



정책결정자를 위한 요약서

한국 기후변화 평가보고서 2014

- 기후변화 영향 및 적응 -

Korean Climate Change Assessment Report 2014



한국 기후변화 평가보고서 2014

- 기후변화 영향 및 적응 -

정책결정자를 위한 요약서



한국 기후변화 평가보고서 2014

- 기후변화 영향 및 적응 -

정책결정자를 위한 요약서

편집

홍지형

(국립환경과학원 기후대기연구부장)

정휘철

(한국환경정책·평가연구원)

최영은

(건국대학교)

김상균, 김대곤, 홍성철, 이재범,
문경정, 차준석, 홍준석, 마영일, 김승연

(국립환경과학원 지구환경연구과)

이동근

(서울대학교)

ISBN 978-89-6558-262-5 93530

발간등록번호 11-1480523-002031-01

NIER 번호 NIER-GP2014-159

환경부·국립환경과학원

서 문

최근 승인된 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 제5차 기후변화 종합보고서에서는 “인간의 활동이 기후시스템에 미치는 영향은 분명한 사실이며 기후변화가 인류와 자연 시스템에 폭넓은 영향을 미치고 있다”고 언급하고 있습니다.

IPCC에서 발간한 기후변화 평가보고서는 전 지구규모 또는 지역 및 대륙규모를 대상으로 하고 있기 때문에 이를 바탕으로 한반도의 기후변화 현상을 이해하는 것은 정보의 활용성이나 신뢰성에 한계가 있습니다. 특히 기후변화로 인한 한반도 영향은 전 지구적 변화 속도에 비해 빠르고 다양하게 진행되는 것으로 보고되고 있습니다.

따라서 한반도에서 발생 가능한 기후변화의 부정적 영향을 최소화하기 위해서는 기후변화 영향 및 취약성과 관련된 연구 결과의 체계적인 정리가 필요할 것입니다. 이러한 이유로 한반도 지역에 초점을 맞춘 기후변화 평가보고서의 발간이 요구되었으며, 2011년에 ‘한국 기후변화 평가보고서 2010’이 발간되었습니다. 이후 환경부 국립환경과학원과 기상청은 IPCC 제5차 평가보고서 발간 일정에 맞추어 2012년부터 후속보고서 발간을 위한 작업을 시작하였고, 3년간의 준비 끝에 ‘한국기후변화 평가보고서 2014’를 공동으로 발간하게 되었습니다.

이 보고서는 IPCC 실무그룹 II(WG II)에 해당하는 ‘영향 및 적응’ 내용을 담고 있으며, 환경부 국립환경과학원이 담당하여 발간을 추진하였습니다. 보고서는 총 10장으로 구성되었으며, IPCC WG II의 보고서를 참조하되 우리나라의 실정을 고려하여 서론, 수자원, 생태계, 산림, 농업, 해양 및 수산, 산업 및 에너지, 보건, 인간정주공간과 복지, 적응전략으로 구분하였습니다.

보고서 발간을 위해 총 1,500편 이상의 연구논문을 이용하였고 학계와 정부, 연구소에 재직중인 각 분야별 전문가 총 65명께서 참여하여 주셨습니다. 집필에 참여해주신 모든 저자분들께 보고서 발간을 위해 시간과 노력, 열정을 아끼지 않으신 데 대하여 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

또한, 본 보고서가 한반도 기후변화와 관련된 영향 및 적응을 이해하고 부문별 적응 대책을 수립하는데 참고자료로 활용되기를 바라며, 기후변화연구 분야 중 여전히 미흡한 부분의 연구들이 활발히 수행되기를 희망합니다.

2015. 1
국립환경과학원장

머리말

IPCC에서는 지난 1990년 이후 총 5회에 걸쳐 기후변화 평가보고서를 출간하였습니다. 제5차 평가보고서는 2013년도 제 1 실무그룹(WG I)의 ‘과학적 근거(The Physical Science Basis)’를 시작으로 2014년도에는 제 2 실무그룹(WG II)의 ‘영향, 적응 및 취약성(Impacts, Adaptation and Vulnerability)’, 제 3 실무그룹(WGIII) ‘기후변화의 완화(Mitigation of Climate Change)’와 ‘종합보고서(Synthesis Report)’가 발간되었습니다.

기후변화는 인간의 활동으로 인해 발생하는 이산화탄소를 비롯한 다양한 온실기체, 블랙카본과 같은 에어로졸, 도시화, 토지이용 변화 등이 원인이 될 수 있습니다. 특히 우리나라는 기후변화의 직접적인 영향과 더불어 동북아시아의 급속한 경제성장으로 인한 온실가스 배출 증가에 따른 영향을 직·간접적으로 받을 것으로 전망되고 있습니다. 따라서 한반도에서 관측된 기후변화의 영향을 파악하고 발생 가능한 부정적 영향을 최소화하기 위한 적응대책 수립이 필요할 것입니다. 이에 한국은 IPCC 기후변화 종합보고서에 상응하는 ‘한국기후변화 평가보고서 2010’을 2011년에 발간한 바 있으며, 2010년 이후의 연구결과들을 기반으로 한 ‘한국기후변화 평가보고서 2014’를 환경부 국립환경과학원과 기상청이 공동으로 발간하게 되었습니다. 기상청은 IPCC WG I에 해당하는 ‘과학적 근거’를, 환경부 국립환경과학원은 IPCC WG II에 해당하는 ‘영향 및 적응’을 중심으로 추진하였습니다.

보고서 발간을 위해 제2차 한국 기후변화 평가보고서(영향·적응 분야) 발간 연구회를 구성하였으며, 집필진 선정은 학계와 정부, 연구기관을 중심으로 하였습니다. 또한 이 보고서는 과학적 연구논문을 기반으로 하여 작성하였으며, 각종 정부 보고서를 참조하여 보완하는 과정에서 한반도를 대상으로 한 최신 국내·외 기후변화 영향·적응 분야 연구 결과를 집대성하고 색인화하였습니다.

보고서는 각 분야별로 관측된 영향과 전망, 취약성의 주요원인, 적응옵션에 대하여 서술하였습니다. 특히 기존 보고서와 달리 생태계를 산림과 생태계로 나누었으며, 인간정주공간과 복지, 적응전략을 새롭게 추가하였습니다. 또한 정책결정자를 위한 요약보고서를 추가로 작성하였으며, 종합적인 전문가 평가를 통하여 연구결과의 불확실성에 대한 판단을 포함한 연구결과의 신뢰도를 3단계로 제시하였습니다.

본 보고서는 기후변화 영향 및 적응과 관련한 연구자들에게 한국에서 일어나는 기후변화 현상을 이해하고 관련분야의 연구 활성화에 도움이 되기를 바랍니다. 아울러 정책결정자들에게는 미래의 기후변화에 따른 적응정책을 수립하는 데 활용될 수 있기를 기대합니다.

목 차

서문	i
머리말	ii
1. 서론	1
1.1. 배경 및 절차	1
1.2. 「한국 기후변화 평가보고서 2010」 Part II 요약	1
1.3. IPCC WGII 5차 보고서의 주요 결론	2
2. 수자원	4
2.1. 관측된 영향	4
2.2. 영향전망	4
2.3. 취약성의 주요원인	6
2.4. 적응옵션	6
3. 생태계	7
3.1. 관측된 영향	7
3.2. 영향전망	7
3.3. 취약성의 주요원인	8
3.4. 적응옵션	8
4. 산림	9
4.1. 관측된 영향	9
4.2. 영향전망	9
4.3. 취약성의 주요원인	10
4.4. 적응옵션	11
5. 농업	12
5.1. 관측된 영향	12
5.2. 영향전망	12
5.3. 취약성의 주요원인	13
5.4. 적응옵션	14

6. 해양 및 수산	15
6.1. 관측된 영향	15
6.2. 영향전망	15
6.3. 취약성의 주요원인	16
6.4. 적응옵션	17
7. 산업 및 에너지	19
7.1. 관측된 영향	19
7.2. 영향전망	19
7.3. 취약성의 주요원인	20
7.4. 적응옵션	20
8. 보건	22
8.1. 관측된 영향	22
8.2. 영향전망	23
8.3. 취약성의 주요원인	23
8.4. 적응옵션	23
9. 인간정주공간 및 복지	25
9.1. 관측된 영향	25
9.2. 영향전망	25
9.3. 취약성의 주요원인	26
9.4. 적응옵션	26
10. 적응전략	28
10.1. 서론	28
10.2. 국가기후변화 적응대책 수립	28
10.3. 지방자치단체 적응대책 수립	28
10.4. 기후변화 적응전략 및 적응기법 연구	29

1. 서론

1.1. 배경 및 절차

최근 기후변화로 인한 기상재해가 빈번해지고 있으며 환경, 경제, 사회 등 다양한 분야에 영향을 미치고 있다. 특히, 한반도를 포함한 아시아 지역은 기후변화로 인한 생물다양성 감소, 질병, 홍수 등과 같은 영향이 타 지역에 비해 큰 것으로 평가되고 있어 이에 대한 적응대책 수립이 요구되고 있는 실정이다.

최근 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화에 따른 영향 및 취약성을 평가하고, 적응방안을 논의한 연구결과를 토대로 기후변화 평가보고서를 발간하고 있지만 지역적 기후변화의 영향 및 적응에 관해서는 상세히 기술되어 있지 않다.

따라서 본보고서인 「한국 기후변화 평가보고서 2014-기후변화 영향 및 적응」은 한반도를 대상으로 하는 국내·외 연구를 집대성하고 체계적으로 평가하여 연구자 및 정책결정자에게 도움을 주고자 한다.

「한국 기후변화 평가보고서 2010」을 2011년에 발간한 이후부터 2014년까지 국내·외에서 한반도를 대상으로 한 기후변화 영향 및 취약성 관련 약 1,500여 편의 연구 논문과 보고서들이 심도 있게 분석되었다. 정책결정자를 위한 요약보고서(Summary for Policy Makers, SPM)는 본보고서(The underlying)의 구성과 내용을 근거로 작성하였다. 종합적인 연구결과의 평가를 위해 불확실성에 대한 판단을 포함한 연구결과의 신뢰도를 3단계로 제시하였다(표 1.1).

본 보고서에 다룬 WGII는 수자원, 해양 및 수산, 생태계, 산림, 농업, 산업 및 에너지, 보건, 인간정주공간과 복지 그리고 적응전략과 같이 9가지 분야로 나누어 기후변화의 영향과 적응에 대한 이슈를 다루었다. 「한국 기후변화 평가보고서 2010」와 다르게 생태계를 산림과 생태계로 나누었으며, 인간정주공간과 복지, 적응전략을 새롭게 추가하였다.

보고서 발간 절차는 다음과 같다. 제2차 한국

기후변화 평가보고서(영향·적응 분야) 발간 연구회 구성·운영 및 집필진 선정은 학계와 정부, 연구기관을 중심으로 하였으며, 주 저자와 기여저자를 선정하였다. 또한 한반도를 대상으로 한 최신 국내·외 기후변화 영향·적응 분야 연구 결과를 집대성 및 색인화하고, 연구결과를 수집 및 요약하여 데이터베이스화하였다. 마지막으로 평가보고서의 초안본('12)과 보완본('13)을 중심으로 본보고서를 발간하였다. 이때 기여저자를 통해 내용을 보완받으며, 최종적으로 감수저자를 통해 내용에 대한 감수자문을 반영하였다. 이후 완성된 본보고서를 중심으로 국문 요약보고서 및 영문요약 보고서를 작성하였다.

표 1.1. 연구결과 신뢰도 평가(동의수준)의 구분

- | |
|--|
| <p>① 견고한 동의: 관련 분야 논문들의 수가 어느 정도 되고 서로 배치되는 내용이 없이 일치되는 경우 혹은 전문가들의 의견이 일치하는 경우</p> <p>② 중간적 동의: 논문의 수가 어느 정도 되지만 소수의견 등으로 증거를 판단하기 어렵거나 전문가 사이에서도 소수이지만 다른 의견 있는 경우</p> <p>③ 제한적 동의: 논문의 수가 아주 적거나 논문의 내용 혹은 전문가 사이에서도 의견이 서로 달라서 신뢰도를 판단하기에 어려운 경우</p> |
|--|

1.2. 「한국 기후변화 평가보고서 2010」 Part II 요약

IPCC 4차 평가보고서가 제시하는 절차에 따라 기후변화의 영향, 취약성, 적응의 현황 및 미래전망을 제시하였다. 보고서의 내용으로는 변화의 탐지, 수자원, 생태계, 농업, 연안 및 해양, 산업, 보건 분야를 중심으로 고찰, 마지막으로 기후변화에 대한 대응으로 기후변화 취약성, 적응평가 등의 필요성을 제시하였다.

IPCC WGII 내용은 온실가스 농도 증가가 기후·비기후적인 요인에 미치는 영향과 사회, 경제, 생태계에 미치는 직·간접적인 영향을 제시하고 있다. 취약성 평가는 최근 사회·경제에 대한 평가 항목이 포함되면서 위험평가와 함께 정책 수립에 활용되고 있다. IPCC에서 제안하는 적응 평가는 이해관계자들의 정책결정을 위해 과거와 현재의 적응을 파악한다. 우리나라의 경우 영향평가와 관련된 연구들이 가장 많이 진행되고 있다.

「한국 기후변화 평가보고서 2010」에서는 기후변화의 영향, 적응 및 취약성의 복잡한 상황을 이해시키고, 한반도와 관련된 기후변화 연구를 명확하게 설명한바 있지만 아직도 기후변화의 일련의 흐름을 추정할 만한 근거를 제시하는 연구를 찾기 어려웠다. 우리나라의 경우 통합평가 및 연구간 비교의 중요성에도 불구하고 연구의 초점이 주로 개별 분야의 영향평가 및 지역별 취약성 평가에 머무르고 있었으며 적응계획 수립을 위해 취약성 평가 방법론 등이 다양하게 제안되고 있었다.

1.3. IPCC WGII 5차 보고서의 주요 결론

최근 몇 십년간 기후는 전 세계적으로 인간과 자연시스템에 막대한 영향을 끼쳐 왔고 많은 지역에서 실제 변화하고 있는 기후를 체험하고 있다.

기후변화는 기온상승으로 인해 수확량과 식량안보에 긍정적인 측면보다 부정적인 영향을 더 많이 갖고 있다. 또한 전 세계적으로 기후변화와 관련된 질병들이 늘어나고 있고 흑한, 흑서기의 사망률이 증가하고 있다.

기후변화의 영향은 지역간, 계층간의 서로 다른 사회, 경제, 환경적 조건에 따라 그 정도가 다르기 때문에 취약성에 차별성이 존재한다. 최근 기후변화와 관련된 영향에는 폭염, 가뭄, 홍수, 태풍, 산불 등이 있으며 이러한 영향에 의해 인간 및 자연시스템이 취약해지고 있다. 그리고 이러한 영향들은 결국 2차, 3차적 피해를 일으켜 인간의 삶을 파괴하고 가난을 불러오며 자연생태계에도 악영향을 끼치고 있다.

기후변화에 적응하기 위해서 과거로부터 인간은 많은 노력을 기울여 왔다. 적응에 대한 노력은 각 지역마다 상이하지만 시간이 지남에 따라 적응하

는 능력이 각자 생기게 되었고 정부들도 이에 대응하기 위한 다양한 대책을 마련하고 있다.

따라서 대책을 마련하고 수행하기 위해서 의사결정시스템을 거치게 되고 그 과정에서 어떤 대안이 효율적인지 타당성을 따지게 되었으며 불확실성을 감안하게 되었다. AR5의 WGII 보고서에서는 이러한 불확실성을 보완하기 위해 다양한 전문가로부터의 의견 또는 증거를 모아 통합적인 시각에서 의사결정을 하도록 권고하고 있다. 또한 기후적인 요소에만 의존하지 않고 사회경제적인 측면을 반드시 같이 고려해야 할 것을 강조하고 있다.

전 세계적으로 기후변화현상을 겪고 있지만 지역별로 국가별로 받아들이는 정도 즉 취약성과 적응능력이 다르기 때문에 기후변화로부터의 위험이 기회가 될 수도 있고 더 큰 위험요소로 작용할 수도 있다. 또한 분야별로 기후변화에 따른 위험과 기회가 서로 다르기 때문에 이에 대해 파악할 필요가 있다. 예를 들면, 담수자원에 관련하여 생길 수 있는 위험요소에는 홍수로 인한 위험과 가뭄 등으로 인해 발생할 수 있는 물부족 현상이다. 위도가 낮은 더운 지역에서는 가뭄의 빈도가 더욱 높아지지만 위도가 높은 지역은 오히려 수자원이 더욱 많아질 것이다. 그러나 온도가 상승하면서 수질이 나빠질 것이라는 위험요소가 있다. 그리고 담수와 육지 생태계의 관계는 앞서 말했듯이 온도 상승과 함께 수질이 악화됨에 따라 육지생태계에도 영향을 미칠 것이고 결국 서식지의 파괴와 종의 감소를 야기할 것이다. 또한 RCP8.5 또는 6.0 과 같은 고농도 기후변화 시나리오에서의 미래는 육지 및 담수와 관계에서 생태계 시스템 구조의 변화를 일으킬 것이다.

연안지역과 관련하여 해수면 상승으로 인해 21세기에는 연안 저지대가 가장 큰 피해를 입을 것이고 침수, 홍수, 침식 등의 영향을 받게 될 것이다. 해양생태계는 작은 플랑크톤에서 큰 생물에 이르기까지 전 세계적으로 종의 재분배가 일어날 것이고 지역적 특징이 있는 토착종의 의미가 사라지게 될 것이다.

식량안보적 측면에서 열대지역에서는 기후변화로 인해 악영향을 받게 될 것이고 특정 식량항목에 상관없이 모든 식량이 기후변화로 인해 영향을

받을 것이다.

도시지역은 기후변화로 인한 위험요소가 매우 다양하게 존재하는 공간으로 회복력을 높이고 지속가능한 개발을 하는 것이 매우 중요하다. 농촌 지역에서는 물의 수요 및 공급과 관련한 시스템의 변화, 수질의 변화 등이 결국 식량안보적 차원에서 악영향을 미치게 될 것이다.

경제 분야는 기후적 요소에 의한 영향을 많이 받겠지만 주로 비기후적 요소인 인구, 성별, 수입, 기술, 가격, 생활패턴, 규제, 정부의 역할 등이 더욱 영향을 미칠 것으로 전망된다. 그러나 특정 분야의 경우 악영향을 받기도 하고 기회로 역이용할 수 있는 요소가 많기 때문에 기회가능성이 높은 분야이다.

인체 건강분야는 기후변화가 일어나기 시작한 시점부터 미래에도 지속적으로 영향을 미칠 것이다. 지역에 따라서 편차가 크게 작용하겠지만 특히 개도국에 미치는 영향이 선진국에 비해 클 것이다. 이러한 지역적, 국가적 차별성이 지역 간의 갈등을 초래할 수 있으며 이를 조절하기 위해서는 세계국가기구의 역할이 중요하다.

기후변화로 인한 위험을 관리하고 회복력을 강화하겠다는 것은 미래세대와 경제, 환경을 고려하여 기후변화의 완화와 적응을 동시에 포함하는 것이라고 하겠다. 이는 회복력을 강화하기 위해 어떻게 적응을 해야 하고 기후변화를 완화하기 위해 어떻게 대응을 해야 하는지를 의미한다.

효과적인 적응을 위해서는 한 분야만을 고려해서 대책을 마련하는 것이 아닌 전 분야를 고려한 통합적인 시각이 필요하다. 또한 적응대책은 개인에서부터 정부, 사회단체에 이르기 까지 많은 사람들이 참여해야한다. 미래 기후변화에 적응하기 위해 가장 먼저 해야 할 단계는 취약성과 노출 요소를 줄이는 것이다. 그리고 적응을 위한 모든 대책들은 그 지역의 사회·경제적 요소와 다양한 상황들을 고려하여 수립해야하며 효율적인 정책결정을 위해서는 정책결정과정의 투명성과 다양성이 인정되어야 한다.

또한 정책결정을 하는데 있어 하나의 정책이 다른 분야에 어떠한 영향을 미칠지도 사전에 파악해야 하며 이행과정에서 계층간, 지역간 갈등을 최소화하여야 한다.

기후변화로부터 적응력과 회복력을 높이기 위해서는 지속가능한 개발이 매우 중요하다. 지속가능한 개발을 하겠다는 것은 기후변화 완화를 강화함은 물론 기후변화에 대한 적응능력을 높이겠다는 것을 내포하고 있다고 할 수 있다. 앞으로 기후변화는 더 큰 규모로 영향을 줄 것이기 때문에 이러한 부분에 있어 지속가능성은 경제, 사회, 행정, 정치 등 다양한 요소를 고려하여 방향을 설정해야 한다. 즉 기후변화로부터 영향을 최소화하기 위해 저영향의 개발을 추진해야하고 그렇게 해야 기후변화로부터 회복력과 적응력을 높일 수 있다.

2. 수자원

2.1. 관측된 영향

기후변화가 수자원에 미치는 영향연구는 수질, 홍수와 가뭄 분야에 한정되어 있다(중간적 동의).

21세기 중요 화두인 기후변화에 대한 연구는 현재도 활발하게 이루어지고 있다. 기후변화의 중요 키워드인 지구온난화의 원인이 인간의 활동에 기인한 것이므로, 이제는 피해를 최소화하기 위한 노력이 필요하다. 즉 기후변화를 전망하고 대응하는 과정이 필요할 것으로 보이며 그에 따라 온실가스를 주로 배출하게 되는 산업·에너지 분야의 배출저감 연구뿐만 아니라, 각 분야에서의 취약성 평가와 적응대책에 대한 연구가 필요하다.

우리나라에서 지표수에 대한 대부분의 연구는 댐 유입량 및 하천유출량과 관련되어 수문모형의 개발, 홍수와 관련된 유출량 산정, 빈도분석 등에 초점이 맞추어져 있으나 기초가 되는 지표수의 통계특성이나 경향성 분석 등은 미비하였다. 대부분의 연구도 비교적 정확한 자료를 얻을 수 있는 댐 유출량에 초점이 맞추어져 있었다. 이는 통계분석을 위한 자료의 부족이 한 원인이며 이로 인해 댐상류에 국한하여 연구들이 진행된 것으로 보인다. 국내 지표수에 대한 경향성 분석을 살펴보면, 대부분의 연구에서 댐 유입량이나 댐 유역의 하천유출량에 있어서 증가하는 경향을 보이긴 하였으나 통계적으로 유의한 결과를 얻지는 못하였다.

국내 지하수 연구를 살펴보면, 지하수의 거동, 지표수-지하수 연계모형 개발, 지하수 함양량의 이용, 지하수의 수질 등에 관한 연구가 이루어졌다. 특히 지하수 함양량이 지하수 가능 이용량이 되므

로 이를 추정하는 연구에 편중되어 있는 실정이었다. 그렇기 때문에 국내 지하수 연구에서는 지하수의 통계특성이나 경향성에 대한 연구는 그 수가 미비하였다.

국내 홍수에 대한 연구에서는 과거 관측강수를 수문모형에 입력하여 생산한 모의유출량을 이용하여 홍수를 분석하는 방법이 대부분이었다. 과거 연구논문에서의 주로 홍수의 경향성은 과거 발생빈도와 피해액을 중심으로 정리되었다. 국내 홍수 경향성을 종합해 보면, 홍수의 빈도와 규모가 꾸준히 증가하고 있음을 알 수 있으며, 이에 비례하여 홍수 피해도 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히 강수량은 증가하나 강수일수가 감소하여 강우강도가 증가하고 이에 집중호우의 발생빈도가 증가하여 홍수를 발생시킨다고 예상하였다.

국내 가뭄 연구들을 살펴보면 대부분 가뭄지수를 국내에 맞게 수정하거나 개발하는 연구들에 편중되어 있다. 또한 과거 가뭄사례를 분석하고 해결방안을 제시하는 연구도 있었으나, 그 수가 미비하였다. 국내 가뭄에 대한 과거 경향성을 종합해 보면, 가뭄 발생주기는 점차 짧아지고 있으며, 그 피해 또한 증가하고 있다. 특히 최근 발생하는 가뭄은 어느 지역에 국한하여 발생한다거나 심하게 발생하는 것이 아니라 전국적으로 확대되어 발생하는 경향을 나타내고 있다.

2.2. 영향전망

미래 기후변화가 한반도 수자원에 미치는 영향은 지표 유출량의 증가, 지하수 함양량 감소, 홍수량 증가, 봄철과 겨울철 가뭄의 증가가 있을 것으로 전망된다(중간적 동의).

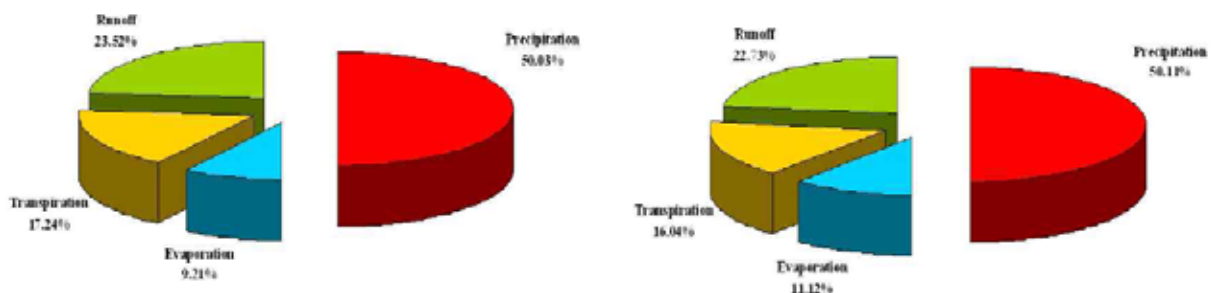


그림 2.1 한강의 과거(좌)와 미래(우)의 평균 물수지 비교

최근(2010~2013년)의 수자원 관련 국내 기후변화 연구는 취약성 평가 등의 연구로 관점이 바뀌기 시작한 시기였다고 총평할 수 있다. 「한국 기

은 지역적으로 매우 다른 전망이 산출되어 불확실성이 크며, 미래로 갈수록 적용 시나리오에 따른 편차가 커지고 있다(중간적 동의). 한편, 지하수

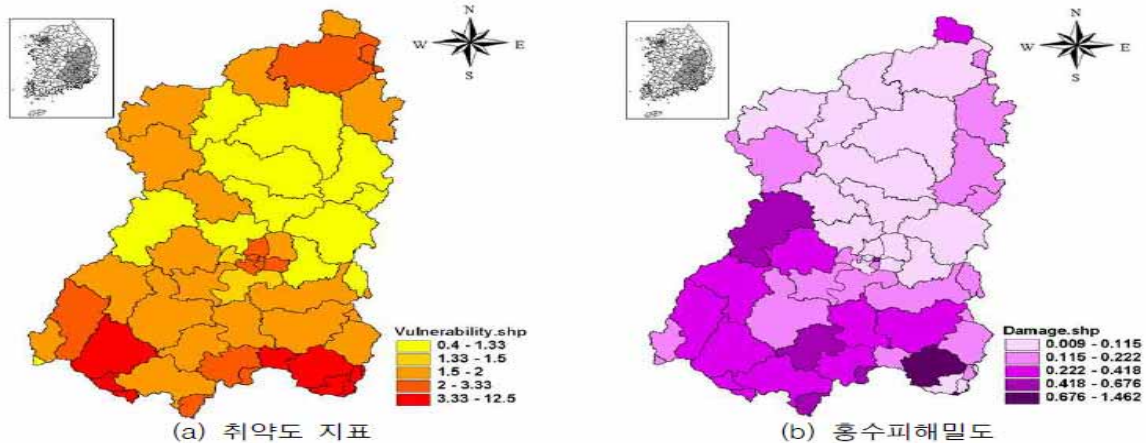


그림 2.2 취약도 지표와 홍수피해밀도의 비교

후변화 평가보고서 2010」에 비해 전망 연구의 비율이 감소했고, 취약성 평가 및 그 외 불확실성 평가와 적응대책 수립 등과 같은 연구들의 비율이 증가했다. 이는 기존의 수자원 관련 연구 자체에서 갖는 각 분야별 연구의 접근과 유사하다고 볼 수 있다.

지표 유출은 GCM, RCM을 이용한 장기모의가 주를 이루고 있는데, 「한국 기후변화 평가보고서 2010」과 다르게 인식할 부분은 통계적 상세화 기법에 대한 연구의 비율이 과거 대비 다소 감소하였다는 점이다. 이는 기상청에서 제공된 RCM을 사용하거나 혹은 각 연구단위에서 기존 연구를 수행하는 동안 다져진 상세화기법의 노하우를 적용했기 때문으로 이해된다. 이에 대비하여 최근 관심이 높은 주제는 유출모의인데, 모형을 달리하여 적용성 검토를 하거나 혹은 토지이용 변화를 예측하는 등의 시도가 있다. 그리고 IPCC 기후 시나리오가 갖는 불확실성을 배제하고자 하여 통계적 기법을 통해 접근한 중단기 연구 또한 지속적으로 이루어지고 있다. 지하 유출은 「한국 기후변화 평가보고서 2010」에 비해서는 연구가 증가한 편이나, 지표 유출과의 연계를 시도하기에는 여전히 연구 단계가 미진한 상태이다.

한반도의 지표 유출량은 미래로 갈수록 증가할 것으로 전망되었으며 그 변화정도는 먼 미래로 갈수록 증가하였다(견고한 동의). 하지만 연평균유량

함양량은 줄어들 것으로 전망되고 있다(견고한 동의). 집중강우의 빈발은 지하 침투보다는 지표 유출을 증가시키고 강설이 감소하는 기후변화의 추세로 인해 지하수 함양량이 줄어들어 전망 수자원 관리 측면에서 어려움이 가중될 것으로 보인다.

수질 분야는 2차 보고서에서 새롭게 추가된 부분이다. 수질 그 자체의 연구들은 활발히 진행되었으며 앞으로도 진행 중인 연구가 많은 수를 차지하였으나 기후변화를 포함한 수질 분야의 연구의 수는 그 수가 상대적으로 미흡하였다. 기후변화에 따른 수질분야에 대한 전망들에 대한 연구들 보다는 수온, 유출, 수생태계 등과 수질부분이 연계된 연구들이 주로 이루어지고 있는 상태이다.

홍수 전망연구는 지표 유출 전망과 함께 1차 보고서에서는 높은 비율을 갖고 있었으나, 2차 보고서에 이르러 그 비율이 대폭 감소한 분야 중 하나이다. 그러나 여전히 의미 있는 연구들이 발표되고 있는데, 기존에 다루지 않았던 성격의 변수 혹은 유역을 다루거나, 비정상성 빈도해석을 고려하기 전 단계의 연구들이 발표되고 있다.

한반도 홍수 연구에 따르면 기후변화로 인해 홍수량은 증가할 것으로 전망된다(견고한 동의). 따라서 향후 홍수위험성 및 취약성이 현재에 비해 증가할 것으로 예상된다(중간적 동의).

미래 가뭄의 발생빈도 및 심도는 지역적으로 다소 차이를 보이지만 전반적으로 모두 증가할 것으

로 전망되었다(중간적 동의). 따라서 가뭄의 발생 빈도와 심도가 증가하는 지역에서는 필연적으로 물부족이 발생할 것으로 예상되었다(견고한 동의). 가뭄의 계절별 경향을 보면 봄철 및 겨울철의 가뭄현상이 심화될 것으로 전망되었다(견고한 동의). 미래 기후변화는 근본적으로 강수 및 기온의 변화를 가져오므로 기상학적 가뭄에 큰 영향을 미치게 되며, 가뭄의 지속기간이 길어지고 심도가 깊어짐에 따라서 순차적으로 농업적 가뭄 및 수문학적 가뭄에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다(중간적 동의). 미래에는 약한가뭄 및 보통가뭄의 발생빈도는 줄어들고 농업 또는 수문학적으로 영향을 미치는 심한가뭄 및 극심한 가뭄의 발생빈도가 증가하는 것으로 전망하고 있다(제한적 동의).

2.3. 취약성의 주요원인

기후변화의 영향으로 인한 홍수 취약성을 평가하는 연구는 큰 관심을 얻고 있다. 각자의 기준 및 지표를 활용한 취약성 평가, 지표 및 기준의 개발, 그리고 경제성 분석까지 다양한 관점에서의 홍수 취약성 평가 연구가 수행되고 있다. 각 홍수 전문가들의 관점, 기준을 담은 다양한 형태의 연구 결과들이 발표되고 있는 실정을 고려하면 당분간 이와 같은 산발적인 경향이 지속될 것으로 예상된다.

각 지역별로 홍수취약성 평가 결과 낙동강 유역의 홍수 취약성이 가장 크게 증가할 것으로 분석되었다(제한적 동의).

최근의 기후변화를 고려한 가뭄 취약성 평가 연구들은 홍수 취약성 평가와 같이 정량적인 결과를 도출하는 것 보다는 경향에 대한 분석을 수행하고 있다. 전망 단계의 연구에서 아직 수행되어야 할 과제들이 해결되지 못한 영향이 있는 것으로 추측된다. 또한, 지표 혹은 기준들이 연구마다 각기 제시되면서 통일성이나 뚜렷한 연구 경향성을 제시할 수 없는 상황이다.

가뭄 연구는 홍수 연구에 비해 전망 단계에서 취약성 평가, 적응대책 수립 등 후속 단계로의 진행이 더딘 편이다. 이는 가뭄 연구의 대상 자료가 과거 관측일 경우에도 상대적으로 다루기가 힘들고 조심스러운 편인데, 기후변화의 영향을 고려함으로

써 불확실성의 영향이 더욱 크게 미치기 때문이다. 그에 따라 여전히 미래 전망에 대한 연구도 비율상 꽤 존재하는 편이다. 비율은 높지 않지만, 기후변화를 고려한 기법 개발 연구나 취약성 평가 단계의 연구 또한 수행되고 있다. 그리고 기후변화를 고려할 수 있는 지표 및 기준에 대한 관심이 연구로 발표되고 있는데, 가뭄 연구의 특성상 지표 개발이 갖는 비중이 높기 때문에 더욱 관심이 높다고 볼 수 있다.

2.4. 적응옵션

수자원 분야에서 적응전략을 제시하는 연구 결과는 부족한 실정이다(중간적 동의).

기후변화에 대한 수자원 분야에서의 적응대책 수립에 관련한 연구는 현재 여러 연구자들에 의해 시도되는 중으로 알려져 있다. 그러나 적응대책 수립에 활용할 수 있는 다양한 기법에 대한 연구들이 발표되는 반면, 미래 전망 자료를 입력함으로써 연구 결과 내에 적응전략을 제시하는 연구 결과는 부족한 실정이다.

3. 생태계

3.1. 관측된 영향

기후변화에 따른 연평균 기온의 상승과 강수량의 증가로 식물계절의 시기가 변하였고, 식물과 동물들 모두 분포와 종조성의 변화가 나타났다(중간적 동의).

식물생태는 한반도, 남한, 국지적 범위 내에서 기후변화와 관련한 각각의 식물 종 중심으로 연구되고 있다. 식물계절의 경우 식물종과 기온, 개화 시기나 단풍시기를 포함하는 장기 모니터링, 위성영상을 통한 식물분포 관측 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 멸종위기종의 경우 자생지 현황, 장기 모니터링 및 이를 위한 기초자료 구축 조사, 수종과 멸종위기종에 관한 생물학적 조사, 식생조사 등 국한된 지역과 종, 식생에 대해 연구되었다. 외래종과 귀화식물의 경우 단순 분포 및 특성 혹은 실내실험 등에 대한 기초연구 정도에 그치고 있었다(중간적 동의).

질병매개곤충의 경우 종의 분포와 환경생태요인과의 관계, 발생과 환경인자의 상관관계, 산지의 고도별 분포조사, 계절발생, 개체수 변동, 감염병 발생과 기후변화에 대한 연구가 이루어졌다(그림 3.1). 양서파충류의 경우 종의 모니터링, 지리적 분포, 산란, 양서파충류를 매개로 하는 질병균의 분포 및 감염, 이동거리 및 행동권 분석, 서식지나 생태적 특성 조사에 대해 연구가 수행되었다. 포유류의 경우 동면생태와 행동연구, 분포와 종분화, 종조사에 대한 연구가 있다. 조류의 경우 도래 현황 변화, 이동 및 서식지 이용, 번식생태, 종조사에 대한 연구가 활발하였다(중간적 동의).

취약생태계 분야를 살펴보면, 국립공원의 경우 취약산림 식물 종 조사, 자생지 조사, 식생조사, 국립공원 등산로 훼손, 곤충 개체군 조사, 멸종위기종 조사, 기후변화와 산림휴양수요 간의 관계에 대한 연구가 이루어졌다. 천연보호구역은 식물상 및 식생조사, 조류상, 생태경관보전지역은 생태계 변화과정, 식물상 및 분포 특성에 대해 조사되었다. 습지와 무인도서의 경우 산지습원 분포와 식물상, 곤충상, 해조류(seaweed)에 대한 연구, 고산 및 아고산 생태계는 식생조사, 생육지 환경, 식재

및 실내실험이 진행되었다(중간적 동의). 북한지역 생태계는 식물화석을 통한 분류 및 고 기후 복원, 식물상과 식생, 곤충 분류와 분포, 포유류, 어류, 위성영상을 이용한 산림생태분류 및 생물계절상 분석이 이루어져 있다(제한적 동의).

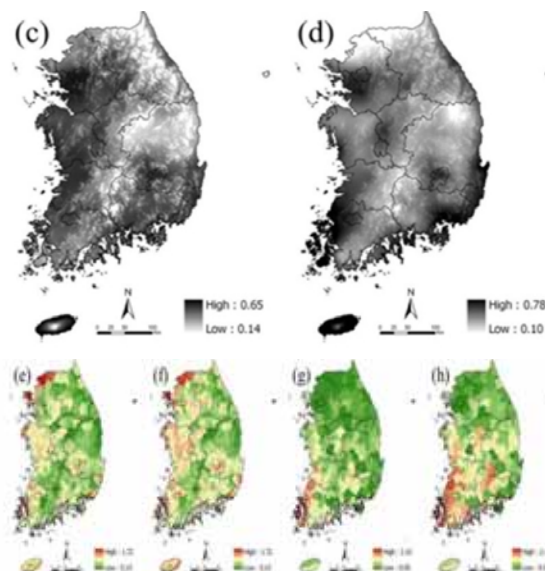


그림 3.1 표준화된 노출 지표의 공간분포 지도 c) 말라리아, d) 쯔쯔가무시증 취약성 평가 결과지도, 폭염에 의한 건강 취약성(말라리아) e) 현재, f) 미래, 쯔쯔가무시증에 의한 건강 취약성 g) 현재, h) 미래

3.2. 영향전망

CO₂ 농도와 온도의 증가에 따라 식물들의 개화시기가 빨라지고, 한랭성 식물들의 경우 수평적, 수직적 분포지가 축소되며, 난대성 식물들의 경우는 분포지가 확대될 것으로 전망된다(제한적 동의).

CO₂ 농도와 온도의 증가에 따라 섬자리공과 미국자리공의 식물계절과 덕유산에 분포하는 기후변화 취약 식물 종들의 개화시기가 빨라질 것으로 확인되었다. 또한, 지구온난화에 따른 수종의 분포 변화(그림 3.2), 식생의 수직적 분포변화와 식생구조의 천이 가능성이 예측되었다(제한적 동의).

기후변화와 관련된 동물생태 연구는 주로 곤충, 조류에 집중되었다. 곤충의 경우 지구온난화에 따

른 생활주기 변화, 지역별 확산경향, 휴면과 기온과의 관계, 온도와 발육과의 관계, 서식지 파편화, 계절적 변동, 종조사 등의 연구가 이루어졌다. 나비에 대한 연구가 가장 많이 이루어져 있으며, 기후변화가 한반도에 서식하는 나비들의 종다양성, 생활주기, 지역별 확산경향, 발육, 계절적 변동 등에 미칠 영향이 예측되었다. 박새류의 분포와 고도와의 관계를 밝힘으로서 기후변화가 박새류의 분포에 미칠 영향을 예측할 수 있는 지표가 제공되었다. 수생태의 경우 해수온도변화에 따른 어류종 서식지 변화에 대한 연구가 있다(제한적 동의).

미래전망 대한 연구물은 최근 들어 새롭게 진행되거나 혹은 거의 미진한 상태이다.

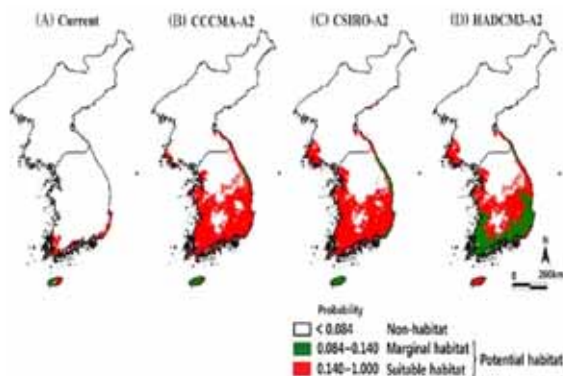


그림 3.2 기후변화 시나리오에 따른 후박나무의 예상 분포

3.3. 취약성의 주요원인

제주고사리삼의 생육은 기후변화에 따른 강수량의 증가에도 크게 영향을 받지 않을 것으로 나타났으나 광의 공급량은 중요한 것으로 나타났다. 섬시호는 CO₂ 농도와 온도보다 광, 수분, 유기물에 의한 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. EG-model의 구축 시 이용된 4개의 독립변수 가운데 분리공헌도가 가장 높은 것은 TMC(최한월최저기온)로 한반도 상록활엽수의 분포역을 결정하는 제1요인으로 보았다. 고리도롱뇽은 최저기온 및 겨울철 기온과 음의 상관관계를 보였다. 온대낙엽혼합림의 나방 종 다양성과 풍부도에 온도가 가장 유의한 환경요인인 것으로 나타났다(제한적 동의).

현재까지의 기후변화 평가보고서의 생태계 부문은 기후변화에 따른 현상 파악과 전반적인 경향에 대한 해석 정도에 그치는 것으로, 기후변화가 생태계에 작용하는 메커니즘 이해에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

3.4. 적응옵션

고산 식물 등 기후변화 취약종들에 대하여 서식지 전체의 종합적인 보존 대책 마련이 필요하다(제한적 동의).

적응대책으로는 질병의 경우 질병매개곤충의 매개체 관리를 위한 효율적 매개체 방제시스템 구축 마련에 대한 연구가 진행되었다. 고산 식물들의 경우 집단 보호보다는 고산지역의 분포역이 넓은 집단을 전체적으로 보호하여 유전적 다양성을 보존할 필요가 있을 것으로 판단하였다. 생물자원의 다양성 보존을 위한 장기적인 기후변화 적응대책 수립이 필요하다는 것을 제시하였다. 말라리아 매개모기인 중국열록날개모기의 개체수가 말라리아 환자발생과의 밀접한 상관관계가 있음을 나타냈다(제한적 동의).

적응대책에 대한 연구물은 최근 들어 새롭게 진행되거나 혹은 거의 미진한 상태이다. 앞으로의 한반도 전반에 걸친 생태 모니터링이나 장기조사 등과 더불어 신뢰도를 높이기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 향후 연구자들이 전문분야별 연구 성과를 바탕으로 학제적 연구를 실시하면 생태계에 미치는 기후변화의 영향에 대한 연구의 정밀도가 향상될 것으로 기대한다.

4. 산림

4.1. 관측된 영향

연평균기온 상승에 따라 지역별 산림 구성에서의 변화가 나타났으며(견고한 동의),

한대성 병해충의 감소와 아열대성 병해충 유입 및 확산이 확인되었다(중간적 동의).

기후변화에 따른 산림분포의 변화를 모니터링한 결과, 연평균기온이 상승함에 따라 산림 구성에서의 변화를 확인할 수 있었고 이는 지역별로 다른 특성을 나타냈다(견고한 동의).

산림 탄소는 저장량과 변화량을 연구 대상으로 하여, 식생과 토양 탄소를 세분하여 연구가 진행되고 있다. 산림 탄소 저장량은 수종과 임령을 주요 지표로 보고 있으며 산림 탄소 변화량은 NPP(순일차생산량, Net Primary Production)를 통해 측정하고 있다. 현장 조사와 원격탐사방법을 이용하여 탄소 및 바이오매스를 추정하는 연구들이 활발하게 이루어지고 있으며, 최근에는 과정기반 모델을 적용하여 산림 탄소를 예측하는 연구 또한 진행되고 있다.

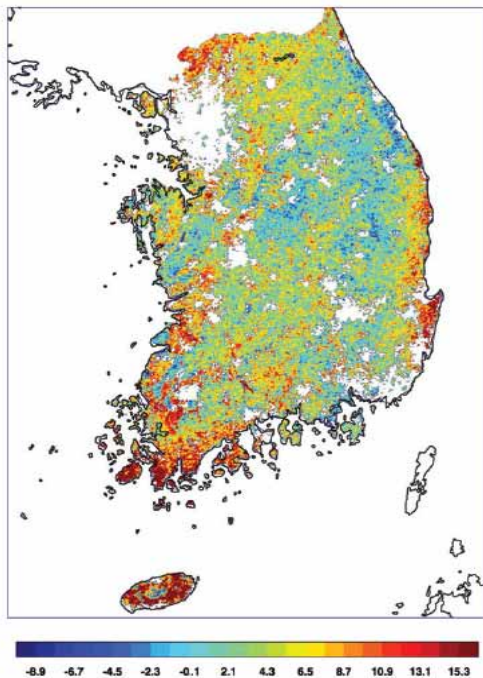


그림 4.1 2000-2006 남한 NPP 변화(MODIS)

산림 재해는 산림 자원을 위협하며 산림 생태계

에 교란을 일으키는 주요한 원인으로써, 국내에서는 기후변화와 관련하여 주로 산사태와 산불 연구에 집중되어 있다. 특히 산림 재해에 대한 대부분의 연구는 현재의 재해 발생 현황을 분석하고 그 원인을 체계적으로 구축하는 데 목적을 두고 있었다. 환경적 요인은 산사태, 산불 및 산림병해충의 발생에서 중요한 역할을 하고 있으므로, 관련 연구들에서 환경의 변화에 따른 재해 발생 양상의 변화를 확인하였다. 산사태의 경우 지질, 토양, 토지이용현황, 강수량 등이 산사태 발생 원인으로 연구되었으며(중간적 동의), 최근에는 단순 강우가 아닌 구체적인 강우 특성과 산사태 발생 간의 관계를 분석하는 연구 또한 진행되고 있다. 산불의 경우 인간의 부주의, 대기 중 낮은 습도와 높은 온도, 산림 내 건조한 낙엽 등이 발생 원인으로 나타났으나 관련 연구가 적으므로 추가 연구가 필요하다(제한적 동의). 지역 및 시기에 따른 산불 위험을 평가하는 연구가 진행되고 있다.

국내에서 발생하고 있는 주요 산림병해충의 발생변화 추이는 환경적 요인의 관점에서 볼 때 기후변화와 관련이 있다. 기후변화는 병해충 발생, 생존, 번식, 확산 등에 직접적인 영향을 미치는데, 특히 온도 상승에 따라 한대성 병해충의 감소와 아열대성 병해충의 유입 및 확산을 야기한다(중간적 동의).

뿐만 아니라 기후변화에 따른 이상기상현상은 수목의 스트레스를 증가시켜 2차 해충들에게도 취약하게 된다. 푸사리움가지마름병과 잣나무 잎떨림병 등의 산림병해가 기후변화와 관련 있을 것으로 연구된 바가 있으며 이상기상현상에 따른 집단고사의 발생과 저병원성 병원균의 피해가 증가하고 있다. 또한 기후변화는 솔나방, 소나무재선충 등 현존하는 해충의 생활사 변화 및 피해 증가뿐만 아니라 새로운 해충의 발생, 꽃매미와 같은 외래종의 확산 등 산림 해충에도 영향을 미치고 있으나 추가 연구가 필요한 상황이다(제한적 동의).

기온 상승에 따라 산림 분야에서의 영향들이 관측되고 있으며, 국내에서는 특히 산림 분포와 재해의 변화 추이에 관한 연구들이 보고되고 있다.

4.2. 영향전망

산림 분포 모형에 기후변화 시나리오를 적용한 결과, 침엽수 및 혼효림이 감소하고 활엽수림은 증가할 것으로 예측된다(중간적 동의).

기후변화에 따른 산림 분포의 영향을 전망하는 연구에서는 산림 분포 모형을 기반으로 기후변화 시나리오를 적용하는 산림 생육지 분포에 대한 예측 등이 수행되고 있다. 모형을 이용한 분석 결과, 기후대의 이동으로 인해 고산 및 아고산 식생이 경쟁에서 밀려나게 될 것으로 예상된다(제한적 동의). 침엽수림과 혼효림의 감소, 활엽수림의 증가가 예측되고 있다(중간적 동의)

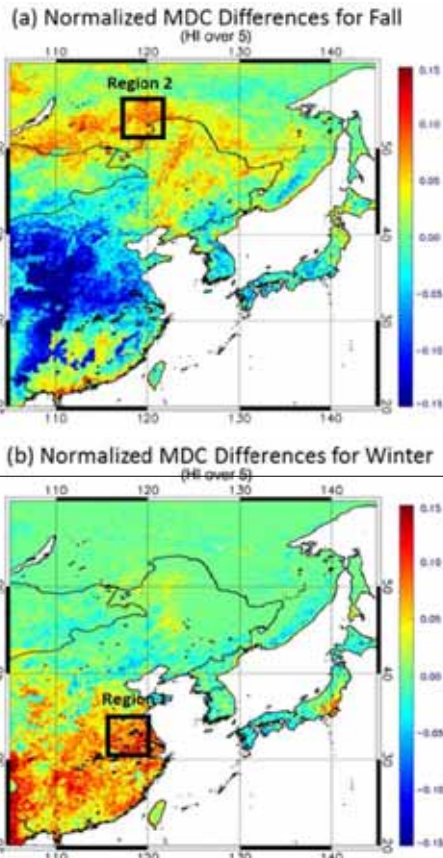


그림 4.2 가을과 겨울 미래 산불위험도의 증가 분포 예측

산림의 탄소 저장량에 관한 일부의 연구들만이 기후변화에 의한 영향을 전망하고 있었으며, 식생의 탄소 저장량은 산림 분포의 예측과 높은 상관

을 가지고 있었다. 산림 탄소 변화량의 경우, 현재까지의 연구를 바탕으로 하여 추출된 환경적 인자들에 기후변화 시나리오를 적용하여 미래를 전망하고 있었다. 특히 산림 토양의 탄소 저장과 변화에 관해서는 영향 전망에 대한 연구가 미진하고, 예측이 엇갈리고 있으므로 추가 연구가 필요하다(제한적 동의).

산림 재해 역시 기후변화의 영향 전망을 위한 연구가 많지 않은 실정이다. 산사태 발생 예측 연구에서는 기후변화 시나리오의 적용이 적으며, 대부분 실제 발생 자료를 바탕으로 한 유사식 도출 및 기후인자 추출을 통해 산사태의 발생 가능성을 예측하는 연구들이 진행되고 있었다.

산림 병충해 연구에서는 한대성 산림병해인 잣나무 잎떨림병 발생의 감소가 예측되며, 온도 변화에 따른 산림해충 발육 실험과 모델 모의 등을 통해 기후변화에 따른 총해의 영향을 전망하는 연구들이 진행되고 있다(제한적 동의).

기후대 이동에 따른 산림 생육지 분포의 변화가 예상되며, 이에 따라 탄소 변화량이 영향받을 것으로 추정된다. 그러나 산림 토양 탄소와 산림 재해에서는 아직 연구가 미진하여 기후변화에 따른 영향 전망이 어려운 실정이다.

4.3. 취약성의 주요원인

산림의 취약성을 평가하기 위하여 민감도, 노출, 적응 능력의 지표로 규정하여 지표를 분석하는 연구들이 일부 진행되고 있으나 관련 연구와 자료의 부족으로 인하여 취약성의 요인을 판단하기에는 어려움이 따른다.(중간적 동의)

따라서 기후변화로 인한 산림의 변화를 이해하고 대처하기 위해서는 우선 장기적으로 자료를 축적하고 연구를 진행하여, 우리나라에 적합한 모형 등의 신뢰성 있는 영향 예측 방법론을 개발하는 것이 시급하다. 또한 임업 환경과 산림 생태계를 유지하기 위해서 산림을 적정하게 관리하는 방안의 필요성이 강조되고 있다. 산림 탄소의 경우 저장량 및 변화량이 임상의 바이오매스에 의존하므로 미래 산림분포 전망에 따라 취약성이 결정될 것으로 추정된다.

산림 재해에서 산사태의 취약성에 중요하게 영

향을 끼치는 요인으로서는 경사 방향, 경사도, 토양 특성, 강우강도, 식생 활력 등이 있는 것으로 나타났다. 특히 경사도가 10~40°일 때, 토양특성이 사질토·흑운모·화강암·편마암과 변성퇴적암과 세일일 때, 강우강도가 강해질 때 산사태 발생가능성이 높아진다는 연구가 다수 확인되었다(중간적 동의).

또 다른 산림 재해인 산불의 경우 기후변화에 따른 취약성과 관련된 연구가 많지 않았으며, 환경적 요인보다 인간부주의의 영향이 큰 것으로 나타났다. 산불 발생 빈도가 높은 지점의 환경 변수를 통계적으로 계산한 결과, 최고 기온 10~20°C, 상대습도 40~60%, 평균풍속 2m/s 이하 등의 조건에서 산불 발생가능성이 높은 것으로 조사되었다(중간적 동의).

병해충에 대한 취약성을 증가시키는 요인은 소나무류의 수세 약화에 따른 저병원성 병원균과 2차 해충의 활동성 증가로 설명할 수 있다. 이외에도 일부 연구에서는 환경적 요인에 취약한 임분구조, 겨울 온도의 증가 등을 취약성의 요인으로 추정하고 있다(제한적 동의).

산사태의 취약성 요인으로서는 경사도, 토양 특성 및 강우강도 등의 특성이 확인되었으나, 다른 분야의 경우 취약성에 대한 연구가 크게 진행되지 않아 장기적인 자료 축적 및 연구가 필요하다.

4.4. 적응옵션

임상 분포, 산림 탄소 및 산림 재해 취약성을 고려한 산림 관리가 요구된다(중간적 동의).

산림에 미치는 기후변화의 영향을 줄이고 적응하기 위하여 몇 가지 적응 옵션이 제시된다. 산림 분포와 관련하여 우리나라의 독자적인 산림분포변화예측 모형을 개발하는 것이 필요하며, 임상의 변화가 다른 분야에 미칠 영향을 고려하여 다양한 인자가 고려된 모델 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 또한 기후변화에 따라 미래의 임업 환경 및 생산성이 변화하므로 미래 식생분포를 고려한 임산물 생산지역 관리가 필요하다.

산림 탄소와 관련해서는 이산화탄소 흡수원으로서의 산림생태계의 적응 역량을 연구하고 국가차원의 국토 계획 시 탄소흡수능을 고려하는 것이

필요하다. 더불어 탄소저장량을 유지 및 확대하고 임목의 탄소뿐만 아니라 토양의 탄소를 효과적으로 관리하는 전략이 필요할 것이다.

산림 재해 또한 기후변화 적응을 위한 연구를 통해 미래에 예상되는 위험 및 피해에 대응할 수 있어야 한다. 산사태의 경우 강우강도와 누가강우량의 분포상황을 정밀하게 추적하고, 산사태 발생에 대한 데이터를 구축함으로써 산사태를 보다 정밀하게 예측할 수 있는 것으로 판단하였다.

산불의 경우 기상지수를 활용한 산불발생확률식을 적용하고 실시간으로 제공되는 산불위험정보의 정확도를 높일 수 있는 연구가 진행되어야 한다. 산림병해충 발생 대응을 위해서는 산림병해충 발생 변화 예측을 통해 방제 체계를 효율화, 취약성이 높은 임지의 전략적인 관리가 요구되고 있다.

기후변화는 현재 산림에 영향을 미치고 있으므로 이를 고려한 적응옵션이 요구된다. 특히 자료 및 모델을 구체화하여 추후의 영향 예측력을 높이고, 기후변화를 고려하여 취약성이 낮은 산림 지역을 효과적으로 관리하는 전략이 강조되고 있다.

5. 농업

5.1. 관측된 영향

지구온난화로 노지 작물의 생육 가능 기간이 길어지고 있으며, 기후자원 변화로 인해 작물의 재배 적기와 적지가 변하고 있다(견고한 동의).

첫서리는 늦어지고 늦서리는 빨라져 무상기간이 뚜렷하게 길어지고 있고, 또한 생물기간, 작물기간 등 작물의 노지 재배 가능기간과 관련된 농업기후 지수들이 커지고 있다(견고한 동의).

벼의 경우 기후학적인 벼 이앙 한계일은 빨라지고 가을에 저온 피해를 입지 않고 등숙에 가장 적합한 온도를 확보할 수 있는 적정 출수기는 늦어지고 있으며, 미래에도 이와 같은 경향이 지속될 것으로 예측되어 이앙시기 재조정 등 주기적인 표준 재배법의 개선이 요구되고 있다(견고한 동의). 한편 농가에서는 기후 변화에 따라 자율적으로 점진적 적응(Incremental adaptation)을 하여 파종, 이식 등 재배 시기가 변하고 있는 것으로 관측되었다. 월동 작물의 재배 북방한계선은 작물의 내한성과 월동기간 중의 최저온도에 의하여 결정된다. 보리 품종 개량에 의한 내한성 증대와 지구온난화에 따른 겨울철 기온 상승이 맞물려 보리 재배 북방한계선이 상승하고 있다(견고한 동의).

주요 과수의 경우도 재배적지가 북상하고 주산지가 변화되고 있다. 온대과수인 사과는 온난화에 따라 재배적지가 북상하고 있을 뿐만 아니라 아열대 기후대가 증가하면서 재배적지 감소로 재배면적이 감소하는 추세이다(중간적 동의). 온난화가 지속되면 꽃눈 분화에 필요한 저온요구도 충족을 위해서 사과 등 온대 과수는 재배 적지가 점차 북상하거나 고도가 높은 곳으로 이동이 되고 금세기 말이 되면 우리나라 대부분의 지역에서 온대과수의 재배가 어려워질 것으로 전망된다(중간적 동의). 한편 아열대 과수로 제주도에서만 재배되었던 감귤이 전남, 경남 등으로 재배지역이 확대되고 있고, 참다래, 무화과의 경우도 재배 가능지역과 재배지역이 북상하고 있다(중간적 동의). 온난화로 인하여 여름철 채소의 주산지인 고랭지 채소재배 면적은 점차 감소 추세이고, 작물 재배 가능지역이

고도가 높은 지역으로 확장되는 것으로 파악되고 있으나(제한적 동의), 이에 대한 연구가 미흡하다.

5.2. 영향전망

기후변화는 미래의 쌀 생산성과 품질에 부정적 영향을, 월동 작물인 보리 수량에 긍정적 영향을 미칠 것으로 전망된다(중간적 동의).

기후의 변동성이 커져서 극한 기상 현상에 의한 재해가 커질 것으로 전망되며, 병해충 발생과 피해양상이 변할 전망이다(중간적 동의).

폭염, 폭설, 한파, 한발, 폭우 등의 이상 기상의 발생과 그에 의한 농작물 피해가 급격히 늘어나고 있는 반면 이상저온의 연간 출현 빈도는 크게 감소하여 저온 관련 농업기후자원 특성이 과거에 비하여 많이 개선되었으나, 온난화에 따라 발아기, 개화기 등의 식물계절이 빨라짐으로 인하여 저온에 의한 피해 위험이 상존한다(중간적 동의). 이상 기상의 다발로 인하여 농업 시설들에 대한 취약성도 증가할 것으로 전망된다. 농업 가뭄 특히 단기간 지속이 현재보다 미래에서 심화될 것으로 전망되고, 밭 토양의 토양 유실이 증가할 것으로 전망된다(중간적 동의).

쌀을 비롯한 작물의 수량성은 지속적으로 증가하였으나 이와 같은 수량 변화에 기후변화가 정 또는 부의 방향으로 얼마나 기여하였는지는 불명확하다. 쌀의 경우 지금까지 상승 추세에 있는 기온이 쌀 수량 변화에 부정적인 영향을 미치지 않았지만 강수량 증가에 따른 일조 부족은 수량 변화에 부정적 영향을 미친 것으로 분석되었고, 지구온난화가 진전됨에 따라 CO2 농도 증가에 따른 광합성과 생장에 대한 긍정적인 영향에도 불구하고 벼 생육온도 상승에 따른 생육기간의 단축, 고온 불임, 등숙 불량 등 고온해로 인하여 벼 수량성 및 품질 저하가 우려된다(중간적 동의). 기후 변화에 따라 재배 적기로 재배시기를 조정하면 벼 수량성 및 품질 결정에 영향력이 큰 등숙기간의 온도 환경을 개선할 수 있어 수량 감소를 어느 정도 완화할 수는 있지만 출수 전 생육기간이 크게 단축되어 여전히 벼 수량성 감소를 경감시키는데 한계가 있다. 또한 우리나라 벼의 수량 변동성이

최근 들어 커지고 있으며, 그 원인으로는 이상기 후나 그에 따른 자연재해가 많은 영향을 미쳤을 것으로 분석되고(중간적 동의), 미래의 수량에 대한 영향평가를 함에 있어서도 극한 기상 현상의 영향이 고려되어야함이 지적되고 있다. 월동 작물인 보리의 경우 기후가 온난화 되는 경우 수량성이 향상될 것으로 예측하고 있는데 이는 가을에 파종한 보리의 경우, 온도 상승에 따라서 출수기가 앞당겨 지지만 출수기가 앞당겨 지면 동시에 등숙기간이 보다 서늘한 계절로 이동이 되어 등숙기간의 단축이 일어나지 않기 때문인 것으로 분석되고 있다(제한적 동의). 그러나 이 경우도 기상 변동성의 영향, CO₂ 농도와 온도의 수량 구성요소에 대한 상호작용 효과 등에 대한 고려를 할 경우 작물생육모델의 예측 결과와 같은 결과를 가져올지는 의문이다.

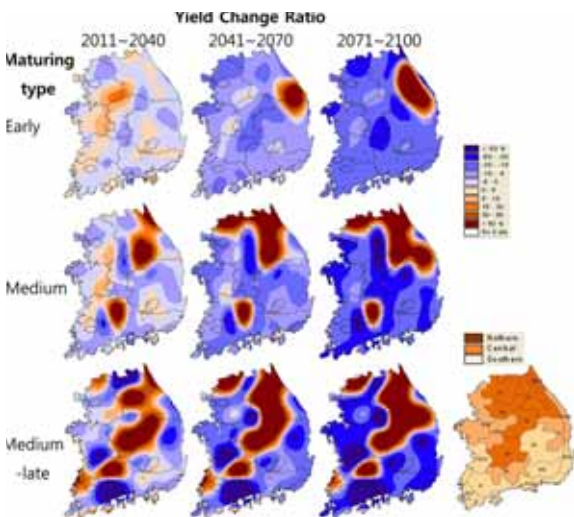


그림 5.1 벼 파종기를 평년기후(1981-2010)에서의 파종기로 고정할 경우 현재 평년기후 대비 미래기후(SRES A1B) 조건에서 벼 품종군 및 벼 재배지대 별 수량 변화

노지 건고추의 경우 5, 6, 7월의 기온 상승과 7, 8월의 강수량 증가는 수량에 부정적인 영향을 미쳤으며 RCP 시나리오 하의 미래 기후에서 수량이 감소할 것으로 전망되나(제한적 동의), 이에 대한 연구는 불충분하다.

지구 온난화에 따른 기후 변화는 따뜻한 월동환경, 식물체 피복기간 연장, 장마 변동 등으로 월동해충의 증가와 토착화 가능성 확대 등과 맞물려 최근 돌발 병해충 발생이 크게 증가하고 있다. 지

금까지의 기후 변화는 논농사에서 벼물바구미, 흑명나방, 줄무늬잎마름병, 잎집무늬마름병 등의 피해를 확대시키는 쪽으로 작용하였으나 벼 재배에 있어 저항성 품종, 방제 및 시비에 관한 기술들이 지속적으로 발전되어 병해충 피해 면적이 감소한 것으로 분석되었다(중간적 동의). 온대기후대에 속한 한반도는 이러한 온난화의 진행에 따라 점진적으로 아열대성 기후대로 변화하게 되어 우리나라에서 재배 가능한 농작물 종류 및 재배 작형이 변화되고 그에 따른 병·해충·잡초 발생양상도 달라질 것으로 전망된다. 병해충에 대한 벼 생산의 취약성은 현재보다 미래 기후 조건에서 크게 높아지고 취약지역 면적도 증가할 것으로 전망된다(중간적 동의).

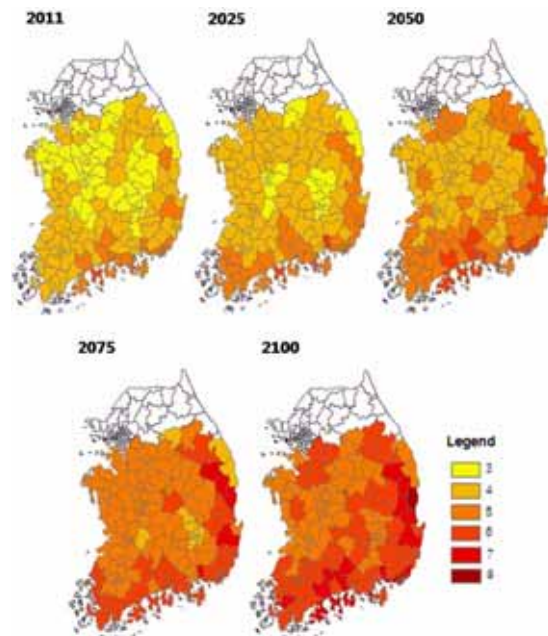


그림 5.2 기후변화(IPCC SRES A1B 시나리오)에 따른 고추 탄저병 감염위험도(방제 횟수)의 지역별 변화

5.3. 취약성의 주요원인

미래 기후변화로 인해 기상재해 증대, 작물 적응지역변화, 생산성과 품질에 대한 악영향, 병해충 발생 양상의 변화를 초래하여 농업의 취약성을 크게 증대시키는 요인으로 작용할 것이다(중간적 동의).

미래의 기후조건에서는 폭염, 열대야 등 극한기후 현상이 증가하여 농업기상 재해가 증가할 것으로 예상된다. 이상기상 발생과 이에 따른 기상재해 발생 예측에 대한 연구는 매우 드물다.

모든 작물은 온난화에 의하여 재배 가능지와 적지가 북상하거나 고도가 높은 지역으로 이동할 것이다. 특히 영년생 작물인 과수는 온난화에 따른 재배 적지와 주산지의 북상, 출아, 개화기, 과실 성숙기 등의 식물계절 조기화, 기후 변화에 따른 기상 변동성 증대 등이 맞물려 월동 및 개화기 동·상해 피해와 과실 성숙기 고온 피해 등이 크게 증가될 것이다.

작물의 광합성 등 생리적 반응과 생장은 온도의 지배를 받아 적온 범위를 벗어나면 생리적 기능과 생장이 감소하여 수량의 감소로 이어진다. 특히 성숙기간 중의 온도 상승은 노화를 촉진하여 성숙기간을 단축시켜 수량을 감소시킨다. 또한, 대부분의 1년생 작물은 개화기에 짧은 시간의 고온 노출에도 민감하다. 작물과 품종에 따라 다르기는 하지만 짧은 기간 동안 일정 임계온도 이상의 개화기 고온은 임실률을 감소시켜 수량을 감소시킨다. 미래의 기후 조건에서는 이와 같은 이상고온 발생이 더욱 빈번하여질 것으로 예측되어 이에 대한 대비가 필요하다. 온도, 수분, 영양 상태 등이 적정 범위에 있을 때는 이산화탄소 농도 증가는 수량성을 증가시킬 것이지만, 이들이 적정 범위를 벗어나면 이산화탄소 시비 효과는 상쇄되어, 이산화탄소 농도 증가에 따른 수량증대 효과가 감소할 것이다.

기후변화에 따른 지구온난화는 따듯한 월동환경, 식물체 피복기간 연장, 장마 변동 등으로 월동 병해충의 증가와 토착화 가능성을 확대시켜 병해충의 출현 등으로 돌발적 발생과 규모화가 큰 문제로 대두될 것이다.

5.4. 적응옵션

기후변화의 피해는 줄이고 이를 국가 경제에 유리하게 이용할 수 있도록 장·단기적 적응 전략과 정책을 수립·이행하여야 한다(중간적 동의).

기후변화에 따라서 농업기후자원의 변화와 이에 따른 식물계절, 작물의 재배적기 및 재배적지, 기상재해 및 병·해충·잡초 발생 양상 등에 많은 변화가 관측되었으며, 미래에는 더 빠른 속도로 변화될 것으로 전망된다. 따라서 변화에 따른 피해는 줄이고 우리나라 농업 및 국가 경제에 유리하도록 적응 전략과 정책을 수립하여 착실히 이행하여야 한다. 지구온난화로 발생 빈도와 심도가 증가할 것으로 예상되는 고온장해, 한발, 침관수, 바람 등에 의한 기상재해 피해 예측, 기작 해석 및 저감 기술을 개발하여 기상재해에 의한 피해를 완화하여야 한다. 기후 온난화로 변화된 기상생태 환경에 적응할 수 있는 신품종 육성 및 외래 작물 도입, 고온, 한발, 침관수 등 미래의 기후변화로 빈발할 것으로 예상되는 기상재해 내성 품종 육성, 돌발 병해충 등에 대한 저항성 품종 육성 등 기후 변화 적응을 위한 새로운 작물 도입 및 신품종 육성을 통하여 농작물 생산의 안정성을 향상하여야 한다. 지구온난화로 변화된 생태환경에 적응할 수 있는 작부체계, 재배시기, 재배관리기술, 잡초 및 병해충 관리기술과 온실기체발생 저감형 작물생산 기술의 개발을 통한 농작물 생산 안정성 및 기후 변화 대응력을 향상시킬 수 있는 기후 스마트형 작물재배관리 기술이 개발되어야 한다.

기후변화에 대응하여 장기적인 농업부문 적응대책을 수립하기 위해서는 작물의 생산성, 품질, 재배적지 변화에 대한 과학적인 영향평가가 필요하다. 이를 위해 인위적으로 기온과 이산화탄소 등의 재배환경 조절이 가능하고 학제적으로 공동 연구를 수행할 수 있는 기후변화 종합연구 시설이 마련되어야 하고, 각 작물의 미래 기후 조건에서 생산성 변화를 예측할 수 있는 모델과 농업생태계 변화를 예측할 수 있는 모델 개발에 대한 연구가 활성화 되어야 한다.

6. 해양 및 수산

6.1. 관측된 영향

지구온난화에 의한 해수면 상승, 해류의 변화, 해양 산성화, 용존기체의 감소와 같은 현상이 관찰되고 있으며, 그 진행 속도는 전지구 해양의 변화보다 빠르다(견고한 동의).

수온 상승이 해양생태계에 미친 영향으로는 수산업 대상 어종의 가입 증가와 생물의 분포, 계절생물학적 변화가 있다(견고한 동의).

전 지구 기후변화의 영향과 마찬가지로 우리나라의 해양에서도 지구온난화에 의한 해수면 상승, 해류의 변화, 해양산성화, 용존기체의 감소와 같은 다양한 변화가 감지되고 있으며, 오히려 전지구 평균보다 빠르게 진행되는 것으로 판단된다(확고한 동의). 이러한 변화가 해양생물에게 미치는 영향은 지대한데, 해양생물의 분포, 이동, 성장, 산란과 같은 생물특성의 변화가 수반될 것이다. 이미 우리나라 해양에서 해양생물의 분포가 변화하고, 전통적인 어장에서의 어획고가 감소하거나 새로운 해역에서의 어획량이 증가하는 현상들이 나타나고 있다. 수산분야에서는 기후변화가 일부 어종과 업종에 긍정적인 영향을 줄 수도 있을 것으로 낙관할 수도 있으나 대부분 어종과 업종에서는 대응하기 힘든 큰 변화를 수반할 것이기 때문에 전반적으로 부정적인 영향을 많이 미칠 것으로 보인다(중간적 동의). 남획과 함께 기후변화에 따른 생태계 변화로 수산업 부문에 많은 피해가 예상되며 수산물에 의존하는 우리나라 식생활 문화를 보았을 때 국민건강과 식량 확보에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다(중간적 동의). 이와 같은 해양생물의 생물학적 특성의 변화는 수산업과 직결되는 중대한 사회·경제적 문제이기도 하다.

6.2. 영향전망

우리나라 해역의 온난화 현상은 지속적으로 진행될 것으로 예상되며, 먹이망 구조의 변화, 일차 생산량의 변화, 주요어획어종의 변화와 어획 해역의 이동을 수반할 것으로 예측된다(견고한 동의).

전반적으로 우리나라 해역에서 온난화 현상이 지속적일 것으로 예측되며(견고한 동의), 상대적으로 많은 연구가 수행되었다. 또한 동해의 해양산성화는 이미 상당히 진행되었으며 앞으로도 가속화 될 것으로 파악되나(중간적 동의), 남해와 황해, 동중국해에 대한 산성화 경향의 지속평가는 일부 모형에서만 평가한 실정이다(제한적 동의). 해양산성화가 생물의 생존, 생식, 성장 등에 미치는 영향은 일부 어류를 제외하고는 나쁜 영향을 미치는 것으로 파악된다(중간적 동의). 해양의 용존산소가 감소하는 저산소화에 대한 관측결과는 우리나라 전반에서 파악된 바는 있으나(중간적 동의), 그 진행정도를 정량적으로 파악하고 생물에 미치는 영향 등을 파악하기 위한 연구는 부족하므로 정밀한 관측과 집중연구가 필요하다(제한적 동의).

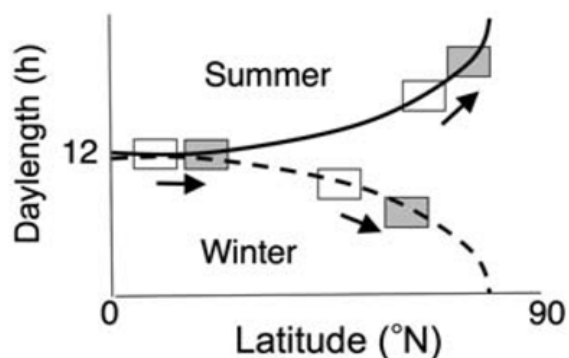


그림 6.1 지구온난화에 의한 산란장의 이동과 계절에 의한 낮 길이변화 모식도

북반구의 중위도권에 위치한 우리나라는 최근에 들어와 수온이 매우 가파르게 상승하였는데, 지난 40년 동안 남한 지표면 기온은 약 1.3 °C, 해면수온은 약 1.0 °C 상승하여, 세계에서 수온 상승이 가장 빠른 곳 중의 하나로 알려져 있다(견고한 동의). 이와 함께 동물플랑크톤 생물량도 급격하게 증가하였다. 이러한 결과는 해양의 표층에 서식하는 어류들의 번성에 유리하게 작용한 것으로 보인다(제한적 동의). 우리나라 해역에서 어획되는 소형표층어류(부어류)의 비율이 지난 30년 전에 비하여 두 배 가까이 증가하였다. 한편, 우리나라 연안 전 해역 표층생태계에는 남쪽으로부터 어류를 포함한 아열대성 생물의 유입이 더욱 증가하였으며, 앞으로도 이러한 외래종의 출현은 더욱 가속

화 할 것처럼 보인다. 반면, 연어와 같은 냉수성 어류의 입지는 더욱 어려워 질 것으로 예상된다(제한적 동의). (그림 6.1).

우리나라 대한해협에서 어획되는 주요 12 개 어종의 중심 어장이 수온변화에 따라 북상 또는 남하를 하는지 분석한 결과, 12개 어종 중 6개 어종이 수온에 따라 북상, 1개 종은 남하하는 경향을 보였다. 대형 부어류인 삼치와 방어의 북상 경향이 가장 두드러졌다(중간적 동의). 일부에서 북상한다고 보고했던 고등어는 0-75 m 깊이에서의 수온과 유의한 양의 상관관계를 보였으나 어법 변화 등을 고려했을 때는 유의한 관계를 보이지 않았다(제한적 동의).

2030년대 어장 분포 위도 변화를 전망하기 위해 IPCC AR4 A1B 기후변화 시나리오에 따라 대한해협 수온을 ROMS(Regional Ocean Modelling System)로 예측한 결과, 저층 수온이 표층보다 더 빨리 상승하여 수온약층이 없어지는 것으로 전망되었고, 수온 변화에 의하여 중심어장의 이동이 뚜렷하게 나타난 6 개 어종의 예측 중심 어장 위도의 이동 범위는 17-71 km 이었다(제한적 동의). 어류의 이동 평균 속도는 1.26 km/yr(표 6.1) 이었는데, 우리나라 바다의 북쪽이 아시아 대륙과 일본 열도로 거의 닫혀 있어서 어종의 북상에 한계가 있을 수밖에 없는 지형적인 요인 때문인 것으로 분석되었다(제한적 동의).

지구온난화에 따른 우리나라 연근해 표층 수온 증가가 연근해 수산업에 미치는 영향을 간단히 정리해보면 전체적인 어획고는 큰 변화가 없으나 어종, 어업방법, 해역에 따라 다음과 같은 긍정적인 면과 부정적인 면이 교차할 것으로 전망된다.

1. 상대적으로 저어류 어획고가 감소하고 부어류 어획고는 증가(중간적 동의)
2. 연안 어업 어획고는 감소하나 근해 어업 어획고는 증가(제한적 동의)
3. 현재의 주요 어획 대상인 부어류 분포가 북상하는 대신 새로운 아열대성 어종 어획고 증가(중간적 동의)
4. 현재의 주요 어획 대상인 저어류 분포는 대체적으로 남하하거나 현 상태를 유지(제한적 동의)

6.3. 취약성의 주요원인

해양 및 수산분야에서 취약성의 주요 원인은 연구해역의 편중, 국제 공동연구 체제의 미비, Big data 생산과 운영체제의 미비, 적응대책의 결여, 확고한 연구/교육/홍보 체제의 결여 등이 있다(중간적 동의).

해양부문의 연구는 주로 정부의 재정지원으로 수행되었으나, 재원이 서로 다르고 기관별 연구의 성격이 다르기 때문에 전체적으로 체계적인 연구가 수행되지 못하였다. 해양 부문의 공통적인 취약성은 아래와 같다.

1. 연구해역의 편중성: 우리나라 해역은 서로 성격이 크게 다른 세 해역으로 나뉘어져 있는데, 기후변화 연구에 대해서는 지역적으로 동해에 관한 연구가 상대적으로 많다. 향후, 서해와 남해에서도 동해에 버금가는 연구 활동을 수행되어야 한다.
2. 국제 공동연구 체제의 미비: 한반도는 중국, 러시아, 일본 등에 의하여 둘러싸여 있으므로, 우

표 6.1 2000년대부터 2030년대까지 주요 어류 종에 대한 고위도 해역으로의 이동 예측. 어종의 평균위도와 특정수심에서의 수온의 회귀계수와 IPCC A1B 시나리오를 근간으로 하여 GCM으로 전망된 수온변화를 곱하여 산출된 극 방향 이동 정도와 연간 이동속도

Fish	Predictor temperature depth (m)	Regression coefficient (degree °C ⁻¹)	Projected temperature change (°C)	Projected poleward shift (km)	Speed (km/yr)
Anchovy	10	-0.13	1.55	-23	-0.75
Horse mackerel	30	0.08	3.01	26	0.86
Pacific sardine	75	0.05	3.60	19	0.63
Common squid	10	0.29	1.55	50	1.65
Spanish mackerel	1	0.41	1.57	71	2.37
Yellowtail	1	0.22	1.57	39	1.30

리의 해양/기후 연구도 이들과 공조체제를 갖추어야 하지만, 정치체계의 차이로 국제공동연구가 수행되지 못하고 있다.

3. Big data의 생산과 운영체제의 미비: 기후, 해양, 생물 등의 해양생태계의 변화에 대한 time-series data를 수집하고 활용할 수 있는 슈퍼컴퓨터 센터를 설립하고 한국형 기후모형을 개발하여야 한다.

4. 적응대책의 결여: 기후변화에 따른 해양 및 수산분야에 대한 영향평가가 이루어진 후 이에 대한 적응대책을 시급히 수립하여야 한다. 수산의 경우 어떤 생물종들은 많은 유영생물종들이 살기에 적합한 해역으로 이동할 것이며, 이는 궁극적으로 어업비용의 차이를 유발한다. 해양생태학적 변화를 사회경제학적 영향의 관점에서 조명하여야 할 것이다.

5. 확고한 연구/교육/홍보 체제의 결여: 여러 분야 학자들이 공동연구를 수행할 수 있는 대규모 연구과제가 결여되어 있으므로, 각 분야별 조각 그림은 있으나 이들을 통합(integration)적으로 엮을 수 있는 메커니즘이 결여되어 있다.

6.4. 적응업선

수산업은 기후변화에 큰 영향을 받을 것이다. 수산업의 피해를 최소화하기 위한 다방면의 노력이 필요하다. 변화하는 기후 조건아래에서 수산자원량을 유지하기 위해서는 생태계기반 수산자원관리가 필요하다(견고한 동의).

인공적인 해중림의 조성, 바다목장을 이용한 어류 서식처의 제공으로 더욱 건강한 해양생태계를 유지하려는 노력이 필요하다(견고한 동의).

해양의 변화는 우리 인간사회에 지대한 영향을 미치고 있다. 해양은 기후를 조절하는 가장 중요한 요소 중의 하나이지만, 동시에 기후의 변화에 따라 직접적으로 영향을 받는 대상이기도 하다. 기후가 변화하는 것에 대하여 우리 인간은 효과적인 조절방법을 아직 찾지 못하고 있으며, 변화한 환경에 순응하거나 적응하며 생존에 대처할 수 있는 방법을 찾아야 한다.

수산은 해양생태학적, 수산공학적인, 사회적 형태

의 다양한 모습을 지니고 있다. 즉, 수산은 수산생물이 대상이지만, 이로부터 파급되는 인류의 식량안보(food security), 고용과 소득을 높이는 사회경제적 활동, 인류의 기아와 국민보건을 고려하는 식량안전(food safety), 인류 공영의 발전을 위하여 함께 숙의하는 국제규범성 등을 포함하는 다면적 얼굴을 가지고 있다. 이러한 다양한 분야에 걸쳐 있는 수산업은 기후변화에 큰 영향을 받고 있으며, 이들을 잘 관리하기 위해서는 생태계 지식을 기반으로 하는 관리, 즉 생태계기반 수산자원관리(ecosystem-based fisheries management)가 필요하다. 특히 최근 들어 생물자원이 급격하게 변화하는 환경 속에 있을 때, 혹은 새로운 어장에서 인간의 어업활동이 자원보호를 확신할 수 없을 때, 우리는 수산자원 고갈을 방지하기 위하여 조기경보체제(early warning system)를 갖추거나, 사전 예방조치(precautionary approach)를 시행하여 수산자원을 보호해야 한다.

수산분야에서도 환경변화에 따른 수산업 피해방지 대책을 수립하여야 하는데, 자연에 미치는 스트레스를 완화시키는 것이 중요하다. 안정적인 수산식량자원을 확보하기 위하여 바다목장과 수중림을 조성하여 생태계 내에서 수산생물자원의 회복력에 도움을 주어야 하며, 기후변화를 고려하여 새로운 양식기술을 개발하거나 수산자원의 분포를 예측하는 학문을 발전시켜야 한다. 또한 수산업을 건강하게 지속시키기 위해서 환경-생물 상호작용과 반응 메커니즘을 파악하는 것과 더불어 그 변화를 조기에 감지할 수 있는 관측 네트워크를 구축하는 것 또한 중요하다. 따라서 우리나라의 동해, 서해, 남해에 대한 대표지점을 선정하고 이에 대한 지속적인 관측이 필요하며, 연안에 따라 중요한 해역(산성화와 저산소화가 심한 해역, 양식활동이 많은 해역 등)에도 지속적인 관측이 필요하다.

한편, 장기적으로 이산화탄소 배출을 저감시켜 지구온난화의 상승률을 줄이고 탄소세도 적게 지불하여야 한다. 이산화탄소 배출 저감 활동의 일환으로 해중림 조성이 제기되기도 하며, 버려지는 굴과 패각 등을 재활용 하자는 아이디어도 있으나, 현장 적용을 위해서는 각 분야의 연구자와 관계기관 간의 협력을 통해, 철저한 검정과 환경영

향평가, 경제성 평가가 필요하다.

환경변동에 따라 새로운 어종이 출현하여 새로운 어장이 형성된다면, 어민들의 경제적 여건이 많이 향상될 것이다. 하지만 기후변화가 항상 긍정적으로 작용하는 것은 아니다. 기후환경의 변화에 따라서 특정어종이 사라질 수 있고, 기존 어업이 폐쇄될 수 있는데, 시대적으로 다른 어종의 변천에 따라 어선 세력이 조정되거나 사용하는 어구에도 변화가 필요한 것이다. 또한 기후변화로 인하여 어장이 형성되는 위치가 기후변화가 발생하기 이전보다 항구에서 멀어진다면, 생산단가가 상승하여 어업경영에 영향을 미친다. 이에 따라 가까운 어항을 개설하거나, 저비용 생산시설로 전환을 하는 노력이 필요하다.

7. 산업 및 에너지

7.1. 관측된 영향

기후변화에 따른 소비패턴과 산업 및 에너지 분야 전반에 걸쳐 다양한 피해비용이 발생된다(중간적 동의).

2013년 우리나라는 국지적이지만 강력한 바람과 호우에 의한 산업시설 피해가 발생하였으며, 여름철 기온 패턴의 변화로 소비패턴의 변화가 나타나고 있다(중간적 동의).

교통혼잡에 의한 경제적 손실 중 기후변화로 인해 발생하는 교통혼잡은 전체의 18%이며, 교통혼

잡비용은 약 7조 2,670억 원 정도로 예상되고 있다(중간적 동의).

강풍에 의한 에너지 공급의 차질도 빚어지고 있다. 강풍으로 인해 크레인이 붕괴되고, 전신주 피해와 정전으로 인한 생산 차질이 나타나고 있다. 또한 태풍의 영향으로 주요 산업단지의 280여개 기업에서 변압기 파손, 전봇대 유실로 인한 정전 피해가 발생하였다(중간적 동의).

산업과 에너지 측면에서 기후변화로 관측되는 영향은 주로 정부보고서 형태로 보고되고 있으며, 기존의 연구는 이를 바탕으로 영향과 전망, 적응옵션 제시로 확장하고 있다. 산업과 에너지 분야는 관측된 영향에 대한 자료가 다소 부족하다.

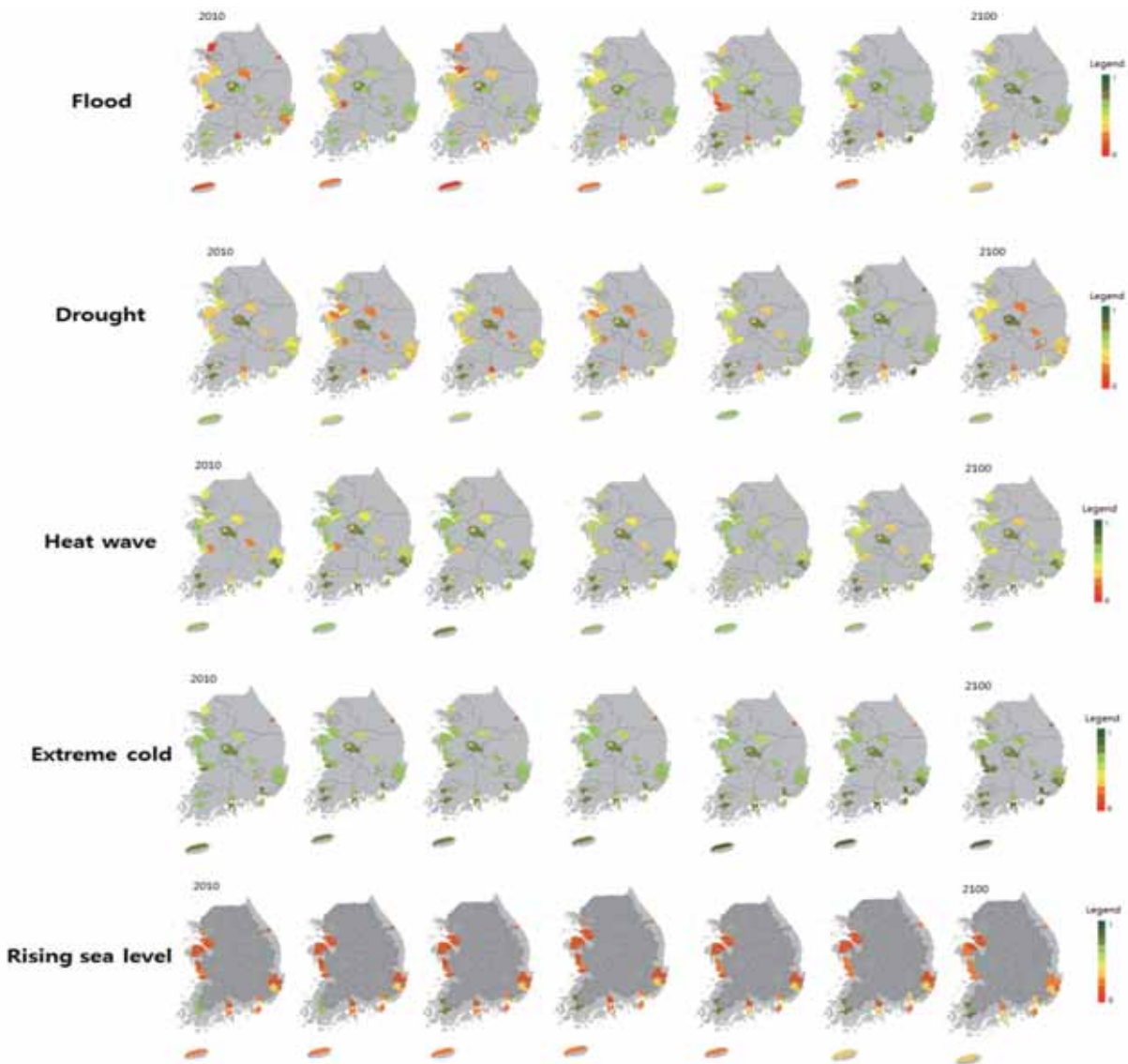


그림 7.1 산업단지 취약성 지도

7.2. 영향전망

기후변화에 따른 재해를 가정할 때 국내 산업단지의 규모와 현황, 업종에 따라 기후변화의 영향을 받는 정도가 다르게 나타날 것으로 전망된다(중간적 동의).

기후변화는 산업 및 에너지의 특성에 따라 그 형태나 영향이 다르게 나타날 수 있다. 기후변화는 다양한 산업에서 상이한 영향을 미칠 것으로 보이며 기후변화에 따른 재해를 가정할 때, 국내 산업단지의 규모와 현황, 업종에 따라 기후변화의 영향을 받는 정도가 다르게 나타난다(중간적 동의).

산업 측면에 대한 연구는 다양하지 않지만 산업단지에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있다.

표 7.1 1, 2, 3차 산업 및 전체산업의 생산량 변화

시나리오	1차 산업	2차 산업	3차 산업	총합
1(2002년)	98.7	101.45	99.5	101.47
2(2003년)	97.05	101.8	99.08	101.04
3(2006년)	95.8	100.75	98.74	100.69

기후변화로 인한 자연재해가 발생하고 이로 인한 피해의 경제적 파급효과가 크게 나타난다. 자연재해 피해를 추정한 결과, 1차 산업의 생산량과 3차 산업의 생산량은 비교적 감소한 반면 2차 산업의 생산량은 약 1% 증가하는 것으로 나타났다. 이는 자연재해로 인해 자본량은 감소하였으나 노동가격이 하락하여 생산요소의 투입이 증가하여 생산량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다(제한적 동의). 노동가격이 하락하여 생산량이 증가하는 것으로 나타났으나, 요소 가격의 하락에 대한 추가적인 연구가 필요하며 산업 부문에 대해서는 연구가 미진하여 영향을 일반화하기 어려운 실정이다.

기후변화로 관광의 활동과 목적지에 대한 소비자의 선호가 바뀌고 국내외 관광이동의 흐름이 계절적, 지리적으로 재편될 것이다. 특히 일본인의 한국관광수요가 기후지수에 따라 관광수요에 정(+)의 관계를 가질 수 있지만 기후변동성의 증가는 관광수요에 부(-)의 관계를 가질 수 있음을 확인하

였다(제한적 동의). 하지만 이는 일부 연구이며, 관련된 연구가 적으므로 추가 연구가 필요하다.

에너지 측면에서는 송/배전 측면에서 기후변화에 따른 도시지역의 자연재해시 복구차원의 임시 주거의 개념을 포함한 건물자체로 재난에 대비되어진 안전가옥 및 안전주거의 개념을 도입해야 할 필요가 있다(중간적 동의).

7.3. 취약성의 주요원인

산업 측면에서는 기후변화 그 자체로 취약성의 원인이 될 수 있으며, 기후변화가 산업에 미치는 영향은 업종에 따라 다르다(중간적 동의).

산업 측면에서는 기후변화 그 자체로 취약성의 원인이 될 수 있다. 앞서 기온의 상승과 강수일수의 감소는 옥외 활동인 건설 등의 작업가능일수를 증가시키지만 집중호우는 현장침수와 건설자재의 유실, 안전사고 등의 피해로 이어질 수 있다(중간적 동의).

기후변화에 적극적으로 대응하지 못하는 경우 기후변화에 그대로 노출되어 취약성이 커질 가능성이 있다. 조사 결과 국내 산업 중 발전과 화공 업종은 기후변화에 따라 부정적인 영향이 있을 것으로 인식되고 있으며, 금속 산업은 부정적인 영향이 낮을 것으로 예상하고 있었다. 기후변화에 따라 부정적 영향이 있을 것으로 예상되는 기업의 경우는 기후경영체계나 기후 관련 전담 조직을 구성하는 등의 노력이 필요하다. 기후변화에 대한 기업의 소극적인 대응은 기후변화의 취약성을 높이는 원인이 될 것이라는(제한적 동의) 연구 결과가 있으나, 제한된 업종에 대한 연구로 전체 업종으로의 일반화가 어렵다는 단점이 있기 때문에 추가적인 연구가 필요하다.

기후변화가 관광산업에 미치는 영향력은 업종에 따라 다르다. 일반적으로 고정자산에 투자가 많은 기업이나 연안과 도서, 산악 지역 등 기후에 의존도가 높은 지역일수록 기후변화에 취약하다(중간적 동의).

7.4. 적응옵션

획 수립이 이루어져야 할 것이다.

기후변화가 기회로 작용되는 산업이 있는 관계로 산업별 적응방안은 다르게 나타나고 있다(중간적 동의).

기후변화에 대한 적응의 방안으로서 다양한 방안이 있다. 하지만 각 산업별 특성이 다르고, 기후변화가 반드시 불리하게만 작용하지 않는 산업이 있는 관계로 기후변화에 대한 각 산업별 적응방안은 다르게 나타나고 있다.

홍수에 대한 산업단지의 적응대책을 제시하였다. 우리나라의 산업단지와 관련된 기후변화에 대한 검토는 임해, 익산, 구미산업단지를 중심으로 다루고 있다(제한적 동의).

기후변화에 적응하기 위한 다기능 패션 디자인에 관한 연구에서 경량감을 지닌 소재의 증가와, 환경을 의식한 버려진 옷이나 폐 원단 등 재활용 소재와 오가닉 소재에 대해 관심이 기울여지고 있다(중간적 동의).

기후변화가 교통에 미치는 영향 연구결과, 도로는 하천변 저지대, 급경사지, 불투수율이 높을수록 취약한 지역으로 분류된다. 따라서 위험도가 높은 취약지역에 대해서는 장기적으로 도로의 경로를 변경하는 것이 바람직하다(중간적 동의).

에너지 부문은 기후변화에 적응하기 위한 수단의 일환으로서 에너지효율을 높이는 방안이 있다. 에너지효율을 높이는 방안을 위한 법적 제도화 논의와 분산형 전원의 확산이 논의되고 있다. 도시가스 측면에서도, 기후변화가 에너지에 큰 영향을 줄 것이라는 인식은 있으나, 그에 대한 대응이 부족한 실정이다. 적응방안으로 기후변화 대응 매뉴얼을 제정하고 연료전지, 태양광 등 향후 새로운 공급시스템 구축이 도시가스에서도 가능하도록 전략적 R&D에 노력할 필요가 있다(제한적 동의).

기후변화는 산업과 에너지에 큰 영향을 미치고 있다는 것은 명확한 사실이다. 하지만 일부 산업단지와 신재생에너지의 일정부분만 다뤄지고 있어, 전체로 확장하기 어렵다는 한계가 있다. 산업과 에너지 부문은 전체적으로 연구의 수가 적고 제한적이기 때문에 추가적인 연구가 필요하며, 영향과 평가를 통한 적응 전략에 대한 구체적인 계

8. 보건

8.1. 관측된 영향

폭염에 의한 온열 손상환자 및 사망자(견고한 동의), 기상재해로 인한 사망자 (중간적 동의), 알레르기 질환자(중간적 동의), 삼일열 말라리아 발생(제한적 동의) 등은 기후요소와의 상관성이 확인되었다.

표 8.1 각 시도별 온열 손상에 대한 역치 온도 및 상대적 위험도

	위도	역치 온도 (°C)	상대적 위험도	95% CI	p value
특별시·광역시		32.2	1.704	1.618-1.794	<0.001
서울	37° 34'	33.9	1.915	1.751-2.094	<0.001
인천	37° 28'	33.8	1.725	1.500-1.984	<0.001
대전	36° 22'	31.4	1.675	1.434-1.957	<0.001
대구	35° 53'	33.9	1.583	1.375-1.823	<0.001
울산	35° 33'	33.6	1.329	1.165-1.517	<0.001
광주	35° 10'	32.8	1.531	1.336-1.754	<0.001
부산	35° 06'	33.1	1.610	1.381-1.876	<0.001
지방도		30.5	1.687	1.626-1.751	<0.001
강원	37° 54'	28.8	1.527	1.326-1.757	<0.001
경기	37° 16'	31.9	1.799	1.658-1.953	<0.001
충북	36° 38'	30.9	1.655	1.470-1.863	<0.001
충남	36° 22'	34.0	1.706	1.552-1.876	<0.001
경북	35° 53'	31.4	1.663	1.483-1.865	<0.001
전북	35° 49'	31.8	1.672	1.476-1.894	<0.001
경남	35° 10'	31.3	1.678	1.496-1.883	<0.001
전남	35° 10'	30.0	1.698	1.569-1.837	<0.001
제주	33° 30'	29.6	1.803	1.375-2.364	<0.001

폭염이 발생한 기간 동안의 열사병, 열탈진 등 온열 손상 환자는 폭염이 발생하지 않은 기간의 환자 수 보다 4배 이상 많았으며, 사망자 6명 중 5명이 노인이었다. 전국적으로 일 최고 온도 31.

2°C의 일계 온도 이상에서 1도 증가에 따라 환자 수가 69.1%씩 증가하는 것으로 나타났다. 초과 사망자의 경우, 폭염의 영향이 65세 이상에서 더 크게 나타났으며, 온열 손상의 경우 역시 노인에서 그 경과가 심하게 진행되는 것으로 나타났다(견고한 동의).

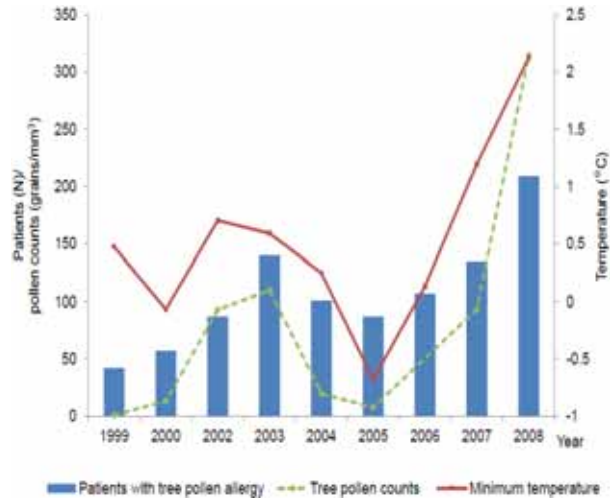


그림 8.1 최저기온과 tree pollen 환자의 연도별 추이

1981년부터 2010년까지 최근 30년 동안 기상재해 빈도수는 감소하는데 비해 피해액은 전체적으로 증가한 것으로 나타났다. 1990년에서 2008년 동안 우리나라에서 가장 많은 사망자를 일으킨 재해는 홍수였으며, 태풍으로 인한 사망자 비율이 크게 증가하고 있다. 가장 높은 사망원인은 익사였으며, 해안지역거주, 노년층, 남성이 취약한 것으로 나타났다(중간적 동의).

최저기온과 수목류 꽃가루 농도, 꽃가루 알레르기 환자 사이에 유의한 양의 상관관계가 있었으며, 환자의 연령과 성별, 대기오염을 보정하고 분석한 결과, 3월 최저기온이 1도 높아지면 수목류 꽃가루 환자가 14% 증가하는 것으로 나타났다. 광주전남 지역에서 시행된 연구에서도 흡입성 항원에 대한 감작률이 2003년부터 2008년까지 유의하게 증가하였고, 수목꽃가루와 목초꽃가루에 대한 감작률이 기온과 양의 상관관계를 나타냈다(중간적 동의).

2001년에서 2009년까지 발생한 삼일열 말라리아와 기후요인들과 상관관계를 분석한 결과, 말라리아 환자가 기온이 1도 상승할 때 3주후에는 17.7%가 증가하고, 상대습도가 10% 증가할 때 7

주 후에는 말라리아 환자가 40.7% 감소하며, 1주일간 일조량이 10시간 증가하면 2주후에 말라리아 환자가 5.1% 감소하는 현상을 확인하였다(제한적 동의).

8.2. 영향전망

폭염으로 인한 사망부담과(견고한 동의) 알레르기 질환(중간적 동의), 수인성 질환(제한적 동의) 등이 증가할 것으로 예상된다.

폭염으로 인한 사망부담은 2001~2010년까지 인구 10만 명당 0.7명에서 2036년에서 2040년까지 1.5명까지 증가할 것으로 예측된다(견고한 동의).

1990년부터 2008년 동안 기상재해로 인한 연평균 사망자수의 변화를 10년 단위로 관찰한 연구에 의하면 호우는 3.9배 감소하였고, 태풍은 1.7배 증가하였다. 이에 따라 과거 우리나라에서 가장 많은 사망자를 일으킨 재해는 호우였지만, 점차 태풍으로 변화하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 기후변화의 영향으로 인해 우리나라의 강수량과 강수강도는 증가할 것으로 예측된다(제한적 동의).

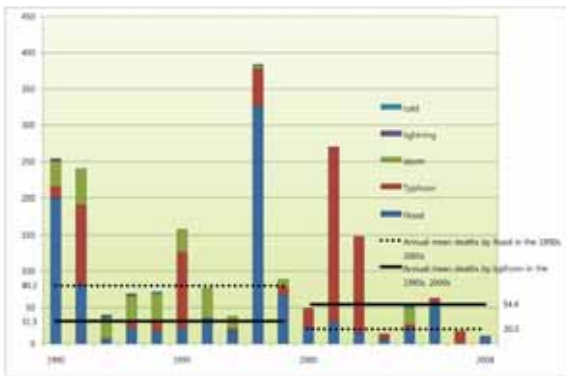


그림 8.2 기상재해로 인한 연평균 사망자수 변화

21세기 말에 이르면 이산화탄소 농도가 약 2배가 될 것으로 예측되어, 자작나무의 꽃가루 시기가 약 1개월 빨라지고 그 농도는 약 50% 증가할 것으로 예측된다. 따라서 기후변화로 인한 나무 및 초본의 꽃가루 시기가 증가하고 노출이 증가되어 알레르기 질환이 증가할 뿐만 아니라 증상의 강도와 기간 증가로 인한 질병 부담이 증가할 것으로 예상된다(중간적 동의).

2005-2008년도 발생한 설사질환과 기후변화 시나리오자료를 이용하여 2038년, 2058년도의 환자 발생 및 진료비 상승을 예측한 결과, 2038년과 2058년에 환자 발생이 각각 0.9~2.4% 및 4.2~11.2%, 연간 진료비가 각각 60~160억원 및 290~760억원 상승할 것으로 예상되었다(제한적 동의).

8.3. 취약성의 주요원인

폭염에 의한 사망률 증가와(견고한 동의) 호흡기 질환자 증가(중간적 동의), 쯤쯤가무시증 질환자 증가(견고한 동의)가 예상되며, 특히 질환 발생은 노령화 인구에서 더 높게 나타났다.

폭염에 대한 취약성은 노출이 클수록, 민감도가 높을수록, 또한 적응능력이 낮을수록 높아진다고 볼 수 있다. 외부의 기온에 더 많이 노출될 것으로 예상되는 남성에게서 열 관련 질환 발생이 더 높게 나타났다. 65세 이상의 노인에서 폭염에 의한 사망률 증가가 더 높게 나타났으며, 온열 손상도 다른 연령층에 비해 중증도가 더 높았다(견고한 동의).

여름철 대도시를 중심으로 오존, 질소산화물 등 대기오염물질의 농도 증가는 이들 물질에 취약한 질환, 즉 천식 등 호흡기 질환, 심혈관 질환, 저체중아 발생의 증가 및 초과 사망을 야기할 수 있다. 특히 고령인구는 호흡기 질환 이환율도 높고 대기오염물질의 영향도 큰 것으로 보고되고 있다(중간적 동의).

지역 특이성이 높은 말라리아는 군사분계선 근방인 경기도(강화군)와 강원도 북부(철원군, 연천군)의 농촌지역에서 취약성이 더 높게 나타났다. 쯤쯤가무시증은 남서 평야지대인 전라도와 충청도에서 취약성이 높게 나타났다. 연령대별로 분석한 결과, 쯤쯤가무시증은 65세 이상, 말라리아 20-64세로 외부활동이 높은 연령이 취약한 것으로 나타났다(견고한 동의).

인구집단별 수인성 및 식품매개 감염병 발생 수준을 비교하고, 인구집단별 기후요인과 질병발생간의 연관성을 분석 비교함으로써 기후변화에 따른 질병발생에 대해 취약성을 평가할 수 있다. 건강보험심사평가원 청구자료를 이용한 연구 결과,

남녀 모두에서 19세 미만의 설사질환 유병률이 다른 연령에 비해 높게 나타났다(제한적 동의).

약성 분석결과를 토대로 적응대책을 수립하여 기후변화가 건강에 미치는 피해를 최소화하는 것이 중요하다.

8.4. 적응옵션

기후변화와 건강과의 상관관계 및 취약성 분석 연구결과를 토대로 한 적응대책을 수립하여 건강에 미치는 피해를 최소화하는 것이 필요하다(견고한 동의).

국내 기후변화 적응대책은 2007년 제4차 기후변화대응 종합대책부터 추진하기 시작하였다. 2008년 기후변화대응 종합기본계획을 수립하였으며, 국가 기후변화 적응 종합계획(마스터플랜) 수립을 명시한 이후 적극적으로 진행되었다. 건강분야 대응대책을 위해 2007년 질병관리본부에 기후변화대응TF를 설치하였다. 2009년 6월 ‘녹색성장 국가전략 및 5개년 계획’의 10대 정책과제 중 기후변화 적응역량 강화부문에 ‘기후변화대응 국민건강관리 강화’ 계획으로 보건복지부의 건강관리대책(안)이 반영되었다. 2010년에는 저탄소 녹색성장기본법 시행에 따른 기후변화 적응 기본 5개년 계획으로 범정부 차원의 국가 기후변화 적응 기본대책(‘11-’15)을 수립하였다. 2010년 11월에는 ‘기후변화 건강영향 자문위원회’를 구성하였고, 12월에는 ‘기후변화적응 건강관리대책(‘11-’15)을 수립하여 기후변화대응 역량을 강화하고 있다.

정부부처 간, 다학제 간, 학문분야 간의 원활한 공조체계 및 공동연구와 기후변화 건강적응대책을 성공적으로 수행하기 위해서 기후변화건강포럼을 결성, 운영하고 있다. 기후변화건강포럼은 담당 정부부처 및 다양한 학문영역, 시민단체, 학계, 기업 등 약 240여명의 전문가들과 약 400여명의 온라인 회원들이 참여하고 있는 모임으로 2008년 11월 창립한 이래 2013년말 현재까지 총 32차 월례포럼과 5차례의 종합학술대회, 1차례의 국제학술대회, 전문가 강연, 미래세대 학술지원, 지자체 공무원 교육 등을 통하여 여론 환기, 정책 제안 등 활동을 꾸준히 하고 있다.

기후변화와 건강과의 상관관계 및 취약성 분석에 대한 연구들이 증가하고 있으며 이러한 결과 등을 바탕으로 한 적응옵션이 필요하다. 특히 취

9. 인간정주공간 및 복지

9.1. 관측된 영향

도시는 기후변화로 인한 영향에 대해서 취약점을 지니며, 그 취약계층은 기후의 특성과 공간에 따라서 다르게 나타났다(견고한 동의).

우리나라에서 도시화 현상은 1960년대부터 본격적으로 심화되어 36.8%이던 도시화율이 1990년대까지 가파르게 상승하여 82.6%로 40%가 넘는 증가율을 보였다가 현재 90%대로 유지되고 있다. 지역별로 보면 도시지역 면적과 도시화율 모두 특·광역시와 그 주변지역에서 인구비율의 증가와 함께 높게 나타나고 있다. 도시는 기후변화로 인한 영향에 대해서 취약점을 지니는 동시에 기후변화 현상을 유발시키는 탄소배출에서도 큰 비중을 차지하고 있다. 1960년대 이후 산업화, 도시화로 인한 인위적인 원인으로 특히 대도시의 관측기온 상승폭이 타 지역에 비해 크게 나타나고 있다. 우리나라의 기온 상승에는 지구온난화와 도시화로 인한 국지적인 상승경향이 내포되어 있다(견고한 동의).

2005년 자료에 의하면, 농촌 면적은 전 국토의 90%를 차지하고 인구구성에서는 전 국민의 18.5%가 거주하는 공간이다. 농촌마을 수는 1960년 대비 2007년 20%나 감소했으며, 농촌마을당 평균 거주 인구는 1960년 대비 2007년 절반수준으로 감소했다. 국내 식량생산의 기반이 되는 농경지 면적의 변화추이를 살펴보면 1968년을 정점으로 지속적인 감소추세이다. 앞으로 인구고령화와 저성장, 교통통신 발달, 국민의 가치관 변화로 거주지 교외화 현상 가속화, 귀농·귀촌에 의한 역도시화 등이 촉진될 것이다(중간적 동의).

현재 우리나라 국가단위 기후변화 취약계층 관련 지원대책은 총 44개로 건강분야와 재난/재해분야가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 부처로는 보건복지부가 가장 많은 대책을 소관하고 있다. 또한 집중호우, 홍수, 태풍 등의 풍수해와 관련된 대책과 취약지역 관련 대책이 절반 이상을 차지하고 있다. 기후변화로 영향을 받는 취약계층은 기후의 특성과 공간에 따라서 다르게 나타났다. 복지에 대한 국가정책 및 국민인식의 변화에

따라 전반적으로 복지 관련 시설수가 증가하고 있는 추세이나 공급이 급격한 수요의 증가를 따라오지 못하고 있는 실정이다(견고한 동의).

9.2. 영향전망

기반시설군 전체적으로 홍수 및 집중호우와 태풍 및 폭풍에 대한 취약성이 높게 나타났으며, 특히 수도권지역에서 저소득계층이 상대적으로 밀집거주하고 있는 지역에 풍수해 발생빈도가 크게 나타날 것으로 예측된다(중간적 동의).

미래 한반도의 아열대 기후구의 변화를 전망해 본 결과 도시지역 모두는 아열대 기후지역에 포함될 것으로 예측되었다. 토지이용 및 피복 변화 시나리오를 설정하여 시나리오별 도시성장을 예측한 결과, RCP4.5 시나리오의 경우 도시지역의 면적 증가는 주로 농지면적 훼손에 의해 발생하는 것으로 예측되고, RCP8.5 시나리오에서는 농지뿐만 아니라 산지면적 훼손이 더욱 증가되는 것으로 예측되었다. 이러한 농지와 산지의 면적 감소는 지방도시에 비하여 광역도시에서 더 높게 나타났다. 서울시를 비롯한 경기도의 주요 거점 도시와 서해안지역으로 도시가 성장해 2030년에는 수도권 전역이 거대 도시화되고 수도권 전체 면적에서 도시가 차지하는 비율이 23.9%까지 증가하여 농지면적을 앞지를 것으로 예측되었다(중간적 동의).

기후변화가 도시 시스템에 미치는 영향에 가장 취약한 공간은 도시의 해안, 하천변, 지하공간, 산기슭으로서 이러한 취약공간에 위치한 도시기반시설, 건축물, 시민은 기후변화로 인한 재해 위험성이 더욱 높아지게 된다. 기후변화 취약성 측면에서는 기반시설군 전체적으로 홍수 및 집중호우와 태풍 및 폭풍에 대한 취약성이 높게 나타났다(중간적 동의).

지역정주공간으로서 농촌의 미래전망은 인구감소와 고령화로 농산업중심의 농지와 산지이용이 줄어들고, 여가관광 공간으로 활용될 것으로 예측되며, 지역간 인구이동은 크게 진정되고, 인구유동이 상대적으로 확대될 것으로 전망된다. 농촌에서는 기후변화로 인하여 농작물생산이 가장 크게 영

향을 받을 것으로 예상되며, 우리나라의 경우, 농경지는 온실가스 배출비중은 적지만 기후변화를 저감하기 위한 방안 중 하나로 온실가스 배출을 줄일 수 있는 농경기법과 신재생에너지의 보급의

기후변화에서 농촌부문과 관련해서는 농업부문과 더불어 주로 에너지 관련 연구가 진행되고 있다. 농업부문의 에너지소비량이 상대적으로 적다고 할지라도 에너지소비 당 이산화탄소 배출이 상



그림 9.1 지역유형별 사회기반시설의 기후변화 영향별 위험도

확대가 필요할 것으로 보인다(중간적 동의).

기후변화로 인한 취약계층의 피해 정도는 공간적인 요소뿐만 아니라 소득, 연령과 같은 사회적 요소와도 관계를 가진다. 농어촌지역에 60세 이상의 인구가 대부분 거주하고 있는 것으로 나타나 60세 이상의 노령인구의 비중이 크게 늘고 있다. 농어촌지역에서는 저가의 에너지 접근성이 매우 취약하기 때문에 에너지 복지의 차원에서 접근할 필요가 있다. 풍수해 피해와 관련하여 수도권 지역에서 저소득계층이 상대적으로 밀집거주하고 있는 지역에 풍수해 발생빈도가 크게 나타난다(중간적 동의).

9.3. 취약성의 주요원인

도시지역은 단순히 태풍과 같은 극한강우뿐만 아니라 인간의 개발로 인한 여러 가지 영향으로 인해서 피해가 가중되고 있다. 도시에서 재해 피해를 가중시키는 주요 원인은 재해취약지역(하천변·해안변 저지대, 급경사지 주변 등)의 밀집 거주와 같이 방재개념이 미흡한 도시 이용 및 개발, 토지이용, 건물배치 그리고 도시지역 지표면의 우수저류·침투시스템 미흡 등으로 진단할 수 있다. 또한 기후변화 영향으로 도시에서 발생하는 재해가 대형화되고, 홍수, 폭설, 폭염, 해수면 상승 등과 같이 다양화 되고 있다(중간적 동의).

대적으로 높다. 농업의 석유 의존도는 최종에너지나 산업부문에 비해 상당히 높은 편이나 신·재생에너지는 사용실적이 거의 없다. 그러나 향후 유가가 상승할 경우 석유류 소비량은 감소하고 신·재생에너지 소비량이 증가할 것으로 보인다(중간적 동의).

기후변화에 대응하기 위한 정책 입안 시, 소득 불균형으로 초래되는 에너지 소비, 거주환경 등의 차이를 고려해야 할 것이다. 600만원 이상의 고소득계층은 100만원미만 가구에 비해 약 1.8배의 에너지를 사용하고 있고, 저소득계층은 상대적으로 비싼 등유를 이용하는 가구비율이 높은 반면, 고소득계층은 상대적으로 저렴한 도시가스 및 열에너지(지방난방)를 이용하는 비율이 높게 나타났다. 기후변화의 완화를 위해 정책수단으로 에너지가격의 정상화 즉 상향조정이 논의되고 있는 데, 이는 저소득층 등 사회경제적 약자의 에너지 접근성을 저하시키는 또 다른 사회문제를 야기할 가능성이 높다(중간적 동의).

9.4. 적응옵션

지역에 맞는 평가도구들을 통해 지역특성분석이 먼저 수행되고, 기후변화적응 공간계획기법들을 통해 이행가능한 적응 실천계획이 수립되어야 한다(중간적 동의).

미래 기후변화에 대한 도시의 적응에 관한 연구는 주로 도시에서 발생하며 앞으로 더욱 그 피해가 커질 것으로 예상되는 재해들에 대한 연구로 집중되는 경향을 보였다. 특히, 물부족, 침수피해에 대한 연구가 다수 진행되었으며, 이전부터 관심주제인 탄소중립도시와 관련된 연구도 꾸준히 진행되고 있었다. 그리고 기후변화 완화대책과 적응대책을 모두 고려하는 방안에 관한 연구도 나타나고 있다.

표 9.1 탄소저감형 신도시 토지이용을 위한 공간적 적용단위 별 계획요소

공간적 적용단위	계획요소
소생활권	친환경적 건축물 배치, 자연지반보존, 도시농업, 교통정온화, 입체녹화
소-중생활권 연계	적정생활권설정, 업종간 인접배치 및 입지배분, 보행자전용도로체계 구축, 친수공간 조성, 생태통로확보, 그린웨이
중생활권	집약적토지이용, 대중교통중심체계, 친환경교통수단도입, 자전거전용도로 체계구축, 생태면적률 도입, 저탄소공원·녹지조성
중-대생활권 연계	복합용도개발, 대중교통중심개발(TOD), 바람길, 대중교통전용지구
대생활권	밀도계획, 비오톱 조성, 공원·녹지율, 그린메트릭스

탄소배출의 상당한 부분을 차지하고 있는 도시에 대해서는 저탄소배출 방안, 도시 내 흡수원의 역할, 전략환경평가에서의 고려 등 단순히 도시 내 탄소배출의 현상이 아닌 공간적인 해결방안 등에 대한 연구들이 진행되었다. 기후변화적응 도시 계획기법으로 첫째로 탄소배출 억제를 위한 도시 계획 및 설계로서 분산적 집중화된 공간구조, 대중교통중심의 교통구조, 신·재생에너지 이용과 에너지 절약을 위한 도시설계를 들 수 있다. 둘째로는 기후변화 적응을 위한 도시계획으로 도시의 열부하 분석, 기후분석과 기후도 작성, 도시의 바람길 조성을 들 수 있다. 그 외 도시 내 사회기반시설에 대한 적응방안과 제도적인 방안들을 들 수 있다. 지역특성 분석 없이 수립되는 적응부분 실천계획은 실효성 없는 계획으로 끝날 우려가 있으므로 지역에 맞는 평가도구들을 통해 지역특성분석이 먼저 수행되고, 이행가능한 적응 실천계획 수립이 진행되어야 한다.

농촌부문에서 기후변화에 대한 대응으로 주로 온실가스배출 저감과 관련된 연구들이 진행되었다. 우리나라의 농촌부문은 종사인구의 고령화와 대농의 증가에 따른 기계화의 진행 등으로 에너지 투입이 증가할 개연성이 높기 때문에 에너지 투입 관점에서 접근할 필요가 있다. 향후 농업 및 농촌의 저탄소사회화를 촉진할 수 있게 효율적 연료사용 및 기술개발로 저탄소 농업, 청정바이오(바이오 에너지)의 사용을 통하여 친환경농업과 저탄소농업 확대 등 지속가능한 농업체계로의 전환과 환경친화적 농업·농촌 기반을 조성하고, 농촌지역 생활환경 개선을 위하여 농가소득 안정화, 농업체질 강화, 규모화 및 전문화, 그리고 농촌 생활인프라 확충 등을 통해 기후변화에 직간접적으로 대응할 것으로 전망된다.

사회 취약계층을 위한 기후변화 적응 전략은 사회적, 공간적 환경에 따라 다른 전략을 수립해야 할 필요성이 있다. 우선 사회경제적 취약계층에 대한 사회적 문제와 관련된 기후변화 대응 추진전략으로 기후복지제도의 도입, 극한 기후 현상별로 고위험인구에 대한 응급구조체계 구축 및 집중관리, 저소득계층 기후변화 대응 사회적 안전망 구축 등이 필요하다. 지역사회의 공간적 특징에 따른 대응전략으로는, 도시지역은 주택침수·파손 등 물리적인 피해 예방 및 대응정책 강화, 주거복잡도 등 열악한 정주시설 개선 및 녹지시설 확충, 농어촌지역은 혹한에 대비할 수 있도록 생물학적 취약가구의 노후 된 정주시설 개선, 물적 인프라 확충 등을 위한 정책과 사업이 추진될 필요가 있는 것으로 나타났다.

10. 적응전략

10.1. 서론

저탄소녹색성장기본법 제정으로 국가 및 지방자치단체 기후변화 적응대책 수립을 위한 법적 토대가 마련되었다(견고한 동의).

우리나라에서 기후변화 대책이 추진되기 시작한 것은 교토의정서가 채택된 이후인 1999년 기후변화 대책위원회가 설치되면서부터이다. 그러나 기후변화 적응에 대한 본격적인 논의는 제3차 종합대책(2005~2007)에 이르러서야 시작되었고, 2008년의 국가 기후변화 적응마스터플랜(2008)과 2010년 '저탄소 녹색성장 기본법(이후 '녹색성장기본법')에 따른 국가기후변화적응대책(2011~2015)으로 발전하였다(견고한 동의).

녹색성장기본법에 따라 우리나라 최초의 법정계획인 국가기후변화 적응대책을 수립하고, 현재와 같은 국가 - 광역지자체 - 기초지자체의 기후변화 적응체계를 구축하였다.

10.2. 국가기후변화 적응대책 수립

환경부를 포함한 13개 관계부처 합동으로 5년마다 국가 기후변화 적응대책과 세부시행계획을 마련하였다(견고한 동의).

국가 기후변화 적응대책은 2008년 최초의 적응대책이 마련된 이후 과학적 기반 마련, 세부시행계획 수립 등 과학적, 제도적 측면에서 계속 발전하고 있다(견고한 동의).

환경부 등 정부는 2008년 국가 기후변화 적응종합계획을 마련하였고 그 이후 녹색성장기본법에 근거하여 국가기후변화 적응대책(2011-2015) 및 이의 수정·보완 대책을 수립·운영하여 현재에 이르고 있다.

2009~2030년을 계획기간으로 수립된 국가 기후변화 적응 종합계획은 최초의 국가 적응대책으로서 국가 적응정책의 비전과 방향을 제시하였으며 국가 장기 비전인 저탄소 녹색성장의 주요 행동계획으로서 범부처 참여형 종합계획의 성격을 가지고 있다. 2010년 환경부가 중심이 되어 13개 관

계부처 합동으로 수립한 국가 기후변화 적응대책(2011~2015)은 녹색성장기본법 시행('10.4월)에 따른 최초의 법정계획이다. 건강, 재난/재해, 농업, 산림, 해양/수산업, 물관리, 생태계, 기후변화 감시 및 예측, 적응산업, 교육·홍보 및 국제협력 10개 부문 87개 세부과제를 마련하였다. 2012년 12월 새로운 기후변화 시나리오(RCP)를 반영하여 국가기후변화 적응대책의 수정·보완이 이루어졌다. 기존 대책 중 존속시킬 과제와 폐지해야 할 과제를 구분하고 성격이 유사한 과제는 통폐합하여 수정·보완이 이루어졌다.

국가기후변화 적응대책(2011-2015)에 의거하여 관계부처 합동의 세부시행계획이 마련되었으며, 여기에는 각 세부과제 및 담당부처별로 사업개요, 추진실적과 함께 연차별 사업내용 및 소요예산, 기대효과 등이 제시되었다. 이를 통해 적응대책의 이행성과 책임성을 제고하고자 노력하였다.

국가기후변화 적응대책은 정부 및 지자체 세부시행계획 수립을 위한 법정 기본계획(master plan)이며 기후변화 영향을 고려한 5년 단위 연동계획(rolling plan)이다.

10.3. 지방자치단체 적응대책 수립

광역지자체는 기후변화 적응대책을 마련하였으며, 기초지자체의 기후변화 적응대책은 2015년부터 의무화될 예정이다. 기초지자체 적응대책 수립에 앞서 35개 시범 대책을 마련하였다(견고한 동의).

지자체 적응대책은 광역지자체와 기초시범지자체로 구분된다. 이러한 지자체 적응대책에서는 의사결정권자의 관심과 인지도 제고, 취약성 평가 개선, 지역 특성에 맞는 사업도출 유도 등이 중요한 것으로 나타났다(견고한 동의).

광역지자체 적응대책은 녹색성장기본법에 근거하여 5년 단위로 수립·시행하고, 광역시·도지사가 수립주체이다. 광역지자체 적응대책 세부시행계획은 기후변화 영향 및 취약성 평가, 비전 및 목표 설정, 적응대책 및 중점과제 선정, 분야 및 전략별 적응대책 등을 포함한다. 지자체 장의 의지가 적응대책 수립 및 이행에 중요하지만, 광역지자체장

의 관심은 높지 않은 것으로 조사되어 의사결정권자의 인식제고가 필요한 것으로 나타났다(견고한 동의). 녹색성장기본법 시행 이전에는 16개 광역시·도에서 기후변화 대응을 목적으로 「기후변화 대응종합계획」을 수립한 바 있다.

한편, 2015년 기초지자체 적응대책 수립 의무화를 앞두고 정부는 기초지자체 시범사업(2012~2013년)을 통해 적응대책 수립경험을 축적

10.4. 기후변화 적응전략 및 적응기법 연구

국가 및 지자체 적응전략 및 기법 발전을 위한 다양한 연구와 정책적 관심이 계속 필요하다(견고한 동의).

기후변화 적응대책의 효과성 및 실효성 제고의 관점에서 적응대책 수립 및 이행효과성, 취약 및

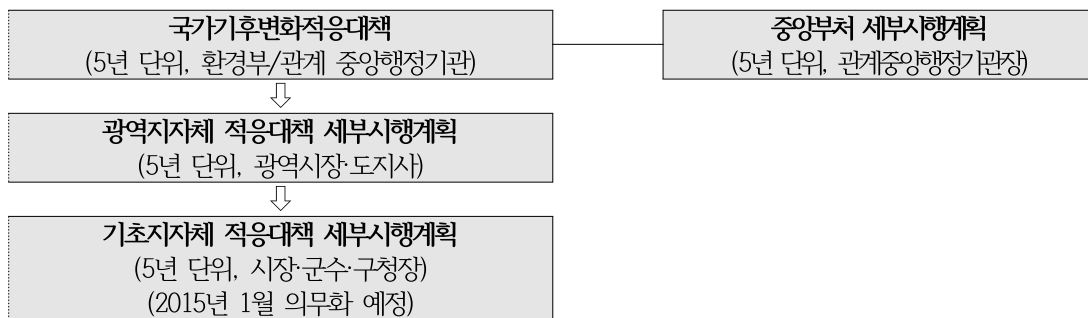


그림 10.1 우리나라 기후변화 적응대책 수립체계

하고 설명회 개최, 가이드라인 마련 등과 같은 수립기반 강화를 위해 노력하고 있다. 기초지자체 시범사업은 2014년 2월말 기준으로 22개 지역('12년 시범지역 20개 지역 중 16개 지자체, '13년 시범지역 15개 지역 중 6개 지자체)에서 적응대책 수립용역이 완료되었으며, 전체 35개 시범지역의 기후변화 적응대책은 2014년 9월 완료될 예정이다. 시범 기초지자체의 적응대책 수립경험 조사를 통해 도출된 주요 고려사항은 취약성 평가 보완, 기후변화 적응 인지도 향상 및 전문성 확보, 지역 특성에 맞는 사업도출 유도 등이다(견고한 동의).

취약성평가의 보완을 위해서는 데이터 구축방안과 LCCGIS의 수정 및 보완(산정식 재검토) 등이 필요하고, 기후변화 적응 인지도 향상 및 전문성 확보를 위해서는 지역 네트워크를 활용한 교육 및 홍보활동, 공무원 업무 매뉴얼 제공, 선진사례지연수 등이 필요하다. 지역 특성에 맞는 사업 도출을 위해서는 관련 공무원과 주민 등의 역량 강화가 전제되어야 하며, 특히 지역에 필요한 사업을 수행할 수 있도록 사업발굴 체계와 이행평가에서 오는 불이익을 완화할 수 있는 제도적 장치가 필요하고 예산확보를 위한 정부부처 연결 등 행정적 지원이 뒷받침 되어야 한다.

리스크 평가, 거버넌스 참여, 기후변화 적응에 대한 경제성 및 우선순위 평가, 기후변화 취약계층 영향과 대응, 기후변화 적응을 위한 공간 계획기법, 지자체 기후변화 적응능력 평가, 기후변화 적응 인식조사, 감축과 적응 상호관계 분석 등 8개 부문에 대한 현 수준과 발전방향을 검토할 수 있었다.

전반적으로 기후변화 적응전략 및 적응기법에 관련한 충분한 연구가 수행되지 않아 다양한 분석 결과가 체계적으로 축적되어 있지 못한 실정이므로 앞으로도 지속적인 연구와 정책적 관심이 필요하다(견고한 동의).

특히, 국가 및 지자체 이행평가체계 구축 및 적응지표 마련, 기후변화 리스크 평가체계 마련, 적응형 공간계획 강화, 기후변화 취약계층 및 취약시설, 취약지역 등 공간 계획기법 개발, 적응 인식제고와 적응행동 강화 매커니즘 분석, 적응 거버넌스 구축, 감축과 적응의 연계 및 기후회복경로 등에 대한 지속적인 연구와 관심이 요구된다.


한국 기후변화 평가보고서 2014

- 기후변화 영향 및 적응 -
정책결정자를 위한 요약서

총괄 : 홍지형
 김상균, 김대곤, 홍성철, 이재범, 문경정, 차준석, 홍준석, 마영일, 김승연
편집 : (국립환경과학원),
 정휘철(한국환경정책·평가연구원), 최영은(건국대학교)
저자 : 이동근(서울대학교)
발행일 : 2015년 1월

(404-708) 인천광역시 서구 환경로 42번지
국립환경과학원 기후대기연구부 지구환경연구과
- Tel: 032-560-7300
- Fax: 032-568-2042
- Web: <http://www.nier.go.kr>

ISBN 978-89-6558-261-8 93530
발간등록번호 11-1480523-002032-01
NIER 번호 NIER-GP2014-160



한국 기후변화 평가보고서 2014