 신뢰도, 높은 동의 수준). 대부분의 시나리오에서 탈탄소화는 산업, 건물 및 운송 부문보다 전력 부문에서 훨씬 빠르게 일어난다. 2100년까지 대기 중 온실가스 농도가 CO₂ 환산 450ppm에 도달하는 시나리오에서 에너지 공급 부문의 배출량은 향후 십년 간 감소할 것이 전망되며, 2040~2070년 사이에는 기준년도인 2010년도 수준보다 90% 이상 감소할 것이다. {WGIIISPM.4.2, 6.8, 7.11}

개발을 저해하지 않는 범위 내에서 에너지 수요를 감소시키기(베이스라인 시나리오 대비) 위해 에너지 효율을 향상시키고 에너지 관련 행동의 변화를 추구하는 것은 2100년까지 대기 중 CO₂ 환산을 약 450~500ppm 수준으로 유지시키는 시나리오들의 주요 완화 전략이다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 가까운 미래에 에너지 수요를 감소시키는 것은 비용효과적인 완화 전략의 주요 요소이다. 에너지

표 4.6 | 각 지역별 민간 및 공공 부문의 적응 현황. {WGII SPM A-2}

지역	적응 예시
아프리카	대부분의 국가가 정부 위주의 적응 체계를 준비하고 있다. 재해위험 관리, 기술 및 기반시설의 조정, 생태계 기반의 접근 방식, 기초 공중 보건 조치, 그리고 소득원 다원화는 기후변화에 대한 취약성을 감소시킨다. 그러나 지금까지의 적응 노력이 다양하지 못했다는 단점이 존재.
유럽	다양한 정부 수준에서 적응 정책이 개발되어 왔으며, 일부 적응 계획은 연안 및 수자원관리와 통합되거나, 환경 보호 및 토지 계획과 통합되거나, 재해위험 관리와 통합되어 진행된다.
아시아	하위 국가 수준의 개발 계획, 조기 경보 체계, 수자원 통합 관리, 혼합농업, 그리고 연안 지역 맹그로브산림 재조림에 기후 적응 활동을 편입시켜, 일부 지역의 적응 활동을 지원한다.
오스트랄라시아	해수면 상승에 대한 적응 계획, 특히 남오스트레일리아 지역의 수자원 가용성 감소에 대응하기 위한 적응 계획은 폭넓게 진행되고 있다. 해수면 상승에 대한 적응 계획은 지난 20년 동안 크게 발전해 왔으며, 비록 이행 측면에서의 부족함이 보이지만 다양한 접근 방식을 보여주었다.
북아메리카	정부는 적응 평가 및 계획을 꾸준히 진행해 왔으며, 특히 지자체 수준에서 진행해 왔다. 일부 사전 적응은 에너지 및 공공 시설 부문의 장기적 투자를 장려하기 위해 진행되어 왔다.
중앙 및 남아메리카	생태계 기반의 적응, 즉 보호 구역, 보호 협정, 그리고 자연 지역의 공동체 관리를 진행해 왔다. 일부 지역의 경우, 농업 부문에서 기후변화 적응력이 높은 농작물 다양화, 기후 예보 그리고 수자원 통합 관리가 도입되고 있다.
극지역	일부 공동체의 경우, 전통 지식 및 과학적 정보를 활용하여 적응형 공동 관리 전략과 커뮤니케이션 시설을 효율적으로 사용해 왔다
군소 도서 지역	군소 도서 지역은 다양한 물리적 그리고 주민의 특성을 지닌다; 공동체 기반의 적응은 다른 개발 활동과 함께 이행되었을 때 더욱 많은 혜택을 가져 왔다.
해양	국제 협력 및 해양 공간 계획으로 기후변화에 대한 적응이 용이해지고 있다. 단, 적응의 제약으로는 공간 규모의 문제 그리고 거버넌스의 문제가 있다.

⁴² 이산화탄소 농도 및 배출 정의는 본 보고서의 용어 사전 부분을 참조; 이산화탄소를 제외한 온실가스의 '이산화탄소 환산량' 그리고 각 부문별 전략은 박스 3.2 참조.

⁴³ 2011년 CO₂ 환산 농도는 430ppm으로 추정(불확실구간 340~520ppm)됨을 비교를 위해 참고한다.

수요의 감소를 통해 에너지 공급 부문의 탄소 강도를 유연하게 줄일 수 있고, 에너지 공급 측면에서 발생할 수 있는 위험을 완충할 수 있으며, 탄소 원단위가 높은 시설이 고착화되는 현상을 피할 수 있고, 이외 기타 중요한 부수적 이익을 유도할 수 있다 (그림 4.2, 표 4.4). 이와 더불어, 에너지 소비 패턴의 변화(운송 수요 및 유형, 가정용 에너지 소비, 수명기간이 긴 제품 선택 등), 식이 습관 변화 및 음식물 쓰레기 저감 등을 통해서도 온실가스 배출량을 크게 줄일 수 있으며, 재정 및 비재정 지원, 정보 제공 등의 기타 방법들 또한 에너지 관련 행동 상의 변화를 촉진시킬 수 있다. {WGIII SPM.4.2}

에너지 공급 부문의 탈탄소화(예: 탄소 강도 감소)를 위해서는 저탄소 및 제로-탄소의 전력 생산 기술을 확대하는 것이 필요하다 (높은 신뢰도). 대부분의 저농도 안정화 시나리오(약 CO₂ 환산 450-500 ppm, 지구 기온 상승이 산업화 이전 대비 2°C 이하일 가능성이 그렇지 않을 가능성보다 높은 상태) 하에서는 저탄소 전력 공급(재생가능에너지, 원자력 및 BECCS 를 포함한 CCS 로 구성) 비율이 현재와 비교하여 2050년까지 30-80% 이상, 2100년까지는 30-90%까지 증가하며, CCS 기술의 적용 없이 화석연료만 사용하는 전력 생산 방식의 대부분은 2100년까지 단계적으로 없어질 것이다. 이러한 저탄소 기술 중에서 재생가능에너지 기술의 상당수가 제 4 차 평가보고서 이후, 성숙단계에 접어들어 기술의 대규모 활용이 가능한 수준까지 이르렀다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 원자력 에너지 역시 성숙 단계에 이르렀으나, 1993년 이후 전체 전력 중 원자력 에너지의 비중은 감소해 왔다. 기존의 석탄 화력 발전소를 현대적이고 효율적인 천연가스 복합발전소 또는 열병합발전소로 대체함으로써, 에너지 공급 과정 중 발생하는 온실가스 배출량을 감소시킬 수 있다. 단, 천연 가스 가용량이 충분해야 하며, 천연가스를 추출 및 공급할 때 발생하는 비산 배출(fugitive emissions)이 적거나 완화시킬 수 있는 수준이어야 한다.

행동 양식, 라이프스타일 및 문화는 에너지 사용량과 온실가스 배출량에 상당한 영향을 미치는데, 일부 부문에서 기술 및 구조적 변화를 통해 보완될 경우 높은 완화 잠재력을 지닌다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 운송 부문의 경우, 기술 및 행동 측면의 완화 도구들을 모든 운송 유형에 적용하고, 새로운 기반시설을 구축하며, 도시 재개발에 투자함으로써 최종 에너지 수요를 베이스라인 수준 이하로 확연히 줄일 수 있다 (명확한 증거, 중간 동의 수준) (표 4.4). 운송 부문에서, 저탄소 연료로 전환할 수 있는 기회가 존재하지만, 운송 부문의 탈탄소화(decarbonization)가 에너지 저장 관련 난제로 인해

제약을 받고 있을 뿐만 아니라 저탄소 연료는 낮은 에너지 밀도를 보이기 때문에 그 속도 및 정도가 높지 않다 (중간 신뢰도). 건물 부문의 경우, 최근 관련 기술, 정책 및 전문 지식과 관련하여 많은 발전이 있었기 때문에, 21세기 중반까지 건물 부문의 에너지 소비가 현재 수준과 유사하거나 더욱 감소할 것으로 예상된다. 또한 에너지 수요가 적은 건물에 대한 건설 기술은 개선된 반면 제반 비용은 감소함에 따라 저에너지형 건물을 건설하거나 재건축하는 것이 경제적으로도 편익을 유도할 수 있다는 인식이 높아져, 일부 경우 순익보다 비용이 높을 것으로 예상되는 경우에도 장기적 편익을 고려하여 저에너지형 건물을 짓고 있다. (명확한 증거, 높은 동의 수준). 산업 부문의 경우, 온실가스 배출 및 원자재 사용의 효율을 높이고, 자재 및 제품을 재활용 혹은 재사용하며, 제품 및 서비스에 대한 수요를 전반적으로 줄이는 것(예: 에너지원단위가 높은 제품 사용)은 에너지 효율 개선과 더불어 온실가스 배출량을 베이스라인 수준 이하로 줄이는 데 도움이 된다. 산업부문에서 에너지 효율을 높이는데 가장 널리 사용하는 접근법으로는 경제 도구, 규제 접근법 및 자발적 참여가 있으며 이외 관련 정보 프로그램도 많이 활용된다. 폐기물 관리에서는 재사용, 재활용 및 에너지 복원을 통해 폐기물을 줄이는 것을 가장 주된 완화 방안으로 고려하고 있다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). {WGIII SPM.4.2, 박스 TS.12, TS.3.2}

산림 부문에서 가장 비용효과적인 완화 방안으로는 조림, 지속 가능한 산림 관리 및 산림 벌채의 규제가 있는데, 이들 방안의 상대적 중요성은 지역에 따라 크게 다를 수 있다. 농업 부문에서 가장 비용효과적인 완화 방안으로는 경작지 관리, 방목지 관리 및 유기 토양 복원이 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 산림의 전체 완화 잠재력 중 약 1/3 을 실현하는 데에는 이산화탄소 상당량 1톤 당 약 20달러(USD/tCO₂-eq)가 소요된다. 다소 불확실하지만, 식이 습관을 변화시키고 식량 공급망에서의 손실을 줄이는 등의 수요 측면 완화 방안을 추진함으로써, 식량 생산 부문에서 발생하는 온실가스 배출량을 잠재적으로 상당량 줄일 수 있다 (중간 증거, 중간 동의 수준). {WGIII SPM 4.2.4}

완화에서 바이오에너지는 핵심적인 역할을 지니지만, 바이오에너지를 지속적으로 사용할 수 있는지의 여부나 바이오에너지 시스템의 효과 등 바이오에너지와 관련하여 좀 더 논의해야 할 사안들이 있다 (명확한 증거, 중간 동의 수준). 이미 일부에서 사용되고 있는 저수명 배출 바이오에너지(low life-cycle emission bioenergy)가 온실가스 배출량을 줄일 수 있다고 증거를 통해 밝힌 일부 연구가 있지만, 배출 감축 효과는 각 지역마다 다르게 나타나며, 통합 '바이오매스-바이오에너지 생산 체계'의 효율성과 지속



표 4.7 | 각 부문별 정책 수단. {WGIII 표 15.2}

정책 수단	에너지	운송	건물	산업	AFOLU	거주 및 기반시설
경제적 수단 - 세금(경제 전반)	- 탄소세(예 전기 또는 연료에 부과)	- 연료세 - 혼합통행료, 자동차등록세, 도로 통행료 - 자동차세	- 탄소 그리고/또는 에너지세(부문별 또는 경제 전반 적용)	- 탄소세 또는 에너지세 - 쓰레기 처리세 또는 중량제	- 아산화질소 감소를 위한 비료세 또는 질소세(N ₂ O)	- 난개발 세금, 개발영향부담금, 차등세율재산세, 조세담보재정, 개량공사특혜세, 혼합 통행료
경제적 수단 - 배출권 할당(경제 전반)	- 배출권 거래제 - CDM(청정개발체제)의 배출권 - 녹색인증제도(TGC)	- 연료 및 자동차 기준	- 에너지 효율성 향상을 위한 인증제(백색증서)	- 배출권 거래제 - CDM의 배출권 - 녹색인증제도(TGC)	- CDM의 배출권 - 교토의정서 - 이외 의무 제도(국가 의무 이행 제도) - 자발적 탄소 시장	- 도시 지역의 배출권 거래
경제적 수단 - 보조금	- 화석 연료 보조금 금지 - 재생가능에너지 촉진을 위한 발전차액제도(FITs)	- 바이오연료 보조금 - 자동차 구매 보조금 - 준연비제도	- 에너지 효율 건물, 개보수 그리고 제품에 대한 투자시 보조금 또는 세금 감면 - 보조 용자	- 보조금(예: 에너지 진단 경우) - 재정적 혜택(예: 연료 전환 경우)	- 저탄소 농업 부문의 신용 한도, 지속 가능한 산림	- 특별 개발 또는 지역 재개발
규제적 접근	- 효율성 또는 환경성과기준 - 재생가능에너지 사용을 촉진시키는 신재생에너지 의무 할당제(RPS) - 전력 그리드에 대한 균등한 접근 - 이산화탄소 장기 저장의 법적 상태	- 연료 성능기준 - 연료 품질 기준 - 온실가스 배출 기준 - 전환운송을 장려하기 위한 규제 - 일부 지역에서 자동차 사용 규제 - 공항의 경우, 환경적 능력 제약 - 도시 계획 및 제한 구역 설정	- 건축 법규 및 기준 - 기자재 기준 - 에너지 효율을 높이고자 하는 소비자를 도와주는 에너지 소매업자용 법규	- 기자재용 에너지효율기준 - 에너지관리체계(자발적) - 자발적 협약(규제를 준수하는 수준) - 인증마크 및 공공조달법제	- REDD+의 MRV 체계 지원을 위한 국가 정책 - 산림 파괴를 해결을 위한 산림법 - 대기 및 물 오염 방지 온실가스 선행표시 - 토지사용계획 및 거버넌스	- 복합용도지역 - 개발 제한 - 저가 주택 법규 - 지역 접근 조정 - 개발권양도제 - 건축 설계 법규 - 건축 법규 - 도로 경계 법규 - 건축 설계 기준
정보적 접근		- 연료 인증 제도 - 운송 수단의 효율성 인증 제도	- 에너지진단 - 인증 프로그램 - 에너지자문프로그램	- 에너지진단 - 벤치마킹 - 산업 협력을 위한 중개 활동	- 지속 가능한 산림을 위한 인증제도 - REDD+의 MRV 체계 지원을 위한 정보 정책	
정부의 공공재 또는 공공서비스 공급	- 연구 및 개발 - 기반시설 확대(지역 냉/난방 또는 일반 통신)	- 인간 동력 운송 및 통과 운송 투자 - 대체 연료를 사용하는 시설 투자 - 저탄소 운송 조달	- 에너지 효율성을 지닌 건물 및 기자재의 공공 조달	- 훈련 및 교육 - 산업 협력을 위한 중개 활동	- 국가 단위, 주단위 그리고 지역 단위의 산림 보전 - 농업 및 산림 부문의 혁신적 기술 개발 및 확산 투자	- 전력 공급, 지역 냉난방 그리고 폐수 연결과 같은 공공 시설 제공 - 공원 개선 - 철로 개선 - 도시 철도
자발적 행동			- 에너지 효율성을 지닌 건물 인증 프로그램 - 친환경 인증 마크 제품	- 에너지 목표를 설정하여 이에 자발적 협의, 에너지관리체계 적용, 또는 자원의 효율성 도입	- 개발 기준 및 교육적 홍보를 통한 지속 가능성 향상	

가능한 토지사용 관리 및 거버넌스에 크게 영향을 받는다. 또한, 바이오에너지의 사용으로 토양에서 배출되는 온실가스가 증가하고, 식량안보, 수자원 및 생물다양성 보전과 생계가 부정적인 영향을 받을 수

있다는 우려는 바이오에너지 사용이 확대되는 데 장애물로서 작용하고 있다. {WGIII SPM.4.2}

완화 방안은 기타 사회적 목표와 상호 작용하여 부수적 이익을 가져 올 수도 있고 부작용을 유발할 수도 있다. 그러나 이러한 상호작용을 적절히 관리할 경우, 기후 완화 행동의 토대를 강화할 수 있다 (명확한 증거, 중간 등의 수준). 인류 건강, 식량 안보, 생물다양성, 지역별 환경 수준, 에너지 접근성, 생계 그리고 균형 잡힌 지속 가능한 발전과 같은 사회적 목표를 달성하는 데 있어서 완화 행동은 긍정적인 효과를 가져올 수도, 혹은 부정적인 역효과를 초래할 수도 있다. (4.5 절 참조). 역으로, 기타 사회적 목표 관련 정책 또한 완화와 적응 목표를 달성하는 데 영향을 미칠 수 있다. 이러한 영향들을 정량적으로 환산할 수 없지만, 영향의 범위와 정도가 매우 크다는 사실은 확실하며 특히 복지(welfare) 측면에서 그러하다. 이처럼, 완화 및 적응 목표뿐만 아니라 기타 사회적 목표까지 함께 고려하는 ‘다각적 목적 관점(multiple-objective perspective)’을 가지고, 정책적 지원을 통해 어떠한 부문에서 다각적인 목표를 실현시킬 수 있는지 명확하게 파악하는 것이 중요하다. 표 4.5 에서는 주요 부문별 완화 방안 및 완화 방안의 부수적 이익과 부정적 역효과를 요약 정리하였다. 에너지 최종 소비 부문의 경우, 완화 방안의 부정적 역효과보다는 부수적 이익이 더욱 크다. 반대로 에너지 공급 및 AFOLU 부문의 경우, 부정적 역효과가 부수적 이익 보다 큰 경향을 보인다. {WGIII SPM.2}

4.4 적응, 완화, 기술 및 재정 부문의 정책 접근법

효과적으로 적응 및 완화를 적용하기 위해서는 다양한 수준에서 정책 및 접근법을 마련하여 실행하는 것이 중요하다: 국제, 지역, 국가 및 하위 국가 등 모든 수준에서 기후변화에 대응하기 위한 기술 개발, 보급, 이전 및 재정을 지원함으로써 적응과 완화를 직접적으로 추진하는 정책을 보완하고 그 효율성을 높여야 한다.

4.4.1 적응과 완화를 위한 국제 및 지역적 협력

기후변화는 전지구적으로 나타나는 현상이기 때문에 (3.1 참조), 지역적 수준에서 완화의 부수적 이익이 발생하더라도 지역 기관이 단편적으로 해당 지역의 이익만을 고려한다면 기후변화를 효과적으로 완화시킬 수 없다. 따라서, 범국제적 수준에서 참여 기관 간의 협력을 바탕으로 온실가스 배출을 효과적으로 감축시키고 기타 기후변화 관련 문제에 접근하는 것이

중요하다. 적응의 경우, 기본적으로 지자체(하위 국가) 및 국가 수준에서 이행하지만, 적응의 효과는 국제적 수준의 협력, 나아가 다양한 수준의 이행 기관간 협력이 얼마나 이루어지냐에 따라 크게 달라질 수 있다. 실제로 국제적 협력은 국가, 하위 국가, 지자체 수준의 적응 관련 활동을 지원하여 적응 전략 및 계획이 효과적으로 마련될 수 있도록 돕는다. 다양한 기후 정책이 국제 및 지역적 수준에서 도입되어 왔거나 향후 도입될 예정이며, 이는 국가 및 하위 국가가 적응과 완화를 원활하게 적용되도록 도울 수 있을 것이다. 적응 및 완화 등의 결과적 성과가 전 지구적으로 공평하게 나타날 경우 협력의 효율성이 높아진다는 것을 증거를 통해 밝힌 연구들이 있다. {WGII SPM C-1, 2.2, 15.2, WGIII 13.ES, 14.3, 15.8, SREXSPM, 7.ES}

UN 기후변화협약은 기후변화 문제를 중점적으로 다루는 대표적인 다자간 포럼으로서 전세계 대부분의 국가들이 참여하고 있다. 2007 년 이후 UN 기후변화협약은 칸쿤 회의(2010 년)와 더반 회의(2011 년)를 통해 협약이 적극적으로 이행될 수 있도록 지원했으며, 기후변화 관련 활동에 참여하는 기관이 국제적으로 협력할 수 있도록 이끌었다. 다양한 수준의 거버넌스를 통해 조직된 기타 기관들 또한 기후변화에 대한 국제적 협력이 다각적 양상을 띌 수 있도록 돕고 있다. {WGIII SPM.5.2, 13.5}

이미 존재하거나 현재 계획 중에 있는 국제적 기후변화 협력 협의의 관심 영역과 협력 범위는 다양하다. 국제 기후변화 협력 협의의 형태에는 다자간 협약, 국가간 관련 정책 통일화, 분산화된 국가 정책들의 공동 조정, 지역적 공동 정책 마련 및 정책의 지역적 공동 조정 등이 있다(그림 4.3 참조). {WGIII SPM.5.2}

최근 많은 기관이 적응 기금을 마련하거나 공동으로 조정하는 데 관심을 보이는데, 지금까지는 기후 완화 정책에 비해 적응 정책에 대한 관심이 상대적으로 적었다 (명확한 증거, 중간 등의 수준). 기후변화 영향에 따른 위험을 저감하는 데 적응의 중요성은 점차 커지고 있으며, 많은 국가들이 본격적으로 적응 행동에 참여하고 있다. {WGIII 13.2, 13.3.3, 13.5.1.1, 13.14}

교토의정서는 기후변화 적응 및 완화 행동에 대한 참여, 이행, 유연성 메커니즘 및 환경 효과와 관련하여 UN 기후변화협약의 궁극적 목표를 달성하기 위한 다수의 행동 강령을 제공한다 (중간 증거, 낮은 등의 수준). 교토의정서는 여러 국가들이 UNFCCC 가 제시한 원칙과 목적을 구체적으로 실현할 수 있도록 마련되었으며, 법적 구속력을 지닌 최초의 조치이다. 교토의정서 없이도 감축되었을 실적 역시 일부 인정받기는 하였지만, 2013 년 10 월까지 UNFCCC 에



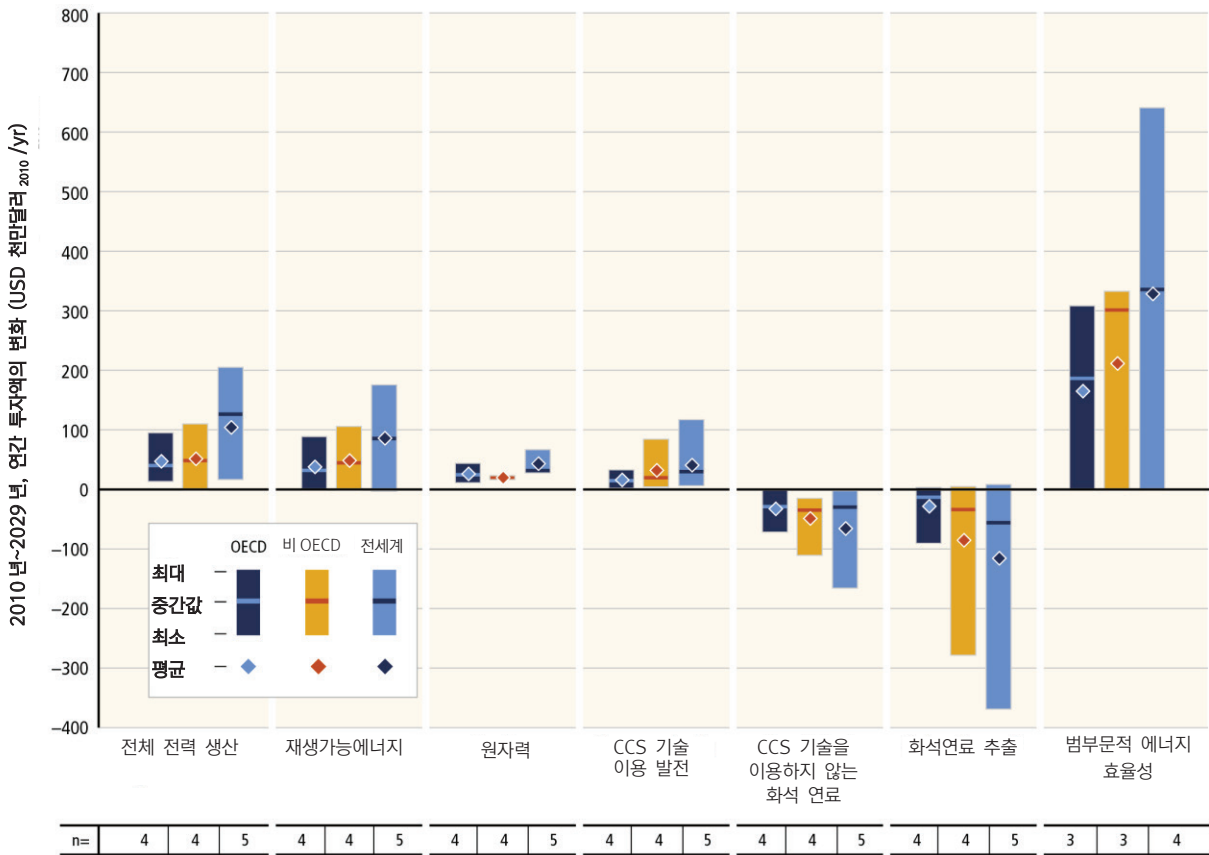


그림 4.4 | 2010년~2029년, 기준(평균)대비 연간 투자액의 변화. 단, 2100년까지 대기 중 온실가스의 농도가 약 CO₂ 환산 430~530 ppm 수준에 머무른다는 가정하에서 예측(완화 시나리오, 과도한 완화 정책이 없는 시나리오). 전체 전력 생산은 재생가능에너지, 원자력 에너지, CCS 기술을 사용한 발전 그리고 CCS 기술을 사용하지 않는 발전의 총합. 수직 막대는 투자액의 최소값 및 최대값 표시. 수평 막대는 투자액의 중앙값을 표시. 하단의 숫자는 관련 연구 수를 표시. 각각의 기술들은 보완적인 형태로든 촉매제로서의 형태로든 간에 다양한 모델에서 사용되었으나, 각 기술의 특성에 따라 가정, 도입 시기 및 수준에서 차이가 나타남. {WGIII Figure SPM.9}

정식으로 제출된 온실가스 국가 인벤토리에 따르면, 부속서 B 국가들은 1차 의무 이행기간(2008~2012) 동안 각국의 감축 목표를 집단적으로 달성한 것으로 보인다⁴⁴. 교토의정서의 CDM(청정 개발 체제)는 선진국이 개발도상국에 투자하여 발생한 온실가스 배출 감축분을 자국의 감축 실적에 반영할 수 있도록 하는 제도이다. CDM의 두 가지 목적은 부속서 I 국가들의 의무 감축 목표를 달성시키고, 비-부속서 I 국가들의 지속 가능한 발전을 추구하는데 있다. 2013년 10월까지 CDM 사업을 통해 발생한 탄소배출권(CER)은 1.4기가톤(GtCO₂-eq)이다. CDM을 통해 UNFCCC 적응 기금을 포함한 다양한 형태의 투자가 상당수준 이루어졌다고 볼 수 있다. 그러나 CDM 사업이, (특히 사업 초기에), 환경적으로 얼마나 효과적인지에 대한 의문이 제기되고 있는데, 이는 CDM 사업의 추가성(BAU 대비 추가적인 효과가 입증되어야 함), 베이스라인 시나리오의 타당성 및 온실가스 누출 가능성 때문이다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 위에서 추가성에 대한 의문은 모든 탄소배출권 관련 사업에서 보여지는 것이지만 CDM 사업에만 국한된 것은 아니다. 시장 논리에

따라 단일 CDM 사업(single CDM)의 대부분은 제한된 일부 국가에서 집중적으로 진행되고 있지만, PoA-CDM 사업의 경우 사업 추진 빈도는 낮을지라도 여러 지역에서 진행되고 있다. 이외, 유연성 메커니즘으로는 공동 이행(Joint Implementation)과 배출권 거래제(International Emission Trading)가 있다. {WGIII SPM.5.2, 표 TS.9, 13.7, 13.13.1.1, 14.3}

그 동안 감축 노력의 분담을 위한 다양한 개념적 모델들이 연구를 통해 제시되어 왔다. 그러나 실제로 국제적 협력 협약의 영향이 여러 국가에 걸쳐 균등하게 배분되는가의 여부는 이를 위하여 선택한 접근법이라든가 균등 배분을 위해 적용한 기준 혹은 개발도상국가의 배출량 저감 계획에 대한 재정적 지원 방법 등에 따라 달라진다 {WGIII 4.6, 13.4}

지역, 국가 및 하위 국가 수준에서 결정한 정책들을 상호 연계함으로써 잠재적인 완화 효과를 기대할 수 있다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 이러한 정책적 연계는 탄소 시장들 간에 적용되어 왔으며,

⁴³ 부속서 B 국가의 준수에 대한 최종 결론은 2014년 10월 교토의정서에서 추후 논의될 예정이다.

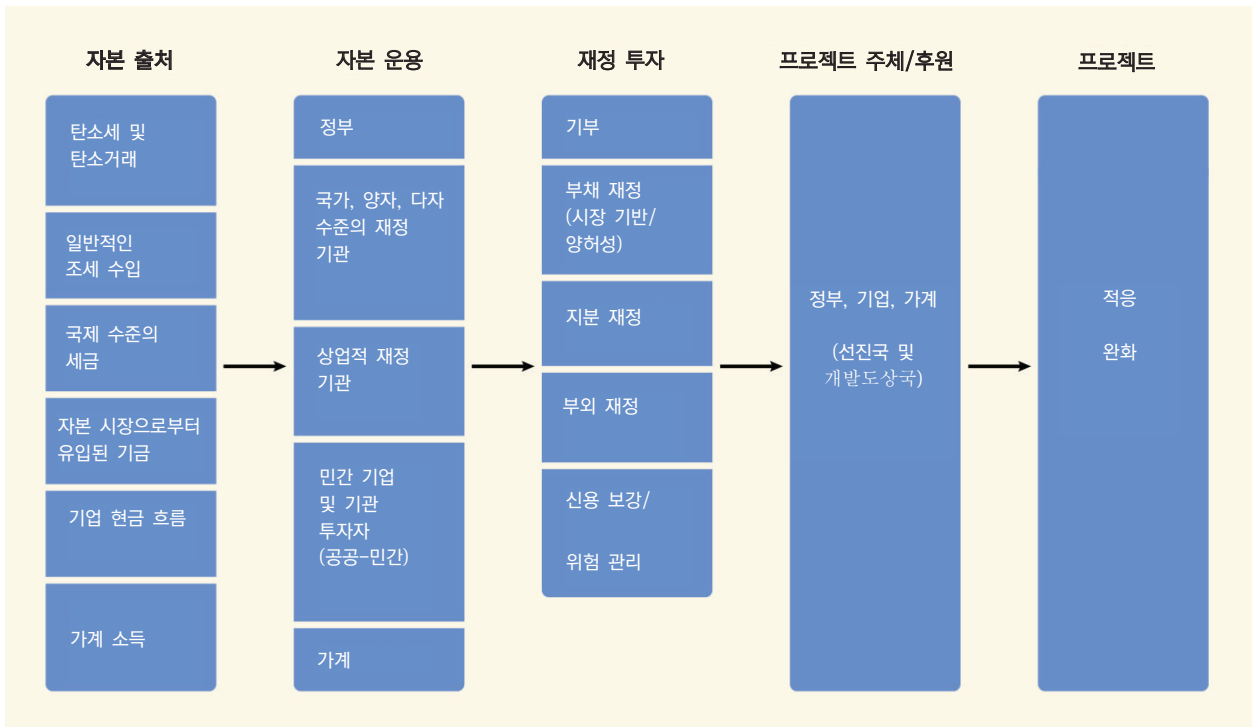


그림 4.5 | 기후 재정 흐름도. 주의: 자금은 관련 재정을 모두 포함. 박스의 크기는 재정의 규모를 나타내지 않음. {WGIII 그림 TS.40}

원칙적으로 환경 성과 기준(performance standard) 등 비 시장성 정책을 기반으로 한 다양한 정책들 간 나타난다. 정책 연계에 따른 긍정적인 효과로는 완화 비용 감소, 탄소 누출 감소 및 시장 유동성 증가가 있다. {WGIII SPM.5.2, 13.3, 13.5, 13.6, 13.7, 14.5}

지역적 수준의 계획이 개발 혹은 이행되고 있으나, 이로 인한 전지구적 수준의 완화 영향은 크지 않다 (중간 신뢰도). 일부 정책의 경우, 무역협정에 완화 목표를 통합하거나 공동으로 기반시설을 건설하는 등 보다 효과적으로 온실가스를 감축하고자 광범위한 지역에 걸쳐 적용될 때 환경 및 경제적으로 높은 효율성을 보일 수 있다. {WGIII 표 TS.9, 13.13, 14.4, 14.5}

적응 계획 및 이행을 위한 국제적 협력은 국가, 하위 국가 및 지자체 수준의 적응 전략, 계획 및 행동을 지원하고 있다 (높은 신뢰도). 예를 들어, 다자 및 지역적 차원에서 적응을 위한 다양한 재정 지원 체계가 마련되었고; UN 기구, 국제개발기구 그리고 비정부기구(NGO)는 정보, 방법론 및 지침을 제공하고 있으며; 전지구적 그리고 지역적 차원의 적응 하에서 선진국뿐만 아니라 개발도상국의 국가 적응 전략이 수립되고 있다. 범지구적 수준에서 재해위험 저감 행동과 기후변화 적응을 통합하고, 국제 개발 원조 시 이 두 가지 현안을 우선적으로 고려한다면 자원 및 역량을 보다 효율적으로 사용할 수 있을 것이다. 그러나 국제적인 수준에서의 적응 노력이 반드시 지역적 수준의 적응 효과로 이어지는 것은 아니다. {WGII 15.2, 15.3, SREX SPM, 7.4, 8.2, 8.5}

4.4.2 국가 및 하위-국가 정책

4.4.2.1 적응

전 지역과 지역사회에 걸쳐 공공 및 민간 부문의 적응 경험이 축적되고 있다 (높은 신뢰도). 지금까지의 적응 방안은(표 4.6 참조) 점진적 조정이나 부수적 이익에 초점을 두었으나, 이제는 유연성과 학습에 중점을 두고 있다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 대부분의 적응 평가는 영향, 취약성 및 적응 계획에 국한되어 있고, 이행 과정이나 실제 적응 활동의 효과를 평가하는 경우는 극히 드물다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {WGII SPM A-2, TSA-2}

정부는 적응의 계획 및 이행에서 핵심적인 역할을 한다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 제 4 차 평가보고서 이후, 국가 적응 전략 및 계획이 크게 개선되었다. 대표적으로 최빈국 국가적응행동계획(NAPAs), 국가적응계획(NAP) 그리고 경제협력개발기구(OECD) 국가의 국가 적응을 위한 전략 체계가 이에 해당된다. 중앙정부는 지자체 정부 및 하위 국가 정부의 적응 활동을 전반적으로 관리한다. 예를 들어, 취약 계층을 보호하고, 다양한 생계 수단을 마련해 주며, 정보를 제공하고, 정책 및 법적 체계를 마련함과 동시에, 필요한 재정을 지원한다. {WGII SPM C-1, 15.2}

적응 이행에 대한 지자체 정부와 민간 부문의 역할은 각 지역마다 다르지만, 그 중요성은 점차 높아지고 있다. 구체적으로 지자체 정부와 민간 부문의 역할은



지역사회, 주민 및 시민사회의 적응 능력을 확대시키고, 위험 정보를 관리하며, 자금을 조달하는 것이다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 제 4 차 평가보고서 이후, 선진국과 개발도상국의 도시뿐만 아니라 비 도시 지역에서도 적응 활동이 크게 증가하였다. 그러나 해당 지역의 취약성과 기후변화의 잠재적 영향에 관한 정보 또는 데이터가 충분하지 않기 때문에, 실무자는(지자체의회, 설계자)는 적응을 이행하는데 어려움이 있다. 지역 사회의 의사결정에서 적응을 우선적으로 고려하기 위해서는 단계적 노력이 필요하지만, 실제로 이행되지는 못하고 있는 상황이다. 이를 고려하여 많은 학자들은 국가 중앙 정부 및 하위-국가 기관 간 연계의 중요성과 지역적 적응을 위한 공공 부문, 시민 및 민간 부문 간 협력의 필요성을 강조하고 있다. {WGII SPM A-2, SPM C-1, 14.2, 15.2}

적응의 수준을 계획 단계에서 실행 단계로 진화시키기 위해서는 적응을 계획과 의사 결정에 통합시키는 적응 거버넌스의 제도적 측면이 중요하다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 적응의 계획 및 실행 단계에서 나타나는 가장 대표적인 제도적 제약 또는 장려 요인은 다음과 같다. 1) 다양한 정치적 그리고 행정적 수준에서의 다각적인 제도적 협력, 2) 기후 적응을 주도하고, 주류화시키며, 나아가 지속화시키는 주요 참여자, 지지자 및 지도자, 3) 하나의 행정적 수준에서의 주요 부문 참여자 및 정책 간의 수평적 상호 교류, 4) 적응의 계획 및 이행의 정치적 수준, 5) 효율적인 적응 실행을 위해 적응 관련 행동을 지원하는 정부 부처, 행정 기관, 민간 부문 및 이해당사자들 간 협력. {WGI115.2,15.5,16.3, 박스 15-1}

기존의 혹은 새로운 경제적 수단을 바탕으로, 기후변화 영향을 더욱 정확하게 예측 및 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 적응 행동을 효율적으로 추진할 수 있다 (중간 신뢰도). 경제적 수단으로는 공공-민간 부문의 제휴, 대출, 환경서비스에 대한 요금 부과, 자원 이용 가격 상승, 과태료 및 보조금 부과, 경제적 규범 및 규제 마련 및 위험재정기법(위험 분산 및 이동) 등이 있다. 공공-민간 부문에서 사용되는 위험재정기법은 보험과 함께 기후변화에 대한 적응력을 높일 수 있다. 여기서 설계 부분이 중요한데, 불완전하게 설계될 경우 위험재정기법 역시 경제적 유인책으로서 제 역할을 하지 못하고, 시장 실패를 야기하여 형평성을 해칠 수 있기 때문이다. 정부 기관은 규제 및 자금 제공 역할을 하며, 최종 조력자로서 보증 역할을 맡기도 한다. {WGII SPM C-1}

4.4.2.2 완화

제 4 차 평가보고서 이후, 국가 수준 및 하위-국가

수준에서 완화 계획과 전략이 크게 늘어났다. 2012 년에, 전세계 온실가스 배출량의 67%는 국가 차원의 규제 또는 전략의 대상이었다⁴². 이는 2007 년의 45%에 비해 크게 늘어난 수준이다. 그러나 지금까지의 온실가스 배출량 추세를 볼 때, 현저한 감축이 이루어진 것은 아니다. 대다수 국가의 완화 계획 및 전략은 초기 개발과 이행 단계에 머물러 있는 상황이며, 향후 전세계 온실가스 배출에 어떠한 영향을 미칠지 파악하기는 어렵다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {WGIII SPM.5.1}

제 4 차 평가보고서 이후, 다수의 목적을 통합적으로 달성하고, 부수적 이익을 증대하며 부정적인 역효과를 줄이는 정책에 초점이 맞춰져 오고 있다 (높은 신뢰도). 정부는 기후 정책이나 부문별 계획 및 전략에서 부수적 이익을 명시적으로 포함시키고 있다. {WGIII SPM.5.1}

각 부문별 완화 정책은 경제 전반을 대상으로 한 완화 정책보다 좀 더 광범위하게 이용되어 왔다 (표 4.7) (중간 증거, 높은 동의 수준). 대부분의 경제 이론들은 경제 전반에 적용되는 완화 정책이 각 부문별로 적용되는 완화 정책보다 훨씬 비용 효과적이라고 밝히고 있지만, 행정 및 정치적 한계로 인해 경제 전반에 대한 완화 정책이 각 부문별 완화 정책보다 정책을 설계하고 이행하기가 더욱 어렵다. 각 부문별로 이뤄지는 완화 정책은 각 부문의 고유한 문제점과 시장 실패 문제를 극복하는데 적합하며, 하위 정책들과의 보완을 통해 더욱 효과적으로 이행될 수 있다. {WGIII SPM.5.1}

일반적으로 배출권 거래제와 탄소세 등의 탄소 가격제는 비용효과적인 완화 방안이지만 각국의 상황과 정책 설계상의 차이로 인해 다양한 탄소 가격제도의 효과가 각기 다르게 나타나고 있다. 탄소배출권 거래제의 경우, 초과 할당과 과도한 무상 할당과 같은 거래제 운영 과정상의 문제로 인해, 거래제 도입에 따라 단기적으로 나타날 것으로 예상했던 효과는 기대에 미치지 못하였다 (제한된 증거, 중간 동의 수준). 일부 국가에서 탄소세는 기타 기술 및 정책과 함께 온실가스 저감을 위해 도입되었으며, 온실가스 배출과 국내총생산(GDP) 간 존재하는 양의 상관관계를 약화하는 데 도움이 되었다 (높은 신뢰도). 또한 많은 국가에서 연료세가 완화의 목적으로 마련된 제도가 아님에도 불구하고, 탄소세와 유사한 효과를 가져왔다 (명확한 증거, 중간 동의 수준). 일부 국가에서 탄소세 또는 배출권 경매를 통해 발생한 수입은 기타 부문의 조세 부담을 경감시키거나 저소득층을 지원하는 데 사용되었다. 이는 다시 말해서, 정부의 조세 수입을 올리는 완화정책이 그렇지 않은 정책보다 사회적 비용이 낮다는 것을 의미한다 {WGIII SPM.5.1}

보조금 형태의 경제적 지원은 모든 부문에 적용될 수 있으며 세금 환급, 세금 감면, 기부금, 융자 및 신용대출 등 다양한 정책적 설계를 통해 마련할 수 있다. 여러 동기부여 요인을 바탕으로, 보조금 등 재생가능에너지 정책의 종류 및 수가 증가하고 있으며, 이는 최근 재생가능에너지 기술 분야가 급격히 성장할 수 있도록 이끌었다. 여기서 정부 정책은 재생가능에너지 기술을 보급하는 데 중요한 역할을 한다. 이와 같이 재생가능에너지 정책을 장려하는 주요 동인은 대부분의 개발도상국의 경우 에너지 접근성, 사회적 및 경제적 발전인 반면 선진국의 경우 에너지 공급 안보와 환경 문제이다. 1 차적으로 재생가능에너지 정책은 해당 에너지를 사용한 전기 공급에 중점을 두지만, 난방과 냉방 그리고 운송 수단까지 그 범위가 확대되고 있다. {SRREN SPM.7}

사회 및 경제적 상황에 따라, 다양한 부문에서 온실가스 관련 활동을 위한 보조금을 줄이는 것은 배출량 저감 목표를 달성하는 데 도움이 될 수 있다 (높은 신뢰도). 비록 보조금이 온실가스 배출량에 영향을 미치는 부문은 많이 있으나, 최근의 연구들은 이들 다수 부문들 중에서도 특히 화석 연료 부문에 대한 보조금과 온실가스 배출량의 상관관계를 중점적으로 다루고 있다. 제 4 차 평가보고서 이후, 비록 소수이긴 하나 경제 전반에 적용되는 모델을 사용하여 보조금 축소가 온실가스 배출에 어떠한 영향을 미치는지를 다루는 연구가 점점 증가하고 있다. 연구 결과에 따르면, 모든 국가에서 화석 연료 보조금을 전면 폐지할 경우 21 세기 중반까지 전세계 총 배출량이 감소할 것으로 나타났다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 단, 연구에서 사용된 방법론, 보조금의 형태 및 정의 그리고 보조금의 폐지 시기는 상이하다. 이러한 연구는 어떠한 보조금이 불필요한지 그리고 어떠한 보증금의 효율성이 낮은지를 선별하지 않고 각 국가의 상황만을 고려한 채 모든 보조금의 전면 폐지에 따른 영향 만을 평가하였다. {WGIII SPM.5.1}

표준 및 인증 제도는 폭넓게 사용되고 있으며, 환경적인 측면에서 효과적이다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 표준 제도의 예로는 에너지효율기준(EES)이 있으며 인증 제도의 예로는 환경마크제도가 있다. 환경마크제도는 소비자에게 해당 상품의 환경 관련 정보를 보다 잘 전달하기 위해 마련된 것이다. {WGIII SPM.5.1}

완화 정책은 화석연료의 자산 가치를 하락시키며, 완화정책을 실행할 경우 화석연료 수출업자의 소득은 낮아지지만, 그 정도는 지역 및 연료 유형에 따라 달라진다 (높은 신뢰도). 대부분의 완화 시나리오에서는 주요 석탄 및 석유 수출업자의 소득이 감소하는 것으로

나타났지만, 천연가스 수출 수입에 대한 완화 정책의 영향은 불확실한 편이다. 완화 정책은 화석연료 자산의 가치를 하락시키지만, 그 정도는 이산화탄소 포집 및 저장 기술 (CCS)을 얼마나 사용할 수 있는지에 따라 달라진다 (중간 신뢰도). {WGIII SPM.5.1}

서로 다른 완화 정책들은 상호 작용하여, 시너지 효과를 가져올 수도 있지만, 반대로 기타 완화정책이 추가적인 배출 감축 효과를 내지 못하는 상황을 초래할 수도 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 예를 들어, 탄소세는 재생에너지 공급을 위한 보조금 등의 정책을 보완함으로써 추가적인 환경 효과를 유도할 수 있다. 반대로 배출총량제 및 배출권 거래제가 배출 관련 의사결정에 영향을 미칠 정도로 강력한 총량 제재 효과를 가져올 경우, 기타 완화 정책들은 온실가스 저감에 추가적인 영향을 미치지 못할 것이며, 이는 이들 정책이 좀 더 엄격한 미래 목표 달성에 소요되는 비용, 나아가 이행 가능성에 영향을 미칠 수 있다 하더라도 그러하다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 그러나 어떠한 경우든 혁신 및 기술 확산 관련 시장 실패를 해결하기 위해서는 추가적인 정책을 통한 보완이 필요하다. {WGIII SPM.5.1}

국가 수준에서 기후 정책이 존재하느냐의 여부를 막론하고 하위-국가 수준의 기후 정책은 점차 보편적으로 시행되고 있는 추세이다. 하위-국가 수준의 기후정책에는 시장, 규제 및 정보 도구 등을 통합한 주 단위 및 도 단위의 기후 계획과 하위-국가 수준의 탄소거래제도 등이 있다. 또한 국가 간 협력은 하위-국가 수준의 기후 관련 활동을 바탕으로 형성되며, 특히 기관 투자자, 탄소 상쇄 시장을 통제하고자 하는 NGO 그리고 저탄소 도시 개발의 실현을 지향하는 도시 연대 사이에서 두드러지게 나타난다. {WGII113.5.2, 15.2.4, 15.8}

완화의 부수적 이익과 부정적 역효과는 인류 건강, 식량 안보, 생물다양성, 지역 환경, 에너지 접근성, 생태계 영향, 생계 및 지속 가능한 발전의 균등성 등 기타 목표들의 달성에 영향을 미친다: {WGIII SPM.2}

- 2100년까지 대기 중 온실가스 농도가 CO₂ 환산 450 또는 500 ppm으로 유지되는 완화 시나리오의 경우, 대기질 향상과 에너지 안보를 달성하는데 드는 비용이 감소할 뿐만 아니라 인류 건강, 생태계 영향 그리고 자원 충족 및 에너지 시스템 회복과 관련하여 상당한 부수적 이익이 발생한다. {WGIII SPM 4.1}
- 일부 완화 정책은 에너지 서비스 비용을 증가시키기도 하며, 나아가 지역 주민에 대한 에너지



서비스를 공급 및 확대하려는 지역 사회의 역량을 저하시킨다 (낮은 신뢰도). 이러한 부정적인 역효과는 소득세 환급 또는 이익 분배와 같은 보조 정책을 통해 피할 수 있다 (중간 신뢰도). 전 세계의 거의 모든 지역에서 조리 및 난방에 필요한 전력과 친환경 연료를 이용할 수 있기 위해서는 2030년까지 연간 720억~950억달러의 비용이 들 것으로 예상된다. 비록 이와 같은 노력이 온실가스 배출에 미치는 영향은 미미할 것으로 보이지만(제한된 증거, 중간 동의 수준), 인류 보건 측면에서는 긍정적인 효과가 나타날 것이며 나아가 대기 오염을 감소시킬 것이다 (높은 신뢰도). {WGIII SPM.5.1}

부정적 역효과가 실제로 나타날 것인지, 혹은 그 범위가 어느 정도일지는 각 사례 및 지역에 따라 다르며, 지역의 상황, 완화 정책의 적용 규모, 범위 및 속도에 따라 다르다. 완화정책의 부수적 이익과 부정적 역효과가 명확하게 정량화된 사례는 아직까지 없다. {SPM. 4.1}

4.4.3 기술 개발 및 이전

국제부터 하위 국가 수준까지 모든 수준에 걸쳐 기술 정책(개발, 보급 그리고 이전)은 기타 완화 정책들을 보완하지만, 전 세계적으로 온실가스 완화 연구에 대한 투자는 전반적인 공공 연구에 대한 것과 비교하여 적다 (높은 신뢰도). 기술 정책에는 공급 측면의 '기술개발 촉진(technology push, 예: 공공지원 R&D)정책'과 수요 측면의 '기술 수요 창출(demand pull, 예: 정부조달제도)정책'이 포함되며, 이러한 기술 정책을 통해 기술 관련 시장 실패 문제를 해결할 수 있다. 예를 들어 특허권과 같은 기술 보호 정책이 부재할 경우, 신기술 개발 및 R&D 사업은 공공재적 성격을 띄게 되어 시장의 힘에만 의존할 수 밖에 없고, 결과적으로 그 파급력이 적어지는 경향을 띄게 된다. 따라서, 기술 지원 정책들을 통해 신기술의 개발과 보급을 크게 촉진시킬 수 있었지만 비용적인 측면에서 이들 정책의 효율성을 평가하는 것은 어렵다. 특히 장기적인 관점에서 기술 정책을 통해 국제적인 협력 노력에 참여하고 관련 행동을 준수할 수 있도록 유도할 수 있다. {WGIII SPM.5.1, 2.6.5, 3.11, 13.9, 13.12, 15.6.5}

적응 노력에서 기술 개발, 보급 및 적용은 핵심적인 역할을 하지만, 이러한 기술을 효과적으로 사용하기 위해서는 제도, 규제, 사회 및 문화적 상황이 적절히 뒷받침되어야 한다 (높은 신뢰도). 적응 관련 기술은

이제 본격적으로 개발되기 시작하였고, 일부 지역에서는 이미 적용되고 있다. 그러나 성공적인 기술이전(technology transfer: 한 지역 혹은 국가에서 축적된 기술이 다른 지역 혹은 국가로 이전되는 것)을 위해서는 충분한 재정 및 정보가 필요할 뿐만 아니라, 기술 이전을 장려할 수 있는 정책 및 제도적 환경이 만들어져야 하며, 각 지역은 해당 지역의 환경에 적합한 기술을 선택, 적용, 개선시키는 능력을 갖추어야 한다. {WGII 15.4}

4.4.4 투자 및 재정

온실가스 배출량을 대규모로 저감하기 위해서는 투자 형태에서 근본적인 변화가 필요하다 (높은 신뢰도). 2100년까지 대기 중 온실가스 농도가 CO₂ 환산 약 430-530 ppm 수준⁴⁵으로 안정화되는 완화 시나리오의 경우, 향후 20년(2010-2029) 동안 베이스라인 시나리오 대비 연간 투자액의 상당한 변화가 필요하다. 2010-2020년에는 전력 공급 부문 내 화석 연료 기술에 대한 연간 투자액이 약 300억달러(20-1,660)(중양값: 2010년대비 -20%) 감소할 것이다. 반면 저탄소 전력 공급(재생가능에너지, 원자력, CCS를 이용한 전기 생산)에 대한 연간 투자액은 약 1,470억달러(310-3,600)(중양값: 2010년대비 +100%) 증가할 것이다 (제한된 증거, 중간 동의 수준). 또한, 운송, 산업 및 건물 부문의 에너지 효율성에 관한 연간 투자액은 약 3,360억달러(10-6,410) 증가할 것으로 예상된다. 현재 전세계적으로 연간 약 1조 2,000억 미국달러가 에너지 부문에 투자되고 있다. 이 투자액은 전력 및 열 에너지 공급과 상향식(upstream) 및 하향식(downstream) 에너지 서비스 만을 고려한 추정치인데, 여기서 상향식(upstream) 서비스란 에너지원의 발견 및 개발 관련 서비스를 의미하며, 하향식(downstream) 서비스란 에너지 시설과 네트워크의 설계, 건설 및 유지보수를 위한 서비스이다. 에너지 효율성 및 특정 부문에 대한 투자는 고려하지 않았다 (그림 4.4). {WGIII SPM.5.1, 16.2}

현재, 기후 재정의 구성요인에 대해서 보편적으로 받아들여지는 하나의 정의는 없으나, 기후변화 완화 및 적응과 연계된 재정 흐름을 추정하는 것은 가능하다. 기후재정에 관한 전반적인 내용은 그림 4.5를 참조한다. 최근 전 세계적으로 연간 3,430-3,850억 달러에 달하는 기후재정이 순 온실가스 배출량 감축 및/또는 기후 및 기후변동성에 대한 회복력 강화에 이용되고 있다 (중간 신뢰도). 이와, 2011년과 2012년 개발도상국에 지원되었던 공공 기후 재정은 연간

⁴⁴ = 이 범위는 약 CO₂ 환산 430-480 ppm 수준에 머무르는 상태(지구 기온 상승이 산업화 이전 대비 2°C 상회할 것을 제한하는 가능성이 높은 상태)와 약 CO₂ 환산 480-530 ppm 수준에 머무르는 상태(과도한 정책 없이: 지구 기온 상승이 산업화 이전 대비 2°C 상회할 것을 제한하지 않을 가능성보다 제한할 가능성이 높은 상태)를 모두 포함.

350 억~490 억 달러였다 (중간 신뢰도). 2008 년부터 2011 년까지 개발도상국에 지원되었던 민간 기후 재정은 연간 100-720 억 달러였으며, 이중 100 억~370 억 달러는 외국인직접투자 형태의 주식 및 채권으로 투자되었다 (중간 신뢰도). {WGIII SPM.5.1}

많은 국가에서 민간 부문은 온실가스를 배출하기도 하지만, 기후변화의 완화와 적응에 핵심적인 역할을 한다. 투자 환경이 적절히 마련될 경우, 민간 부문은 공공 부문과 함께 적응 및 완화 재정을 마련하는데 중요한 역할을 한다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 자료의 한계가 있지만, 2012 년 민간 부문의 완화 재정은 전세계 완화 재정의 2/3-3/4 사이를 차지하는 것으로 나타났다 (제한된 증거, 중간 동의 수준). 많은 국가의 경우, 정부와 국제개발은행이 출원한 공공 재정은 민간 부문의 투자를 장려하고, 나아가 민간 부문의 투자가 충분하지 않은 지역에서 이용된다. 투자 환경이 적절히 조성되기 위해서는, 효과적인 제도, 민간 부문의 규범 및 기준 설정, 재산권 보장, 정책의 신뢰성 확보 그리고 신기술 개발과 기반시설 마련에 민간 기업이 투자할 수 있도록 유도하는 것이 우선 선행되어야 한다. 신용 보험, 발전차액지원제도(FIT), 양허성 자금 또는 환급과 같이 정책 수단과 재정 수단이 융합된 제도는 민간 기업의 위험조정수익률을 높여 기업이 수익을 창출할 수 있도록 도우며, 이로써 민간 기업은 기후변화 완화에 대한 투자 규모를 넓히게 되는 것이다. 공공-민간 부문의 위험관리 계획(예: 보험 측면)과 경제적 다원화는 적응 활동의 대표적인 예이며, 민간 부문의 참여를 이끌고 확대시킨다. {WGII SPM B-2, SPM C-1, WGIII SPM.5.1}

선진국과 개발도상국 모두에서 적응에 대한 자원 가용성은 완화 부문보다 상대적으로 둔하게 발생하고 있다 (중간 신뢰도). 재난 위험 관리에 투자하는 국제 재정과 기후변화 적응 간에는 잠재적인 시너지가 존재하지만 아직 완전하게 파악된 것은 아니다 (높은 신뢰도). 따라서, 범지구적인 적응에 대한 비용, 자금 및 투자를 보다 정확하게 측정하는 것이 필요하다. 적응 비용을 측정하는데 있어 데이터, 측정법 및 측정 범위 측면의 한계가 존재한다 (높은 신뢰도). {WGII SPM C-1, 14.2, SREX SPM}

4.5 트레이드오프, 시너지 및 통합 대응

완화, 적응 및 기타 사회적 목표를 연계하여 통합적인 방식으로 대응할 수 있는 기회가 다수 존재한다 (높은 신뢰도). 통합 접근법을 성공적으로 적용하기 위해서는 관련 정책/제도와 거버넌스 체계를 마련해야 하며 충분한 대응 역량을 갖추는 것이 중요하다 (중간 신뢰도).

적응과 완화, 부수적 이익 및 부정적 역효과 간 밀접한 연결관계가 있다는 것과 기후정책에서 지속 가능한 발전이 가장 중요한 개념이라고 제시하는 관련 증거 및 연구가 증가하고 있다. 지속 가능한 발전의 맥락에서 기후 정책을 성공적으로 이행하기 위해서는 이러한 연결관계를 파악할 수 있는 도구를 개발하는 것이 중요하다. (4.4 절, 3.5 절 참조) 본 절에서는 주요 정책 부문 내의 통합적 대응 및 정책을 장려하거나 제약하는 요인을 구체적인 예와 함께 설명하고자 한다.

기후변화 완화 및 적응에 대한 노력이 증대될 수록 인류 건강, 수자원, 에너지, 토지 이용 및 생물다양성 간의 관계를 아울러 여러 부문 간 상호작용의 복잡성 또한 높아진다 (매우 높은 신뢰도). 인류 건강, 식량 안보, 생물다양성, 환경의 질, 에너지 접근성, 생계 및 균형 잡힌 지속 가능한 발전 등의 기타 사회적 목표를 달성하는 데 완화 관련 행동이 도움이 될 수도 있지만, 반대로 부정적인 영향을 미치기도 한다. 적응은 완화에 혹은 완화가 적응에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 비슷한 맥락에서, 적응은 기타 사회적 목표와 상충되기도 하고, 목표 달성에 도움이 되기도 한다. {WGII SPM C-1, SPM C-2, 8.4, 9.3-9.4, 11.9, 박스 CC-WE, WGIII 표 TS.3, 표 TS.4, 표 TS.5, 표 TS.6, 표 TS.7}

적응과 완화를 정책 설계 및 의사 결정에 통합시킴으로써 지속 가능한 발전과의 시너지 효과를 기대할 수 있다 (높은 신뢰도). 적응 정책과 완화 정책 및 기타 사회적 목표를 위한 정책 간에 발생하는 시너지 및 트레이드오프 효과를 정량적으로 환산할 수는 없지만, 그 정도와 규모가 매우 크다는 사실은 분명하다 (3.5 절 참조). 이러한 트레이드오프 및 시너지를 효과적으로 관리하기 위해서는 정책 결정 과정에서 적응, 완화 및 기타 사회적 목표를 동시에 고려하는 통합적 접근이 필요하다. 또한 통합적 접근을 통해 적응 및 완화에 대한 정책적 지원을 장려할 수 있다. {WGII SPM C-1, SPM C-2, 20.3, WGII 11.2.1, 3.6.3, 4.3, 4.6, 4.8, 6.6.1}

통합 대응의 효율성을 높이기 위해서는 적절한 도구 및 거버넌스 체계와 충분한 역량을 갖추는 것이 중요하다 (중간 신뢰도). 기후 관련 정책 간의 트레이드오프 및 시너지 효과를 관리하는 것은 어려운 과제이지만, 정책들 간 상호 관계를 파악하고 지자체 및 지역 수준의 정책 결정을 뒷받침하는 데 있어 매우 중요한 도구이다. 또한 적절한 제도를 바탕으로 모든 수준 및 부문에 걸쳐 협력을 이끌어 내는 거버넌스 또한 통합 대응에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 적절한 도구 및 거버넌스 체계를 개발하고 실행하기 위해서는 통합 대응의 계획과 적용을 위한 사회 및 제도적 역량을



제고하는 것이 중요하다 {WGII SPM C-1, SPM C-2, 2.2.2, 2.4, 15.4, 15.5, 16.3, 표 14-1, 표 16-1, WGIII TS.1, TS.3, 15.2}

에너지를 계획하고 실행할 때에 통합적 접근을 바탕으로 부수적 이익의 잠재성과 부정적 역효과의 존재 여부를 평가함으로써, 기후, 사회 및 환경 목표의 다수에 걸친 상호 보완적 효과를 파악할 수 있다 (중간 신뢰도). 에너지 안보, 대기질, 인류 건강 및 에너지 접근성 등의 에너지 정책 목표들은 서로 강력한 영향을 상호 주고 받으며 (그림 3.5 참조) 여러 사회, 환경, 및 기후 완화 목표 간에도 또한 밀접한 상호 관계가 존재한다 (표 4.5 참조). 통합적 접근법을 평가하는 대표적인 방법으로는 비용편익분석, 비용효과성 분석, 다중범위분석 그리고 기대효용이론이 있다. 또한 통합적 접근을 위해서는 적절한 조정 기관이 필요하다. {WGIII 그림 SPM.6, TS. 1, TS.3}

기후회복경로 관련 의사결정의 효율성을 높이기 위해서는 수자원, 식량 및 에너지와 생물학적 탄소 격리 간 상호작용을 명확히 파악하는 것이 중요하다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 바이오 연료 기반 전력 생산 및 대규모 조림은 기후변화 완화 행동의 일환으로서 설계되는 것이지만 수자원의 사용을 필요로 하기 때문에, 식량 생산, 인류의 생계, 생태계 기능 및 서비스 유지 등 기타 수자원을 필요로 하는 부문과의 경쟁이 초래될 수 있다 (박스 3.4 참조). 역으로, 관개는 식량 및 섬유 생산 부문의 기후-복원력을 높이지만 기타 부문의 수자원 가용성을 감소시킬 수 있다. {WGII

박스 CC-WE, 박스 TS.9}

도시화에 대한 통합적 대응을 통해 회복력을 높이고, 온실가스 배출을 저감시키며 지속 가능한 발전을 이끄는 기회를 다수 기대할 수 있다 (중간 신뢰도). 도시는 전세계 1 차 에너지 소비 및 이산화탄소 배출량의 반 이상을 차지하고 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 또한 도시는 매우 높은 인구 밀도 및 경제 활동 빈도를 보이기 때문에, 기후변화 위험에 크게 노출되어 있다. 급격한 성장 및 도시화가 일어나고 있는 지역의 경우, 공간 계획 및 기반시설 효율성 제고를 바탕으로 한 완화 전략을 통해 기존의 고배출 형태에서 저배출 형태로 전환할 수 있다. 용도혼합지역의 마련, 대중운송 중심의 개발, 고밀화 및 주상복합(집과 일터 공존)지역의 설계 등을 통해 다양한 부문에서 직/간접적으로 에너지 사용을 저감시킬 수 있다. 또한, 효율적인 도시 개발 방법인 콤팩트개발과(compact development) 지능형 고밀화(intelligent densification)를 통해 토지 탄소 재고량을 유지하고 농업 및 바이오에너지용 토지를 보호할 수 있다. 도심 녹지화 및 수자원 재활용을 통해 에너지 수요량과 수자원 소비량이 감소된 사례는 완화 행동과 적응 편익이 함께 나타나는 것을 대표적으로 보여준다. 도시 기반시설이 기후변화에 적응할 수 있도록 설계함으로써, 연안 지역의 범람, 해수면 상승 및 기타 기후위험에 대한 거주지와 상업지역의 취약성을 감소시킬 수 있다. {WGII SPM B-2, SPM C-1, TS B-2, TS C-1, TS C-2, WGIII SPM.4.2.5, TS.3}

부속서

부속서 |

사용자 지침

사용자 지침

IPCC 보고서 편찬 과정 부분에서도 정의하였듯이, 본 종합보고서 (Synthesis Report (SYR)는 IPCC 평가보고서와 특별보고서의 내용들을 종합 및 통합한 것이다. 제 5 차 평가보고서 (AR5)의 SYR 은 주로 세 개의 실무그룹이 AR5 에 제출한 보고서들의 내용을 포함하며, 필요에 따라 기타 IPCC 보고서의 정보들 또한 참조하였다. SYR 은 광범위한 주제를 다루는 IPCC 실무그룹 평가보고서의 내용을 반영하나, 과학 문헌의 원본 자체를 그대로 차용하거나 평가하지는 않았다.

SYR 은 실무그룹이 제출한 보고서들을 기반으로 하여 작성한 것이지만, 광범위한 내용을 함축적으로 요약한 하나의 독립적인 보고서라 할 수 있다. 본 보고서를 사용하고자 하는 이들은 다음과 같은 방식으로 특정 수준의 관련 세부 내용을 참조할 수 있다: 본 보고서는 정책결정자를 위한 요약보고서(SPM)를 포함하며, SPM 에서는 기후변화의 과학적, 기술적 및 사회 경제적 측면들에서 현재까지 밝혀진 정보를 가장 함축적으로 요약한다. SPM 의 괄호 안에 제시된 모든 참조문헌들은 본문 내 관련 내용을 포함하고 있는 절이 무엇인지를 의미한다. 본문은 서론(Introduction)과 네 가지 주제(Topic)으로 구성된다. SPM 내 절의 번호는 본문 내 절의 숫자와 대개 동일한 것이다. 각 문단의 끝에는 괄호 내 이탤릭체로 정보 출처를 밝혔다. 정보 출처는 정책결정자를 위한 요약보고서 (Summaries for Policymakers, SPM), 기술 요약보고서(Technical Summaries, TS), 장(Chapter)별 종합 요약보고서(executive summary, ES) 및 AR5 에 대한 실무그룹 보고서와 특별보고서의 장(장 및 절의 번호)이다. 2007 년의 IPCC 제 4 차 평가보고서 (AR4)를 참조한 경우 "AR4"라 추가적으로 명시하였다.

SYR 의 기반이 된 과학 문헌의 관련 세부 정보나 원본을 찾는 경우, SYR 의 본문 내 인용된 실무그룹 보고서의 장 및 절을 참고한다. 실무그룹 보고서 내 각 장에서 IPCC 평가의 기반이 된 과학 문서 원본의 출처를 찾을 수 있으며 지역 및 부문별로 자세한 정보를 구할 수 있다.

본 보고서에서 별도로 제공하는 용어집, 약어 목록, 저자 및 감수자 목록, IPCC 발행물 (부속서) 및 인덱스를 이용하면 본 보고서를 더욱 효과적으로 활용할 수 있을 것이다.

용어집

용어집 감수자

Katharine J. Mach (미국), Serge Planton (프랑스), Christoph von Stechow (독일)

용어집 작성에 도움을 준 분들

Myles R. Allen (영국), John Broome (영국), John A. Church (호주), Leon Clarke (미국), Piers Forster (영국), Pierre Friedlingstein (영국/벨기에), Jan Fuglestad (노르웨이), Gabriele Hegerl (영국/독일), Blanca Jimenez Cisneros (멕시코/UNESCO), Vladimir Kattsov (러시아), Howard Kunreuther (미국), Leo Meyer (네덜란드), Jan Minx (독일), Yacob Mulugetta (에티오피아), Karen O'Brien (노르웨이), Michael Oppenheimer (미국), Gian-Kasper Plattner (스위스), Andy Reisinger (뉴질랜드), Robert Scholes (남아프리카 공화국), Melinda Tignor (스위스/미국), Detlef van Vuuren (네덜란드)

TSU 도움

Noemie Leprince-Ringuet (프랑스)

이 부속서를 인용할 경우, 다음과 같이 출처를 밝혀주시기 바랍니다.

IPCC, 2014: Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117–130.

본 종합보고서의 주저자팀(Core Writing Team)은 본 보고서의 맥락에 맞게 해석 및 정의할 필요가 있다고 판단되는 일부 특정 용어를 대상으로 본 용어집을 작성하였다. 보고서 내 이탤릭체의 붉은색 단어들은 본 용어집에 정의되어 있는 것들이다. 본 용어집의 각 용어 끝에 이탤릭체로 표시된 제 1, 2 및 3 실무그룹 (WG)이 의미하는 것은 AR5 WG 용어집을 참조하였다는 것을 의미하며 다음과 같이 해석한다: WGI (IPCC, 2013a), WGII (IPCC, 2014a), 및 WGIII (IPCC, 2014b).

급격한 변화(Abrupt change)/급격한 기후변화(abrupt climate change)

급격한 변화는 한 시스템 내 특정 구성요소가 어떠한 영향을 받아 종전의 변화 속도보다 상당히 빠르게 변화하는 것을 의미한다. **기후변화(climate change)**가 수십 년에 걸쳐 일어나고 있으며, 또 다른 최소 수십 년간 영속되어(혹은 영속될 것으로 예상되고) 인간계 및 자연계에 막대한 타격을 가함으로써 붕괴를 초래하는 **기후 시스템(climate system)**에서의 대규모 변화(large-scale change)를 급격한 기후변화라 한다. {WGI, II, III}

적응 (Adaptation)

현재 혹은 예상되는 **기후(climate)** 및 그 영향에 적응하는 과정. 인간계에서 적응이란 이득이 되는 기회에 해를 가하는 것 혹은 위협하는 것을 조정 및 방지할 방법을 찾는 것이다. 일부 자연계의 경우, 인간의 개입이 예상되는 **기후(climate)** 및 그 영향에 대한 자연계의 적응을 촉진할 수 있을 것이다¹. {WGII, III}

적응 결여 (Adaptation deficit)

‘한 시스템의 현재 상태’와 ‘**기후(climate)** 조건 및 변동성으로 인해 발생한 부정적인 **영향(impact)**을 최소화한 상태’ 간 존재하는 ‘격차(gap)’ {WGII}

적응 한계 (Adaptation limit)

적응 행동을 취한다 할지라도 한 행위자의 목표(혹은 시스템이 필요로 하는 목표)가 감당하지 못할 정도의 **위험(risk)**으로부터 보호받지 못하는 시점. {WGII}

엄격한 적응 한계(Hard adaptation limit)

감당하지 못할 정도의 **위험(risk)**을 막는 적응 행동이 존재하지 않는다.

관대한 적응 한계(Soft adaptation limit)

감당하지 못할 정도의 **위험(risk)**을 막을 수 있는 적응 행동이 현재는 존재하지 않는다 (즉, 향후 발생할 수도 있다).

적응 능력 (Adaptive capacity)

시스템, 제도, 인간 및 기타 유기체가 잠재적인 피해를 조정하고 주어진 기회를 활용하며 결과적으로 초래되는 상황에 대응할 수 있는 능력². {WGII, III}

부정적 역효과(Adverse side effects)

하나의 목표를 위한 어떠한 정책 혹은 수단이 전체 사회의 복지에 가져오는 순 영향(net effect)과는 무관하게 기타 목표들에 미치는 부정적인 영향. 부정적 역효과는

불확실성(Uncertainty)을 띄는 경우가 많으며 기타 요인들 중에서도 특히 지역적 상황 및 이행 관례(implementation practice)에 따라 달라진다. **부수적 이익(Co-benefits)** 및 **위험(risk)**을 참고한다. {WGIII}

신규조림(Afforestation)

과거 **산림(Forest)**이 없었던 토지에 새로운 **산림(Forest)**을 조성(planting)하는 것. 신규조림, **재조림(Reforestation)** 및 **산림전용(Deforestation)** 등과 같은 산림 관련 용어는 <토지 이용, 토지 이용 변화 및 산림(Land Use, Land-Use Change, and Forestry)>에 관한 IPCC 특별 보고서를 참고한다 (IPCC, 2000b). UN 기후변화협약이 제공하는 정보(UNFCCC, 2013) 및 <인간이 직접적으로 유도한 산림황폐화 및 기타 식생유형의 식생파괴로 인해 발생하는 인벤토리 배출에 대한 정의 및 방법론적 옵션에 관한 보고서(Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types)(IPCC, 2003)> 또한 참고한다. {WGI, III}

농업, 산림 및 기타 토지 이용(Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU 및 FOLU/ LULUCF)

AFOLU 는 **식량안보(Food security)** 및 **지속 가능한 발전(sustainable development)**에서 핵심적인 역할을 한다. 주요 AFOLU **완화(Mitigation)** 방안은 다음 중 하나 혹은 세 개 이상의 전략과 관련된다: 토양 및 식생의 기존 탄소 흡수원(carbon pool)를 보존하고 메탄 및 질소산화물의 배출을 저감시켜 대기 중 배출량을 감소시킴; **격리(sequestration)** - 기존의 탄소 흡수원 크기를 증가시키는 과정에서 대기 중의 이산화탄소(CO₂)를 추출해 저장함; 대체(substitution) - 화석연료 혹은 에너지 집약적 생산물을 생물학적 상품(biological product)으로 대체하여 이산화탄소 배출량을 감소시킴. 수요측면 대책 (예: 식량의 손실 및 낭비 저감, 인간 식이의 변화 혹은 목재 소비량의 변화) 또한 중요한 역할을 할 수 있다.

산림 및 기타 토지 이용(Forestry and Other Land Use, FOLU)은 AFOLU 의 하부단계로서 농업을 제외한 인위적인 **토지 이용(land Use), 토지 이용 변화(land-use change)** 및 산림 활동에 따른 직접적인 온실가스 흡수 및 배출을 다룬다. {WGIII}

알베도 (Albedo)

표면이나 물체에 반사되는 태양복사(solar radiation) 비율이며 %로 표현한다. 눈에 덮인 표면은 알베도가 높고, 토양 표면의 알베도는 높은 곳부터 낮은 곳까지 다양하다. 식생으로 덮인 표면과 해양의 알베도는 낮다. 행성으로서 지구의 알베도는 주로 구름의 양, 눈, 얼음, 나뭇잎, 토양피복의 변화에 따라 달라진다. {WGI, III}

고도측량 (Altimetry)

특정한 육상의 기준틀(reference frame)(지구중심 해수면) 내 지구 중심과 비교하여 지구 표면의 고도를 측정하는 기술. {WGI}

부수적 이득 (Ancillary benefits)

부수적 이익(Co-benefits)참고. {WGII, III}

¹ 과학이 발전하였기 때문에, 본 용어집에서 정의된 용어들의 범위 및 초점은 제 4 차 평가보고서 및 기타 IPCC 보고서 용어집들의 용어들과 다르다.
² 이 용어는 기존 IPCC 보고서들과 밀레니엄 생태계 평가(MEA, 2005)의 정의를 기반으로 한 것이다.

원인규명(Attribution)

탐지 및 원인규명 (Detection and attribution) 참고. {WG/, III}.

베이스라인/기준 (Baseline/reference)

베이스라인(혹은 기준)은 변화 측정의 기준이 되는 상태이다. 베이스라인 기간(period)은 변칙 계산의 기준이 되는 기간이다. 변형 경로(Transformation pathway)의 맥락에서, 베이스라인 시나리오라는 용어는 이미 추진 중이거나 추진되도록 법제화 및 계획된 완화(Mitigation) 정책 외에 아무 대책이 없을 것이라는 가정을 바탕으로 한 시나리오를 의미한다. 베이스라인 시나리오는 미래를 예측하고자 의도된 것이 아니라 비교를 위한 하나의 기준으로서, 추가적인 정책적 노력이 부재할 경우 나타날 수 있는 배출 수준을 조명하는 데 사용하는 것이라 할 수 있다. 일반적으로 베이스라인 시나리오는 다양한 온실가스 배출량 및 대기 중 농도 혹은 기온 변화에 대한 특정 목표를 만족시키는 완화 시나리오(Mitigation Scenario)와 비교된다. 베이스라인 시나리오라는 용어는 기준 시나리오 및 정책 부재 시나리오(no policy scenario)라는 용어와 상호 교환하여 쓰이기도 한다. 상당수의 문헌에서, 이 용어는 'business-as-usual (BAU) 시나리오'의 동의어로 쓰이기도 하지만 BAU 라는 개념만으로는 수백 년에 걸친 사회-경제적 전망(Projection)을 가능하게 하기 무리가 있기 때문에, BAU 는 잘 사용하지 않는다. 배출시나리오(Emission scenario), 대표농도경로 (Representative Concentration Pathways, RCP) 및 SRES 시나리오(SRES scenarios)를 참고한다. {WG/, III}

생물다양성(Biodiversity)

육상, 해양 및 기타 생태계(Ecosystem) 내 생명 유기체의 다양성(variability). 생물다양성에는 유전, 종 및 생태계(Ecosystem) 수준의 다양성이 포함된다³. {WG/II, III}

바이오에너지 및 탄소포집(Bioenergy and Carbon Dioxide Capture and Storage, BECCS)

이산화탄소 포집 및 저장(Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS) 기술부터 바이오에너지 전환 과정까지의 활용. 총 한계적 결과 영향(marginal cons-quential effect) (간접적 토지 이용변화(iLUC)에서부터 기타 과정까지)을 포함한 전체 라이프사이클(life-cycle)의 배출량에 따라 BECCS 는 대기 중의 순 이산화탄소(CO2) 제거 잠재성을 지닌다. 격리(sequestration) 참고. {WG/III}

책임 분담/ 노력 분담(Burden sharing/effort sharing)

완화(mitigation)의 맥락에서, 책임 분담이란 과거 혹은 미래에 예상되는 수준보다 온실가스(GHG) 배출원을 줄이거나 GHG 흡수원(sink)를 확대하는 노력을 의미한다. 책임 및 노력을 일부 기준에 따라 할당하거나 여러 국가에 걸쳐 비용을 나누는 방식으로 책임 및 노력을 분담한다. {WG/III}

칸쿰 협정(Cancun Agreements)

제 16 차 당사국 총회(Conference of the Parties, COP)가 UN 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)에 제출한 결정 사항들의 집합이며 다음과 같은 사항들을 포함한다: 새롭게 수립한 녹색기후기금(Green Climate Fund, GCF) 및 기술 메커니즘, 진일보한 적응(adaptation)에 대한 토론 과정, 완화(mitigation) 약속 보고를 위한 형식적 절차, 지구 평균 지표면 온도를 2°C 상승으로 제한하는 목표, 완화(mitigation) 노력에 대한 국제적 지원을 받는 국가들을 대상으로 한 측정, 보고 및 인증 (Measurement, Reporting and Verification, MRV)에 대한 협약. {WG/III}

칸쿰 서약(Cancun Pledges)

2010 년에 다수의 국가들이 온실가스배출 관리 계획을 기후변화 사무국(Climate Change Secretariat)에 제출하였고, 현재 UN 기후변화협약은 이 제안서들을 공식적으로 인정하고 있다. 선진국들은 대개 2020 년까지의 배출량 감축을 위한 범경제적 목표의 형태로 자국의 온실가스 배출 관리 계획을 제출하였고 개발도상국들은 행동계획의 형태로 배출 증가 제한 방법을 제안하였다. {WG/III}

탄소 순환(Carbon cycle)

탄소의 흐름(대기, 해양, 육상 및 해양 생물권과 암권 (lithosphere)등 다양한 형태의 이산화탄소(CO2) 흐름)을 이르는 용어. 본 보고서에서 지구 탄소 순환의 기준 단위는 GtCO2 혹은 GtC 이다(탄소 1 기가톤(gigatonne) = 1 GtC = 탄소 10¹⁵ 그램(gram): 약 3.667 GtCO2 에 해당). {WG/, II, III}

이산화탄소 포집 및 저장(Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS)

산업 및 에너지 관련 배출원에서 나온 상대적으로 순수한 이산화탄소의 줄기(stream)를 대기 중에서 격리(포집), 처리, 농축 및 이동시켜 특정 위치에 장기적으로 저장하는 일련의 공정. 바이오에너지 및 탄소 포집(Bioenergy and Carbon Dioxide Capture and Storage, BECCS)과 격리(Sequestration) 참고. {WG/III}

이산화탄소 제거 (Carbon Dioxide Removal, CDR)

이산화탄소 제거 방법이란 대기 중의이산화탄소를 집적 제거하는 기술의 집합을 의미한다. 해당 방법으로는 (1)자연 탄소 흡수원(sink)를 확대하거나 (2)대기 중 이산화탄소 농도를 감소시키고자 화학공학적인 방법으로 이산화탄소를 제거하는 것이 있다. 이산화탄소 제거 방법은 철(iron) 시비, 대규모 조림 및 공학 화학적 방법을 통한 대기 중 이산화탄소 직접 포집 등 해양, 토지 및 기술적 시스템과 관련된다. CDR 방법 중 일부는 지구공학(Geoengineering) 범주에 포함되지만, 특정 CDR 사업의 규모, 범위 및 영향을 고려했을 때 기타 지구공학 범주의 기술들과 확연한 차이가 있다. 최근의 관련 정의에 따르면 CDR 과 완화(mitigation) 간 경계는 뚜렷하지 않을 수 있고 일부 중복되는 부분이 있을 수도 있다(IPCC, 2012b, p.2). 태양복사관리(Solar Radiation Management, SRM)를 참고한다. {WG/, III}

탄소가격(Carbon price)

방출된 혹은 방출이 방지된 이산화탄소 혹은 CO2 환산 (CO2-equivalent)에 대한 가격. 가격은 탄소세 (carbon tax)의 비율 혹은 배출(emission) 허용 가격 permits price)을 일컬을 수 있다. 완화(mitigation)의 경제적 비용을 평가하는데 사용하는 다수의 모델에서, 완화 정책에서 이루어지는 노력의 정도를 나타내는 하나의 측정 대용(proxy)으로 탄소 가격이 쓰인다. {WG/III}

탄소세(Carbon tax)

화학연료 내 탄소 함유량에 따라 부과하는 추가적인 세금 부담금. 화학연료에 포함된 모든 탄소는 사실상 이산화탄소로 최종 방출되기 때문에, 탄소세는 이산화탄소 배출에 대한 배출세(emission tax)와 같다. {WG/III}

기후(Climate)

기후는 좁은 의미에서 평균 기상이며, 엄밀히 말해 수개월부터 수천 혹은 수백만 년의 시간 범위에 걸쳐 관련 수량(relevant quantities)의 평균 혹은 변동성을 통계적으로 표현한 것으로 정의한다. 세계기상기구가 정한 이 변수들의 평균 산출기간은

³ 이 용어는 지구 생물다양성 평가(Heywood, 1995) 및 밀레니엄 생태계 평가(MEA, 2005)에서 사용한 정의를 기반으로 한 것이다.

30 년이다. 관련 수량이라는 것은 대개 온도, 강수 및 바람 등과 같은 지표변수들이다. 넓은 의미에서 기후는 통계적으로 표현한 **기후 시스템(climate system)**의 상태를 말한다. {WG1, II, III}

기후변화(Climate change)

기후상태의 변화가 **기후(climate)**특성의 평균이나 변동성의 변화를 통해 확인되고(예: 통계분석을 통해) 보통 수십 년 이상 장기간 지속되는 것을 말한다. 기후변화는 자연적 내부 과정 혹은 **외부 강제력(external forcing)**으로 인해 일어나거나 대기 조성이나 **토지 이용(land use)**에서 인위적 변화가 지속되어 일어날 수도 있다. UN 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC) 제 1 조는 기후변화를 “대기 조성을 변경시키는 인간 활동에 직,간접적인 원인이 있고, 그에 더해 상당한 기간 동안 관측된 자연적 **기후 변동(climate variability)** 예도 원인이 있는 기후 변화”로 정의한다. 따라서 UNFCCC 는 대기 조성을 변경시키는 인간 활동에 원인이 있는 기후변화와 자연적 원인에 의한 **기후 변동(climate variability)**을 구분한다. 기후 변동성; **탐지 및 원인규명(detection and Attribution)** 참고. {WG1, II, III}

기후 극한 (Climate extreme) (극한 기상 혹은 기후 현상 (extreme weather or climate event))

극단적 기상현상(Extreme weather event) 참고. {WG1, II}

기후되먹임(Climate feedback)

하나의 **기후(climate)** 수량에서의 동요가 2 차 과정에 변화를 일으키고 그 2 차 과정에서의 변화가 궁극적으로 초기 과정에 다시 영향을 주는 식의 기후 시스템 과정들 간 상호작용. 음의 되먹임은 애초 동요가 그 것이 일으킨 변화에 의해 약화되는 경우이고; 양의 되먹임은 애초의 동요가 더욱 강해지는 경우이다. 제 5 차 평가보고서에서는 좀 더 좁은 의미에서, 동요가 일어난 기후 시스템 과정을 지구 평균 지표면 온도로 보며 이는 다시 지구 복사 수지(radiation budget)에 변화를 일으키는 것으로 종종 정의한다. 어떤 경우에서든, 초기 동요는 외부의 강제력에 의한 것일 수도 있고, **내부 변동(internal variability)**의 일부로서 생겨난 것일 수도 있다. {WG1, II, III}

기후 재정(Climate finance)

기후재정에 대해 보편적으로 받아들이는 하나의 정의는 없다. 기후재정이라는 용어는 전 세계적으로 **기후변화(climate change)**를 해결하기 위해 투입하는 재정적 자원 및 개발도상국들이 **기후변화(climate change)** 관련 문제를 다룰 수 있도록 원조하는 재정적 흐름으로 이해할 수 있다. 관련 문헌들에서는 기후 재정 범주에 다양한 개념들을 포함하고 있는데, 그 중 가장 많이 등장하는 것에는 다음이 있다: {WGIII}

점진적 비용(Incremental costs)

점진적 투자 자본(incremental investment capital)의 비용 및 기준 사업과 비교하여, **완화(mitigation)** 혹은 **적응(adaptation)** 사업을 운영 및 유지하는 데 드는 비용의 변화. 점진적 비용은 두 사업의 순 현재가치(net present value)의 차이로 계산하여 구한다.

점진적 투자(Incremental investment)

기준 사업과 비교하여, **완화(mitigation)** 혹은 **적응(adaptation)** 사업을 실행하기 위해 초기 투자에 필요한 추가 자본(extra capital)

총 기후 재정(Total climate finance)

순 온실가스 배출량을 줄이고(혹은) **기후 변동(climate change)** 및 전망되는 **기후변화(climate change)**의 **영향(impact)**에 대한 **복원력(resilience)**을 높이는

방향으로 효과가 발생할 것이 예상되는 총 재정적 흐름. 총 기후 재정에는 민간 및 공공 기금, 국내 및 국제 흐름과 현재 **기후 변동(climate variability)** 및 미래 **기후변화(climate change)**에 대한 **완화(mitigation)** 및 **적응(adaptation)**에 대한 소비가 포함된다.

개발도상국으로의 총 기후재정 흐름 (Total climate finance flowing to developing countries)

선진국이 개발도상국에 투자하여 발생하는 기후재정의 총 금액. 이에는 민간 및 공공 기금이 포함된다.

개발도상국으로의 민간 기후재정 흐름(Private climate finance flowing to developing countries)

개발도상국의 **완화(mitigation)** 및 **적응(adaptation)** 활동을 위한 선진국 내 혹은 선진국 출신 민간 행위자의 재정 및 투자

개발도상국으로의 공공 기후재정 흐름(Public climate finance flowing to developing countries)

선진국 정부 및 양자 기관이나 다자 기관이 개발도상국의 **완화(mitigation)** 및 **적응(adaptation)** 활동을 지원하기 위해 제공하는 재정. 이렇게 제공되는 기금의 상당수는 양허성 차관(concessional loan) 및 증여(grant)이다.

기후모델(Climate model) (스펙트럼 혹은 계층(spectrum or hierarchy))

기후 시스템(climate system) 구성요소들의 물리적, 화학적, 생물학적 특성, 구성요소 간 상호작용 과정과 **되먹임(feedback)** 과정을 토대로 이미 알려진 특성의 전부나 일부를 고려하여 기후 시스템을 수치로 표시한 것. **기후 시스템(climate system)**는 복잡성을 달린 모델들을 통해 표현할 수 있다. 즉, 구성요소 혹은 복합적 구성요소에 대해 공간 차원의 개수, 물리적, 화학적, 생물학적 과정을 명확히 표현할 수 있는 정도나 경험적 모수화(parameterization)가 포함되는 수준 등과 같이 특성이 다른 다양한 계층적 모델이 있다. 대기-해양 대순환 모델(AOGCMs)은 현재 유효한 스펙트럼 내에서 최대한 반영할 수 있는 **기후 시스템(climate system)**을 표현한다. 화학과 생물학을 대략적으로 모델링하는 것을 포함해 좀 더 복잡한 모델 쪽으로 진화하는 중이다(WG I 의 8 장 참고). 기후모델은 **기후(climate)**를 연구하고 시뮬레이션 하기 위한 연구도구로서 사용되고, 월, 계절 및 연내 기후예측을 비롯한 운영 목적에 사용된다. {WG1, II, III}

기후전망(Climate projection)

기후전망은 대개 **기후모델(climate model)**을 통한 시뮬레이션을 바탕으로 온실가스 및 에어로졸의 미래 배출 혹은 농도 시나리오에 대한 **기후 시스템(climate system)**의 반응을 모의한 것이다. 기후전망은 사용된 배출/농도/복사 강제 시나리오에 따라 좌우된다는 점에서 기후 예측(climate prediction)과는 다르다. 이 시나리오들은 실현될 수도 있고 실현되지 않을 수도 있는 미래의 사회경제적 및 기술 발달 등에 관한 가정들을 기반으로 한다. {WG1, II, III}

기후-복원경로(Climate-resilient pathways)

기후변화(climate change) 관련 붕괴는 줄이는 반면 기회는 늘리고자 복잡성을 띄는 시스템 내 일어나는 변화를 관리하기 위한 반복적 과정. {WGII}

기후 반응(Climate response)

기후 민감도(climate sensitivity) 참고. {WG1}

기후 민감도(Climate sensitivity)

IPCC 보고서에서 말하는 평형 기후 민감도(=equilibrium climate sensitivity)(단위: °C) 는 대기 중 **이산화탄소 상당 농도(=equivalent carbon dioxide concentration)**가 2 배가 된 후 평형 상태(안정적 상태)에서 지구 표면온도에 나타나는

연평균 변화를 말한다. 컴퓨터 연산의 한계 때문에 **기후모델(climate model)**에서 평형 기후민감도를 혼합층 해수모델과 결합시킨 대기 **대순환 모델(general circulation model)**을 구동하여 추정하는 경우가 종종 있는데, 이는 평형 기후 민감도가 대체로 대기 과정에 의해 결정되기 때문이다. 모델이 효율적이라면 동적인 바다와 평형을 이룰 때까지 구동될 수 있다. 기후민감도 매개변수(parameter)(단위: °C (W/m²))란 **복사강제력(radiative forcing)**에서 단위변화에 따른 연간 지구 평균 지표 기온의 평형 변화를 의미한다.

효율적인 기후 민감도(단위: °C)는 비평형 상태를 진전시키기 위해 모델 출력 및 관측에서 평가되는 것으로 2 배가 된 CO₂ 농도에 대한 지구 평균 표면온도 반응을 추정하는 것이다. 특정 시간에서의 **기후되먹임(climate feedback)**을 강화하는 수단이며 강제력 역사 및 **기후(climate)** 상태에 따라 달라질 수 있으므로 평형 기후 민감도(-equilibrium climate sensitivity)와는 다를 수 있다.

점진적 기후반응(transient climate response)은 CO₂ 가 1 년에 1% 오르는 **기후모델(climate model)** 시뮬레이션에서 대기 CO₂ 농도가 2 배가 되는 시점을 중심으로 지구 표면온도의 변화 20 년 기간에 대해 평균한 것이다. 이것은 온실가스 강제력에 대한 지표온도 반응의 세기 및 빠르기의 범위이다. {WGI, II, III}

기후 시스템(Climate system)

기후 시스템은 5 가지 주 요소, 즉 대기, 수권(hydrosphere), 빙권(cryosphere), 육지표면(land surface), 생물권(biosphere), 그리고 이들의 상호작용으로 이루어진 매우 복잡한 시스템이다. 기후 시스템은 기후 시스템 자체가 지닌 본질적 역학의 영향 하에서, 화산분출, 태양 변동 같은 **외부 강제력(external forcings)**과 대기의 조성변화, **토지 이용 변화(land-use change)** 같은 인위적 강제력을 통해 시간이 지나면서 서서히 전개된다. {WGI, II, III}

기후 변동성(Climate variability)

개별 기상현상을 넘어 모든 시공간 범위의 **기후(climate)** 평균 상태와 통계수치(표준편차, 이변 발생횟수 등)가 변동하는 것. 변동성은 **기후 시스템(climate system)** 내의 자연적인 내부 과정(내부 변동성) 때문일 수도 있고, 자연적 혹은 인위적 **외부 강제력(external forcing)** (외부 변동성) 때문일 수도 있다. **기후변화(Climate change)** 참고. {WGI, II, III}

CO₂ 환산 농도(CO₂-equivalent (CO₂-eq) concentration)

이산화탄소와 기타 강제력 구성요소의 특정 조합과 동일한 **복사강제력(radiative forcing)**을 초래할 수 있는 이산화탄소의 농도. 이러한 수치는 온실가스만 고려할 수도 있고 온실가스, 에어로졸 및 표면 **알베도(albedo)** 변화의 조합을 고려할 수도 있다. 이산화탄소 상당 농도는 특정 시기에 대해, 다양한 강제력 구성요소들의 조합이 갖는 **복사강제력(radiative forcing)**을 비교하기 위한 수치이지, 이에 상응하는 기후변화 반응 및 미래 강제력이 동일하다는 것을 의미하지는 않는다. **CO₂ 환산 배출(CO₂-equivalent)**과 결과적으로 발생하는 CO₂ 환산 농도 간에 연관은 없다. {WGI, III}

CO₂ 환산 배출(CO₂-equivalent (CO₂-eq) emission)

특정 시간계에 대해 온실가스 혹은 온실가스의 조합의 배출된 양과 동일한 통합 **복사강제력(radiative forcing)**을 초래할 수 있는 이산화탄소 배출량. CO₂ 환산 배출은 특정 시간계의 온실가스 배출량을 **지구 온난화 잠재력 (GWP)**으로 곱하여 구한다 (여기서 사용되는 다양한 온실가스의 **GWP** 값은 WGI 제 8 장, 표 8.A.1 및 WGIII 부속서 II.9.1 를 참고한다). CO₂ 환산 배출은 다양한 GHG 의 배출을 비교하는 공동의 스케일이지만 이에 상응하는 기후 변화 반응이 동일하다는 것을 의미하지는 않는다. 대개 CO₂ 환산 배출과 결과적인 **CO₂ 환산 농도 (CO₂-equivalent concentration)** 간에 연관은 없다. {WGI, III}

부수적 이익(Co-benefits)

하나의 목표를 위해 추진된 정책 혹은 수단이 사회 복지 전반에 대한 순 효과와 관계없이 기타 목표에도 가져올 수 있는 이익적 효과. 부수적 이익은 대개 **불확실성(uncertainty)**을 띄는 경우가 많으며 기타 요인들 중에서도 지역 상황 및 이행 관행에 따라 달라진다. 부수적 이익은 부수적 이득이라고도 부른다. {WGI, III}

신뢰성(Confidence)

증거의 유형, 양과 질 및 일관성(예: 기계론적 이해, 이론, 데이터, 모델 및 전문가 판단)을 바탕으로 한 증거의 유효성 및 동의 수준. 본 보고서에서 신뢰성은 정성적으로 표현된다(Mastrandrea et al., 2010). 신뢰성 수준에 대한 정보는 WGI AR5 그림 1.11; **가능성(likelihood)** 검증자에 대한 목록은 AR5 표 1.2; WGII AR5 박스 1-1 을 참고한다. **불확실성(Uncertainty)** 또한 참고한다. {WGI, II, III}

비용 효과(Cost-effectiveness)

하나의 정책이 주어진 정책 목표를 낮은 비용으로 달성했을 때 비용효과적이라 한다. 비용 효과적이지 않도록 특수하게 의도되지 않았다면, **통합 모델(Integrated model)**은 비용 효과적 해결 방안에 가깝다. 비용 효과적 **완화 시나리오(mitigation scenario)**는 이산화탄소 및 기타 온실가스에 대한 단일 가격이 전 지구에 걸쳐 각국의 모든 부문에 적용되고 최소의 전 세계 할인 비용에서 달성되는 방식으로 시간에 지남에 따라 오르는 양식화된 이행 접근법을 기반으로 한 것이다. {WGI, III}

탄소 제거(Decarbonization)

국가 및 기타 단체가 저 탄소 경제를 달성하기 위한 목적으로 혹은 개인이 각자의 탄소 소비량을 줄이고자 하는 목적으로 이행하는 과정. {WGI, III}

산림전용(Deforestation)

산림(forest)이 무산림(non-forest)으로 전환된 것. **산림(forest)**과 신규 **조림(afforestation)**, **재조림(reforestation)**, **산림전용(deforestation)** 등 관련 용어에 관해서는 <토지 이용, 토지 이용 변화 및 산림에 관한 IPCC 특별보고서(IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry)> (IPCC, 2000)를 참고한다. 또한 직접적으로 인간에 의한 산림 붕괴 및 식생퇴화로 인한 인벤토리 배출량의 정의 및 방법론적 옵션(Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from

Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types))(IPCC, 2003)에 관한 보고서도 참고한다. {WG1, II}

탐지 및 원인규명(Detection and attribution)

변화의 탐지는 **기후변화(climate change)**에 영향을 받은 **기후(climate)** 혹은 시스템의 통계적 변화를 그 변화의 근거를 제시하지 않은 채 증명하는 과정으로서 정의한다. 내부 변동성 자체만으로는 해당 변화가 우연히 발생할 **가능성(likelihood)**이 적은 것으로 판단되는 경우(예: 10% 미만), 하나의 식별된 변화(identified change)가 관측에서 탐지된다. 원인규명은 다수의 일반적 요인이 하나의 변화 혹은 현상에 상대적으로 기여하는 정도를 통계적인 신뢰 수준에서 평가하는 과정이다(Hegerl et al., 2010). {WG1, II}

기후변화의 영향 탐지(Detection of impacts of climate change)

자연, 인간 혹은 관리된 시스템을 대상으로 특정 **베이스라인(baseline)** 대비 변화를 식별하는 것. 여기서 **베이스라인(baseline)**이라는 것은 **기후변화(climate change)**가 부재한 경우의 행동에 대한 특성을 짓는 것이며 정체된 것일 수도 혹은 비정체(예: **토지 이용 변화(land-use change)**) 등으로 인해)된 것일 수 있다. {WGII}

재해(Disaster)

위대한 물리적 현상이 취약한 사회적 조건과 상호작용함에 따라 지역사회 혹은 사회의 정상적 기능이 타격을 입어 인간, 자원, 경제 및 환경 등이 광범위하게 부정적인 영향을 받는 것으로, 인간의 주요 수요를 충족하기 위해서는 즉각적 대응이 필요하고 피해의 회복을 위해 외부 지원이 필요할 수도 있는 상황이다. {WGII}

할인(Discounting)

통화량이 서로 다른 시점(년)에 들어오게 혹은 지출되게 하는 수학적 운영. 운영자는 미래의 가치가 현재보다 낮게 만드는 고정 혹은 시간(년)에 따라 변하는 할인율(δ)을 사용한다. {WGII, III}

가뭄(Drought)

강수가 없어 심각한 수문학적 불균형이 야기될 만큼 오랫동안 기상이 비정상적으로 건조한 기간이다. 가뭄은 상대적인 용어이기 때문에, 강수 부족의 측면에 대한 모든 논의에서는 반드시 해당 논의가 다루려는 강수 관련 활동이 무엇인지를 밝혀야 한다. 예를 들어, 성장시기 중의 강수 부족은 작물 수확량 혹은 전반적인 **생태계(ecosystem)** 기능에 타격을 가할 수 있고(토양 수분 부족으로 농업 가뭄이라고도 일컬음) 유출(runoff) 및 침투(percolation) 시기 중의 가뭄은 1 차적으로 수자원 공급(수적 가뭄)에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 강수량의 감소뿐만 아니라 실질적인 증발산의 증가 또한 토양의 수분 보유량 및 지하수의 물 저장량을 변화시킬 수 있다. 대가뭄(Megadrought)은 시기적으로도 길고 광범위한 영향을 초래하는 가뭄으로서 일반적인 가뭄보다 오래 지속된다(대개 수십 년). 관련 지표는 WGI AR5 박스 2.4 를 참고한다. {WG1, II}

조기경보시스템(Early warning system)

위해(hazard)로 인해 위협받은 개인, 지역사회 혹은 단체가 즉각적이고 적절히 대비하여 관련 피해 혹은 손실의 가능성을 줄일 수 있도록 시기적절하고 의미 있는 경보를 발행 및 전파하는 데 필요한 역량의 집합⁴. {WGII}

지구 시스템 모델(Earth System Model, ESM)

결합 대기-해양 **일반 순환 모델(General Circulation Model)**로서, **탄소 순환(carbon cycle)**을 표현하기 때문에 대기 중 이산화탄소 혹은 이에 상응하는 배출물질의 상호적 계산이 가능하다. 추가적인 구성요소(예: 대기 화학, 빙상, 동적 식생, 질소 순환 및 도시와 농작물 모델)가 포함될 수 있다. **기후모델(climate model)** 참고. {WG1, II}

생태계(Ecosystem)

생태계란 살아있는 유기체와 그 주변의 무생물 환경 및 이들 간 혹은 이들 내의 상호작용으로 구성된 기능적 단위이다. 특정 생태계에 포함되는 구성요소 및 해당 생태계의 공간적 경계는 생태계의 목적을 어떻게 정의하느냐에 따라 달라진다. 이러한 공간적 경계는 명확한 경우도 있고 불분명한 경우도 있다. 생태계 경계는 시간의 경과에 따라 변할 수 있다. 하나의 생태계는 기타 큰 범주의 생태계에 내포되며, 그 범위는 매우 작은 것에서부터 전체 생물권까지 다양하다. 현 시대에, 대개의 생태계는 사람을 주요 유기체로서 포함하거나 생태계 환경 내에서의 인간 활동에 의해 영향을 받는다. {WG1, II, III}

생태계서비스(Ecosystem services)

개인 혹은 사회 전반에 대한 화폐적 혹은 비화폐적 가치를 갖는 생태계 과정 혹은 기능. 생태계 서비스라는 것은 대개 (1) 생산성 및 **생물다양성(biodiversity)** 유지와 같은 지원 서비스, (2) 식량, 섬유 혹은 어류(fish)와 같은 공급 서비스, (3) **기후(climate)** 조절 혹은 탄소 **격리(sequestration)**와 같은 조절 서비스 및 (4) 관광 혹은 영적 및 미적 감상과 같은 문화 서비스이다. {WGII, III}

엘니뇨-남방진동(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 지구적 규모의 열대 및 아열대 해면기압 패턴과 관련 있다. 대기-해양에 결합된 이 현상은 2 년에서 약 7 년에 걸쳐 일어나고, 총칭해서 엘니뇨-남방진동이라고 부른다. ENSO 는 다윈(Darwin)과 타히티(Tahiti) 간의 해면기압 편차(surface pressure anomaly)의 차이와 중부 및 적도 태평양 상의 해수 온도를 통해 측정된다. ENSO 가 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. ENSO 는 지구적 원격상관(teleconnection)을 통해 태평양 전 지역과 세계의

⁴ 이 용어는 UNISDR (2009) 및 IPCC (2012a). 122 에서 사용한 정의를 기반으로 한 것이다.

여러 지역의 기후에 영향을 준다. ENSO 의 한랭 단계를 라니냐(La Niña)라고 부른다. 이에 대한 지표는 WGI AR5 박스 2.5 를 참고한다. {WGI, II}

배출 시나리오(Emission scenario)

추진력(Driving Force) 요소들(예: 인구통계 및 사회경제적 발달, 기술 변화, 에너지 및 토지 이용(land-use)과 이들 간 주요 관계에 대한 일관되고 내부 모순 없는 일련의 가정)에 기초해서, 잠재적으로 복사 활성이 있는 물질들(예: 온실가스, 에어로졸)의 배출량의 미래 발달을 표현한 것. 농도 시나리오(Concentration scenario)는 배출 시나리오에서 유도된 것으로, 기후 전망(climate projection)을 산출하기 위해 기후모델(climate model)의 입력자료로서 사용된다. IPCC(1992)에서 제시한 배출 시나리오는 IPCC 기후 전망(1996)의 기초자료로서 사용되었다. 이 배출 시나리오들을 흔히 IS92 시나리오라고 부른다. <배출 시나리오에 관한 IPCC 특별 보고서(IPCC Special Report on Emission Scenarios) (IPCC, 2000a)>에서는, 소위 SRES 시나리오(SRES scenarios)라고 하는 새로운 시나리오가 발표되었는데 그 중 일부는 IPCC WGI TAR (IPCC, 2001a) 의 9 장과 11 장, 그리고 IPCC WGI AR4 (IPCC, 2007) 및 IPCC WGI AR5 (IPCC, 2013b)의 10 장과 11 장에 제시된 기후전망(climate projection)에 기초자료로서 사용되었다. 기후변화(climate change)에 대한 새로운 배출 시나리오인 네 가지 대표농도경로(Representative Concentration Pathways)는 IPCC 의 평가를 위해 (하지만 독립적으로) 개발되었다. 베이스라인/기준 완화 시나리오(Baseline/reference, Mitigation scenario) 및 변형경로(Transformation pathway)를 참고한다. {WGI, II, III}

에너지 접근(Energy access)

조리, 난방, 조명, 통신 및 생산 부문에서 사용하기 위한 깨끗하고, 신뢰도 높으며 적절한 가격의 에너지 서비스에 대한 접근성 (AGECC, 2010). {WGIII}

에너지 원단위(Energy intensity)

에너지 원단위는 에너지 사용량 대 경제적 혹은 물리적 생산량의 비이다. {WGIII}

에너지 안보(Energy security)

특정 국가 혹은 지구촌 사회 전체가 풍족하고, 안정적이며 예측할 수 있는 에너지 공급을 유지하고자 하는 목표. 에너지 안보 대책에는 저렴하고 안정적인 가격에서 국가 에너지 수요를 만족할 수 있도록 충분한 에너지 자원 및 에너지 공급의 복원력(resilience)을 확보하는 것; 기술의 개발 및 적용을 확대하는 것; 에너지 공급의 발생, 저장 및 이동을 위한 충분한 기반시설을 구축하는 것과 수송(delivery)계약의 집행 가능성을 보장하는 것 등이 있다. {WGIII}

앙상블(Ensemble)

기후(climate) 예측 및 전망(projection)을 특징짓는 모델 시뮬레이션의 집합. 초기 조건 및 모델 형태에 차이가 있기 때문에, 모형화된 시스템은 결과적으로 다양한 형태로 전개된다. 기후 예보의 경우 모델 오차 및 초기 조건의 오차와 관련된 불확실성에 대한 정보를 제공할 수 있으며 기후(climate) 전망의 경우 모델 오차 및 내부적으로 발생한 기후 변동성(climate variability) 관련 불확실성(uncertainty)에 대한 정보를 제공할 수 있다. {WGI, II}

평형 기후 민감도(Equilibrium climate sensitivity)

기후 민감도(Climate sensitivity) 참고. {WGI}

부영양화(Eutrophication)

질소 및 인과 같은 영양물질이 물 속에 과도하게 존재하는 것. 부영양화는 수질 손상의 주요 원인들 중 하나이다. 부영양화의 가장 심각한 증상 두 가지는 저산소증 (혹은 산소 고갈)과 유해한 조류의 증식이다 {WGII}

노출(Exposure)

인간, 생계, 종 혹은 생태계(ecosystem), 환경 기능, 서비스 및 자원, 기반시설이나 경제, 사회 혹은 문화적 자산이 부정적으로 영향을 받을 수 있는 장소나 환경에 놓여지는 것. {WGII}

외부 강제력(External forcing)

기후 시스템(climate system) 밖에서 기후 시스템(climate system)에 변화를 야기하는 강제력 요소. 화산분출, 태양 변동, 대기 조성의 인위적 변화, 토지 이용 변화(land-use change)는 모두 외부 강제력이다. 궤도강제력(Orbital forcing) 또한 궤도 매개변수 이심률(eccentricity), 경사(tilt) 및 춘분점에서의 일사량 변화를 통한 외부강제력이다. {WGI, II}

극단적 기상현상(Extreme weather event)

연중 특정 장소와 시기에 보기 드문 기상현상. '드물다(rare)'의 정의는 다양하지만 대체로 극단적 기상현상은 관측된 확률밀도 함수의 10 백분위수(퍼센타일) 혹은 90 백분위수 보다 드물다. 정의상 소위 극단적 기상현상의 특징은 절대적 의미에서는 장소마다 다를 수 있다. 단일 극단적 기상현상을 간단히 직접적으로 인위적 기후변화 때문이라고 단정할 수는 없다. 제한적이거나 그 현상이 자연적으로 발생했을 지도 모를 가능성이 있기 때문이다. 극단적 기상현상 패턴이 한 계절 등 얼마간 지속되는 경우, 특히 평균이나 총계가 그 자체로 극단적인 경우에는(예: 한 계절 동안 가뭄(drought)이나 집중호우) 극단적 기후현상(extreme climate event)으로 분류될 수도 있다. {WGI, II}

되먹임(Feedback)

기후되먹임(Climte feedback) 참고. {WGI, II}

홍수(Flood)

하천 혹은 기타 수체(water body)의 정상 한계를 넘어서는 범람 혹은 일반적으로 침수되지 않는 지역에 물이 축적되는 것. 홍수에는 하천(유역) 홍수, 돌발 홍수(flash flood), 도시 홍수, 우천 홍수(pluvial flood), 하수 홍수, 연안 홍수 및 빙하호, 돌발 홍수가 있다. {WGII}

식량 안보(Food security)

사람들이 정상적인 성장, 발육, 활동, 건강 생활을 위한 안전하고 영양도 높은 식량을 충분히 구할 수 있는 상황. {WGII, III}

산림(Forest)

수목이 지배적으로 많은 식생 유형. 생물지구물리적 조건, 사회구조, 경제 사이에 폭넓은 차이가 있기 때문에 전 세계에서 사용되는 산림에 대한 정의는 다양하다. 산림과 신규조림(afforestation), 재조림(reforestation), 산림전용(deforestation) 등 관련 용어는 <토지 이용, 토지 이용 변화 및 산림에 관한 IPCC 보고서(IPCC Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry)>(IPCC, 2000b)를 참고한다. 또한 UN 기후변화협약이 제시한 정보(UNFCCC, 2013) 및 <인간이 직접 유도한 산림 붕괴 및 식생퇴화로 인한 인벤토리 방출의 정의 및 방법론적 옵션(Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types)>(IPCC, 2003)도 참고한다. {WGI, III}

연료 빈곤(Fuel poverty)

가계가 특정 수준의 국내 에너지 서비스(특히 난방) 소비를 보장받을 수 없거나 각자의 수요를 충족시키기에 드는 비용이 불합리할 정도로 높은 경우. {WGIII}

지구공학(Geoengineering)

지구공학이란 기후변화(climate change)의 영향(impact)을 완화하기 위하여 기후 시스템(climate system)을 계획적으로 변형시킬 목적을 지닌 방법 및 기술의 광범위한 집합이다. 이러한 방법들은 전부는 아니지만 대개 다음과 같은 방법을 모색한다: (1) 기후 시스템에서 흡수된 태양 에너지의 양을 줄이는 방법 (태양 복사 관리 (Solar Radiation Management) 참고) (2) 기후를 변경시키고자 상당히 대규모의 대기로부터 탄소를 격리하는 순 탄소 흡수원(sink)의 확대(이산화탄소 제거(Carbon Dioxide Removal)). 규모(Scale)와 목적(Intent)은 지구공학의 핵심이라 할 수 있다. 특히 고려해야 할 지구공학법의 두 가지 특징은 지구공학이 전 세계적 혹은 지역적인 기후 시스템(climate system)을 사용하거나 기후 시스템에 영향을 준다는 것(예: 대기, 육지 혹은 해양)이고/혹은 국가 경계에 상관없이 의도치 않은 영향을 상당 수준으로 줄 수 있다는 것이다. 지구공학은 기상 수정(weather modification) 및 생태계 공학(ecological engineering)과는 다르지만 이들 학문분야 간 경계는 명확하지 않다(IPCC, 2012b, p. 2). {WGI, II, III}

지구 기후 모델 (일반 순환모델이라고도 불리며 두 용어의 약어는 GCM 이다)

기후 모델(Climat model) 참고. {WGI, II}

지구 기온 변화 지수(Global Temperature Change Potential, GTP)

기준 물질인 이산화탄소의 단위 질량 대비 특정 물질의 단위 질량의 배출에 따라 특정 시기에 나타나는 지구 평균 표면 온도의 변화를 측정하는 지수. 즉, 지구 기온변화지수(GTP)는 이러한 물질들이 대기 중에 잔류하는 여러 시기, 잔류한 대기 중 물질이 복사강제력(radiative forcing)을 초래하는 효율성 및 기후 시스템(climate system)의 반응의 통합된 영향을 나타낸다. GTP 는 다음의 두 방식으로 정의하고 있다:

- 고정 GTP(Fixed GTP): 미래의 고정된 시계(time horizon) 바탕 (예: 100 년의 시계에 대해 GTP 100 을 사용)
- 동적 GTP(Dynamic GTP): 목표 년도(예: 지구 평균 기온이 목표 수준에 도달할 것으로 예상되는 해) 바탕. 동적 GTP 에서, 시계는 목표 년도에 근접할수록 감소하기 때문에 미래에 추가적으로 나타나는 배출량에 대하여 GTP 값은 변한다. {WGI 8 장}

지구온난화(Global warming)

지구 온난화란 인위적 배출이 초래한 복사강제력(radiative forcing) 결과의 하나로써, 점차적인 지구 표면 온도의 상승이 관측 및 예상되는 것을 의미한다. {WGIII}

지구 온난화 지수(Global Warming Potential; GWP)

기준 물질인 이산화탄소의 단위질량 과 비교하여, 주어진 시계(time horizon) 동안 축적된 특정 가스의 단위질량의 배출에 따른 복사강제력(radiative forcing)을 측정하는 지수. 즉, GWP 는 가스가 대기에 잔류하는 시간과 가스가

복사강제력(radiative forcing)을 초래하는 효율을 결합한 것이다. {WGI, III}

위해(Hazard)

자연 혹은 인간이 유도한 물리적 현상 혹은 경향이나 생명의 손실 부상 혹은 기타 건강 영향(impact)뿐만 아니라 자산, 기반시설, 생계 및 서비스 공급, 생태계(ecosystem)와 환경 자원의 피해 및 손실을 초래하는 물리적 영향(impact)의 발생 잠재성. 본 보고서에서, 위해라는 용어는 대개 기후(climate) 관련 물리적 현상 혹은 경향이나 물리적 영향(impact)을 일컫는다. {WGI}

열파(Heat wave)

비정상적이고 불쾌할 정도로 더운 기상의 기간. {WGI, II}

수문 순환(Hydrological cycle)

물이 바다와 육지표면에서 증발하여 대기 순환에서 수증기로서 지구 위로 이동, 응결핵을 형성하고, 비나 눈으로서 다시 강하하여, 나무와 식생에 흡수, 지하수가 되며, 하천으로 방출되고, 결국에는 바다로 흘러나가 그로부터 결국 다시 증발하게 되는 순환. 수문 순환에 관련된 다양한 시스템을 보통 수문 시스템이라고 부른다. {WGI, II}

영향 (Impacts) (어떤 원인에 의해 생긴 결과 (consequences) 및 결말 (outcomes))

자연계 및 인간계에 대한 영향. 본 보고서에서 영향이라는 용어의 1 차적 의미는 기후변화로 인한 극한 기상(extreme weather and climate event) 및 기후변화(climate change)가 자연계 및 인간계에 미치는 영향이다. 영향은 일반적으로 기후변화(climate change)의 상호작용 혹은 특정 시기에 발생한 위대한(hazardous) 기후 현상 및 노출된 사회나 시스템의 취약성(vulnerability)으로 인해 생계, 건강, 생태계(ecosystem), 경제, 사회, 문화, 서비스 및 인프라가 받는 영향을 일컫는다. 영향은 또한 어떠한 원인에 의해 생긴 결과 및 결말을 일컫기도 한다. 홍수(flood), 가뭄(drought), 해수면 상승 등 기후변화가 지구물리계에 미치는 영향은 물리적 영향이라고 부르는 영향의 하위집합이다. {WGI, II}

간접 배출(Indirect emissions)

지역, 경제 부문, 기업 혹은 공정 등과 같이 분명한 경계 내 활동의 결과인 배출이지만 해당 특정 경계의 외부에서 발생하는 배출. 예를 들어, 난방 사용과 관련한 배출이지만 물리적으로 난방 사용자의 경계 외부에서 발생하거나 전기 생산과 관련한 배출이지만 물리적으로 전력 공급 부문 경계의 외부에서 발생하는 것을 들 수 있다. {WGIII}

산업혁명(Industrial revolution)

산업이 급속히 성장하면서 사회적, 경제적으로 큰 파급 효과를 주었던 기간. 영국에서 18 세기 후반에 시작되어 유럽으로 확산되고 나중에는 미국을 비롯한 다른 국가들에게까지 확산되었다. 증기기관의 발명이 이 발달의 중요한 발단이었다. 산업혁명 때부터 화석연료의 사용과 화석 이산화탄소의 배출량이 급속히 증가하기 시작했다. 이 보고서에서 산업화 이전(preindustrial)과 산업화(industrial)이란 용어는 다소 임의적이긴 해도 각각 1750 년 전과 후를 가리킨다. {WGI, II, III}

통합 평가(Integrated assessment)

물리, 생물, 경제 및 사회 과학에서 나온 결과와 모델, 그리고 이 요소들 간의 상호작용을 일관된 틀 안에서 결합하여 환경변화의 상태와 그에 대한 정책적 대응의 결과를 평가하는 분석방법. 이런 분석에 사용되는 모델을 통합 평가 모델이라고 부른다. **통합 모델(Integrated models)**을 참고한다. {WGII, III}

통합 연안 구역 관리(Integrated Coastal Zone Management, ICZM)

지속 가능한 연안 지역의 관리를 위하여 모든 연안 서식지 및 관련 이용을 고려하는 통합적 접근법. {WGII}

통합 모델(Integrated models)

통합모델은 경제의 여러 부문들 간 혹은 특정 시스템(예: 에너지 시스템)을 이루는 구성요소 간 상호작용을 탐구한다. **변형 경로(transformation pathways)**의 경우, 통합모델은 최소한 경제의 전반 및 일부를 표현할 뿐만 아니라, 에너지 시스템과 경제 전반의 연결관계를 표현하여 에너지 시스템의 다양한 요소들 간 상호작용을 파악할 수 있도록 지원하는 모델이다. 또한 통합모델은 완전한 경제, **토지 이용(land use) 및 토지 이용 변화(land-use change, LUC)**와 **기후 시스템(climate system)**을 표현할 수도 있다. **통합 평가(Integrated assessment)**를 참고한다. {WGIII}

내부 변동성(Internal variability)

기후변동성(Climate variability) 참고한다. {WGI}

비가역성(Irreversibility)

동적 시스템이 불안한 상태에 도달하는 데 걸린 시간보다 자연적 과정을 통해 이 상태에서 회복하는 시간이 훨씬 긴 경우, 이를 특정 시간계에 대한 비가역성으로 정의한다. 본 보고서의 맥락에서 주로 다루는 시간계는 백 년에서 천 년이다. **티핑 포인트(Tipping point)**를 참고한다. {WGI}

토지 이용 및 토지 이용 변화(Land use and land-use change)

토지 이용이란 특정 토지 피복 유형에 취해진 모든 준비, 활동, 투입을 뜻한다(일련의 인간 활동). 토지 이용이란 용어는 토지를 관리하는 사회적, 경제적 목적이라는 의미로도 사용된다(예: 방목, 목재 벌채, 보존). 도시 정착에서, 토지 이용은 도시 및 도시 배후지 내 토지 이용과 관련된다. 도시 토지 이용은 도시 관리, 구조 및 형태에 영향을 주기 때문에, 기타 측면들 중에서도 에너지 수요 온실가스 배출, 운송이 특히 도시 토지 이용에 영향을 받는다. {WGI, II, III}

토지 이용 변화(Land-use change, LUC)

토지 이용변화는 인간에 의해 토지의 사용 또는 관리가 변한 것을 말한다. 토지 이용 변화는 토지 피복(land cover)의 변화로 이어질 수도 있다. 토지 피복과 토지 이용 변화는 지상 **알베도(albedo)**, 증발산, 온실가스 발생원과 **흡수원(sink)**, **기후 시스템(climate system)**의 기타 특성에 영향을 줄 수도 있으므로 지역적으로 혹은 지구적으로 **기후(climate)**에 **복사강제력(radiative forcing)** 내지 기타 **영향(impact)**을 줄 수 있다. 토지 이용, 토지 이용 변화 및 산림에 관한 IPCC 보고서(IPCC, 2000b)를 참고한다

간접적 토지 이용 변화(Indirect land-use change, iLUC)

간접적 토지 이용 변화는 농업 생산물 등의 생산량 수준에서의 변화가 유도한 토지 이용에서의 변화를 의미하며 시장 경제에 의해 조정되고 정책에 의해 유발된다. 예를 들어, 농업용 토지를 연료 생산용으로 전환할 경우, **산림(forest)** 개간을 통해 기존의 농업 생산을 연료 생산으로 대체할 수 있다. **농업(Agriculture)**, **산림 및 기타 토지이용(Forestry and Other Land Use)**, **농업, 산림 및 기타 토지 이용(AFOLU)**, **신규조림(Afforestation)**, **산림전용(Deforestation)** 및 **재조림(Reforestation)**을 참고한다.

누출(Leakage)

하나의 구역 및 부문 전반에 걸쳐 소비, 생산, 가격, **토지 이용(land use)** 및/또는 무역에서 변화가 나타남에 따라 해당 구역 및 부문 외부의 배출이 증가하여 **완화(mitigation)** 정책 실행으로 인한 배출량 감축 정도가(**베이스라인(baseline)** 대비) 특정 수준까지 상쇄되는 것. 누출은 다양한 수준에서 발생할 수 있으며 사업, 상태, 주, 국가 혹은 전세계 지역에서 나타날 수 있다.

이산화탄소 포집 및 저장(Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS)

의 맥락에서, 이산화탄소 누출은 주입된 이산화탄소가 저장 위치에서 빠져나가 결국 대기 중으로 방출되는 것을 말한다. 기타 물질의 맥락에서, 누출이라는 용어는 메탄(CH₄) 누출(예: 화석 연료 추출 활동에서의 누출) 및 수소화 불화탄소(HFC) 누출 (예: 냉각 및 에어컨 시스템에서의 누출) 등에서 대개 사용된다. {WGIII}

가능성(Likelihood)

확률적으로 추정 가능한 경우에서 특정 결과가 일어날 가능성. 본 보고서에서 가능성은 표준 용어를 사용하여 표현한다 (Mastrandrea et al., 2010). 이 용어는 WGI AR5 표 1.2 및 WGII AR5 박스 1-1 에 정의하였다. **신뢰성(Confidence)**과 **불확실성(Uncertainty)**을 참고한다. {WGI, II, III}

록인(Lock-in)

하나의 시장에서 시장 참여자에 대해 다른 기준이 우호하게 작용할지라도 해당 시장이 하나의 기준만을 고수할 때, 록인 현상이 나타난다. 본 보고서에서 록인은 경로의존(한 시기의 결정, 현상 혹은 결과가 앞으로의 **적응(adaptation)**, **완화(mitigation)** 혹은 기타 행위나 옵션을 제약하는 하는 포괄적 상황)으로 좀 더 광범위하게 사용된다. {WGII, III}

저유감 정책(Low-regrets policy)

현재의 **기후(climate)** 및 다양한 미래 **기후변화(climate change)** 시나리오 하에서 순 사회/경제적 이익을 발생시킬 수 있는 정책 {WGII}

해양 기반 빙상(Marine-based ice sheet)

해수면 아래 바닥을 기반으로 한 상당한 지역이 포함되며 그 둘레는 해양과 접하는 빙상이다. 가장 잘 알려진 예는 서쪽 남극 빙상(West Antarctic ice sheet)이다. {WGI}

자오선 순환(Meridional Overturning Circulation; MOC)

심해 혹은 밀도 증가층 내 질량 이동의 지역(동-서) 합계로 정량화한 해양의 자오선 (남북) 전도 순환(Meridional overturning circulation). 아극지(subpolar regions)에서 떨어진 북대서양에서, MOC(원칙적으로 관측 가능한 양)는 대개 개념적이고 불완전한 해석인 열 염분

순환(thermohaline circulation)으로 식별한다. 여기서 주의할 것은, MOC 가 바람에 의해서도 발생할 수 있으며, 극지로 향하는 운수 및 경수(light waters)가 높은 밀도의 해수로 전환되고 비교적 심층인 부분에서 적도방향으로 제거되는 열대 및 아열대 지역의 상층 해양의 경우와 같이 같이 얇은 전도 조직을 포함할 수 있다는 것이다. {WGI, II}

(기후변화의) 완화 (Mitigation (of Climate Change))

온실가스 **흡수원(sink)**은 확대하고 배출원은 줄이는 인간의 개입. 본 보고서는 **기후변화(climate change)**를 직간접적으로 제한하는 데 기여할 수 있도록 기타 물질원을 저감하는 인간 개입 또한 평가한다. 예를 들어, 복사 균형을 직접적으로 변형할 수 있는 미세먼지 배출(예: 숯 검댕) 저감이나 일산화탄소, 질산화물, 휘발성 유기 화합물 및 대류권 오존의 농도를 변화시켜 **기후(climate)**에 간접적인 효과를 가져오는 기타 오염물질 등을 관리하는 대책 등을 예로 들 수 있다. {WGI, II, III}

완화 시나리오(Mitigation scenario)

(연구 대상의) 시스템이 **완화(mitigation)** 정책 및 수단을 이행하였을 때 어떻게 반응할지 예측하여 나타낸 미래. **베이스라인/기준(Baseline/reference)**, **배출 시나리오(Emission scenario)**, **대표 농도 경로(Representative Concentration Pathways, RCPs)**, **SRES 시나리오(SRES scenario)** 및 **변형 경로(Transformation pathway)**를 참고한다. {WGIII}

순 음의 배출(Net negative emissions)

순 음의 배출 현상은 인간 활동으로 인해 결과적으로 '격리 혹은 저장되는 온실가스의 양'이 '대기 중으로 배출되는 양'보다 많을 때 달성된다. {SYR 박스 2.2, 각주 29}

해양 산성화(Ocean acidification)

해양 산성화는 연장된 기간(전형적으로 수 십 년 이상)에 걸쳐 **pH** 가 낮아지는 것을 의미하며, 1 차적으로 대기 중의 이산화탄소가 해수에 흡수되어 발생하지만 기타 화학물질이 해양에 더해지거나 빠져나가 초래될 수도 있다. 인위적 해양 산성화란 인간활동에 의해 야기된 **pH** 의 감소를 의미한다(IPCC, 2011, p. 37). {WGI, II}

오버슈트 경로(Overshoot pathways)

배출, 농도 혹은 기온 경로에서 관심 측정 대상이 일시적으로 원래의 장기 목표를 초과하거나 넘어서는 것. {WGIII}

산소극소대역(Oxygen Minimum Zone, OMZ)

해양의 산소포화도가 최저인 외해(open ocean)의 중간층(200-1000 m). 산소 고갈 정도는 유기 물질의 박테리아 소비에 따라 크게 달라지며 OMZ 의 분포는 대규모 해양 순환에 상당한 영향을 받는다. 연안 해양에서 OMZ 는 지층까지 확장되며 저생성 **생태계(benthic ecosystems)**에도 영향을 줄 수 있다. {WGII}

영구동토(Permafrost)

온도가 최소 2 년 연속해서 0°C 이하인 지면(토양, 혹은 암석, 토양에 함유된 얼음과 유기물질) {WGI, II}

pH

pH 는 수소이온(H+)의 농도를 바탕으로 물(혹은 기타 모든 용액)의 산성도를 무차원적(dimensionless)으로 측정한다.

것이다. pH 는 $pH = -\log_{10}(H^+)$ 인 대수 계산자(logarithmic scale)로 측정한다. 따라서, pH 한 단위의 감소는 H+의 농도, 즉 산성도 10 배 증가와 같다. {WGI}

빈곤(Poverty)

빈곤은 학설마다 다르게 정의되는 복잡한 개념이다. 빈곤은 물리적 상황(예: 자원 요구, 부족 및 제한), 경제적 조건(예: 생활 기준, 불평등 혹은 경제적 위치) 및/또는 사회적 관계(예: 사회적 계급, 의존성, 배척, 기본적인 안보 및 권리 보장 결여)을 일컬을 수 있다. {WGII}

산업화 이전(Pre-industrial)

산업혁명(Industrial revolution) 참고. {WGI, II, III}

민간 비용(Private costs)

민간 비용은 개인, 기업 혹은 기타 민간 단체가 하나의 행위를 취하는 데 동반되는 비용인 반면, 사회적 비용은 환경 및 사회 전반에 발생하는 비용이 민간비용에 추가된 비용이다. 민간 및 사회적 비용을 양적으로 완벽하게 추산하는 것은 불가능할 수 있는데, 이는 비용과 관련된 상대적 효과들을 모두 측정하는 것이 어렵기 때문이다. {WGIII}

전망(Projection)

모델을 사용해 어떤 양이 잠재적으로 미래에 어떻게 전개될 것인가를 계산한 것. 전망은 예측과는 다르다. 전망은 실현될 수도 실현되지 않을 수도 있는 미래의 사회경제적, 기술적 발달에 관한 가정을 포함하기 때문에, 상당한 불확실성을 갖는다. **기후 전망(Climate projection)** 참고. {WGI, II}

복사강제력(Radiative forcing)

과거의 IPCC 평가에서는 동인(driver)의 강도를 복사강제력(Radiative Forcing, RF)으로 정량화하였으며 단위는 제곱 미터당 와트(W/m²)였다. 복사강제력은 에너지 플럭스(flux)에서의 변화이며 하나의 동인에 의해 야기되고 관계면(tropopause) 및 대기의 상층에서 계산된다. {WGI}

우려 요인(Reasons For Concern, RFCs)

우려의 이유는 분류 프레임워크(framework)의 요소들로서 총 **영향(aggregating impacts)**, **위험(risk)** 및 **취약성(vulnerability)**을 통해 위험한 상황을 초래할 수 있는 **기후변화(climate change)**의 수준이 무엇인지(UNFCCC 의 제 2 조에 언급됨)에 대한 평가를 하고자 했던 IPCC 3 차 평가보고서(IPCC, 2001b)에서 개발된 것이다. {WGII}

산림전용 및 산림 황폐화로 인한 온실가스 배출 감축(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, REDD)

산림(forest)이 조성된 토지를 기반으로 배출량 감축 효과를 발생시키는 개발도상국에 인센티브를 제공하는 등 **산림(forest)** 내 저장된 탄소에 대한 재정적 가치를 창출하고 **지속 가능한 발전(sustainable development)**을 향한 저 탄소 경로에 투자하려는 노력. 다시 말해서, **산림전용(deforestation)**을 방지하는 것이 **완화(mitigation)**의 결과로 이어지는 메커니즘이라 할 수 있다. REDD+ 는 **재조림(reforestation)**이나 **산림전용(deforestation)** 관리에서 나아가 보존의 역할, **산림(forest)**의 지속 가능한 관리 및 **산림(forest)** 탄소 흡수원의 확대 등을 포함하는 개념이다. 이 개념은 2005 년 제 11 차 몬트리올 당사국 총회에서 처음으로 소개되었으며 이후 2007 년 제 13 차 발리 당사국 총회에서

그 중요성이 인정되어 '개발도상국의 **산림전용(deforestation)** 및 **산림(forest)** 황폐화로 인한 배출량을 저감(REDD) 하고, 개발도상국 내 **산림(forest)** 탄소 인벤토리를 보존 및 개선하며 지속 가능한 방식으로 관리하는 것과 관련한 사항에 대한 정책 접근 및 긍정적 인센티브'라 불리는 발리 행동 계획(Bali Action Plan)에 포함되었다. 이후, REDD 에 대한 지원이 확대되었고 다수의 국가가 관련 행동을 추진할 수 있도록 뒷받침하는 하나의 프레임워크(framework)로서 자리잡았다. {WGIII}

재조림(Reforestation)

과거에는 **산림(forest)** 이었으나 현재 다른 용도로 전환된 토지에 **산림(forest)** 을 다시 조성하는 것. **산림(forest)**이라는 용어와 **신규조림(afforestation)**, **재조림(reforestation)**, **산림전용(deforestation)** 등 관련 용어에 관해서는 <토지 이용, 토지 이용 변화 및 산림에 관한 IPCC 보고서(IPCC Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry)> (IPCC, 2000) 및 UNFCCC 가 제공하는 정보를 참고한다 (UNFCCC, 2013). 또한 <인간에 의한 직접적인 산림붕괴 및 식생 붕괴로 인한 인벤토리 배출량의 정의와 방법론적 옵션에 관한 보고서(Report on Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types)> (IPCC, 2003)를 참고한다. {WG/, II, III}

대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCPs)

온실가스, 에어로졸 및 화학적 활성 가스뿐만 아니라 **토지 이용(land use)**/토지 피복까지의 전체 집합의 배출과 농도의 시계열(time series)들을 포함하는 시나리오(Moss et al., 2008). 여기서 대표(representative)라는 단어를 쓰는 이유는 각 대표농도경로(RCP) 특정한 **복사강제력(radiative forcing)** 특성을 이끌 수 있는 여러 시나리오 중 오직 하나만 제시하기 때문이다. 경로라는 용어는 관심대상이 장기 미래의 농도 수준이라는 것을 강조하며 시간의 경과와 함께 이에 도달하는 데 취하는 궤도를 의미한다 (Moss et al., 2010).

일반적으로 RCP 란 2100 년까지 연장된 농도 경로의 일부분을 의미하는 것으로 통합평가모델(Integrated Assessment Models)을 통해 각 경로에 상응하는 **배출 시나리오(emission scenario)**를 개발하였다. 확장된 농도 경로(Extended Concentration Pathways, ECPs)는 이해관계자와의 상의를 통해 마련된 단순 규칙을 사용하여 계산한 2100 년에서 2500 년까지 연장된 농도 경로를 설명하는 것이며 완전하게 일관된 시나리오를 대표하지는 않는다.

통합평가모델(Integrated Assessment Models)을 통해 개발한 네 가지 RCP 는 여러 문헌이 선택하였으며 IPCC 평가에서 WGI AR5 11-14 장의 **기후(climate)** 예측 및 **전망(projection)**을 위한 기준으로 사용되었다 (IPCC, 2013b):

RCP2.6

복사강제력(radiative forcing)이 2100 년 전에 최고 약 3 W/m² 까지 도달한 후 다시 감소하는 경로 (이에 상응하는 ECP는 2100 년 이후 배출이 일정하다고 가정)

RCP4.5 및 RCP6.0

두 가지의 중간 안정화 경로로, **복사강제력(radiative forcing)**은 2100 년 이후 각각 약 4.5 W/m² 와 6.0 W/m² 에서 안정화된다 (이에 상응하는 ECP 는 2150 년 이후 농도가 일정하다고 가정)

RCP8.5

고농도 경로로서, **복사강제력(radiative forcing)**이 2100 년까지 >8.5 W/m² 에 달하고 이후 당분간 상승을 유지하는 경로 (이에 상응하는 ECP 는 2100 년 이후 배출과 2250 년 이후 농도가 일정하다고 가정)

미래 시나리오에 대한 추가 설명은 WGI AR5 박스 1.1 과 Van Vuuren et al.(2011) 을 참고한다. {WGI, II, III}

복원력(Resilience)

사회, 경제 및 생태계가 필수 기능, 독자성 및 구조를 유지하는 방식으로 위해한(hazardous) 현상 및 경향 혹은 교란에 대응하고 조직을 재정비함과 동시에 **적응(adaptation)**, 학습 및 **변형(transformation)** 역량 또한 유지하는 것 ⁵. {WGII, III}

위험(Risk)

가치의 일부가 위태로운 상태에 처해있고 가치의 다양성을 고려했을 때 그 결말이 불분명한 결과에 대한 잠재성. 위험은 위해한 현상 혹은 경향이 가져오는 영향에 따라 크게 증폭되어 발생할 확률(probability) 혹은 **가능성(likelihood)**으로 표현한다. 본 보고서에서, **위험(risk)**이라는 용어는 대개 그 결말이 불확실한 상황에서 생명, 생계, 건강, 생태계, 종, 경제, 사회 및 문화적 자산, 서비스(환경적 서비스 포함) 및 기반시설에 대한 부정적인 결과적 상황에 대한 잠재성을 일컫는 데 사용된다. {WGII, III}

위험 관리(Risk management)

위험이 발생할 수 있는 **가능성(likelihood)** 및/또는 **위험(risk)**으로 인해 발생하는 결과적 상황을 줄이거나 결과적 상황에 대응하기 위한 계획, 행동 혹은 정책. {WGII}

격리(Sequestration)

육상 혹은 해양 흡수원(reservoir)가 탄소 함유 물질 (특히 이산화탄소)을 흡수 하는 것. 생물학적 격리에는 **토지 이용 변화(land-use change, LUC)**, **신규조림(afforestation)**, **재조림(reforestation)**, 재녹화(revegetation), 매립지의 탄소 저장이나 농업 부문(경작지 관리, 방목지 관리 등)에서 토양의 탄소 보유량을 대기 중의 이산화탄소를 직접적으로 제거하는 것이 포함된다. 본 보고서는 아니지만 일문 문헌에서 (탄소) 격리가 **이산화탄소 포집 및 저장(Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS)**을 일컫는 용어로 사용되기도 한다. {WGIII}

흡수원(Sink)

온실가스나 에어로졸의 전조물질(precursor)을 **대기로부터 제거하는 공정, 활동 혹은 체제.** {WGI, II, III}

탄소의 사회적 비용(Social cost of carbon)

이산화탄소 형태의 탄소 1 톤 이상에서 발생한 기후 피해의 순 현재 가치(net present value) (양의 수로서 표현되는 해로운 피해)이며 시간이 경과함에 따라 전 세계 배출 궤도가 어떻게 진행되는지에 큰 영향을 받는다. {WGII, III}

사회적 비용(Social costs)

민간 비용(Private cost) 참고. {WGIII}

태양 복사 관리(Solar Radiation Management, SRM)

더 이상의 *기후변화(climate change)*를 막기 위하여, 특정 측정법(예: 표면 온도, 강수량, 지역 *영향(impact)* 등)에 따라 지구 단파 복사 수지(budget)을 의도적으로 조정하는 것이 태양 복사 관리이다. 인위적으로 성층권에 에어로졸을 주입하는 것 및 구름 표백(cloud brightening)은 SRM 기법의 두 예이다. 굳이 SPM 이라 부르지 않아도 되지만 장파 복사 수지(예: 권운)의 일부 반응 빠른 요소들을 조정하는 방법 또한 SRM 과 연관 지어 고려할 수 있다. SRM 기법은 *완화(mitigation)* 및 *적응(adaptation)*의 일반적 정의에는 포함되지 않는다(IPCC, 2012b, p. 2). *이산화탄소 제거(Carbon Dioxide Removal, CDR)* 및 *지구공학(Geoengineering)*을 참고한다. {WGI, III}

SRES 시나리오(SRES scenarios)

SRES 시나리오는 IPCC (2000a)가 개발한 *배출 시나리오(emission scenario)*이며, IPCC WGI TAR (IPCC, 2001a)의 9 장 및 11 장, IPCC WGI AR4 (IPCC, 2007)의 10 장 및 11 장과 IPCC WGI AR5 (IPCC, 2013b)에서 제시한 일부 *기후 전망(climate projection)*의 기준으로 사용되었다. {WGI, II, III}

폭풍 해일(Storm surge)

극단적인 기상조건(저기압이나 강풍)으로 인해 특정 지역에서 해수면이 일시적으로 증가한 것. 폭풍 해일은 그 시간과 장소에서 조석 변동만으로 예상되는 것보다 높아지는 것이라고 정의된다. {WGI, II}

구조적 변화(Structural change)

한 국가의 산업, 농업 혹은 서비스 부문에서 생산되는 상대적 국내총생산(GDP) 비율의 변화. 좀 더 일반적으로 말하면, 시스템 구성요소가 다른 것으로 대체되거나 잠재적으로 대체되는 시스템의 *변형(transformation)*을 말한다. {WGIII}

지속 가능성(Sustainability)

자연계와 인간계가 공평한 방식으로 영속할 수 있도록 보장하는 동적 과정. {WGII, III}

지속 가능한 발전(Sustainable Development; SD)

미래 세대가 그들의 필요를 충족시킬 능력을 저해하지 않으면서 현 세대의 필요를 충족시키는 발전(WCED, 1987). {WGII, III}

열팽창(Thermal expansion)

*해수면 상승*과 관련해서, 열팽창은 해수 온난화로 인한 해수 부피의 증가(및 밀도 감소)를 뜻한다. 해양 온난화는 해양 부피의 팽창으로 이어지고, 이로써 해수면을 상승시킨다. {WGI, II}

티핑 포인트(Tipping point)

하나의 시스템이 인식하는 수준을 넘는 정도로 시스템이 급격하게 변하는 것 혹은 변화의 동인(drivers)을 줄일 수 있다고 해도 초기의 상태로 돌아갈 수 없게 되는 변화 수준. *기후 시스템(climate system)*의 경우 티핑 포인트란 지구 혹은 지역의 *기후변화(climate change)*가 어떠한 하나의 안정적인 상태에서 또 다른 상태로 변하여 안정되는 임계값(critical threshold)을 일컫는다. 티핑 포인트를 넘어서면 그 전의 상태로 돌아갈 수 없는 경우도 있다 (즉, 티핑 포인트는 비가역적 속성을 갖는다). *비가역성(Irreversibility)*을 참고한다. {WGI, II, III}

변형(Transformation)

자연계 및 인간계의 근본적 속성의 변화. {WGII}

변형 경로(Transformation pathway)

온실가스 배출, 대기 농도 혹은 지구 평균 표면 온도 변화에 대한 다양한 목표를 달성하고자 취하는 시간에 따른 경로로서 경제, 기술 및 행동 변화의 한 세트(set)를 의미한다. 변형 경로는 에너지와 기반시설의 사용 및 생산 방법, 자연 자원 관리 방법 및 제도 설정과 기술 변화(technological change, TC)의 속도 및 방향의 변화를 아울러 다루는 것일 수 있다. *베이스라인/기준(Baseline/reference)*, *배출 시나리오(Emission scenario)*, *완화 시나리오(Mitigation scenario)*, *대표 농도 경로(Representative Concentration Pathways, RCP)* 및 *SRES 시나리오(SRES scenario)*를 참고한다. {WGIII}

누적 CO₂ 배출에 대한 점진적 기후 반응(Transient Climate Response to Cumulative CO₂ Emissions, TCRE)

누적되는 CO₂ 배출 한 단위 당 나타나는 점진적인 지구 평균 표면 온도의 변화이며 대개 1000 PgC 이다. TCRE 는 누적된 CO₂ 배출의 공기중 비율(airborne fraction)에 대한 정보(배출된 총 CO₂ 중에서 대기 중에 잔류하는 CO₂ 의 비율) 및 점진적 기후반응(transient climate response, TCR)에 대한 정보를 모두 합친 것이다. {WGI}

불확실성(Uncertainty)

불확실성은 이미 알려졌거나 알 수 있을만한 정보에 대해 의견이 불일치할 경우 혹은 정보가 부재한 경우에 생긴다. 불확실성의 원인은 데이터의 정량 가능한 오류부터 모호하게 정의된 개념이나 용어, 또는 인간활동에 대한 불확실한 전망 등 여러 가지가 있을 수 있다. 따라서 불확실성은 모델을 사용해 계산된 값(범위) 같은 정량적 측정치를 통해 또는 전문가 팀의 판단을 반영하는 정성적 진술을 통해 표현될 수 있다. (Moss and Schneider, 2000; Manning et al., 2004; Mastrandrea et al., 참고). *가능성(Likelihood)*, *신뢰도(Confidence)* 참고. {WGI, II, III}

취약성(Vulnerability)

부정적인 영향을 받는 경향 및 성향. 취약성에는 다양한 개념과 요소(예:위험(harm)에 대한 민감도 및 대처와 적응 능력의 부족)가 포함될 수 있다. {WGII}

참고문헌

AGECC, 2010: *Energy for a Sustainable Future*. United Nations Secretary General's Advisory Group on Energy and Climate (AGECC), New York, NY, USA, 24 pp.

Arctic Council, 2013: Glossary of terms. In: *Arctic Resilience*

Interim Report 2013. Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre, Stockholm, Sweden, p.viii.

Hegerl, G. C., O. Hoegh-Guldberg, G. Casassa, M. P. Hoerling, R. S. Kovats, C. Parmesan, D. W. Pierce and P. A. 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., 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, 8 pp.
- Heywood, V. H. (ed.), 1995: *The Global Biodiversity Assessment*. United Nations Environment Programme, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1152 pp.
- IPCC, 1992: *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment* [Houghton, J. T., B. A. Callander and S. K. Varney (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 116 pp.
- IPCC, 1996: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J. T., L. G. Meira, A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp.
- IPCC, 2000a: *Emissions Scenarios. Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Nakićenović, N. and R. Swart (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
- IPCC, 2000b: *Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R. T., I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo and D. J. Dokken (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 377 pp.
- IPCC, 2001a: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noquer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- IPCC, 2001b: *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., O. Canziani, N. Leary, D. Dokken and K. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1032 pp.
- IPCC, 2003: *Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-Induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types* [Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner (eds.)]. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, 32 pp.
- IPCC, 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, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC, 2011: *Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Impacts of Ocean Acidification on Marine Biology and Ecosystems* [Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, K. J. Mach, G.-K. Plattner, M. D. Mastrandrea, M. Tignor and K. L. Ebi (eds.)]. IPCC Working Group II Technical Support Unit, Carnegie Institution, Stanford, CA, USA, 164 pp.
- IPCC, 2012a: *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.
- IPCC, 2012b: *Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Geoengineering* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, C. Field, V. Barros, T. F. Stocker, Q. Dahe, J. Minx, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. Schlömer, G. Hansen and M. Mastrandrea (eds.)]. IPCC Working Group III Technical Support Unit, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany, 99 pp.
- IPCC, 2013a: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1447 – 1466, doi:10.1017/CBO9781107415324.031.
- IPCC, 2013b: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp., doi:10.1017/CBO9781107415324.
- IPCC, 2014a: Annex II: Glossary [Agard, J., E. L. F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M. J. Prather, M. G. Rivera-Ferre, O. C. Ruppel, A. Sallenger, K. R. Smith, A. L. St. Clair, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea and T. E. Bilir (eds.)]. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V. R., C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea and L. L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1757–1776.
- IPCC, 2014b: Annex I: Glossary, Acronyms and Chemical Symbols [Allwood, J. M., V. Bosetti, N. K. Dubash, L. Gómez-Echeverri and C. von Stechow (eds.)]. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J. C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1251–1274.
- Manning, M. R., M. Petit, D. Easterling, J. Murphy, A. Patwardhan, H.-H. Rogner, R. Swart and G. Yohe (eds.), 2004: *IPCC Workshop on Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk of Options*. Workshop Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 138 pp.
- 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*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 4 pp.
- MEA, 2005: Appendix D: Glossary. In: *Ecosystems and Human Well-being: Current States and Trends. Findings of the Condition and Trends Working Group, Vol. 1* [Hassan, R., R. Scholes, and N. Ash (eds.)]. Millennium Ecosystem Assessment (MEA), Island Press, Washington, DC, USA, pp. 893-900.
- Moss, R. and S. Schneider, 2000: Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to Lead Authors for More Consistent Assessment and Reporting. In: *IPCC Supporting Material: Guidance Papers on Cross Cutting Issues in the Third Assessment Report of the IPCC* [Pachauri, R., T. Taniguchi and K. Tanaka (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, pp. 33-51.
- Moss, R., M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, L. Erda, K. Hibbard, R. Jones, M. Kainuma, J. Kelleher, J. F. Lamarque, M. Manning, B. Matthews, J. Meehl, L. Meyer, J. Mitchell, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Pichs, K. Riahi, S. Rose, P. Runci, R. Stouffer, D. van Vuuren, J. Weyant, T. Wilbanks, J. P. van Ypersele and M. Zurek, 2008: *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies*. IPCC Expert Meeting Report, 19-21 September, 2007, Noordwijkerhout, Netherlands, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 132 pp.
- Moss, R., 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: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, **463**, 747-756.
- UNFCCC, 2013: *Reporting and accounting of LULUCF activities under the Kyoto Protocol*. United Nations Framework Convention on Climatic Change (UNFCCC), Bonn, Germany. Available at: <http://unfccc.int/methods/lulucf/items/4129.php>
- UNISDR, 2009: *2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), United Nations, Geneva, Switzerland, 30 pp.
- van Vuuren, D. P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J. F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S.J. Smith and S.K. Rose, 2011: The Representative Concentration Pathways: an overview. *Climatic Change*, **109**, pp. 5-31.
- WCED, 1987: *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development (WCED), Oxford University Press, Oxford, UK, 300 pp.

부속서 III

약어, 화학 기호 및
과학 단위

μatm	Microatmosphere	FAR	First Assessment Report
AFOLU	Agriculture; Forestry and Other Land Use	FIT	Feed-in Tariff
AMOC	Atlantic Meridional Overturning Circulation	FOLU	Forestry and Other Land Use
AR4	Fourth Assessment Report	GCM	Global Climate Model
AR5	Fifth Assessment Report	GDP	Gross Domestic Product
BAT	Best Available Technique	GHG	Greenhouse Gas
BAU	Business As Usual	GMI	Global Methane Initiative
BECCS	Bioenergy with Carbon Dioxide Capture and Storage	Gt	Gigatonnes
CCS	Carbon Capture and Storage	GTP	Global Temperature change Potential
CDM	Clean Development Mechanism	GWP	Global Warming Potential
CDR	Carbon Dioxide Removal	H₂	Hydrogen
CF₄	Perfluoromethane	HadCRUT4	Hadley Centre Climatic Research Unit Gridded Surface Temperature Data Set 4
CH₄	Methane	HDV	Heavy-Duty Vehicles
CHP	Combined Heat and Power	HFC	Hydrofluorocarbon
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5	HFC-152a	Hydrofluorocarbon-152a, Difluoroethane
CO₂	Carbon Dioxide	IAM	Integrated Assessment Model
CO₂-eq	Carbon Dioxide -equivalent	ICAO	International Civil Aviation Organization
CSP	Concentrating Solar Power	IMO	International Maritime Organization
DC	Developing Country	IO	International Organization
ECS	-equilibrium Climate Sensitivity	LDV	Light-Duty Vehicles
EDGAR	Emission Database for Global Atmospheric Research	LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
EJ	Exajoule	MAG ICC	Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change
EMIC	Earth System Model of Intermediate Complexity	MEF	Major Economies Forum
ENSO	El Nino-Southern Oscillation	MRV	Monitoring, Reporting and Verification
ES	Executive Summary	N₂O	Nitrous Oxide
ESM	Earth System Model	NAMA	Nationally Appropriate Mitigation Action
ETS	Emissions Trading System	NAP	National Adaptation Plan
F-gases	Fluorinated gases	NAPA	National Adaptation Programmes of Action
FAQ	Fr-equently Asked Question		

NGO	Non-Governmental Organization	TCRE	Transient Climate Response to Cumulative CO ₂ Emissions
O₂	Oxygen	TFE	Thematic Focus Element
OA	Ocean Acidification	TS	Technical Summary
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	UHI	Urban Heat Island
PFC	Perfluorocarbon	UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
PPb	parts per billion	W	Watt
ppm	parts per million	WG	Working Group
PV	Photovoltaic	WMGHG	Well-Mixed Greenhouse Gas
R&D	Research and Development		
RCP	Representative Concentration Pathway		
RE	Renewable Energy		
REDD	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation		
REEEP	Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership		
RES	Renewable Energy System		
RFC	Reason For Concern		
RPS	Renewable Portfolio Standard		
SAR	Second Assessment Report		
SM	Supplementary Material		
SO₂	Sulfur Dioxide		
SPM	Summary for Policymakers		
SRES	Special Report on Emissions Scenarios		
SREX	Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation		
SRM	Solar Radiation Management		
SRREN	Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation		
SYR	Synthesis Report		
TCR	Transient Climate Response		

부속서 IV

저자 및 감수자

Core Writing Team Members

ALLEN, Myles R,
University of Oxford
UK

BARROS, Vicente R,
IPCCWGII Co-Chair
University of Buenos Aires
Argentina

BROOME, John
University of Oxford
UK

CHRIST, Renate
Secretary of the IPCC
IPCC Secretariat, World Meteorological
Organization (WMO)
Switzerland

CHURCH, John A,
Commonwealth Scientific and Industrial
Research Organisation (CSIRO)
Australia

CLARKE, Leon
Pacific Northwest National Laboratory
USA

CRAMER, Wolfgang
Potsdam Institute for Climate Impact Research /
Institut
Mediterraneen de Biodiversite et
d'Ecologie marine et continental
(IMBE)
Germany/France

DASGUPTA, Purnamita
University of Delhi Enclave
India

DUBASH, Navroz
Centre for Policy Research, New Delhi
India

EDENHOFER, Ottmar
IPCC WGIII Co-Chair
Potsdam Institute for Climate Impact Research
Germany

ELGIZOUU, Ismail
IPCC Vice-Chair
Sudan

FIELD, Christopher B,
IPCCWGII Co-Chair
Carnegie Institution for Science
USA

FORSTER, Piers
University of Leeds
UK

FRIEDLINGSTEIN, Pierre
University of Exeter
UK

FUGLESTVEDT, Jan
Center for International Climate and
Environmental Research (CICERO)
Norway

GOMEZ-ECHEVERRI, Luis
International Institute for Applied Systems Analysis
(IIASA)
Austria

HALLEGATTE, Stephane
World Bank
USA

HEGERL Gabriele C,
University of Edinburgh
UK

HOWDEN, Mark
Commonwealth Scientific and Industrial
Research Organisation (CSIRO)
Australia

JIMENEZ CISNEROS, Blanca
Universidad Nacional Autonoma de Mexico / United
Nations Educational Scientific and Cultural Organization
(UNESCO)
Mexico/France

KATTSOV, Vladimir
Voeikov Main Geophysical Observatory
Russian Federation

KEJUN, Jianguo
Energy Research Institute
China

LEE, Hoesung
IPCC Vice-Chair
Keimyung University
Republic of Korea

MACH, Katharine J,
IPCC WGII Technical Support Unit
USA

MAROTZKE, Jochem
Max Planck Institute for Meteorology
Germany

MASTRANDREA, Michael D.
IPCC WGII Technical Support Unit
USA

MEYER, Leo
IPCC Synthesis Report Technical Support Unit
The Netherlands

MINX, Jan
IPCC WGIII Technical Support Unit
Germany

MULUGETTA, Yacob
University of Surrey
UK

O'BRIEN, Karen
University of Oslo
Norway

OPPENHEIMER, Michael
Princeton University
USA

PACHAURI, R. K.
IPCC Chair
The Energy and Resources Institute (TERI)
India

PEREIRA, Joy J.
Universiti Kebangsaan Malaysia
Malaysia

PICHS-MADRUGA, Ramon
IPCC WGIII Co-Chair
Centro de Investigaciones de la Economia
Mundial
Cuba

PLATTNER, Gian-Kasper
IPCC WGI Technical Support Unit
Switzerland

PORTNER, Hans-Otto
Alfred-Wegener-Institute
Germany

POWER, Scott B.
Bureau of Meteorology
Australia

PRESTON, Benjamin
Oak Ridge National Laboratory
USA

QIN, Dahe
IPCC WGI Co-Chair
China Meteorological Administration
China

RAVINDRANATH, N. H.
Indian Institute of Science
India

REISINGER, Andy
NZ Agricultural Greenhouse Gas Research Centre
New Zealand

RIAHI, Keywan
International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)
Austria

RUSTICUCCI, Matilde
Universidad de Buenos Aires
Argentina

SCHOLES, Robert
Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)
South Africa

SEYBOTH, Kristin
IPCC WGIII Technical Support Unit
USA

SOKONA, Youba
IPCC WGIII Co-Chair
South Centre
Switzerland

STAVINS, Robert
Harvard University
USA

STOCKER, Thomas F.
IPCC WGI Co-Chair
University of Bern
Switzerland

TSCHAKERT, Petra
Pennsylvania State University
USA

VAN VUUREN, Detlef
Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL)
The Netherlands

VANYPERSELE, Jean-Pascal
IPCC Vice-Chair
University of Louvain
Belgium

*Extended Writing Team Members***BLANCO, Gabriel**

Universidad Nacional dd Centro de la Provinda
de Buenos Aires
Argentina

EBY, Michael

University of Victoria
Canada

EDMONDS, Jae

University of Maryland
USA

FLEURBAEY, Marc

Princeton University
USA

GERLAGH, Reyer

Tilburg University
The Netherlands

KARTHA, Sivan

Stockholm Environment Institute
USA

KUNREUTHER, Howard

The Wharton School of the University
of Pennsylvania
USA

ROGELJ, Joeri

International Institute for Applied Systems
Analysis
(II ASA)
Austria

SCHAEFFER, Michiel

Wageningen University
Germany/The Netherlands

SEDLACEK, Jan

ETH Zurich
Switzerland

SIMS, Ralph

Massey University
New Zealand

ORGE-VORSATZ, Diana

Central European University
Hungary

VICTOR, David G,

University of California San Diego
USA

YOHE, Gary

Wesleyan University
USA

*Review Editors***ALDUNCE, Paulina**

University of Chile
Chile

CHEN, Wenying

Tsinghua University
China

DOWNING, Thomas

Global Climate Adaptation Partnership
UK

JOUSSAUME, Sylvie

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
(LSCE)
Institut Pierre Simon Laplace
France

KUNDZEWICZ, Zbigniew

Polish Academy of Sciences
Poland

PALUTIKOF, Jean

Griffith University
Australia

SKEA, Jim

Imperial College London
UK

TANAKA, Kanako

Japan Sdence and Technology Agency
Japan

TANGANG, Fredolin

National University of Malaysia
Malaysia

ZHANG, Xiao-Ye

China Meteorological Administration
China

부속서 V

전문감수자

AKIMOTO, Keigo

Research Institute of Innovative Technology
for the Earth
Japan

ALCAMO, Joseph

University of Kassel
Germany

ALEXANDER, LisaV.

University of New South Wales
Australia

AMESZ, Bert

The Netherlands

ARAKI, Makoto

Forestry and Forest Products Research Institute
Japan

ARROYO CURRAS, Tabare

WWF International
Mexico

BINDOFF, Nathaniel L.

University of Tasmania
Australia

BORGES LANDAEZ, Pedro Alfredo

Ministry of Science and Technology
Venezuela

BRAGHIERE, Renato

University of Reading
UK

BRUNO, John

The University of North Carolina at Chapel Hill
USA

CARTER, Peter

Climate Emergency Institute
Canada

CASEY, Michael

Carbon Virgin
Ireland

CHOI, Young-June

Seoul Metropolitan Government
Republic of Korea

COHEN, Stewart

Environment Canada
Canada

CONVERSI, Alessandra

National Research Council of Italy
Italy

DING, Yihui

National Climate Center, Meteorological Administration
China

DIXON, Tim

International Energy Agency Greenhouse Gas R&D
Programme
(IEAGHG)
UK

DONG, Wenjie

Beijing Normal University
China

EKHOLM, Tommi

Technical Research Centre of Finland (VTT)
Finland

ESASHI, Kei

The Federation of Electric Power Companies
Japan

FISCHLIN, Andreas

ETH Zurich
Switzerland

FITZSIMMONS, Jason

Chartered Institution of Building Services Engineers
(CIBSE)
UK

GALE, David

Royal Institute of British Architects
UK

HABERL, Helmut

Alpen-Adria Universitat Klagenfurt, Wien, Graz
Austria

HARNISCH, Jochen

KfW Bankengruppe
Germany

HOUSE, Joanna

Bristol University
UK

JU, Hui

Chinese Academy of Agricultural Science
China

KAINUMA, Mikiko

National Institute for Environmental Studies
Japan

KATBEH BADER, Nedal

Environment Quality Authority

Palestine

KAZUNO, Hirofumi

The Kansai Electric Power Co., Inc.

Japan

KHESHGI, Haroon

ExxonMobil Research and Engineering Company

USA

KOSONEN, Kaisa

Greenpeace

Finland

LEFFERTSTRA, Harold

Norwegian Environment Agency (retired)

Norway

LIU, QiyongNational Institute for Communicable Disease Control
and Prevention

China

LLASAT, Maria-Carmen

University of Barcelona

Spain

LYNN, JonathanIPCC Secretariat, World Meteorological Organization
(WMO)

Switzerland

MA, Shiming

Chinese Academy of Agricultural Sciences

China

MASUDA, KooitiJapan Agency for Marine-Earth Science and
Technology

Japan

MENDEZ, Carlos

Instituto Venezolano de Investigaciones Cientificas

Venezuela

MENZEL, Lena

Alfred Wegener Institute

Germany

MOJTAHED, Vahid

Universita Ca' Foscari di Venezia

Italy

MOLINA, Tomas

Universitat de Barcelona

Spain

MURATA, AkihikoResearch and Development Center for Global
Change

Japan

NDIONE, Jacques Andre

Centre de Suivi Ecologique

Senegal

OZDEMIR, Eray

General Directorate of Forestry

Turkey

PALTSEV, Sergey

Massachusetts Institute of Technology

USA

PLANTON, Serge

Meteo-France

France

PLATTNER, Gian-Kasper

IPCC WGI Technical Support Unit

Switzerland

POLOCZANSKA, ElviraCommonwealth Scientific and Industrial Research
Organisation

(CSIRO)

Australia

PORTER, John

University of Copenhagen

Denmark

POWER, Scott B.

Bureau of Meteorology

Australia

RAHOLIJAQ, Nirivololona

National Meteorological Office

Madagascar

RAMASWAMY, Venkatachalam

National Oceanic and Atmospheric Administration

(NOAA)

USA

RHEIN, Monika

University of Bremen

Germany

ROGNER, Hans-Holger

Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)

(retired)

Austria

SCHEI, Tormod Andre

Statkraft AS

Norway

SCHLEUSSNER, Carl–Friedrich

Potsdam Institute for Climate Impact Research
Germany

SHINE, Keith

University of Reading
UK

SOUTHWELL, Carl

Risk and Policy Institute
USA

STOTT, Peter A.

Met Office Hadley Centre
UK

SU, Mingshan

National Center for Climate Change Strategy and
International
Cooperation
China

SUAREZ RODRIGUEZ, Avelino G.

Institute of Ecology and Systematics
Cuba

SUGIYAMA, Taishi

The Central Research Institute of Electric Power
Industry (CRIEPI)
Japan

TAKAHASHI, Kiyoshi

National Institute for Environmental Studies
Japan

TAKASHI, Hongo

Mitsui Global Strategic Studies Institute
Japan

TAKEMURA, Toshihiko

Kyushu University
Japan

TATTERSHALL, David

USA

THORNE, Peter W.

Nansen Environmental and Remote Sensing
Center (NERSC)
Norway

TOL, Richard

University of Sussex
UK

TSUTSUI, Junichi

The Central Research Institute of Electric Power
Industry (CRIEPI)
Japan

URGE–VORSATZ, Diana

Central European University
Hungary

WARD, Robert

London School of Economics (LSE)
UK

WARREN, Rachel

University of East Anglia
UK

WEIR, Tony

University of the South Pacific
Australia

WRATT, David

National Institute of Water and Atmospheric
Research (NIWA)
New Zealand

WU, Jian Guo

Chinese Research Academy of Environmental
Sciences
China

WUEBBLES, Donald

University of Illinois
USA

XIA, Chaozong

China

YAM IN, Farhana

University College London (UCL)
UK

YUTA, Sasaki

Tohoku Electric Power Co., Inc.
Japan

ZHANG, Chengyi

National Climate Center
China

ZHANG, Guobin

State Forestry Administration (SFA)
China

ZHAO, Zong–Ci

China Meteorological Administration (CMA)
China

ZHOU, Guomo

Zhejiang A&F University
China

ZHU, Songli

Energy Research Institute
China

부속서 VI

IPCC 간행물

Assessment Reports

Fifth Assessment Report

Climate Change 2013: The Physical Science Basis
Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report

Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability

Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report

Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change

Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report

Climate Change 2014: Synthesis Report

A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Fourth Assessment Report

Climate Change 2007: The Physical Science Basis
Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report

Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability

Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report

Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change

Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report

Climate Change 2007: Synthesis Report

A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Third Assessment Report

Climate Change 2001: The Scientific Basis
Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report

Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability

Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report

Climate Change 2001: Mitigation

Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report

Climate Change 2001: Synthesis Report

Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report

Second Assessment Report

Climate Change 1995: Science of Climate Change
Contribution of Working Group I to the Second

Assessment Report

Climate Change 1995: Scientific–Technical Analyses of Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change

Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report

Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change

Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report

Climate Change 1995: Synthesis of Scientific–Technical Information Relevant to Interpreting Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change

A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Supplementary Reports to the First Assessment Report Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment

Supplementary report of the IPCC Scientific Assessment Working Group I

Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Impacts Assessment

Supplementary report of the IPCC Impacts Assessment Working Group II

Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments

IPCC First Assessment Report Overview and Policymaker Summaries and 1992 IPCC Supplement

First Assessment Report

Climate Change: The Scientific Assessment

Report of the IPCC Scientific Assessment Working Group I, 1990

Climate Change: The IPCC Impacts Assessment

Report of the IPCC Impacts Assessment Working Group II, 1990

Climate Change: The IPCC Response Strategies

Report of the IPCC Response Strategies Working Group III, 1990

Special Reports

Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX) 2012

Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN) 2011

Carbon Dioxide Capture and Storage 2005

Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons (IPCC/TEAP joint report) 2005

Land Use, Land-Use Change, and Forestry 2000 Emissions Scenarios 2000

Methodological and Technological Issues in Technology Transfer 2000

Aviation and the Global Atmosphere 1999

The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability 1997

Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios 1994

Methodology Reports and Technical Guidelines

2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (KP Supplement) 2014

2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (Wetlands Supplement) 2014

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (5 Volumes) 2006

Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types 2003

Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry 2003

Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories 2000

Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (3 volumes) 1996

IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations 1994

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (3 volumes) 1994

Preliminary Guidelines for Assessing Impacts of Climate Change 1992

Technical Papers

Climate Change and Water
IPCC Technical Paper VI, 2008

Climate Change and Biodiversity
IPCC Technical Paper V, 2002

Implications of Proposed CO₂ Emissions Limitations
IPCC Technical Paper IV, 1997

Stabilization of Atmospheric Greenhouse Gases: Physical, Biological and Socio-Economic Implications
IPCC Technical Paper III, 1997

An Introduction to Simple Climate Models Used in the IPCC Second Assessment Report
IPCC Technical Paper II, 1997

Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change
IPCC Technical Paper I, 1996

For a list of Supporting Material published by the IPCC (workshop and meeting reports), please see www.ipcc.ch or contact the IPCC Secretariat, c/o World Meteorological Organization, 7 bis Avenue de la Paix, Case Postale 2300, CH-1211 Geneva 2, Switzerland

색인

Note: An asterisk (*) indicates the term also appears in the Glossary. Page numbers in bold indicate page spans for the four Topics. Page numbers in italics denote figures, tables and boxed material.

A

Abrupt climate change*, 1 3, 1 6, 65, 73–74

Adaptation*, 17–31, 76–112
 approaches, variety of, 27, 94, 95, 96
 characteristics of, 19–20, 79–81
 co-benefits, 1 7, 20, 26, 80–81, 90, 91, 98
 cooperative action in, 1 7, 26, 29, 76, 94, 102, 105, 106
 emissions reductions and, 17, 76
 enabling factors and constraints, 19–20, 26, 80, 94, 95, 111
 –equity and fairness in, 1 7, 76–77, 95
 finance, 30–31, 97, 107, 1 10–1 1 1, 110–111
 first step in, 19, 80
 funding gap, 31, 111
 future pathways, 17–26, 76–91
 interactions with mitigation, 1 7–1 8, 20, 26, 76, 77, 80, 81, 90, 98, 1 12
 maladaptation, 20, 77, 80
 near-term decisions, 77, 79
 place- and context-specificity of, 79–80
 planning and implementation, 19–20, 26, 29–30, 31, 54, 80, 94, 95–97, 96, 98, 106, 107, 112
 policy approaches for, 26, 29–31, 94, 96, 102–1 1 1
 risk management/reduction by, 14, 17–19, 18, 65–67, 65, 70–71, 76, 77–79, 79, 94, 108
 risks/side effects of, 17, 76, 91
 risks compared with risks from climate change, 17, 19, 77
 sustainable development and, 1 7, 1 9, 31, 76, 79, 95
 transformation and, 20, 27, 76, 80, 96

Adaptation deficit*, 91, 95

Adaptation experience, 26, 54, 106–107, 106

Adaptation limits*, 19–20, 72, 79
 exceedance of, 20, 67, 77, 80

Adaptation options, 26, 27, 76, 94, 95–98, 96
 by sectors, 95–97, 98

Adaptation pathways, 17–26, 76–91
 characteristics of, 19–20, 79–81

Adaptation potentials, 65, 70–71

Adaptive capacity*, 26, 77, 80, 94

Aerosols, 44, 90

Afforestation*, 28, 29, 81, 102, 112

AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use)*, 28, 30, 101, 104, 108

Agriculture, 16, 29, 69, 81, 98, 102
See also Crop yields

Antarctic ice sheet, 4, 16, 42, 74

Anthropogenic emissions, 3, 4–5, 5, 8, 16, 18, 20, 44, 45–47, 45–47, 54, 63–64, 73–74, 74, 78

Anthropogenic forcings, 5, 6, 44–47, 45, 48, 48

Arctic region, rapid warming in, 4, 10, 60

Arctic sea ice, 4, 12, 48, 62
 anthropogenic influences on, 5, 48, 49
 observed changes, 4, 41, 42, 48, 49
 projected changes, 12, 62, 74

Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), 60–62, 74
 Atmosphere, 2, 3, 40, 41, 42, 47, 58–60, 82
 Attribution. *See* Detection and attribution

Anthropogenic emissions, 3, 4–5, 5, 8, 16, 18, 20, 44, 45–47, 45–47, 54, 63–64, 73–74, 74, 78

Anthropogenic forcings, 5, 6, 44–47, 45, 48, 48

Arctic region, rapid warming in, 4, 10, 60

Arctic sea ice, 4, 12, 48, 62
 anthropogenic influences on, 5, 48, 49
 observed changes, 4, 41, 42, 48, 49
 projected changes, 12, 62, 74

Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), 60–62, 74

Atmosphere, 2, 3, 40, 41, 42, 47, 58–60, 82

Attribution. *See* Detection and attribution

Biodiversity*, 13, 64, 65, 67, 98, 109, 112

Bioenergy, 25, 82, 85, 86, 102

Bioenergy and Carbon Capture and Storage (BECCS)*, 22, 23, 24, 28, 81, 82, 85, 89, 100

Biogeochemistry, 62

C

Cancún Pledges*, 23, 24, 84, 85

Cap and trade, 30, 107

Carbon cycle*, 45, 56, 56, 62

Carbon dioxide (CO2)
 CO2-equivalents*, 5, 20–23, 21–24, 28, 45–46, 46, 47, 81, 82–87, 84–85, 99–100, 99, 101
 emissions, drivers of, 4, 46–47, 47, 81
 emissions, increase in, 3, 4–5, 5, 44, 44, 45–47, 45–47
 emissions scenarios, 8, 18–19, 18, 20–24, 21–23, 28, 28, 57, 81–86, 82–86, 99, 101
 emissions, warming and, 8–10, 9, 18–19, 18, 20, 21, 62–63, 63–64, 78
 projections, 8, 9, 16, 63–64, 73–74, 74
 radiative forcing and, 43, 44, 45
 removal from atmosphere, 16, 62–63, 74
See also Emissions

Carbon Dioxide Removal (CDR)*, 21, 23, 24, 81, 82, 89

Carbon dioxide capture and storage (CCS)*, 22, 24, 25, 28, 82, 85, 109, 110

Carbon price*, 24, 25, 30, 106, 107, 108, 109

Carbon sequestration, 31, 101, 112

Carbon sinks*, 20, 28, 45, 67, 81, 98

Cascading impacts, 51, 52

Causes. *See* Detection and attribution

Certainty, 2, 37

Clean Development Mechanism (CDM), 105–106, 108

Climate change*, 2–16, 40–74
 adaptation and mitigation and, 17–31, 76–112
 attribution of, 47–51
 beyond 2100, 16, 73–74
 causes of, 4–5, 44–51
 comprehensive strategies for, 91
 decision making about, 17, 76–77, 107
 drivers of, 4, 5–96, 8–10, 9, 44–47, 47, 56–58, 62, 70–71, 81, 84
 emissions reductions, effects on, 17–19, 18, 20, 56, 84–85
 future changes, 8–16, 56–74
 future risks and impacts, 13–16, 17–19, 18, 77–79, 78
 impacts attributed to, 6, 7, 49–51, 50–52
 irreversible or abrupt changes, 13, 16, 65, 73–74
 limiting, 8, 17, 20, 56, 65, 84–85
 risk amplification by, 13, 16, 64, 66, 77, 78
 timescales, 13, 16, 62–63, 63, 73–74, 77

Climate extreme. *See* Extreme weather events

Climate finance*, 95, 109–110, 111

Climate models*, 12, 43, 56–58, 56, 58
 confidence and uncertainty in, 56

Climate-resilient pathways*, 17, 31, 76, 77, 90

Climate sensitivity*, 48, 49, 62

Climate system*
 drivers of changes in, 4–5, 8–10, 44–47, 56–58, 81, 84
 human influence on, 2, 4–5, 5, 8, 9, 44, 48–49, 51, 63–64
 observed changes in, 2–4, 3, 12, 40–44, 41–43, 49–51, 50–52
 projected changes in, 10–13, 16, 56, 58–64, 59–61, 63–64
 responses of, 62–63
 timescales of change, 62–63, 63
 warming of, 2–4, 3, 62–63

CO2. *See* Carbon dioxide

Coastal systems, 13, 15, 66, 67, 97, 98

Co-benefits*, 17, 20, 26, 30, 77, 78–79, 80–81, 90, 90–91, 98, 102, 103–104, 107, 109

Confidence*, 2, 37, 56

Cooperation, 17, 26, 29, 76, 89, 94, 102, 105, 106

Coral reefs, 13, 67, 68, 72, 74, 97

Cost-effectiveness*, 24, 24–25, 28–30, 77, 84–86, 85–86, 98, 99, 102, 107, 112

Costs
 of mitigation, 17, 24–25, 24–25, 28–30, 84–86, 85–86, 98, 99, 102
 of mitigation delays, 19, 24, 25, 79, 85, 86
See also Climate finance

Crop yields, 13, 15, 51, 69, 69, 98

Cryosphere, 2, 42, 47, 52, 62

D

Decarbonization*, 5, 78, 81, 98, 99–100

Decision making, 17, 19, 29, 76–77, 107

Deforestation*, 28, 29, 67, 83, 102

Delay in mitigation, effects of, 17, 19, 20, 24, 25, 31, 76, 77, 79, 81, 84–85, 86, 90

Detection and attribution*, 4–8, 7, 45–51, 50–51 *See also* Humans
Disaster risk management, 26, 27, 31, 54, 91, 94, 95, 96, 97, 106, 111
Droughts*, 8, 15, 36, 51, 53, 69, 97, 98

E

Early warning systems*, 27, 95, 96, 97
Economic diversification, 19, 27, 30, 31, 80, 96
Economic growth and development, 64, 94 emissions and, 4, 8, 20, 44, 46–47, 47, 56, 81
Economic indicators, aggregate, 78
Economic instruments, 30, 107–109, 108
Economic losses, 53, 73
Ecosystem services*, 13, 20, 64, 65, 67, 81
Ecosystems*, 8, 13, 16, 20, 26, 27, 53, 64, 67, 74, 97
 key risks, 65, 65, 66, 67, 74
 management, 27, 29, 96, 97
El Niño Southern Oscillation (ENSO)*, 4, 40, 56, 60
Emissions anthropogenic, 3, 4–5, 5, 8, 16, 18, 20, 44, 45–47, 45–47, 54, 63–64, 73–74, 74, 78
 CO₂-equivalent*, 5, 20–23, 21–24, 28, 45–46, 46, 47, 81, 82–87, 84–85, 99–100, 99, 101
 as driver of climate change, 4–5, 8–10, 9, 18, 19, 44, 45–47, 45, 56–58, 62, 84
 drivers of, 4, 8, 20, 44–47, 47, 56, 81
 economic assessment and, 30, 79, 85, 86
 future risks and, 8–16, 17–19, 18, 77–79, 78
 metrics for, 23, 87–88
 of non-CO₂ gases, 23, 28, 84, 87, 99
 observed changes, 2, 3, 4–5, 5, 44, 44, 45–47, 45–47, 54
 projections (*See* Emissions scenarios)
 reductions, 8, 17–19, 18, 20–24, 28, 30, 56, 76, 86, 98–100, 99–101
 reductions, challenges of, 20, 81
 reductions, substantial, 8–10, 17–19, 18, 19, 20, 24, 28, 56, 63, 77–78, 81, 110
 relationship with climate changes, 3, 4, 17, 18, 86
 by specific gases, 5, 46
 temperature (warming) and, 8–10, 9, 18–19, 18, 20–24, 56, 58, 62–63, 81–86, 83
Emissions scenarios*, 8, 18–19, 18, 20–24, 21–24, 28, 28, 60–61, 63–64, 74, 81–86, 82–86
 baseline*, 8, 20, 21, 22, 24, 24, 28, 28, 82, 85, 99, 110
 climate change risks and, 8, 18–19, 18, 73–74
 mitigation pathways and, 18, 20–23, 21–23, 78, 81–86, 98–100, 99–101
 overshoot scenarios*, 20–23, 22, 81, 83, 89

overview of, 21–23, 83, 83
 RCPs, 8, 9, 10, 11, 16, 21, 22, 56–62, 57, 59–61, 63–64, 74, 74
 risk and, 66
 sea-level rise and, 16
 specific sectors and gases, 28, 46, 47, 99, 99
 SRES scenarios, 57, 58
 standard set of, 56–58, 57
 temperature and, 8–10, 9, 16, 18–19, 18, 20–24, 22, 62–63, 81
Energy access*, 30, 109
Energy accumulation in climate system, 4, 42
Energy demand, 29, 99–100
Energy efficiency, 30, 81, 110
Energy intensity, 47, 47, 94, 98–99
Energy price. *See* Carbon price
Energy production, 28, 28, 30, 31, 81, 99–100, 100–101, 103, 110
 decarbonizing of, 28, 98, 99–100
 low-carbon energy, 21, 23, 28, 30, 82, 84, 85, 94, 100, 100, 110
 policy instruments, 108
–equity, 17, 76–77, 89, 90, 95, 109
Exposure*, 8, 13, 16, 20, 36, 53, 54, 58, 64, 76, 96
 reduction of, 19, 27, 80
Extinction risk, 13, 19, 51, 65, 67
Extreme weather events*, 7–8, 53
 economic losses from, 53
 human influences, 8, 53
 observed changes, 7–8, 53
 precipitation, 7, 8, 10, 11, 15, 53, 58, 60
 projections, 10, 11, 58
 as Reason for Concern, 18, 18, 72–73, 78
 risks due to, 19, 65
 sea level, 7, 8, 53
 temperature, 7–8, 10, 53, 60

F

Finance, 29, 30–31, 95, 95, 97, 102, 107, 109–110, 110–111
 funding gap, 31, 111
Fisheries, 13, 15, 67, 68, 97
Floods*, 8, 15, 53, 67
Food production, 15, 16, 67, 68–69, 69, 97
Food security*, 13, 16, 19, 64, 65, 69, 109
Forests*, 29, 52, 67, 81, 102
 afforestation*, 28, 29, 81, 82–83, 102
 deforestation*, 28, 29, 67, 83, 102
 Future changes, risks, and impacts, 8–16, 56–74
See also Projected changes
 Future pathways, 17–26, 76–91
 adaptation pathways, 19–20, 79–81
 decision making and, 17, 19, 76–77, 107
 mitigation pathways, 20–26, 81–86

G

Geoengineering*, 89

Glaciers, 5, 48, 56
 observed changes, 5, 42, 48
 projected changes, 12, 62
Global aggregate impacts, 18, 18, 72–73, 73, 78
Global Temperature change Potential (GTP)*, 87–88
Global Warming Potential (GWP)*, 87–88
Governments/governance, 17, 26, 29–30, 31, 89, 112
 adaptation and, 19, 26, 54, 80, 94, 95, 106, 107 *See also* Policies
Greenhouse gas emissions. *See* Emissions
Greenland ice sheet, 5, 48
 observed changes, 4, 5, 42, 48
 projected changes, 16, 74

H

Heat waves*, 7–8, 10, 53, 58, 60, 69
Human health, 13, 15, 31, 51, 65, 69, 97, 109
Human security, 16, 54, 64, 77, 97
Humans anthropogenic forcings, 5, 6, 44–47, 45, 48, 48
 anthropogenic greenhouse gas emissions, 3, 4–5, 5, 8, 9, 16, 18, 20, 44, 45–47, 45–47, 54, 63–64, 73–74, 74, 78
 human activities, constraints on, 15, 19, 65, 69, 77
 influence on climate system, 2, 4–5, 5, 8, 9, 44, 48–49, 51, 63–64
 responses to climate change (*See* adaptation; mitigation)

I

Ice sheets, 56
 observed losses, 4, 5, 42, 48
 projected losses, 16, 74
Impacts*, 8–16, 56–74
 on all continents and oceans, v, 6, 47, 49
 attribution of, 47–51, 50–52
 cascading, 51, 52
 of climate change, 2, 6, 7, 13–16, 49–51, 50–52, 64–73
 distribution of, 18, 18, 72–73, 78
 exposure and vulnerability and, 58, 58
 of extreme events, 53
 future, 8–16, 56–74
 global aggregate, 18, 18, 72–73, 73, 78
 high, severe, widespread, and irreversible, 8, 13, 17, 18–19, 56, 62–63, 64, 65, 77, 79
 models of, 58, 58
 Reason for Concern and, 18, 18, 72–73
 risk reduction for, 65, 65
 timescales of, 13, 16, 62–63, 77
See also Observed changes
Indigenous peoples, 19, 26, 27, 80, 95
Information measures, 30, 95, 108, 109

Infrastructure, 15, 26, 29, 69, 79, 94, 95
Institutions, 26, 27, 29–30, 94, 95, 96, 105, 107
Integrated responses, 26, 28, 31, 54, 94, 98, 112
International cooperation, 17, 29, 76, 102, 105, 106
Investments, 26, 30–31, 94, 108, 109, 110–111, 110–111
Irreversible impacts, 8, 13, 17, 18–19, 56, 62–63, 64, 77, 79
Irreversible or abrupt changes*, 13, 16, 65, 73–74

K

Kyoto Protocol, 29, 84, 105–106

L

Land use and land-use change*, 27, 31, 56, 96
 AFOLU, 28, 30, 101, 104, 108
 RCPs and, 57
Large-scale singular events, 18, 18, 72–73, 78, 79
Likelihood*. *See* Confidence
Livelihoods, 26, 27, 64, 65, 67, 90, 94, 96, 97
Local governments, 19, 29, 80, 106, 107
Low-carbon energy supply, 21, 23, 28, 30, 82, 84, 85, 94, 100, 100, 110

M

Methane, 4, 44, 44, 57, 84
Migration of human populations, 16, 73 of species (*See* range shifts)
Mitigation*, 17–31, 76–112
 behaviour, lifestyle, and culture and, 26, 27, 29, 81, 94, 95–96, 98–102
 characteristics of, 20–26, 81–86
 co-benefits of, 17, 20, 30, 77, 78–79, 80–81, 90, 90–91, 98, 102, 103–104, 107, 109
 cooperative action in, 17, 26, 29, 76, 94, 102, 105
 delay, effects of, 17, 19, 20, 24, 25, 31, 76, 77, 79, 81, 84–85, 86, 90
 emissions increases despite, 54
 emissions reductions and, 17, 76, 81–86, 98–100, 99–101
 enabling factors and constraints, 26, 94, 95, 111
 –equity and fairness in, 17, 76–77, 109
 future pathways, 17–26, 76–91
 influence on climate change, 86
 integrated approach, 26, 28, 31, 54, 94, 98, 112
 interactions with adaptation, 17–18, 20, 26, 76, 77, 80–81, 90, 98, 112
 national and sub-national, 106–109
 near-term decisions, 17–18, 19, 77,

79
 policy approaches for, 29–31, 102–111
 risk reduction by, 74, 17–19, 18, 76, 77–79
 risks/side effects of, 17, 19, 30, 76, 78–79, 91, 102, 103–104, 107, 109
 risks compared with risks from climate change, 17, 19, 77, 78–79
 warming levels without additional mitigation, 17, 18–19, 18, 77, 81
Mitigation costs, 17, 24–25, 24–25, 28–30, 84–86, 85–86, 98, 99, 102
 cost-effectiveness, 24, 24–25, 28–30, 84–86, 85–86, 98, 99, 102, 107
 delays and, 19, 24, 25, 79, 85, 86
 distribution of, 86
 economic assessments, 79, 85, 86, 111
Mitigation options, 26, 28–29, 31, 90, 98–102, 99–101
 by sectors, 28, 98–99, 99, 101
Mitigation pathways, 17–26, 76–91, 98–100, 99–101
 characteristics of, 20–26, 81–86
 emission metrics and, 23, 87–88
Mitigation scenarios*, 18–19, 18, 20–25, 21–24, 28, 28, 30, 81–86, 82–86, 98–100, 99–101, 110
Models. *See* Climate models

N

National governments, 19, 29, 30, 80, 106–109

O

Observed changes, 2–8, 40–54
 in climate system, 2–4, 3, 12, 40–44, 41–43, 47, 49–51, 50–52
 in emissions, 2, 3, 4–5, 5, 44, 44, 44–48, 45–47, 45–47, 54
 extreme events, 7–8, 53
 human influence and, 2, 5
 impacts of, 6, 7, 49–51, 50–52
 in temperature, 2–4, 3, 5, 7–8, 12, 40, 41, 43, 47, 49, 61
Ocean, 40–41, 60–62, 97
 cascading impacts in, 52
 energy accumulation in, 4, 42
 heat content, 5, 45, 48, 49
 modeling, 56
 observed changes, 2, 3, 4, 5, 40–41, 41, 42
 oxygen content, 13, 41, 51, 62
 projected changes, 10, 11, 16, 60–62, 67
 salinity of, 4, 40, 48
 thermal expansion, 42, 48, 56
 warming of, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 40, 41, 45, 47–48, 49, 58, 60, 67
 Ocean acidification*
 impacts of, 51, 67, 74
 observed increase, 4, 40–41, 45, 48

projections, 10, 12, 16, 58, 59, 62, 66, 74
 risks associated, 13, 65, 66, 67
 timescale of, 16, 74

Overshoot scenarios*, 20–23, 22, 81, 83, 89

P

Permafrost*, 4, 12, 16, 42, 62, 74
Policies, 17, 29–31, 91, 94, 102–111
 for adaptation, mitigation, technology, and finance, 26, 29–31, 81, 94, 95, 96, 102–111
 assessing, 76
 decision making and, 17, 19, 29, 76–77, 107
 emission metrics and, 87–88
 sectoral instruments, 30, 107, 108
 sustainable development and, 90, 91
Population growth, 4, 8, 20, 44, 46–47, 47, 56, 81
Poverty*, 16, 17, 27, 31, 54, 73, 76, 90, 96
Precipitation extreme events, 7, 8, 10, 11, 15, 53, 58, 60
 observed changes, 4, 8, 12, 40, 41, 48, 51, 53, 61
 projected changes, 11, 12, 60, 61
Private sector, 19, 29, 30, 80, 95, 97, 106, 107, 111
Projected changes, 10–13, 11, 56–74
 basis for (models), 56, 58
 in climate system, 10–13, 16, 56, 58–64, 59–61, 63–64
 confidence and uncertainty in, 56
 ecosystems and services, 66, 67
 emissions scenarios and, 8, 9, 18–19, 18, 20–24, 21–24, 28, 28, 56, 57, 60–61, 63–64, 74, 81–86, 82–86
 relative to 1986–2005, 10, 58
See also Temperature projections

R

Radiative forcing*, 5, 6, 43, 44, 45, 48, 48
Range shifts of species, 6, 13, 51, 67
Reasons for Concern*, 18, 18, 72–73, 77–78, 78
Regions
 adaptation experience, 106, 106
 impacts, 7, 50–51
 irreversible changes, 16
 key risks, 13, 14, 65, 65
 mitigation initiatives, 106
 temperature data, 49
Renewable energy, 22, 28, 30, 110
Representative Concentration Pathways (RCPs)*, 8, 9, 10, 11, 16, 21, 22, 56–62, 59–61, 63–64, 74, 74
 description of, 57
Resilience*, 31, 94
 climate-resilient pathways*, 17, 31, 76, 77, 90

Risk*, 8–16, 36, 56–74

of adaptation, 17, 76, 91
 causes of, 58, 64
 from climate change, 13–16, 17–19, 18, 31, 36, 64–73, 66, 76–79, 78
 estimating, 58
 future, 8–16, 56–74
 of geoengineering, 89
 with high temperatures, 15, 16, 18, 66, 73–74, 77, 78
 key risks, 14, 64–65, 65, 70–73
 of mitigation, 17, 19, 30, 76, 78–79, 91, 102, 103–104, 107, 109
 models of, 58, 58
 new risks, due to climate change, 13, 64
 perception of, 17, 19, 77
 quantification of, 36, 58, 79
 Reason for Concern and, 18, 18, 72–73, 77–78, 78
 region-specific, 13, 14, 65
 unavoidable, 19
 uneven distribution of, 13, 64

Risk management/reduction*, 8, 13, 14, 17–19, 36, 65

adaptation and mitigation and, 14, 17–19, 17–25, 18, 26, 65–67, 65, 70–71, 76, 77–79, 79, 94, 108
 substantial emissions reductions, 19, 20, 77–78, 81
See also Disaster risk management

Rural areas, 16, 65, 69, 97**S****Scenarios**, 17–26, 56–58, 81–86, 82–86

emissions, 8, 9, 18–19, 18, 20–24, 21–24, 28, 28, 60–61, 63–64, 74, 81–86, 82–86
 overshoot*, 20–23, 22, 81, 83, 89
 RCPs, 8, 9, 10, 11, 16, 21, 22, 56–62, 57, 59–61, 63–64, 74, 74
 SRES, 57, 58
See also Emissions scenarios
 Sea ice
 anthropogenic influences on, 5, 48, 49
 Arctic, 4, 5, 12, 41, 42, 48, 49, 62, 74
 observed changes, 4, 5, 41, 42, 48, 49
 projected changes, 12, 59, 62
 Sea level
 extremes, 7, 8, 53
 observed changes, 2, 3, 42–44, 61
 thermal expansion and, 42, 48, 56
 Sea level rise
 anthropogenic influences on, 5, 48
 contributions to, 42, 44, 74
 observed, 2, 3, 4, 5, 41, 42–44, 48
 projected, 10, 11, 13, 16, 58, 59–61, 62, 74, 74
 risks associated with, 65, 65, 66, 67, 74
 timescale of, 16, 74
 variability in, 13, 62

Seasonal activities, 6, 51**Sectors**, 97, 98

adaptation options, 95–97, 98
 GHG emissions by, 28, 46, 47, 88, 99, 99, 101
 key risks, 65, 70–71
 mitigation options, 28, 98–99, 99,

101

policy instruments, 30, 107, 108

Snow cover, 2, 4, 42, 47, 48, 51, 62**Solar irradiance**, 10, 44, 58**Solar radiation management (SRM)***, 25–26, 89**Species extinctions**. *See* Extinction risk**Species range shifts**. *See* Range shifts**SRES scenarios***, 57, 58**Subsidies**, 30, 107–109, 108**Sustainable development***, 17, 31, 76–77

adaptation and mitigation and, 17, 19, 31, 76, 79
 climate change as threat to, 31, 90
 climate policy and, 31, 76, 90, 91
 –equity and, 17, 76–77, 109
 future pathways, 17–26, 76–91
 trade-offs, synergies and interactions, 31, 80–81, 90, 112
 transformations and, 20, 80
Synergies, 19, 20, 26, 31, 80–81, 90, 109, 112

T**Technology**, 20, 23, 24, 25, 26, 81, 85, 94, 95, 95, 100

policies and, 29, 30, 102, 109

Temperature

emissions and, 8–10, 9, 16, 18–19, 18, 20–24, 22, 56, 58, 62–63, 63–64, 78, 83

extremes, 7–8, 10, 53, 60

global mean surface temperature, 9, 10, 20, 58–60, 59–61

Global Temperature change Potential (GTP), 87–88

human influence on, 4, 5, 8, 9, 44,

47–48, 48, 63, 63–64

mortality associated with, 8, 51, 53

observed changes, 2–4, 3, 5, 7–8, 12, 40, 41, 43, 49, 61

observed changes, contributions to, 48, 48

observed regional changes, 49

recent trends, 43, 48

risks from high temperatures, 15, 16, 18, 66, 73–74, 77, 78

timescale of changes, 62–63, 73–74

variability in, 2–4, 3, 40, 41, 43 *See also* Warming

Temperature projections, 8–10, 9, 11–12, 16, 20–24, 56, 58–60, 59–61, 63–64, 73–74, 74, 83

in discontinuance of SRM, 26

global mean peak surface temperature change, 62
 mitigation and, 20–25, 21–23, 81

warming to 2°C above pre-industrial, 8–10, 11, 19, 20, 22, 23–24, 60, 60, 62, 63, 74, 77, 81–82, 83, 85

warming to above 2°C above pre-industrial, 10, 11, 19, 20–21, 22, 24, 60, 60, 74, 77, 81–82, 83

See also Emissions scenarios

Thermal expansion*, 42, 48, 56**Timescales of climate change and impacts**, 13, 62–63, 73–74, 77**Trade-offs**, 20, 26, 31, 80–81, 90, 95, 98, 98, 112**Transformation***, 20, 27, 76, 80, 96**U****Uncertainty***, 17, 20, 36, 37, 56 *See also* Confidence**UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)**, 2, 18, 29, 36, 102, 105**Unique and threatened systems**, 18, 18, 19, 65, 72–73, 78**Urban areas**, 15, 31, 69, 97, 112**V****Values and valuation**, 17, 19, 23, 36, 76–77, 96**Violent conflicts**, 16, 54, 77**Volcanic aerosols**, 10, 43, 44, 56**Vulnerability***, 8, 13, 26, 36, 53, 54, 94, 96

estimating and models, 58

reduction of, 19, 27, 80

risks and, 58, 58, 64, 76

W**Warming**

of climate system, 2–4, 3, 8, 9, 40–44, 43, 47, 48, 49, 62–63

CO₂ emissions and, 3, 8–10, 9, 18–19, 18, 20–24, 21, 56, 62–63, 63, 64, 78

feedbacks and, 62

human contribution to, 4, 5, 8, 9, 44, 47–48, 48, 63, 63–64

irreversibility of, 62–63

of ocean, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 40, 41, 45, 47–48, 49, 58, 60, 65, 67

projections of, 9, 10, 11, 12, 16, 20–21, 22, 56, 58–60, 59–61, 63, 74

risks in high warming scenarios, 66, 73–74, 77, 78

timescales of, 16, 20, 62–63, 73–74

without additional mitigation, 17, 18–19, 18, 77, 81

See also Temperature

Water

management, 27, 31, 96, 97, 98

resources and quality, 13, 16, 20, 51, 69, 97, 98

security, 13, 67–69

Water cycle, 4, 5, 47, 48, 60

교정 및 감수

최영은(건국대학교), 조광우(한국환경정책평가연구원), 김용건(한국환경정책평가연구원),
기후정책과

CLIMATE CHANCE 2014 - SYNTHESIS REPORT -

기후변화 2014
- 종합보고서 -

발행 : 기상청
발행일 : 2015년 5월
편집 : 기상청 기후과학국 기후정책과

전화 02-2181-0403
팩스 02-2181-0469
이메일 clpol@korea.kr
Website www.climate.go.kr

기후변화에 관한 정부간 협의체 (The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 기후변화를 평가하는 선도적인 국제 기구이다. UN 환경계획(UNEP)과 세계기상기구(WMO)는 전세계적으로 발표된 최신의 과학적, 기술적 및 사회경제적 정보를 바탕으로 기후변화의 과학적 측면에 대한 권위 있는 평가를 제공하기 위해 IPCC를 창설하였다. IPCC는 기후변화의 원인과 그 영향 및 실현 가능한 대응 전략을 주기적으로 평가하여 기후변화에 관한 가장 포괄적인 최신 정보들을 제공하며, 전세계 학계, 정부 및 산업 부문에서 기후변화와 관련된 모든 사항에 대해 표준 참고자료를 만들었다. 본 종합보고서는 IPCC 제 5차 평가보고서인 기후변화 2013/2014의 네 번째 보고서로 800명이 넘는 국제 전문가가 이번 평가보고서를 통해 기후변화를 평가하였다. 세 실무그룹의 보고서들은 캠브리지 대학 출판국(Cambridge University Press)에서 받아들 수 있다.

기후변화 2013 - 과학적 근거

IPCC 제 5차 평가보고서 중 제 1 실무그룹의 보고서
(ISBN 9781107661820 문고본; ISBN 9781107057999 양장본)

기후변화 2014 - 영향, 적응 및 취약성

IPCC 제 5차 평가보고서 중 제 2 실무그룹의 보고서
(파트 A: ISBN 9781107641655 문고본; ISBN 9781107058071 양장본)
(파트 B: ISBN 9781107683860 문고본; ISBN 9781107058163 양장본)

기후변화 2014 - 기후변화 완화

IPCC 제 5차 평가보고서 중 제 3 실무그룹의 보고서
(ISBN 9781107654815 문고본; ISBN 9781107058217 양장본)

기후변화 2014 - 본 종합보고서는 IPCC의 세 실무그룹의 평가 내용을 바탕으로 주저자팀의 저자들이 작성한 것이며 기후변화에 대한 종합적 평가와 다음 주제에 대해 다루고 있다.

- 관측된 변화와 그 원인
- 미래의 기후변화와 위험, 영향
- 적응, 완화 및 지속가능한 발전에 대한 미래 경로
- 적응 및 완화

