

정책결정자를 위한 요약서

한국 기후위기 평가보고서 2025

- 기후위기 영향 및 적응 -



안면도 지구대기감시소에서 측정한 이산화탄소 배경농도가 지난해 430ppm을 넘어섰습니다. 매년 약 3ppm씩 증가하고 있어, 산업화 이전 대비 전 지구평균기온 2℃ 상승을 의미하는 450ppm까지 6~7년의 기간밖에 남지 않은 상황입니다.

특히, 한반도의 기후위기는 전지구적 평균보다 빠른 속도로 진행되고 있어 그 영향은 더욱 중대합니다. '25년 봄 기록적인 대형산불, 여름철 극한호우와 아직까지 이어지고 있는 기록적인 폭염이 우리 사회 전반에 걸쳐 기후위기의 심각성을 다시금 일깨워 주었습니다. 생태계와 국민 건강은 물론, 산업과 사회기반시설에 이르기까지 피해가 발생하며, 우리 사회 전 분야의 탈탄소 노력과 더불어 기후위기 대응의 필요성이 그 어느 때보다 강조되고 있습니다.

이러한 상황에서 환경부-기상청이 협력하여 「한국 기후위기 평가보고서 2025」를 공동 발간하게 되었습니다. 환경부는 '기후위기 영향 및 적응'을, 기상청은 '기후위기 과학적 근거'를 담당하여, 지난 5년간의 연구성과를 종합·정리하였습니다. 이번 보고서는 우리 사회 전 분야의 탈탄소 노력의 필요성과 오는 2025년 말 수립 예정인 '제4차 국가 기후위기 대응(적응)대책(26~30)'에 과학적 근거를 제공하는 중요한 자료가 될 것입니다.

특히 이번 보고서는 수자원, 생태계, 산림, 농업, 해양 및 수산, 산업 및 에너지, 보건, 인간정주공간과 복지, 적응 및 취약성 등 9개 부문을 중심으로 기후위기의 영향과 취약성, 그리고 정책적 해법을 체계적으로 제시하고 있습니다. 2020년부터 2024년까지 발표된 학술논문과 정부 보고서 790편을 분석하였으며, 각 부문별 최고 전문가 49분이 집필에 참여해 주셨습니다. 보고서 발간을 위해 귀한 시간과 노력을 기울여 주신 모든 저자와 연구진께 깊이 감사드립니다.

「한국 기후위기 평가보고서 2025」가 중앙정부와 지방자치단체는 물론, 공공기관과 민간기업 등 다양한 주체가 기후위기 대응대책을 수립하는 데 유용하게 활용되기를 기대합니다. 아울러 본 보고서가 국내외 연구자들의 지식 공유와 협력을 촉진하여, 우리 사회의 기후위기 대응 역량을 한층 강화하는 계기가 되기를 희망합니다.

환경부는 앞으로도 국민의 안전과 삶의 질을 지키기 위해 과학적 근거에 기반한 기후위기 대응 정책을 적극 추진해 나가겠습니다. 국민 여러분의 지속적인 관심과 성원을 부탁드립니다.

2025년 9월
환경부 장관 김 성 환

서문 i

제 1 장 소개 1

- 1.1. 배경 및 절차 1
- 1.2. 「한국 기후변화 평가보고서 2020」 연구 주제 및 시사점 1
- 1.3. 주요 연구동향 2

제 2 장 수자원 3

- 2.1. 서론 3
- 2.2. 관측된 영향 3
- 2.3. 영향 및 취약성 4
- 2.4. 적응해법 및 정책 5
- 2.5. 결론 및 시사점 6

제 3 장 생태계 8

- 3.1. 서론 8
- 3.2. 관측된 영향 8
- 3.3. 영향 및 취약성 9
- 3.4. 적응해법 및 정책 10
- 3.5. 결론 및 시사점 11

제 4 장 산림 12

- 4.1. 서론 12
- 4.2. 관측된 영향 12
- 4.3. 영향 및 취약성 13
- 4.4. 적응해법 및 정책 15
- 4.5. 결론 및 시사점 15



제 5 장	농업	17
5.1. 서론		17
5.2. 관측된 영향		17
5.3. 영향 및 취약성		18
5.4. 적응해법 및 정책		19
5.5. 결론 및 시사점		20
제 6 장	해양 및 수산	22
6.1. 서론		22
6.2. 관측된 영향		23
6.3. 영향 및 취약성		23
6.4. 적응해법 및 정책		24
6.5. 결론 및 시사점		25
제 7 장	산업 및 에너지	26
7.1. 서론		26
7.2. 관측된 영향		26
7.3. 영향 및 취약성		27
7.4. 적응해법 및 정책		27
7.5. 결론 및 시사점		28

제 8 장	보건	30
8.1. 서론		30
8.2. 관측된 영향		30
8.3. 영향 및 취약성		32
8.4. 적응해법 및 정책		33
8.5. 결론 및 시사점		33
제 9 장	인간정주공간 및 복지	34
9.1. 서론		34
9.2. 관측된 영향		34
9.3. 영향 및 취약성		35
9.4. 적응해법 및 정책		36
9.5. 결론 및 시사점		37
제 10 장	적응 및 취약성	39
10.1. 서론		39
10.2. 기후위기 적응대책 수립		39
10.3. 기후위기 적응대책 수립 관련 연구		40
10.4. 기후위기 적응대책 수립 시의 고려사항		41

제 1 장 소개



1.1. 배경 및 절차

과학이 발달함에 따라, 시간이 지남에 따라 변화하는 기후변화 현황을 새롭게 진단하고 미래를 예측하는 것이 필요하다. 우리나라는 한반도의 기후변화 영향에 대한 특수성을 더욱 명확히 파악하고, 효과적인 적응대책을 마련하기 위해 국내 기후변화 관련 연구를 종합해왔다. 이러한 노력의 일환으로 「한국 기후변화 평가보고서」가 발간되어왔다. 2011년, 2015년, 2020년에 각각 「한국 기후변화 평가보고서 2010」, 「한국 기후변화 평가보고서 2014」, 「한국 기후변화 평가보고서 2020」이라는 제목으로 출판되었다. 2020년 이후 탄소중립·녹색성장 기본계획이 발표(‘23.4)되고, 국가 기후위기 적응 강화대책(‘23.6)이 수립됨에 따라 새롭게 축적된 연구들을 정리하여 제4차 보고서인 「한국 기후위기 평가보고서 2025」를 발간하게 되었다.

본 보고서는 한반도를 대상으로 한 기후변화 영향, 취약성, 적응대책과 관련된 국내외 연구 및 보고서 결과를 토대로 작성하였다. 서론, 수자원, 생태계, 산림, 농업, 해양 및 수산, 산업 및 에너지, 보건, 인간정주공간과 복지, 적응 및 취약성을 포함해 총 10장으로 구성되어 있다. 정책결정자를 위한 요약보고서는 본 보고서의 주요 결과를 요약하여 제시하고 있으며 연구 결과의 신뢰도를 3단계 동의 수준으로 제시하고 있다.

1.2. 「한국 기후변화 평가보고서 2020」 연구 주제 및 시사점

이전 보고서의 부문별 연구 주제를 살펴보면, 수자원에서는 홍수 및 가뭄에 대한 영향평가 및 전망을 분석하고 취약성 평가를 통해 댐 관리나 홍수 예측 시스템을 개발하는 등의

연구가 수행되었다. 생태계 부문에서는 미래 식물서식지 변화나 생육 및 생리적 변화에 관한 연구가 증가하였다. 산림 부문에서는 미래의 산림 구성의 변화, 산림재해 및 병해충의 발생 가능성이 연구되었다. 농업 부문에서는 과수뿐만 아니라 다양한 채소와 원예작물에 대한 재배적지 및 병해충 발생 위험 연구가 추가되었다. 해양 부문에서는 관측자료의 증가와 모델링의 고도화를 통해 해양 환경변화의 신뢰성 있는 연구 결과가 증가하였다. 산업 및 에너지 부문에서는 기후변화로 성장하거나 피해를 보는 산업 부문을 관측 및 예측하였다. 산업 부문에서 적응대책을 마련하고 있는 곳은 일부이며 특히 민간 산업 부문에 적응대책이 미비함이 한계로 지적되었다. 보건 부문에서는 폭염, 기상재해, 대기질, 알레르기, 감염병 분야로 구분하여 건강 피해를 예측하고, 취약한 집단을 파악했다. 인간정주공간과 복지 부문에서는 도시와 농림지역으로 구분하여 기후변화의 피해 및 적응 대책을 파악했다. 대부분의 연구가 도시에 집중되어 있었고, 취약계층과 관련된 적응대책 가이드라인을 제시하는 연구가 주를 이뤘다. 마지막으로 적응대책 및 계획 부문에서는 리스크 평가 연구가 증가했고, 우선순위 평가가 정성, 정량적 방법론이 모두 활용되어 이루어졌다.

2020년 보고서를 토대로 검토한 결과, 우리나라 기후변화 영향, 취약성 및 적응 연구에서 추가로 필요한 사항은 다음과 같았다.

첫 번째, 기후변화 적응대책이 수립되어야 할 모든 부문에 대해 취약성 평가가 충분히 이루어지지 않았으며, 평가가 진행되더라도 그 결과가 적응대책 수립까지 효과적으로 연계되지 못하고 있었다. 예를 들어, 민간 산업과 농림지역의 정주공간에 대한 연구가 부족하며, 취약계층에 대한 정의와 범위도 불분명하여 일반적 사회 취약계층을 대상으로 한 기존 정책과의 차별성이 부족하다는 문제가 제기되었다.

둘째, 2020년 평가보고서를 통해 기후변화 영향과 취약성 연구가 정성적 수준에서 정량적 분석으로 진전되었으나,

여전히 기후변화 영향에 대한 체계적인 모니터링과 정량적 모델링이 미흡한 상황이었다. 예를 들어, 작물 생육 모델에서 환경 반응식에 대한 개선과 검증의 필요성이 제기되었다.

많은 연구가 발전되어 왔지만, 기후변화가 영향을 주는 수많은 부문에 대한 모니터링과 인과관계와 불확실성 파악이 지속해서 이루어져야 함을 알 수 있었고, 연구 결과들이 실제 지자체나 민간사업자들의 적응대책 수립에 효과적으로 연계될 방안이 필요한 상황이었다.

본 보고서의 검토 결과, 2020년 이후 수행된 연구들에서 기존의 한계가 모두 해소되지는 않았으나, 추가적인 시나리오와 모니터링 데이터 등을 활용하여 불확실성을 반영한 정량적 영향 및 취약성 평가 연구가 증가한 것으로 나타났다. 또한, 적응대책의 정량적 효과 평가를 기반으로 한 의사결정 지원 연구가 확대되면서, 실질적인 정책 수립에 기여할 수 있는 연구도 증가하고 있는 것으로 분석된다.

이러한 관점에서, 한반도를 대상으로 한 연구에 있어서도 향후 다양한 부문 간 영향 관계를 종합적으로 분석할 필요가 있으며, COVID-19와 같은 비기후적 재난과 기후변화 영향 간의 연계 가능성에 대한 구체적인 논의가 요구된다.

1.3. 주요 연구동향

2023년 완성된 「IPCC 제 6차 평가보고서」에서는 기후 탄력적 개발을 강조하고 있다. 우리는 기후변화 적응을 통해 기후변화로 인한 인간사회에 나타나는 피해를 줄일 뿐만 아니라 생태계를 복원함으로써 기후변화로 인해 파괴된 생태계를 회복시켜야 한다. 이러한 관점에서 기후탄력적 개발은 생태계와 인간사회의 회복력을 높일 수 있는 시스템의 전환을 강조하고 있다. 시스템의 전환을 이루기 위해서는 즉각적인 피해 감소에 우선순위를 두는 것에서 벗어나야 하며, 사회적 불평등을 해결하는 등의 시스템 전반에 걸친 대응이 기존과 차별화되어야 한다.

영국, 미국, 일본 등에서 국가 기후변화 평가보고서가 지속해서 발간되고 있다. 영국은 2022년 3차 보고서가, 미국은 2023년 5차 보고서가 발표되었다. 영국의 기후변화 평가는 리스크에 초점을 맞추었으며, 기후변화 전망과 적응 대책 수립과 함께 기후변화 정책 사이클을 형성하고 있다. 미국과 일본의 경우 부문별 기후변화 영향을 파악하는 것에서 벗어나, 복합이벤트 혹은 복합재해, 부문 간 영향 체인 등으로 복합적인 영향을 다루고 있다.

제 2 장 수자원



2.1. 서론

「한국 기후위기 평가보고서 2025」의 수자원 분야에서는 2020년 이후 한반도에서 진행된 기후변화와 수자원 연구의 최근 경향을 분석하여 기술하였다. 연구목적, 지역, 가용 데이터, 방법론, 정량적 결과 및 성과에 초점을 맞춰, 기후 변화에 따른 수자원 분야의 연구 방향이 어떤 변화 양상을 보이는지 조명한다. 본 보고서에서는 다음과 같은 세 가지 주요 영역에 중점을 두어 분석을 수행하였다: 1) 관측된 기후 인자들의 경향성 분석, 2) 미래 수자원에 대한 영향 전망 및 수자원 영향평가에서 나타날 수 있는 불확실성과 취약성에 대한 심층 분석, 3) 효과적인 적응 전략의 제안 및 평가. 이를 통해 이전 보고서인 「한국 기후변화 평가보고서 2020」와의 주요 영역별 연구 흐름의 변화를 조명하고, 리뷰한 연구들 중 공통적으로 제시하고자 하는 연구결과를 정리하였으며, 최종적으로 앞선 연구 결과를 통해서 수자원 분야에서는 향후 어떤 연구가 추가적으로 진행되어야 하는지에 대해 기술하였다. 이러한 리뷰 및 분석을 통해 기후변화가 수자원에 미치는 영향을 심층적으로 다루며, 이에 대응하기 위한 포괄적이고 체계적인 접근 방식을 제시한다. 또한 이를 통해 한국의 수자원 분야 연구가 전략적이고 체계적으로 발전해 나가는데 기여하고자 하는 목적을 가지고 수행하였다.

2.2. 관측된 영향

- ✓ 강수량 증가 및 지역별 격차가 심화되었다(견고한 동의).
- ✓ 기후변화에 따른 가뭄 특성 변화 대응을 위해, 복합 요인을 통합 반영한 가뭄지수 개발이 강조되었다(견고한 동의).

관측된 영향에 대한 분석은 기상인자, 수문인자, 그리고 기타 물 공급 등에 관한 영역으로 나누어 분석을 진행하였다.

기상인자 중 강수에 대한 연구가 주를 이루었으며, 특히 공간-시간적 변동성 분석 연구에 초점을 맞추어 진행되었다. 최근 수십 년간 한국 전역에서 강수량 변동성이 확대됨에 따라 지역별 기후 영향 차이가 더욱 심화된 것으로 확인되었다(견고한 동의). 권역별 분석에서는 제주(1,820.7mm)와 경남(1,492.8mm) 권역이 연평균 강수량 상위권을 차지한 반면, 경북 권역은 1,154.1mm로 하위권에 머물렀으며, 제주 지역의 연강수량은 40년간 206.4mm 증가한 반면 충남 지역은 119.6mm 감소하는 등 권역 간 증감 차이가 분명히 나타났다. 이어진 분석에서는 전국과 도서지역을 구분하여 비교하였다. 해안가·남부권 도서지역의 연평균 강수량이 1,400mm 이상인 반면, 서해 중부·내륙 북서부 지역은 700~1,000mm 수준에 머물러 공간적 격차가 더욱 심화되었음을 보고했다. 또한 경도·위도별 회귀분석 결과, 동쪽으로 1° 이동할 때 연간 누적강수량이 평균 18.96mm 증가하고, 북쪽으로 1° 상승할 때 58.03mm 감소하여 지역 위치에 따른 강수량 격차가 뚜렷함을 정량적으로 입증하였다. 이는 앞선 연구들과 일치하는 공간적 차이의 경향을 뒷받침해준다.

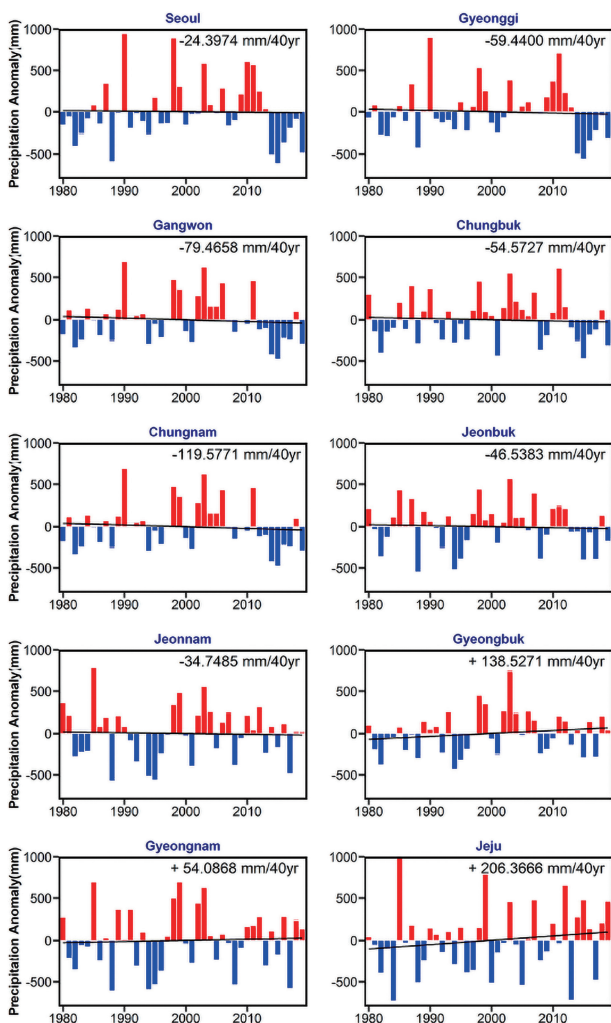


그림 2.1 40년간(1980~2019) 10개 지역의 연간 강수량의 이상 현상 및 추세(문준기 등, 2020).

수문인자와 관련된 연구에서는 「한국 기후변화 평가보고서 2020」와 비슷한 경향으로, 가뭄 관련 연구가 활발했다. 기존에는 SPI (Standardized Precipitation Index)와 SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) 등 범용 가뭄지수를 활용한 농업용 가뭄 피해 관리 연구가 주를 이루었으나, 최근에는 기후 비정상성, 증발수요, 위험도 등을 보다 정밀히 반영하기 위해 scEDI (self-calibration EDI), SPINS (Standardized Precipitation Index for Non-Stationarity), DRI (Drought Risk Index), EDDI (Evaporative Demand Drought Index) 등 새로운 지표를 개발·적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다(견고한 동의). 이 중 극한 가뭄에 대한 연구가 상대적으로 많았으며, 봄철의 극한

가뭄 발생이 감소하였으나, 가을철에는 증가 경향을 나타내었고, 광주 지역이 타 도시에 비해 심한 가뭄이 나타나는 등 지역적 차이도 확인되었다(제한적 동의).

2.3. 영향 및 취약성

- ✓ 기후변화를 고려한 불확실성 저감을 위한 다각적 분석의 필요성이 강조되었다(견고한 동의).
- ✓ 극한강우 사건의 증가가 전망되었다(견고한 동의).
- ✓ 홍수 및 가뭄의 빈도, 강도, 피해 규모의 증가와 지역적 격차가 심화될 것으로 전망되었다(견고한 동의).
- ✓ 딥러닝 기반 모델이 홍수 예측 및 관리 분야에 효과적으로 적용될 수 있음이 입증되었다(중간적 동의).

기후변화 영향 평가 연구에서 예측 불확실성 분석의 중요성이 점차 부각되고 있다. 「한국 기후변화 평가보고서 2020」은 전적으로 GCM(Global Climate Model) 자체가 지니는 구조적 불확실성에만 주목했던 것과 달리, Andreas et al.(2018)이 제시한 네 가지 주요 불확실성 원인을 통합적으로 검토하는 연구들이 최근 활발히 수행되고 있음을 확인하였다. 해당 연구들은 GCM 선택, 기후 시나리오 선정, 편이 보정 기법, 수문모델 구조 등 복합적 요인이 기후예측의 불확실성을 결정짓는 주요 변수임을 일관되게 확인하였다(견고한 동의). 이러한 다각적 접근은 단일 모델이나 기법에 의존하던 과거와 달리, 기후 예측 결과의 신뢰도를 높이기 위해 데이터 생성부터 보정, 유출 모사에 이르는 전 과정을 아우르는 불확실성 저감 전략 수립을 가능하게 할 것으로 사료된다.

관측된 영향 파트에서 확인된 과거 강수량 증가 경향이 미래 전망에서도 재현되었으며, 연간 강수량은 전반적으로 증가할 것으로 예측되었다(견고한 동의). 특히 절반 이상의 연구에서 10% 이상의 증가폭이 제시되었다(중간적 동의).

이러한 강수량 증가 전망이 지리적 위치에 따라 증가율 차이를 보임을 정량적으로 비교한 연구도 진행되었다(제한적 동의). 또한 계절별 강수량 변화에 대한 연구도 다수 수행되었으며, 사용된 기후 시나리오 및 실험 설계에 따라 전망이 달라졌다. 겨울철 강수량은 모든 시나리오에서 일관되게 증가하는 경향을 보였으나, 여름철 강수량은 상반된 결과를 나타냈다. d4PDF 앙상블(+4°C 극한 온난화) 실험에서는 여름철 강수량이 증가하였던 반면, MIROC5/6 기반 RCP-SSP 시나리오 분석에서는 여름철 강수량이 전반적으로 감소 경향을 보여, 계절별 강수량 전망 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다(제한적 동의).

가뭄 역시 기후변화로 인한 지속 기간과 심도의 증가가 다수의 연구를 통해 전망되었다(견고한 동의). 특히 가뭄의 심화를 전망한 연구 중 약 절반의 논문이 공통적으로 2050년 이후 가뭄이 심각하게 악화 될 것으로 전망하였다(중간적 동의). 공간적 분석에서는 한강 유역에서의 가뭄 심화 가능성을 전망하였으며(제한적 동의), 복원력의 경우 충청남도가 다른 지역에 비해 상대적으로 높을 것으로 예측하였다(제한적 동의).

홍수 관련 연구는 크게 두 가지 주요 영역에 집중되어 수행

되는 경향을 보였다. 첫째, 미래 홍수 피해 증가 전망(견고한 동의)과 지역별 홍수 심화 정도의 차이 전망(중간적 동의) 연구이다. 8편의 논문에서 기후변화로 인한 미래 홍수피해의 심화를 전망하였으며, 그 중 2편을 제외한 총 6편의 논문에서 공통적으로 2050년 이후의 홍수 피해가 심화될 것이라고 전망하였다(중간적 동의). 둘째, 홍수 예측 및 관리에 딥러닝 기법의 적용성이 확인 되었다(중간적 동의). 해당 연구 중 80% 이상이 LSTM 모델의 적용성을 확인한 연구이다(중간적 동의). 이러한 성과는 딥러닝이 전통적 통계·물리 모형의 한계를 보완하며, 홍수 관리 효율을 높일 수 있는 잠재력을 갖고 있음으로 사료된다.

2.4. 적응해법 및 정책

✓ 홍수 대응 측면에서 LID 기술(투수성 포장, 옥상 녹화, 빗물정원 등) 및 딥러닝을 통한 유출 저감과 설계홍수량 산정 개선의 필요성이 강조되었다(견고한 동의).

✓ 가뭄 대응 측면에서는 수리시설물의 탄력적 운영 방안과 경제적 효과 평가를 통해 선제적 대응 전략이 핵심임이 주장되었다(중간적 동의).

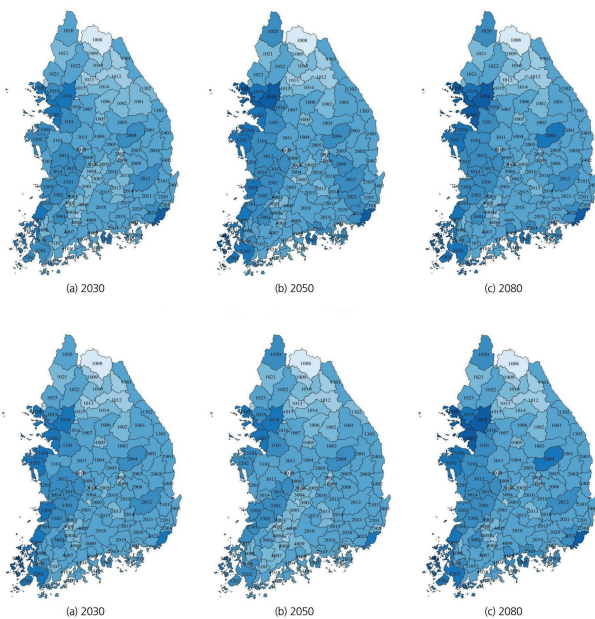


그림 2.2 RCP 시나리오별 2030, 2050, 2080년 미래 FRI 전망(김대호 등, 2020).

적응해법 및 정책 관련 논문 및 보고서의 비중은 「한국 기후변화 평가보고서 2020」의 12%에 비해 2% 증가하여 14%로 증가 경향을 보였으나, 관측 영향이나 영향 및 취약성에 비해 여전히 연구 비중이 미비한 실정이다.

기존 정부 중심의 관리 체계에서 벗어나 다양한 이해관계자와 시민 참여를 통한 협력적 거버넌스 구축의 필요성이 강조되었으며, 중소유역 협력체계, 시민참여 플랫폼, 통합 물관리 협의체 운영, 지역별 맞춤형 가뭄 대응 체계, 주민 참여형 댐 운영 의사결정 체계 등의 구체적 실행 방안이 제시되었다(제한적 동의).

기후변화에 따른 홍수 대응 연구 중 가장 활발한 분야는 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기술의 적용

이다. 이들 연구는 공통적으로 LID 시설이 도시 유역의 우수 유출량과 침투유량을 획기적으로 저감할 수 있음을 입증하였다(중간적 동의). 불투수면적률이 높은 대표 도시 유역(동대문구 용두, 청계천 효자 배수분구 등)을 대상으로 투수성 포장, 옥상녹화, 빗물정원, 침투트렌치, 식생체류지 등을 단독·복합 적용하여, 각 기법의 면적비 최적 조합을 도출하는 연구가 주로 진행되었다. 그러나 이들 연구는 공통적으로 경제성 평가, 유지관리 방안, 조경·경관 고려 등 실효성 확보를 위한 후속 연구의 필요성을 강조하였다. 더불어, 딥러닝 모델을 활용한 수리시설물 운영 개선과 기존 설계홍수량 산정 방식의 한계를 보완하는 새로운 접근법, 법정홍수기의 재설정 등 운영 및 정책 측면에서의 개선 필요성이 함께 강조되었다(제한적 동의). 가뭄 대응 부문에서는 기후변화 시나리오를 반영한 수리시설물의 탄력적 운영과 선제적 대응 전략이 주요 과제로 부각됨을 확인하였다(제한적 동의). 과거 실측 자료와 미래 기후 예측을 토대로 한 선제적 도수 운영 방식이 물 부족 예방에 효과적임이 확인되었으며, 다양한 가뭄 대책의 경제적 효과 평가를 통해 연계 운영, 비상공급, 비상 용량 활용, 용수공급 조정 등의 방안이 각각의 편익 측면에서 분석되었다.

종합적으로, 기후변화 적응을 위한 수자원 관리 정책이 정부 중심의 기존 체계에서 벗어나 다각적인 참여와 기술적 혁신을 토대로 한 통합적 접근으로 전화되어야 함을 시사한다. 다만, 관측 영향이나 영향 및 취약성 분야에 비해 적응해법 및 정책 관련 연구는 상대적으로 연구 비중이 부족하여, 향후 보다 확대된 연구와 정책 반영이 요구될 것으로 생각된다.

2.5. 결론 및 시사점

최근 5년간의 기후변화 관련 수자원 분야 논문 및 보고서 리뷰를 토대로, 본 보고서는 수자원 분야의 연구가 과거 관측자료를 활용한 시공간적 변동성 분석, 미래 변화 전망과 과거 비교, 그리고 적응 대책 및 정책 제언의 세 가지 주요 방향으로 체계적으로 발전해 왔음을 확인하였다. 특히, 이전 보고서에서 관측된 영향이 전체 연구의 25%를

차지했던 반면, 본 보고서에서는 관측된 영향의 비중이 소폭 하락하여 23%를 기록하였고, 영향 및 취약성 관련 연구는 꾸준히 63%를 유지하는 한편, 적응해법 및 정책 관련 연구는 12%에서 14%로 소폭 증가하는 경향을 보였다. 이러한 연구 비율의 변화는 기후변화에 따른 수자원 영향을 파악하는 것뿐만 아니라, 실질적 대응 방안을 마련하기 위한 적응 전략과 정책 수립의 필요성이 점차 부각되고 있음을 시사한다.

관측된 영향 부문에서는 강수량 증가 및 지역별 기후 특성의 변화, 특히 위도에 따른 강수량 격차와 기온 상승의 지역적 차이가 명확히 드러났으며, 가뭄 및 적설 등 수문 관련 인자에 대해서도 심도 있는 분석이 이루어졌다. 이러한 분석 결과는 한국 수자원 분야의 지역적 특성을 반영한 맞춤형 기후변화 대응 전략 수립의 필요성을 뒷받침하며, 앞으로 보다 정교한 관측 자료 및 통계 기법을 활용한 연구가 요구된다.

영향 및 취약성 부문에서는 불확실성을 다각적으로 평가하기 위한 다양한 접근법이 도입되었으며, 특히 수문 모델의 불확실성이 예측 결과에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 강수량, 가뭄, 홍수 등 각각의 하위 분야에서 기후변화의 영향과 그에 따른 취약성 증대가 공통적으로 보고되고 있어, 향후 정책 결정 및 수자원 관리 체계에 있어서 불확실성 관리와 취약성 평가 기준이 보다 엄격하게 도입될 필요가 있다.

적응해법 및 정책 부문에서는 기존 정부 중심의 관리 체계를 탈피하고, 다양한 이해관계자와 시민 참여를 통한 협력적 거버넌스 구축이 주요 과제로 부각되었다. 또한, 이상 강우와 도시화 등으로 증대되는 홍수 위험에 대응하기 위해 LID 기법, 딥러닝 기반 수리시설물 운영 개선, 설계홍수량 산정 방식 개편과 법정홍수기의 재설정 등 혁신적 운영 및 정책적 접근법이 제안되었다. 가뭄 대응에 있어서는 기후변화 시나리오를 적극 반영한 수리시설물의 탄력적 운영과 선제적 대응 전략, 그리고 경제적 효과를 수치화한 평가가 이루어져, 물 부족 문제 해결에 기여할 수 있는 구체적인 대책들이 마련되었다.

종합적으로, 기후변화에 따른 수자원 분야 연구가 단순한 기후 인자 관측을 넘어, 실질적 적응 대책 마련과 정책적

반영으로 확대되고 있음을 보여준다. 그럼에도 불구하고, 관측 영향이나 영향 및 취약성 부문에 비해 여전히 적응해법 및 정책 관련 연구의 비중이 낮은 점은 향후 연구의 중요한 과제로 남아 있다. 향후 연구에서는 기술적 혁신과 함께 운영 및 정책 측면에서 통합적인 접근법을 개발하고, 정부와 민간, 지역사회 간 협력을 강화하여 보다 효과적인 수자원 관리 전략을 수립할 필요가 있다. 이를 통해 기후변화로 인한 수자원 영향에 효과적으로 대응하고, 국가 차원의 수자원 관리 시스템이 전략적이고 체계적으로 발전할 수 있는 기반 마련에 기여할 것으로 기대된다.

제 3 장 생태계



3.1. 서론

세계적으로 기온 상승, 강수량 패턴의 변화와 수위의 큰 변동성, 해수면 상승 그리고 극한 현상의 빈도 증가로 인해 세계의 더 넓은 지역이 기후 위험에 노출되고 있다. 「한국 기후변화 평가보고서 2020」에서 생태계 분야는 식물, 동물, 취약생태계의 3가지 분야로 나누어 기술되었으며, 관련한 연구 성과를 관측된 영향, 영향 전망의 주요 원인 등으로 구분하여 분석 및 정리하였다. 본 보고서에서는 2020년 이후 한반도를 대상으로 생태계분야에서 기후변화와 관련 되어 수행된 연구들을 대상으로 새롭게 관측된 영향, 미래 영향 및 취약성 그리고 적응해법과 정책들을 알아보고자 한다. 주요 대상으로는 식물, 동물, 보호종, 외래종 그리고 서식지로 나누어 살펴보고자 한다. 이를 통해 생태계에 대한 기후 변화의 영향과 취약성을 분석하고 이를 저감하기 위해 진행 되고 있는 적응정책과 해법을 파악하여 향후 필요한 연구와 적응정책을 마련하기 위한 제언을 하고자 한다.

3.2. 관측된 영향

- ✓ 서리일의 변화속도가 개화일의 변화속도보다 빨라 향후 식물계절학적 과정과 온난화 간의 시기적 상충으로 인한 식물생육 문제가 예상됨 (견고한 동의).
- ✓ 기후변화와 토지피복의 변화로 육상조류의 38%가 감소하는 추세이고 13%는 급격한 감소를 겪고 있음(견고한 동의).
- ✓ 도시의 열섬효과로 질병 매개체로 인식되는 흰줄 숲모기의 부화율 증가가 확인됨(중간적 동의).

첫서리일과 끝서리일의 평균적인 변화 속도는 개화일 변화 속도보다 빠른 것으로 관측되고 있어서, 향후 식물계절학적 과정과 온난화 간의 시기적 상충으로 인한 식물생육 문제가 예상되었다. 1900년대부터 2019년까지 식물계절은 앞당겨지고 있으며, 지금과 같은 정도의 온실가스의 배출이 지속될 경우, 수도권의 개화일(FFD)은 현재보다 앞당겨지고, 이는 전국 평균 개화일보다 더 빨라지는 것을 확인할 수 있었다 (견고한 동의).

국가산림자원조사(NFI) 자료를 통해 우리나라 주요 4개 수종에 대해 지난 10년간 상대생장의 변화 유무 및 정도를 파악하고자 하였으며, 분석 결과 모든 수종에서 NFI 차수가 증가할수록, 동일 DBH에 대한 기대 수고값이 증가한 것으로 확인되었다. 소나무 고사와 관련된 주요 변수를 분석한 결과, 소나무 고사의 지형적인 취약지역은 해발고도가 높은 동시에 일사량이 높으며 수분 조건이 불리한 지역이었으며, 임분 특성 중에서는 특히 5~15m 높이의 수직적 임분 밀도가 높은 소나무림, 그리고 영급이 높은 소나무림에서 고사 위험성이 높다고 평가되었다(견고한 동의).

아고산의 대표적인 수종인 구상나무의 지난 40년간의 연구결과들을 종합해 보면 진화생태, 생리생태, 경관생태, 개체군생태에서 수행된 많은 연구에서 구상나무의 쇠퇴 및 서식지 감소의 주된 요인은 기후변화에 따른 온도상승과 봄철 강수량 등 강수량 감소에 따른 수분수지 불균형에 의한 수분 스트레스인 것으로 추정하였다(견고한 동의). 그러나 이외에 태풍, 수분 과다, 토양환경 변화 등 다른 요인들도 제기되고 있다.

1997~2005년과 2013~2019년 사이 우리나라에서 흔히 번식하는 육상조류 52종의 점유율 변화를 파악한 결과, 전체 종의 38%가 감소하는 추세를 보였는데, 이들 중 7종은 심각하게 감소하였으며(46~95%) 검은머리물총새 개체수의 점유율이 가장 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 종의 점유율 변화는 주로 일일 최고 기온의 변화와

같은 기후변화와 토지 피복 변화의 영향을 받은 것으로 확인되었다(견고한 동의).

수온변화에 따라 우리나라의 어획량에도 변화가 있었으며, 1980년대 이후 명태의 어획량이 급격하게 감소하였다(견고한 동의). 또한 도시의 열섬 강도가 높아져 질병 매개체로 인식 되는 흰줄숲모기의 부화율이 최저기온 2°C의 차이로 약 1.75배 증가한 것으로 확인되었다(중간적 동의).

제주도에 대해 서식지 유형, 적합성, 민감도, 접근성 및 위협 요인에 대한 데이터를 사용하여 서식지의 양과 질을 모니터링하고 생물다양성의 대리자로서 서식지 질을 평가한 결과, 전체 지역의 천연 서식지는 1989년부터 2019년까지 면적이 24.9% 급격히 감소했으며, 이러한 변화는 서식지 질의 약 15.8% 악화시켰다. 풍혈지의 경우 내·외부로 나누어 계절별로 기상정보와 관속식물상을 조사한 결과 여름철에 6곳의 풍혈 모두 풍혈이 위치하는 주변지역보다 기온이 낮게 나타났다(견고한 동의). 여름철에 온도차가 낮게 나타나는 것으로 보아 여름에도 저온을 유지하는 풍혈의 미기상학적 현상을 관찰할 수 있었다.

3.3. 영향 및 취약성

- ✓ 난대성 수종의 분포는 일반적으로 확대되었으며, 한대성 수종 등은 감소가 예측(견고한 동의).
- ✓ 야생조류들은 기온상승과 함께 겨울철새의 겨울철 출현이 감소한 반면, 여름철새의 겨울철 출현은 증가한 것으로 나타남(견고한 동의).
- ✓ 남부 나비와 야생벌의 서식지가 북쪽으로 이동할 가능성이 큼(견고한 동의).
- ✓ 양서류와 민물고기에 부정적인 영향을 미쳐 종풍부도가 감소할 가능성이 높음(중간적 동의).
- ✓ 외래종 붉은불개미의 분포 범위는 남부 및 해안 지방에서 내륙 지방까지 확장될 것으로 예측(견고한 동의).

식물서식지와 분포 분석 및 예측에 관한 연구는 대부분 목본류에 대하여 전국단위로 종분포 모형을 활용하여 수행되었으며, 상록활엽수 등 온대성 수종의 분포는 일반적으로 확대되었으며, 한대성 수종 등은 분포 감소가 예측되었다(견고한 동의). 난대성 식물의 미래 분포가 인간의 토지이용 변화와 이동의 제한에 영향을 받아 분포 확대가 제한될 것으로 전망되었으며, 일부 난대성 수목의 경우 분포지 확대 제한뿐 아니라 감소 경향도 보일 것으로 예측되었다(중간적 동의). 지구온난화가 지속되면 한대성 식물 분포가 한반도 도서 지역에서는 급격히 감소할 것으로 예측된 반면, 난대성 식물의 북방한계선은 더 북쪽으로 이동할 것으로 예측되었다(중간적 동의). 이 과정에서 식물 군집구조와 종조성 등 섬 지역 내의 생물다양성은 역동적으로 변화할 것으로 전망되었다.

동물의 경우 서울시 야생조류에 대해 기후변화에 따른 잠재서식지 변화를 분석한 결과 대부분 22~25°C에서 서식 가능성이 높고, 그 이상에서는 급격히 감소하고 누적 강수량이 대부분 종의 서식지에 큰 영향을 미치며, 2050년에 조류 종풍부도가 가장 높은 지역은 RCP 4.5에서는 27%에서 3%로, RCP 8.5에서는 1%로 감소하였다. 이러한 영향으로 서울시 하천에 나타나는 야생조류들은 기온상승과 함께 겨울철새의 겨울철 출현이 감소한 반면, 여름철새의 겨울철 출현은 증가한 것으로 나타났다(견고한 동의). 국내 양서류를 습지 양서류, 이주 양서류, 산림 양서류로 분류하여 기후변화의 영향을 평가한 결과, 황소개구리, 맹꽁이, 이끼도롱뇽을 제외한 대부분의 양서류가 적합 서식지의 상당 부분을 잃을 것으로 예측되었다. 습지 양서류가 기후변화에 가장 적응력이 높으며, 이주 양서류와 산림 양서류의 종풍부도는 감소할 것으로 예상하였다. 현재 양서류는 우리나라 전체에 분포하지만, 미래에는 백두대간과 우리나라 남동부 지역에 집중하여 분포할 것으로 예측하였다(중간적 동의). 한국 꼬리치레도롱뇽은 RCP 4.5, 8.5에서 각각 62.96%, 98.52% 감소 예측였다. 나비의 적합한 서식지와 종풍부도는 북위 36° 이상의 북부 지역, 충청북도, 경기도, 강원도, 인천 및 서울에서 증가할 것으로 예상하였다. 남부 나비는 기후변화에 취약하며 서식지의 북쪽 경계가 북쪽으로 이동할 가능성이 클 것으로 예측하였다. 북방 한계가 있는 남방계 나비는

개체 수가 증가하는 경향이 있으며 온도와 서식지 면적 사이에 유의미한 상관관계가 있음을 분석하였다. 남방계 나비가 지역 환경에 적응하고 생존을 위해 원래 서식 가능한 온도 범위를 확장할 경우 기후변화에 더 취약할 수 있지만, 그 결과 서식지 면적은 증가할 수 있다(견고한 동의).

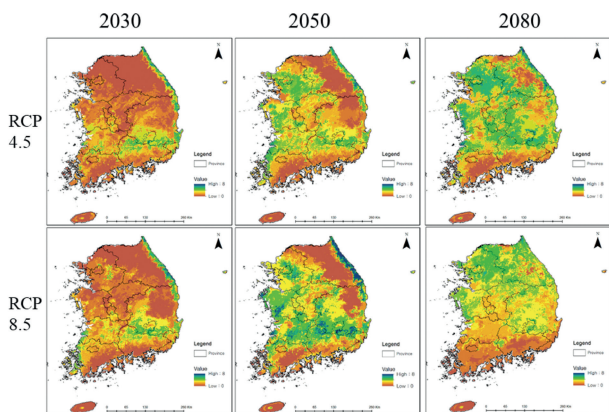


그림 3.1 기후변화 시나리오 RCP 4.5와 RCP 8.5에서의 남부 나비의 잠재적 서식지 확장(Adhikari 등, 2020).

우리나라 전체 기후대에 광역적으로 출현하는 종들과 각 기후대에 특이적으로 출현하는 야생벌의 분포 변화를 분석한 결과, SSP 2-4.5와 5-8.5 시나리오에서 2050년과 2100년에 서식지가 북쪽으로 이동함을 확인하였으며, 지구 온난화가 가속될수록 종의 분포는 더욱 크게 북상하는 결과를 도출하였다(견고한 동의). 기후변화에 따른 어류의 분포변화를 RCP 4.5와 RCP 8.5의 두 가지 시나리오에서 2055년까지 분석한 결과, 기후변화가 민물고기에 부정적인 영향을 미쳐 종풍부도가 감소할 가능성이 높음을 예측하였다(중간적 동의).

현재 멸종위기종인 수원청개구리와 침입외래종인 황소개구리의 분포는 63.9% 중복되며, RCP 4.5 시나리오에서는 현재 수준과 비슷하게 유지되고 RCP 8.5 시나리오에서는 황소개구리 서식지의 증가로 인해 중복되는 서식지가 72.1%로 증가할 것으로 예측하였다(중간적 동의). 침입외래종인 뉴트리아의 국내 분포는 생태적 지위를 바탕으로 주요 서식지를 파악한 결과, 2070년까지 남부 및 남동부 지방, 서부지역의 대부분 등 현재보다 4.069km² 까지 서식지 면적이 증가할 수 있음을 예측하였다. 붉은불개미의 분포

범위는 기후적합성이 높은 지역이 현재 5개 지역(14%), 2040년 11개 지역(32%), 2060년 25개 지역(74%), 2080년 31개 지역(89%), 2100년 34개 지역(97%)으로 증가하여 기후적으로 서식 적합성이 높은 지역은 남부 및 해안 지방에서 내륙 지방까지 확장될 것으로 예측하였으며(견고한 동의), 멸강나방은 계절에 의한 기온 차가 31.9°C 이상일 때 서식처가 줄어들고, 흑명나방은 일교차가 클수록 서식처가 넓어질 것으로 예측하였다(중간적 동의).

취약 서식지 중 일부 도서 지역의 분석 결과는 기후변화에 따른 해수면 상승 등을 고려할 때 기후변화에 매우 취약한 것으로 분석되었다. 지구 온난화가 지속되면 한대성 식물 분포가 한반도 도서 지역에서는 급격히 감소할 것으로 예상된 반면, 난대성 식물의 북방한계선은 더 북쪽으로 이동할 것으로 예상되었다(견고한 동의). 이 과정에서 식물 군집 구조와 종조성 등 섬 지역 내의 생물다양성은 역동적으로 변화할 것으로 전망되었다.

3.4. 적응해법 및 정책

- ✓ 현재 국가 차원에서 장기적인 변화양상을 파악하기 위해 생태모니터링과 유관기관 간 자료 공유 방안이 마련되고 있음(견고한 동의).
- ✓ 기후변화 적응과 관련해서는 기후변화 영향 최소화하기 위해 자연기반해법 및 생태계 기반 접근법의 중요성이 강조되고 있음(견고한 동의).

다양한 생태계에서 기상이변은 매우 자연스럽고 중요한 부분이며, 많은 생물들은 진화 과정에서 경험한 교란 체제 내에서 장기 및 단기 기후 변동성에 대처하기 위해 적응하고 있다. 그러나 생물의 적응능력을 훨씬 초과하는 기후위기는 생태계 보전을 위한 적응대책 마련을 필요로 하고 있다.

먼저 기후변화에 따른 생태계의 변화를 살펴보아야 한다. 이를 위해서 현재 국가 차원에서 멸종위기종, 외래종 등을 포함한 야생생물의 조사와 보호지역, 습지 등의 생태계

조사가 진행되고 있으며, 또한 장기적인 변화양상을 파악하기 위해서 장기 생태모니터링과 유관기관 간 자료 공유 방안이 마련되고 있다(건고한 동의). 멸종위기종 등 기후변화 취약 생물종의 현황 파악과 이를 보호하기 위한 서식지 내외 보전 및 복원방안 등을 연구하고 있으며, 기후변화로 인해 침입이 우려되는 외래생물 유입주의생물에 대한 관리와 확산이 우려되는 생태계 교란 야생생물에 대한 다양한 관리 방안이 강구되고 있다.

우리나라 아고산의 대표 식물인 구상나무 쇠퇴 원인을 규명하기 위해서는 진화생태, 생리생태, 개체군생태, 경관 생태연구들을 통합할 수 있는 분야인 생태계생태연구(Ecosystem Ecology)와 시스템생태연구(Systems Ecology) 등으로 연구 분야의 확장이 필요하다. 기후변화 취약생태계의 하나인 풍혈지의 경우 OECMs를 활용한 보호지역으로의 지정 및 정기적인 모니터링과 현지 내·외 보전대책 및 풍혈지를 등급화하여 적극적인 관리방안 수립이 필요하다. 대표적인 기후변화 취약생태계인 습지에 대해서는 장기 계획과 단기 효과를 포함한 고려하여 다양한 커뮤니티 참여와 지속 가능한 습지 관리를 도시 계획 등에 적용하는 기후변화 적응 관리 전략도 요구된다.

기후변화와 생태계 보전을 위한 글로벌 목표인 쿤밍-몬트리올 글로벌생물다양성 프레임워크(K-M GBF)에서 기후변화 영향을 최소화하기 위해 자연기반해법 등을 통해 생태계의 복원력을 증가시키는 것과 생태계 서비스를 강화하는 것을 주요 목표로 하고 있다. 이를 달성하기 위해 우리나라에서는 기후변화에 대한 효과적인 대응 방안으로 생태계 기반 적응은 국내외 사례 분석을 통해 그 중요성이 강조되고 있다(건고한 동의).

다른 분야에 비해 생태계 부문의 기후변화 적응이 미흡하며, 특히 데이터 부족을 문제점으로 지적하고 있어 모니터링 중심의 대책에서 벗어나 실질적인 적응 목표 달성을 위한 구체적인 대책 마련이 시급하며, 지역 단위 분석을 통해 맞춤형 적응 대책을 수립하고, 국제협력을 강화하여 선진 사례 도입이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 국가적 규모 관측 사업인 KEON (Korean Ecological Observatory Networ)과 KLTER (Korean Long-Term Ecological Research)를 통해 다양한 생태 데이터를 생산하여 생태계 변화를 종합적으로 이해할 계획을 진행하고 있으며, 정부의

기후위기 대응 노력과 기후변화 적응을 위해서는 다양한 부처에서 생산되는 방대한 양의 데이터를 체계적으로 연계하고 관리하는 시스템의 필요성을 강조하고 있다.

3.5. 결론 및 시사점

기후변화로 인하여 구상나무와 같은 기후변화 취약식물 들은 고사의 위험성 증가와 서식지 감소가 우려되고 식물 계절 등의 변화로 식물생육의 문제가 예상되었다. 동물의 경우 육상조류, 양서파충류, 어류의 일부 종의 점유율은 감소하는 추세를 보였는데, 이러한 종의 점유율 변화는 주로 기후변화와 토지 피복 변화의 영향을 받은 것으로 확인되었다.

기후변화 취약생태계인 습지, 도서의 경우 기후변화로 인해 서식지 감소와 서식생물종의 변화로 인한 생태계의 변화를 겪게 되어 이에 대한 보전 방안의 마련이 필요한 것을 알 수 있었다.

최근 기후변화, 교란 체제 변화 및 홍수, 가뭄, 사이클론, 폭염 및 화재와 같은 극한 사건의 크기와 발생빈도가 많은 지역에서 증가하고 있다. 이러한 교란은 생태계 기능, 생물 다양성 및 생태계 서비스에 영향을 미치므로 이에 대한 영향파악이 중요하며, 단기적인 극한기상이나 장기적인 기후위기에 대응하기 위한 적응대책 마련이 요구되고 있다.

제 4 장 산림



4.1. 서론

우리나라 산림면적은 약 6,287천ha로 국토면적의 63%에 해당하여 다른 나라에 비해서 산지가 풍부한 편에 속하지만, 최근 도시화와 개발수요의 증대로 인한 산지전용이 해마다 증대하여 산지의 면적이 감소하고 있는 추세이다.

또한, 우리나라의 기온 상승률(1.7°C)은 지난 100년(1906~2005)간 전 지구적 평균 기온 상승률(0.75°C)보다 높은 것으로 나타나, 우리나라 산지 기후변화에 따른 산림부문의 영향은 국토 전반에 큰 변화를 초래할 것으로 예상된다.

이에, 산림부문 연구에서는 2019년 이후 게재된 약 60편의 선행문헌을 대상으로 관측과 기후영향, 취약성, 적응 측면에서 내용을 파악하였다. 해당 내용을 기반으로 현재 국내 산림 부문의 현황과 기후 동향, 대응 전략들을 다각도로 확인할 수 있었다.

이번 기후위기 평가보고서에서는 기후변화에 따른 산림의 분포, 탄소량의 변화 및 산림재해로 크게 나누어 산림분야의 연구동향을 논하고 한계와 시사점에 대하여 제시하고자 한다.

4.2. 관측된 영향

- ✓ 지역별로 정도의 차이는 있으나, 전반적으로 침엽수림의 면적은 지속적으로 감소하고 있는 반면, 활엽수림은 증가하고 있다(견고한 동의).
- ✓ 아고산 침엽수종들의 활력 및 면적의 쇠퇴가 심각한 수준인 것으로 관측되었다(견고한 동의).
- ✓ 산림재해로 인한 피해는 극한기상현상 발생 유무에 따른 연도별 차이가 큰 것으로 나타났다(중간적 동의).

우리나라 산림분포의 과거부터 현재까지의 영향을 연구하기 위해서 주로 모니터링 방법을 이용하고 있다. 우리나라의 경우 지난 30년간 연평균기온이 상승함에 따라 군락지 감소, 개화시기 변화 등 산림 구성에서 변화를 확인할 수 있었다.

우리나라 전체 산림분포에서 가장 확실하게 관측된 것은 지속적인 침엽수와 혼효림 면적의 감소와 활엽수림 면적의 증가다. 2005~2020년 기간동안 침엽수림, 혼효림, 활엽수림의 면적은 각각 269.9, 187.5, 165.9만ha에서 232.4(-37.5만ha), 166.6(-20.9만ha), 200.6만ha(+34.7만ha)로 변화되었다.

산림의 주요 탄소저장고는 크게 지상부, 지하부, 고사목, 낙엽층(litter), 토양으로 구분할 수 있으며 각 저장고는 유기적으로 연결되어 있다. 따라서 각 저장고의 탄소량을 정량화하는 것은, 산림의 탄소저장량 정량화뿐만 아니라 동적변화를 이해하고 예측하는데 도움이 된다. 2010년 이후로 국내 산림탄소량을 평가하기 위한 많은 연구와 노력이 있었으며, 국립산림과학원은 수종별 국가 고유 배출계수를 개발하여 국가 산림탄소 인벤토리의 신뢰수준을 향상(Tier 1 → Tier 2)하였다.

그러나 기후변화와 산림의 성숙 단계에 따라 임목의 생장 패턴이 계속해서 바뀌고 있는 것이 확인되어, 국가 고유 배출계수와 상대생장식의 재검토가 필요한 시점이다.

산림재해는 일시에 매우 심각한 생물다양성과 경제적 손실을 초래한다. 특히 우리나라와 같이 홍수기와 갈수기가 반복되는 몬순 기후대는 여름철 산사태와 겨울~봄철 산불에 매우 취약하여, 기후변화로 인한 빈도와 강도의 증가로 미래에 더욱 위협적인 영향을 줄 것으로 예상된다. 이에 따라 기후변화와 관련한 국내 산림재해연구는 주로 산사태와 산불 연구에 집중되어 있다. 그러나 재해에 대한 대부분의 연구는 현재 발생에 대한 환경적 원인을 체계적으로 구축하는데 집중되어 있는 것으로 나타났다.

검토결과 산사태의 경우, 우리나라는 매년 약 400ha(최근

약 40년간)의 산사태가 발생하고 있다. 이로 인해 매년 약 30여 명의 인명피해가 발생하고 있으며, 피해액은 약 350억 정도이다. 우리나라는 지난 40년간(1980~2019년)간의 총 산사태 발생면적은 15,191ha이며, 매년 약 380ha의 산사태가 발생하는 것으로 나타났다. 더불어, 1980년대에 비해 2000년대 산사태 발생면적과 복구비가 지속적으로 증가하는 경향을 보이며, 기후변화의 영향으로 산사태에 대한 취약성은 계속 증가할 것으로 예상된다.

우리나라의 산불의 경우, 원인은 입산자 실화가 39%를 차지하며 가장 비중을 차지하였으며, 이어 논·밭두렁 소각 16%, 쓰레기 소각 9%, 담뱃불 실화 6%, 성묘객 실화가 5%순으로 대부분 인간의 부주의에 의하여 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 이에, 대부분의 산불 연구는 주로 현황에 따른 원인 파악 및 예방에 집중되어 있음을 확인할 수 있었다.

산림병해충의 경우, 1960년대와 1970년대에 큰 피해를 입혔던 솔나방, 솔잎혹파리 등은 80년대 이후 집중 방제로 피해 면적이 크게 감소하였으나, 2000년대 이후 소나무 재선충, 참나무시들음병 등이 새로운 주요 병해충으로 부각되고 있다. 온난화로 인한 소나무 취약성 증가에 따른 재선충 피해 증가, 동남아가 원산인 광릉긴나무좀으로 인한 참나무시들음병 발생 등이 나타났다.

4.3. 영향 및 취약성

- ✓ 침엽수림의 면적은 감소하는 반면, 활엽수림의 면적은 증가할 것으로 전망된다(견고한 동의).
- ✓ 전체 산림의 탄소흡수량은 감소할 것으로 전망되나(견고한동의), 과학적인 관리를 통해 감소율을 낮출 수 있을 것으로 분석된다(소극적 동의).
- ✓ 기후변화로 산림재해의 강도와 빈도가 증가할 것으로 전망되었다(중간적 동의).

산림 수종분포의 영향전망에 관한 연구는 과거 및 현재의 서식처 정보와 수종분포 모형을 기반으로 기후변화 시나리오를 적용하여 산림 잠재 생육지 분포에 대한 예측 등이 수행되고 있다. 산림 분포 모형을 이용하여 미래 우리나라의 산림을 분석한 결과 미래 우리나라 산림은 기후변화 적응속도보다 기후대 이동속도가 더 빨라져 구상나무, 분비나무와 같은 고산·아고산 식생은 저지대 식생과의 경쟁에서 밀려나게 될 것으로 예상되며, 넓은 지역에 걸쳐 침엽수림과 혼효림은 줄어들고 상록활엽수림·낙엽활엽수림은 늘어날 것이라고

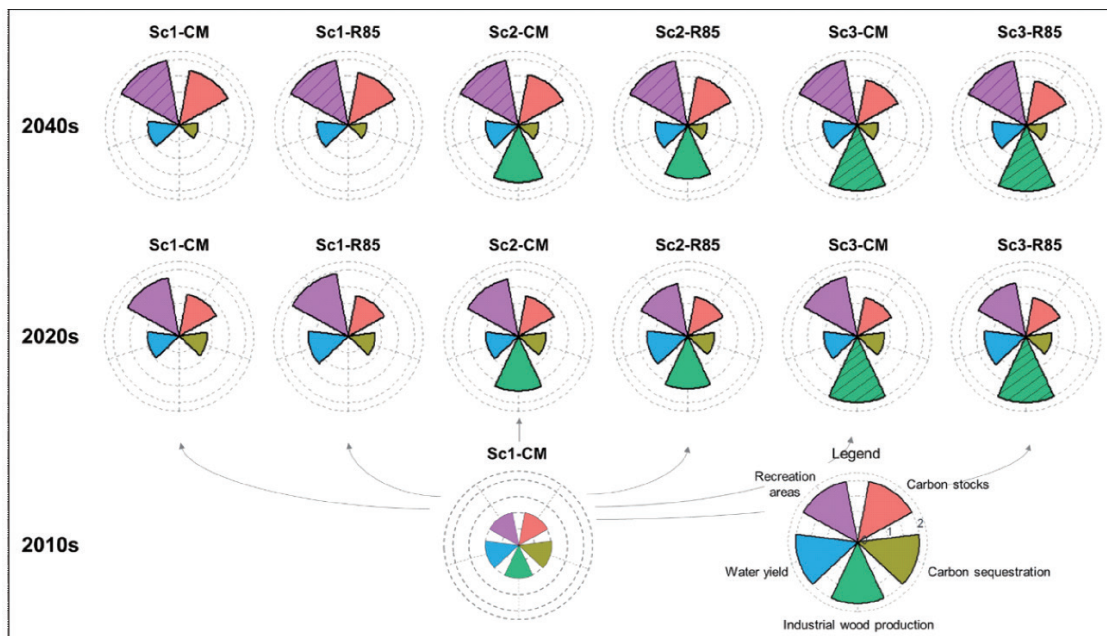


그림 4.1 기후변화와 관리 시나리오에 따른 산림의 생태계서비스 전망(Kim et al., 2021).

예측되었다.

최근 연구에서는 기후변화에 의해 잠재 수증적합지역이 사라지는 것으로 예측되는 곳을 산림 수증분포 취약성이 높은 곳으로, 그대로 유지되는 것으로 예측되는 지역을 취약성이 낮은 것으로 규정하여 연구되고 있다. 즉 아고산림이나 침엽수림의 경우 취약성이 증가할 것으로 예상되고, 온난대림의 경우 취약성에 큰 변화가 없을 것으로 예상되고 있다.

산림탄소 측면에서는 기후변화가 산림탄소 동태에 미치는 영향을 파악하고 예측하기 위한 다양한 조사와 분석들이 수행되고 있다. 한국형 산림탄소모형(KO-G-Dynamics)을 통해 우리나라의 미래 산림탄소 흡수량 변화를 모의한 결과, RCP8.5 시나리오대로 기후변화가 진행된다면 2020년대 평균 산림탄소 흡수량은 기후가 2000년대 수준으로 유지되는 결과에 비해 1.6% 정도 감소할 것으로 전망되었다(그림 4.1).

식생의 탄소저장량 및 변화량은 임상의 바이오매스에 의존하므로, 미래의 산림생장 전망에 따라 취약성이 결정될 것으로 추정된다. 식생의 탄소량뿐만 아니라, 토양 탄소량의 취약성도 중요하게 고려되어야 한다. 대부분의 연구에서 미래 기온의 증가가 토양탄소의 감소를 야기할 것으로 예측하고 있다. 기온의 증가가 토양유기물의 분해 및 호흡을 촉진시켜, 나중에는 산림탄소의 순손실까지 발생할 가능성이

있는 것으로 나타났다. 토양의 기후변화 취약성을 낮추기 위한 효율적인 전략이 필요할 것으로 사료된다.

산사태 영향의 경우, 미래 기후변화 관련 산사태 발생 예측 연구에서 기후변화 시나리오의 적용은 매우 적은 편이며, 대부분 실제 발생 데이터를 바탕으로 유사식을 도출하거나 기후인자 및 확률을 기반으로 강우량을 적용하여 산사태 발생 가능성을 예측하는 연구 등이 보고되고 있다. 또한 인력과 비용이 많이 드는 실제조사 뿐만 아니라 넓고 접근이 불가능한 지점에 대해 광역적이고 정확한 발생지점 파악을 위하여 고해상도 위성영상을 활용한 발생지점 조사도 함께 진행되고 있는 추세이다.

산불 영향의 경우, 현재 기후변화로 봄철 가뭄이 가중되고 있으며, 침엽수림이 넓게 분포함에 따라 산불에 취약한 구조를 지니고 있다. 그러나, 우리나라의 산불의 특성은 인간부주의에 따른 영향이 큼에 따라, 주로 환경적인 요인 중 산불 발생에 영향을 미치는 습도, 온도, 건조 낙엽, 바람 등에 따른 연구가 다수이다. 따라서, 이를 기후변화와 연계하여 발생 예측을 수행한 연구들은 미진한 실정이다. 그럼에도 불구하고, 산불 주요 발생 기간에 대한 연구와 지형 및 환경적 여건을 반영하여 발생 가능성을 예측하는 연구 등이 보고되고 있다(그림 4.2).

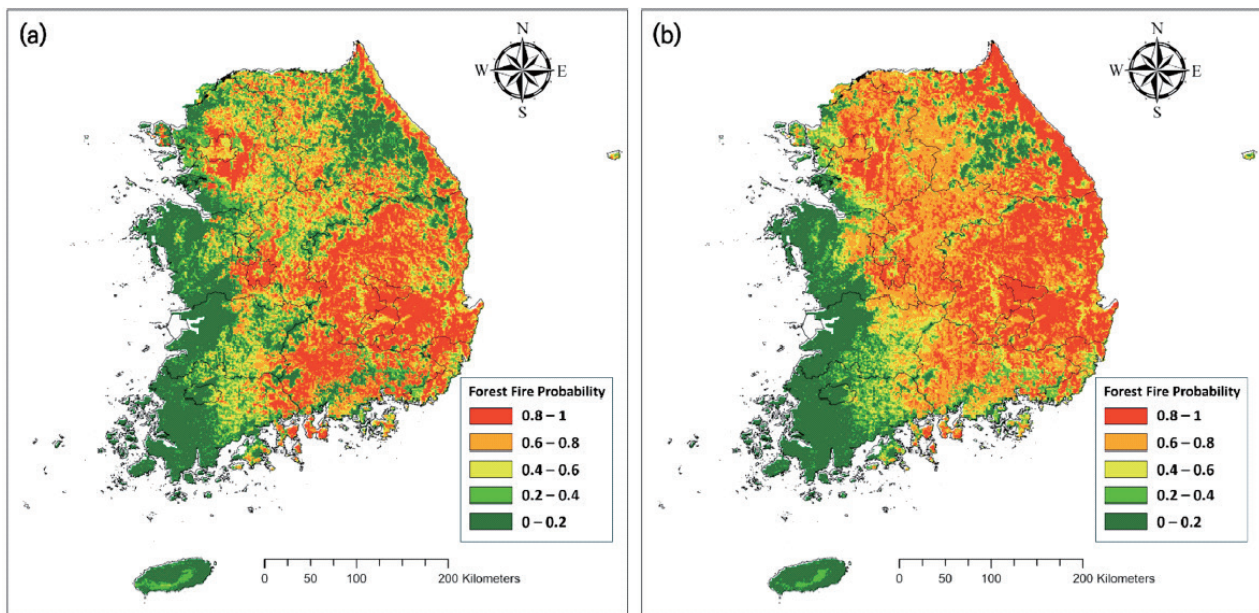


그림 4.2 SSP5-8.5에 따른 산불 발생 확률 (a) 2040년대 (b) 2070년대(Ahn et al., 2024).

재선충의 경우, 기후변화의 심화에 따라 향후 소나무재선충 피해와 피해 면적이 증가할 것으로 확인되었다. 이에 기후변화로 인한 병해충 피해 발생의 불확실성과 경제적 손실이 가중될 것으로 예측되며, 소나무재선충병에 대한 적절한 사전관리 강화가 필요할 것을 시사하였다.

전반적인 산사태 취약성 연구를 바탕으로 볼 때, 산사태에 영향을 주는 주요 요인으로는 '경사 방향', '경사도', '토양특성', '강우강도', '식생활력' 등이 있는 것으로 나타났다. 토양특성과 관련해서는 사질토, 흑운모화강암·편마암과 변성퇴적암과 세일과 같은 토양에서 산사태 발생가능성이 높다는 연구가 있었으며, 강우강도가 강해질수록 산사태 발생가능성이 높아진다는 연구는 다수 확인되었다. 그러나, 실질적인 취약성을 평가하기 위한 방법론 및 적응경로에 관한 연구는 미진한 실정이다.

기후변화에 따른 산불 취약성 평가와 관련된 연구는 많지 않았으며, 주로 지표기반의 평가 식에 의한 연구가 대다수인 것으로 나타났다. 더불어, 국가단위의 산불 취약성 평가 보다는 지역단위의 평가 연구들이 수행되고 있는 실정이다. 이에, 산불 기작에 기반한 모형에 따른 취약성 평가가 수행되어야 할 필요가 있다.

4.4. 적응해법 및 정책

✓ 기후변화 대응을 위해 탄소 흡수량 증진과 재해 방지 관련 정책을 적극적으로 수립하고 있다 (중간적 동의).

산림부문에서는 크게 흡수량 증진과 재해예방 및 대응 정책이 시행되고 있다.

산림청은 정부의 '2050 탄소중립' 선언에 선제적으로 대응하고 기후변화 적응을 위하여 '2050 탄소중립을 위한 산림부문 추진전략'을 발표하였다. 해당 전략을 통해, 기후위기 대응 미래수종 발굴 및 적용, 경제림 중심의 산림순환 경영 활성화 등 탄소흡수능력을 강화하고자 한다. 나아가, 목재 및 산림바이오매스 이용 활성화와 산림탄소흡수원

보전·복원 관련 정책을 확대하여 산림 부문의 적응 전략 다양성 방안을 적극적으로 모색하고 있다.

산불은 '전국 산불방지 종합대책'을 통하여, ICT기반의 산불 예방 시스템을 구축하고, 취약지역에 대한 모니터링과 진화장비 확대, 복구를 위한 내화수림대 조성을 실시하고 있다. 산사태의 경우, '전국 산사태예방 종합 대책'을 통하여, 취약지역 관리강화 및 재난 안정망 구축, 예측기술 고도화, 발생시 신속 복구 기능 강화 등의 정책안을 제시하였다. 병해충 측면에서는 산림 내 큰 피해를 주고 있는 소나무 재선충병은 방제대책과 지침을 통하여 예방하고, 피해지의 수종전환 활성화와 혼효림 유도를 시행하고 있다.

4.5. 결론 및 시사점

산림부문의 기후변화 연구를 검토해본 결과, 전반적으로 기온 증가 수준이 높아질수록 리스크의 심각성도 높아질 것으로 전망되었다. 특히, '산림 재해', '산림 병충해', '산림 수종분포 및 서식지' 리스크의 경우 4℃ 이상 기온이 증가할 경우, 산림 환경이나 생태계의 리질리언스(Resilience)가 심각하게 훼손되는 수준의 위험이 발생할 것으로 예상되었다. 반면, '산림 생산성'과 '임업' 리스크 분야는 기후변화의 영향이 긍정적일 것으로 전망하는 연구들도 존재했다.

2020년 이후 보고된 연구들에 대한 분석결과를 요약하면, 먼저 산림의 탄소저장량은 계속해서 증가할 것으로 전망되나, 전반적인 산림의 성숙도 증가와 탄소흡수량(Δ /년)은 2010년대에 비해 감소할 것으로 추정되었다. 또한, 우리나라 전체적으로 보았을 때, 기후변화는 탄소흡수량증가에 부정적인 영향을 미칠 것으로 전망되나, 일부 수종은 기후변화로 인해 탄소흡수량이 증가할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 산림 수종분포의 경우 침엽수림의 분포면적 감소와 활엽수림의 증가는 지속적으로 관측되고 있으며, 전반적인 기온상승과 최한월기후의 변화로 아고산과 냉온대림이 크게 감소하고, 온대수종 및 아열대수종은 확대될 것으로 전망되고 있다.

산림생장과 관련하여, 적극적인 관리와 시업(숲가꾸기, 벌채 등)이 산림 생산량 및 탄소 저장량의 유지 및 증진에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 전망 되며, 산림 수종분포

취약성을 낮추기 위해서는 취약성이 높은 수종을 보호하거나 미래 적정 수종으로 갱신하여 관리하는 방안이 제시되고 있다. 기후변화로 인한 생장기간의 연장과, 대기 중 CO₂의 농도 증가는 산림 부분에는 기회이기도 함으로, 지속적인 모니터링과 관련 연구가 필요하다.

기존문헌들을 분석한 결과 국내 산림부문의 기후변화 연구는 상대적으로 산림탄소와 수종분포 및 서식지 분야에 집중되어 있고, 산림재해와 임업 분야의 미래 기후 영향을 예측한 연구들이 부족한 것으로 확인되었다. 특히, 취약성을 낮출 수 있는 원인과 해법에 대해 상세히 다룬 연구들이 부족한 것으로 나타났다. 수종분포 연구의 경우, 대부분이 모형을 활용한 생육적지 분포 예측에 집중되고 있어, 모형 검증과 실제 수종의 분포변화를 모의에는 한계가 있는 것으로 확인되었다. 산림재해의 경우 연중화·대형화되는 추세이기 때문에, 재해 대응력 강화를 위한 사전예방적 조기경보체계 구축이 필요하며, 이를 위한 다양한 연구가 필요하다고 판단된다.

따라서 종합적인 적응대책 수립과 선제적인 기후 리스크 대응을 위해 각 분야의 연구를 균형 있게 고도화하는 것이 필요하다고 사료되며, 정책효과를 평가할 수 있는 방법론과 모형의 개발도 꾸준히 이루어져야 할 것이다. 마지막으로 본 보고서를 통해 기후변화의 잠재적 영향에 대한 과학적인 사실의 전달과 적응대책 수립 및 2050 탄소중립 필요성에 대한 의식이 확대될 것을 기대한다.

제 5 장 농업



5.1. 서론

「한국 기후변화 평가보고서 2020」에서는 온도 상승과 가뭄 발생 등 이상기상 현상으로 인한 생산성 저하 요인의 발생이 빈번해지고 있으며, 이로 인해 농작물의 생산성 저하와 재배 적지 변화 가능성이 제시되었다. 또한, 병해충 및 잡초의 분포 변화에 대한 전망도 포함되었다.

본 보고서에서는 2020년 보고서 발간 이후 수행된 국내 농업 분야 연구를 중심으로, 식량작물, 원예작물, 병해충, 잡초, 및 축산 등 5개 분야에서 기후변화와 관련하여 관측된 영향, 전망되는 영향 및 취약성, 적응 해법과 정책을 종합적으로 검토하였다.

특히, 농업생태계에서 환경적 요소와 생물학적인 요소가 상호작용하여 나타나는 작물의 생산성과 품질 변화, 병해충 및 잡초의 종 구성 변화, 그리고 가축 생산성 변화를 중점적으로 기술하였다.

섭취량이 감소하여 생산성이 저하되고 있음
(견고한 동의).

지금까지의 관측 결과에 따르면, 식량작물은 기후위험에 대응할 수 있는 기반이 구축되어 있는 작물과 그렇지 못한 작물 간에 생산성 변동에서 뚜렷한 차이가 있었다(견고한 동의). 특히, 보리와 감자 같은 밭작물에서는 수량 감소와 품질 저하가 확인되었으며, 이러한 변화는 온도 상승, 일조량 감소, 가뭄 발생 증가 등 복합적인 기후 요인에 기인하였다. 이러한 기후위험 요인들을 극복하기 위한 새로운 품종 개발이나 재배기술 개선에 대한 연구 개발이 진행되고 있으나 이들 기술의 농가 보급 및 확산에는 추가적인 노력이 필요하다(견고한 동의).

원예작물의 경우, 이상고온, 이상저온, 저일조와 같은 이상 기상 빈도 증가와 화분매개곤충 개체군 변화 등이 채소와 과수의 수량성과 품질에 복합적으로 영향을 미치고 있다(견고한 동의). 특히, 양파와 같은 월동채소는 겨울철과 봄철의 이상기상 조건에 따라 생산성이 급격히 변동하여 사회경제적인 문제를 야기하는 사례가 빈번하게 발생하였다. 최근, 꿀벌과 같은 화분매개곤충의 개체군이 급격히 감소함에 따라, 화분매개 생태계 서비스가 필수적인 시설 과채류와 과수에서 생산성과 품질 저하 피해가 확대되고 있다. 원예작물 역시 기후위험에 대응하기 위한 재배기술 개발과 보급이 촉진되어야 한다(견고한 동의).

병해충 분야에서는 과거 기후조건에서 피해 규모가 미미했던 종들이 기후변화로 인해 주요 병해충으로 부상하고 있으며, 이에 따른 피해 면적과 규모가 증가하고 있다(중간적 동의). 기온 상승에 따라 노린재와 진딧물 종 구성과 분포가 변화하고 있으며, 열대거세미나방과 같은 아열대·열대 지역에서 서식하던 외래 병해충의 국내 유입이 관측되었다. 또한, 잡초의 공간적 분포 양상이 변화하고 있으며, 외래 잡초와

5.2. 관측된 영향

✓ 식량작물의 경우, 논 재배 작물은 전반적으로 생산성이 안정적으로 유지되고 있으나, 밭작물에서는 생산성과 품질 저하가 관측되었음(견고한 동의).

✓ 원예작물은 재배 적지가 변동하고 있으며, 시설재배 작물에서도 품질 저하로 인한 피해가 확대되고 있음(견고한 동의).

✓ 주요 병해충과 잡초의 종 구성에 변화가 나타나고 있으며, 외래 병해충의 유입으로 인한 피해가 증가하고 있음(견고한 동의).

✓ 기온과 습도의 상승으로 다양한 가축에서 사료

제조업 저항성 잡초가 기후변화에 따라 빠른 속도로 확산되고 있다. 그럼에도 불구하고, 이러한 병해충 및 잡초의 확산을 효과적으로 방제하고 억제하기 위한 전략과 기술에 관한 연구는 여전히 부족한 실정이다(견고한 동의). 축산 분야에서는 기온과 습도의 상승이 사료 섭취량 감소와 이에 따른 생산성 저하로 이어지는 현상이 보고되었다(견고한 동의). 특히, 이러한 영향은 사육 중인 돼지와 함께 방목 사슴 개체에서 실제로 관측되었다. 축산 분야 온실가스 감축 노력과 함께 기후변화에 따른 생산성 피해를 저감하기 위해 새로운 설비 도입과 기술 개발이 진행되어야 한다(견고한 동의).

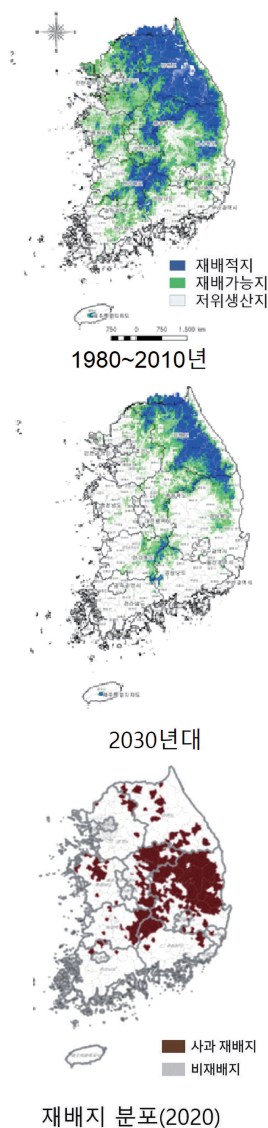


그림 5.1 사과의 기후적합도 변동 및 2020년 재배지역 분포(출처: <https://fruit.nihhs.go.kr/main/agdcm/mainFruitLandMap.do>).

5.3. 영향 및 취약성

- ✓ 온도 상승 조건에서 발작물의 생산성과 품질이 전반적으로 저하되는 경향이 확인되었음(중간적 동의).
- ✓ 국내 과수 작물의 재배 적합지는 각 작물의 생태적 특성에 따라 확대되거나 축소될 것으로 전망되었음(견고한 동의).
- ✓ 미래기후 조건에서는 병해충과 잡초의 종 구성 변화로 인한 피해 규모가 증가할 것으로 전망되었음(견고한 동의).
- ✓ 기후변화로 인한 생리적 스트레스가 심화함에 따라 젖소의 산유량이 감소할 것으로 분석되었음(견고한 동의).

식량작물에 대한 영향 및 취약성 전망 연구는 기존에 비해 중심으로 수행되던 분석에서 쌀, 밀 등 다양한 발작물로 확대되었다. 온도와 이산화탄소 농도를 기후변화 시나리오 조건에 맞추어 제어할 수 있는 시설에서 수행된 연구 결과에 따르면, 해당 작물들의 생산성과 품질이 전반적으로 저하될 것으로 전망되었다(견고한 동의). 특히, 개화기나 월동기와 같이 특정 생육 단계에서는 이상기상 발생 규모가 크지 않더라도 생산성과 품질 저하가 심각하게 나타날 수 있음이 확인되었다. 그러나, 이러한 피해 양상을 저감시킬 수 있는 작부체계에 대한 검토가 충분히 반영되어 있지 못하다(중간적 동의). 특히, 작물모형을 활용한 예측 기술에 대한 개선으로 이에 대응하는 것이 필요할 것으로 보인다(견고한 동의).

기후변화 조건에서는 국내 주요 과수의 재배 적지와 재배 가능지가 전반적으로 감소하는 경향이 나타났다(견고한 동의). 사과와 배와 같이 개화를 위해 저온요구도의 충족이 필수적인 과수의 경우, SSP5 시나리오 조건에서 2030년대 이전까지 재배 적지 변화 양상에 차이를 보이나, 이후 시기에 두 작물 모두에서 재배 적지가 감소하는 것으로 전망되었다(견고한 동의). 또한, 온실가스 증가로 인한 온도 상승은

과피색 등 품질 특성에도 영향을 미칠 것으로 예상된다(견고한 동의). 예를 들어, 후지 품종은 최근까지 착색 불량 문제가 지속적으로 보고되고 있으며, 신품종인 홍로 역시 유사한 문제가 확대될 가능성이 있다. 따라서, 품종별 반응 차이를 고려하여, 농가에서는 기후변화 적응성이 높은 품종의 도입을 검토할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고, 이들 품종들을 기후변화 대응형 작부체계에 적용될 수 있도록 지원하는 연구가 부족한 실정이다(중간적 동의).

미래 기후 조건에서는 주요 병해충을 구성하는 종의 공간 분포 변화가 예상된다(견고한 동의). 벼 키다리병은 과거에는 주요 병해충으로 인식되지 않았으나, 기후변화로 인해 피해 면적과 규모가 확대될 것으로 전망되었다. 또한, 소철꼬리 부전나비와 같은 외래 해충이 국내로 유입될 경우, 광범위한 지역으로 확산될 위험이 제기되었다. 잡초 분야에서는 이산화탄소 농도 증가로 인해 생육이 촉진되어 환경 적응성이 강화되고, 이에 따라 제초제 저항성이 확대될 가능성이 높다(견고한 동의). 실제로 제초제 저항성 잡초의 발생 건수는 2017년 기준으로 2012년 대비 약 2.7배 증가하였으며, 기후 변화의 진행에 따라 저항성 잡초의 분포 확산과 종 구성 변화가 가속화될 것으로 전망되었다. 따라서, 이러한 변화에 대응하기 위해 작부체계의 변환과 이를 뒷받침할 과학적·기술적 연구가 적극적으로 추진되어야 한다(견고한 동의).

축산 분야의 영향 및 취약성 평가는 상대적으로 연구 사례가 많지 않으나, 농촌진흥청에서는 THI (Temperature Humidity Index)를 활용하여 기후변화 영향 분석을 수행하였다. 분석 결과, THI가 70 이상으로 상승할 경우, 젖소의 산유량이 상당히 감소하는 것으로 보고되었다.

5.4. 적응해법 및 정책

✓ 주요 작물의 경우, 품종 개발, 재배 시기 조정, 가뭄 저항성 유도제 활용 등 재배 관리의 고도화를 통해 기후변화에 대한 적응 역량 강화가 필요함 (견고한 동의).

✓ 작물 모델을 활용한 적응 전략의 효과 평가와 시설 기반 확충을 통해 기후변화로 인한 생산성과 품질 저하를 완화할 수 있음 (견고한 동의).

✓ 병해충 및 잡초 피해 저감을 위해 디지털 기술을 활용한 조기 탐지 체계 구축과 종합 방제 관리 전략의 적용이 요구됨 (견고한 동의).

✓ 스마트 축사 도입과 사료작물 재배 관리 개선을 통해 축산물 생산성을 안정적으로 유지하는 동시에 온실가스 배출 저감을 실현할 필요가 있음 (견고한 동의).

기후위기 상황에서도 벼와 같이 품종 개발과 재배 기술 도입이 지속적이고 충분하게 이루어진 경우, 생산성이 유지되거나 오히려 증가하는 경향이 있었다(견고한 동의). 특히, 최근 육성된 고온 저항성 벼·감자 품종을 현재 재배 중인 감수성 품종들을 대체할 경우, 심각한 수량 감소가 예상되는 시점을 지연시킬 수 있다(중간적 동의).

기존 관측자료와 생육 모의 결과를 활용하면 지역별 기후변화 대응 작부체계 및 재배관리법, 내재해성 품종 개발을 지원할 수 있다(견고한 동의). 예를 들어, 한반도 온도 상승에 따라 맥류 재배 가능 지역이 북상하고 있어, 이를 활용한 다양한 작부체계 도입은 식량 생산 증대와 농업 지속가능성 제고에 긍정적으로 기여할 수 있다(중간적 동의). 생육 모의 연구에서 발생하는 오차와 불확실성을 줄기 위해서는 농작물과 기상조건 간 복잡한 상호작용을 정밀하게 평가할 수 있는 실험을 수행하고 이를 기반으로 작물 생육 과정을 설명하는 수식을 개선하여, 기후변화의 영향과 취약성을 재평가하는 과정이 필요하다(견고한 동의). 원예작물의 경우, 기후변화에 따른 부정적 영향을 완화하기 위해 안정적인 생산과 품질을 확보할 수 있는 재배 적지 탐색이 선행되어야 한다(견고한 동의). 일부 주요 작물에 대해서는 관련 연구가 진행되었으나, 국내에서 재배되는 다양한 품목을 포괄하는 폭넓은 연구가 요구된다(견고한 동의). 또한, 기후변화가 화분매개곤충과 식물 간 상호작용에 미치는 영향은 다양하고 복잡하므로 이에 대한 연구 확대가

필요하다(중간적 동의).

스마트팜과 같은 시설 기반 및 디지털 재배기술의 도입은 기후변화 적응 전략의 한 축으로 시도되고 있다(중간적 동의). 또한, 재배지 이전, 적극적 관수, 지하수 이용 근권 냉방, 내재해성 품종 육종 등 다양한 적응 기술이 활용될 수 있다. 그러나, 이러한 방법들의 구체적인 효과를 과학적으로 검증할 수 있는 체계는 아직 미흡한 실정이다(중간적 동의). 따라서, 표준화된 프로토콜에 기반한 체계적 관측자료 수집과 엄격한 데이터 품질 관리가 필요하며, 이를 통해 기존에 간과되었던 기후 요인까지 파악하고 빅데이터 분석 기술을 적용하여 적응 기술의 효과를 검증해야 한다(중간적 동의). 더불어, 과정 기반 생육모형과 인공지능 모형을 개발하여 적응 옵션에 대한 정량적 평가와 의사결정 지원 체계를 확립하는 것이 필수적이며 적응 옵션의 경제성과 농가 수용성을 분석할 필요가 있다 (견고한 동의).

병해충 분야에서는 피해 양상이 병해충의 발생 시기와 기주식물 생육 시기의 동시성에 크게 좌우되므로 작물모델과 병해충 모델을 연계하여 농업생태계의 복잡성을 반영한 모의 연구가 필요하다 (중간적 동의). 특히, 바람이나 화물선을 통해 유입될 가능성이 있는 외래 해충의 공간 분포를 사전에 예측하여, 미래 기후조건에서 병해충의 대규모 확산을 대비해야 한다(견고한 동의). 이와 함께, 지속적인 병해충 모니터링과 기후변화에 따른 종 구성 변화에 대응할 수 있는 살충제 선별, 병해충 저항성 품종 개발이 요구된다 (견고한 동의). 화학적 방제가 효율적이고 경제적인 수단이 될 수 있으나, 천적과 화분매개곤충의 개체군 감소를 초래할 수 있으므로 종합적 방제 관리 전략이 병행되어야 한다 (견고한 동의).

잡초 분야에서는 기후변화로 인한 초종 변화가 전망되므로, 국내 유입 가능성이 높은 외래 잡초의 잠재 분포 지역을 사전에 파악하고 전국적인 모니터링 체계를 구축해야 한다 (중간적 동의). 또한, 미래 기후조건에서 효과적인 제초제 사용 방안, 생물학적 방제, 재배방식 개선을 포함하는 종합적 잡초방제 기술 개발이 필요하다(중간적 동의).

축산 분야에서는 국내에서 조사료를 재배함으로써 온실가스 배출을 저감하고 지속가능성을 높일 수 있다 (견고한 동의). 그러나, 경지면적 감소로 인해 조사료 재배지

확보가 어려운 상황이다(견고한 동의). 논에서 재배 가능한 사료작물들을 발굴하고 벼와 연계한 작부체계를 구성함으로써 제한된 경지에서도 조사료를 생산하여 수입 의존도를 완화하고 동시에 토양침식 방지와 탄소 저장 효과를 기대할 수 있다(중간적 동의).

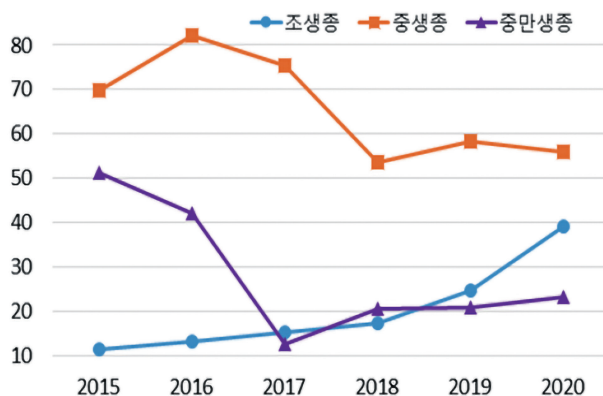


그림 5.2 벼 신품종의 연차별 재배면적 비율 변화(출처: 농촌진흥청, 2021).

5.5. 결론 및 시사점

탄소중립 사회로의 전환이 지연될수록, 기후변화의 부정적 영향은 가속화될 것으로 전망된다(견고한 동의). 기후변화 적응 기반이 이미 마련된 주요 식량작물의 경우, 생산성을 현재 수준 이상으로 유지할 가능성이 있으나, 다수의 작물은 이러한 기반이 부재하여 부정적인 기후 요인을 극복하기 위한 적응 대책의 조속한 시행이 요구된다(견고한 동의). 특히, 재배 적지의 재탐색과 화분매개곤충 관리 등을 통해 안정적인 생산과 품질을 확보하는 노력이 필요하다(견고한 동의). 병해충과 잡초는 종 분포의 변화가 예상되며, 새롭게 등장할 주요 병해충에 대해서는 공간적 분포 예측과 방제 기술 개발이 선행되어야 한다(중간적 동의). 또한, 가축은 기온과 습도의 변화에 민감하게 반응하므로, 미래 기후조건에서 생산성 저하를 방지하기 위한 시설 확충이 시급하다 (중간적 동의).

기후변화의 영향과 취약성을 사전에 평가하고, 부정적인 영향을 최소화하며 긍정적 영향을 극대화하기 위해서는

혁신적 기술의 도입이 필수적이다(건고한 동의). 미래 기후 조건에서 농업생태계의 복잡한 반응 양상을 모의할 수 있는 분야별 모델과 이들 모델을 상호 연계하는 통합 기술의 구축이 요구된다(중간적 동의). 특히, 이러한 모델이 빅데이터 분석과 4차 산업혁명 기술과 결합될 경우, 디지털 전환을 통해 작물과 가축의 피해를 신속하고 정확하게 진단할 수 있다(건고한 동의). 또한, 데이터 기반의 과학적 평가와 경제성 분석을 토대로 기후위험을 최소화할 수 있는 작부 체계 설계, 병해충 및 잡초 방제 전략, 재배관리 기술, 그리고 내재해성 품종 개발을 지원함으로써, 농업생태계의 다양성을 증진시킬 수 있다(건고한 동의). 이러한 일련의 접근은 농업 부문의 기후변화 취약성을 완화하고 식량 생산의 안정성을 제고하며, 건강하고 회복력 있는 농업생태계를 지속적으로 유지하는 기반이 될 것이다(건고한 동의).

제 6 장 해양 및 수산



6.1. 서론

해양과 수산은 지구에서 배출되는 열과 이산화탄소의 흡수를 통한 중요한 기후조절자의 역할을 함과 동시에 식량 안보, 생계 수단, 생물 서식지의 보고와 재난재해 측면에서도 기후변화와 밀접한 관련성이 있다. 2021~2023년까지 승인, 발간된 IPCC 제6차 평가보고서에서는 최근 전 세계 해양 표층수온 상승 경향이 두드러지며, 표층해역 뿐만 아니라 중층과 심층 해역에서도 빠르게 해양온난화가 진행되고 있음을 보고하였다. 해양열파의 발생 빈도와 강도가 증가하고 있으며, 해양 상층부의 성층 강화 현상이 뚜렷하게 나타나고 있음을 제시하고 있다. 수온 상승에 따른 열팽창과 극지방의 극심한 온난화에 따른 빙하-빙상의 손실로 해수면 상승이 급격히 나타나고 있으며, 해양산성화, 해양 상층부 용존산소 농도 감소 및 영양염 농도 감소도 눈에 띄게 나타나고 있음을 기술하고 있다. 기후변화와 기타 사회경제적 요인에 의해 어업생산성은 감소하고 있으며, 해역에 따른 편차가 크게

나타나고 있음을 보고함과 동시에 양식업의 중요성이 향후 더욱 증대할 것으로 전망하고 있다.

국내 연구는 기후변화에 따른 해양의 물리적, 생화학적 변화 연구가 일부 수행되었으나, 해양 생태계 변화 및 수산 자원의 영향과 관련된 연구는 정성적인 수준에 머물고 있다. 이와 같은 제한적 상황에서도 본 보고서에서는 장기적인 해양 관측 결과를 기반으로 한 우리나라 해역의 해양온난화, 해수면 상승, 해양산성화 등 기후변화 영향 요소를 파악하고 이에 따른 해양생태 및 수산자원의 영향을 살펴보았다. 또한 해양기후모델에 기반한 수온, 해수면 및 생태계의 미래 변화를 전망하고, 과학적 전망자료 기반의 수산업 및 연안재해의 기후변화 취약성 및 리스크 평가 결과를 살펴보았다. 또한 해양 및 수산분야의 기후변화 적응 능력 향상을 위한 적응 해법 및 기술, 적응 산업 육성 방향을 제시함과 동시에 해양 수산부를 중심으로 추진 중인 해양수산부분 기후변화 적응 정책 상황을 포함하였다.

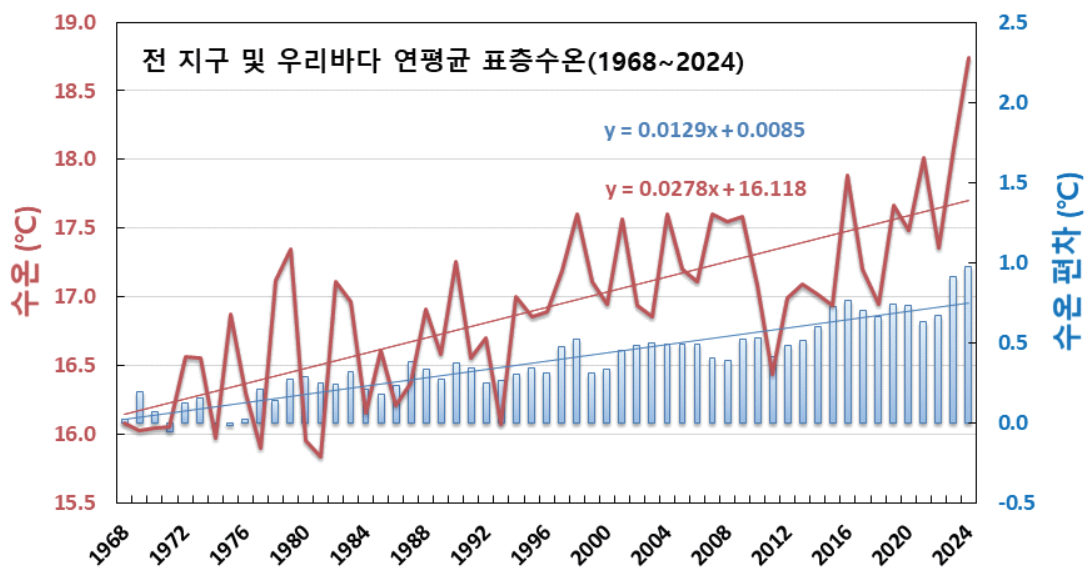


그림 6.1 최근 57년간(1968~2024년) 한국 해역의 연평균 표층 수온(적색) 및 전 지구 표층 수온 평년 편차(청색) 장기변동 경향.

6.2. 관측된 영향

- ✓ 우리나라 주변해역은 가속화되는 해양온난화와 성층강화의 영향으로 표층 영양염 및 기초생산력 감소 등 해양생태계의 변화가 관측되고 있음 (중간적 동의).
- ✓ 지속적으로 해수면 상승이 증가하고 있으며, 해역별로는 동해안의 해수면 상승이 높게 나타남 (중간적 동의).
- ✓ 기후변화에 따른 어업생산성의 변동이 증가하고 있으며, 이상기후에 따른 양식업의 재해 피해가 증가하고 있음(견고한 동의).

최근 57년(1968~2024년)간 우리나라 주변 해역의 표층 수온 상승은 약 1.58℃로 전 세계 표층 수온 상승 0.74℃에 비하여 약 2배 이상 높은 수준을 보이고 있으며, 동 기간 동해 표층수온은 약 2.04℃ 상승하여 우리 해역중 가장 높은 표층 수온 경향을 나타냈다(견고한 동의). 2010년 이후 여름철 표층 수온 상승 경향은 겨울철에 비하여 약 3배 이상 높게 나타났다. 최근 62년(1955~2021년)간 해양열용량은 우리나라 전 해역에서 뚜렷이 상승하는 경향을 보였으며, 동해에서는 최근 7년(2015~2021년)간 1.8694×10^{18} Joules/yr의 해양 열용량 상승 경향을 보여 다른 해역보다 높게 나타났다(중간적 동의).

최근 34년(1989~2022년)간 우리나라 연안 전체 평균 해수면 변동률은 3.06mm/yr로 최근 전반적으로 해수면 상승이 증가하는 경향을 보였으며, 해역별로는 동해안, 서해안, 남해안 순으로 높게 나타났고, 특히 울릉도 변동률은 5.11mm/yr로 다른 해역보다 상대적으로 높은 상승률을 보였다(중간적 동의).

우리나라 해역의 표층염분은 -0.0062/yr 경향으로 서서히 감소추세를 나타내고 있으며, 태평양 전체해역의 표층염분 감소율과 비교해 약 6.5배 높게 나타났다. 용존산소의 경우 표층에서는 뚜렷한 경향성이 나타나지 않았지만, 동해의 심층에서는 상대적으로 감소 경향이 뚜렷이 나타나고 있어

동해에서의 해수 연직 순환 약화가 우려된다. 우리 해역의 표층 pH 감소 경향은 전 세계 대양의 감소 경향과 유사하게 나타나 비슷한 규모로 해양산성화가 진행되고 있음을 시사하고 있다(중간적 동의).

최근 33년(1991~2023년)간 우리나라 해역 표층의 영양염은 전반적으로 감소하는 경향이 높았으며, 이와 같은 영양염 감소 경향은 표층 해역의 성층화 현상에 의한 것으로 판단되었다. 최근 5년(2018~2022)간 해역별 기초생산력은 과거와 비교해 약 50~190C/m²/y1 감소한 것으로 나타났으며, 이와 같은 결과는 표층 해역의 성층 강화로 인한 수주 내의 혼합작용 약화 및 저층으로부터의 영양염 유입 감소가 원인으로 설명되었다(중간적 동의).

우리나라 연근해 어업생산량은 1980년대 대비 2020년대 60% 수준으로 감소하였으며, 지속적인 감소 추세를 나타내고 있다. 최근 아열대성 어종의 출현 비율이 증가하고 있다(견고한 동의). 살오징어 어획량은 서해에서 꾸준히 증가하는 추세를 보였으며, 청어 어획량은 과거와 비교해 어획 시기가 늦추어지는 추세를 나타내었고, 방어 어획량은 최근 동해안을 중심으로 획기적으로 증가하였다.

기후변화와 이상기후에 따른 양식장 어업피해는 증가하고 있으며, 특히 고수온, 저수온 등 이상수온에 따른 피해가 전체 피해의 60% 이상을 차지하고 있다. 빈산소 수괴의 발생은 최근 발생 시기가 앞당겨지고, 소멸 시기는 늦추어지는 등 발생 기간이 증가하고 있는 추세이다(견고한 동의).

6.3. 영향 및 취약성

- ✓ 수온 상승 및 영양염 농도 감소 등의 영향으로 미래 주요 상업성 어종의 서식지 감소와 함께 출현 감소가 전망됨(제한적 동의).
- ✓ 기후변화에 따른 수산업의 미래 취약성 분석 결과, 해조류 양식이 가장 큰 피해를 받을 것으로 전망됨(제한적 동의).

CMIP6의 전 지구 기후모델의 SSP 시나리오별 미래 예측

자료를 분석한 결과 우리나라 해역의 표층 수온은 현재 대비 21세기 말에는 SSP2-4.5 시나리오에서 2℃ 내외, SSP5-8.5 시나리오에서는 4~5℃ 내외 증가할 것으로 전망되었다. 기후변화의 영향은 평균 표층 수온 상승뿐만 아니라 해양 열파의 세기, 발생일수 및 지속기간 증가로도 나타나 SSP5-8.5 시나리오에서 21세기 말의 우리나라 해역에서 해양열파 일수는 250일이 넘을 것으로 나타났다(제한적 동의).

해수면 상승의 경우, SSP1-2.6과 SSP5-8.5 시나리오에서 현재 대비 21세기 말에는 각각 0.39m, 0.66m 상승할 것으로 전망되었다. 해역별로는 SSP1-2.6과 SSP5-8.5 시나리오 모두 남해에서 해수면 상승률이 가장 높을 것으로 예측되었지만, 해역별로 큰 차이는 없었다(제한적 동의).

우리나라 해역의 미래 영양염 농도는 점차 감소할 것으로 전망되었고 특히 동해 북부해역에서 상대적으로 큰 감소가 예측되었다. 표층 엽록소의 경우, 서해와 남해 연안역에서 증가하는 경향, 동물 플랑크톤의 생물량도 서해와 남해에서 증가하는 경향을 보일 것으로 전망되었다. 대표적 상업어종인 고등어의 서식지는 대부분 해역과 시기에서 서식지 적합 지수가 감소할 것으로 예측되었고, 연근해 살오징어의 경우 남해에서 출현이 연중 감소하고, 동해에서는 여름과 가을에 큰 폭으로 감소할 것으로 전망되었다(제한적 동의).

대표적 식중독 유발 어독 플랑크톤인 시구아테라의 서식 가능일수는 지속적으로 증가하여 2100년까지 동해, 남해, 제주 연안에서 현재 대비 약 100일 내외 출현 가능 일수가 증가할 것으로 전망되었다(제한적 동의).

어종별 기후변화 취약성 평가 결과, 명태, 대게, 붉은대게의 취약점 점수가 높게, 문치가자미, 돌돔, 참돔이 낮게 나타났다. 업종별로는 대형선망, 동해구외끌이중형저인망, 동해구중형 트롤, 근해채낚기, 대형트롤 등이 취약성이 높은 것으로 나타났다. 양식품종별 기후변화 위험지수는 멍게, 다시마 등이 높게 나타났으며, 해만가리비, 지중해담치, 송어, 농어 등이 낮게 나타났다(제한적 동의).

기후변화에 의해 가장 큰 피해를 받을 것으로 판단되는 해조류의 경우, 다시마, 김, 미역 모두 충청남도를 제외하고 향후 양식이 어려울 것으로 평가되었다. 굴은 경상남도에서 SSP5-8.5 시나리오를 제외하고는 양식이 가능할 것으로 전망되었지만, 전복은 2100년에는 지역별로 양식이 불가능

할 것으로 추정되었고, 멍게는 모든 생산지역에서 향후 양식이 불가능할 것으로 전망되었다(제한적 동의).

양식품종별 피해 확률을 평가한 결과, 어류는 조피볼락의 피해가 가장 크게, 송어의 피해 확률이 가장 낮게 나타났다. 패류는 전복의 피해가 가장 클 것으로 예측되었으며, 굴은 피해 확률이 상대적으로 낮을 것으로 예측되었다. 해조류는 다시마의 피해가 가장 클 것으로 전망되었다(제한적 동의).

연안재해에서는 해일, 파랑 등 자연재해의 강도와 빈도를 고려한 위해성의 경우, 부산광역시, 제주특별자치도, 인천광역시 등이 높게 평가되었고, 자연재해 영향 가능성이 있는 인프라, 인구, 경제적 자산 등을 고려한 노출성은 제주특별자치도, 부산광역시가 높게 평가되었다. 자연재해 민감성을 반영한 취약성에서는 부산광역시, 울산광역시 등 동해안이 높게 나타났다. 이들을 종합한 연안재해 위험지수 평가 결과, 부산광역시, 제주특별자치도 및 동해 연안에서 높게 평가되었다(제한적 동의).

6.4. 적응해법 및 정책

- ✓ 기후변화에 적응하기 위하여 해양변화 감시 역량을 강화하고, 고수온 피해 대응을 위한 양식품종 및 양식기술 개발이 활발히 진행중임(중간적 동의).
- ✓ 기후변화 적응을 위한 제도, 법령의 개선이 체계적으로 진행중이며, 특히 수산재해 대응을 위한 다양한 전략 수립이 이루어짐(견고한 동의).

우리나라 해역의 기후변화 감시를 위하여 국립수산물과학원에서는 1960년대부터 우리나라 해역의 장기적인 수온 변동, 성층 경향, 영양염 및 용존산소 농도 변화, 동식물 플랑크톤의 종조성 및 생체량 변동 등을 모니터링하고 있으며, 2015년부터 정기적으로 해양산성화 조사를 병행하여 수행중에 있다. 이상기후에 따른 급격한 수온 변화 정보 제공을 위하여 전국 연안 200개소에 실시간 해양수산환경관측망을 구축, 운영하고 있으며, 매 30분 단위의 실시간 수온 정보를 어업인

등에게 제공하고 있다(견고한 동의).

해양온난화 등 기후변화에 대응하기 위하여 해조류 중 미역·다시마 등의 갈조류의 양식 생산가능시기 연장을 위한 육종 기술 개발, 참전복을 대상으로 한 고수온 내성 육종 기술 개발, 교잡바리류 등 아열대성 양식품종 개발 및 기술 보급 등을 지속적으로 추진중에 있다(중간적 동의).

양식업을 중심으로 기후변화 적응 산업의 일환으로 4차 산업혁명 기술을 양식업에 접목한 스마트양식 기술의 개발 및 보급, 미생물을 이용하여 사육수를 정화하여 재사용하는 바이오플라크 기술, 수산양식과 수경재배를 융합한 친환경적 양식 생산 방식인 아쿠아포닉스, 양식생물 사육수를 여과 처리하여 재순환시켜 이용하는 순환여과양식시스템 등 친환경, 고효율의 양식 기법을 지속적으로 개발, 보급하고 있다. 또한 향후 증가할 수산질병 발생에 선제적으로 대응하기 위한 수산 전염병 조기 진단 기술을 개발중에 있다(중간적 동의).

해양수산부에서는 해양수산과학기술 육성 시행계획을 수립하여 기후변화 대응 R&D 역량을 강화하고 있으며, 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵을 통하여 획기적인 탄소저감과 함께 기후변화 적응에도 대응하고 있다. 2022년 제4차 기후변화 대응 해양수산부문 종합계획을 수립하였으며, 해양생태계의 기후변화 영향 파악을 위하여 기후변화 지표종 23종을 지정, 고시하였다. 또한 기후변화에 따른 수산·양식분야 피해 대응을 위하여 새롭게 수산·양식분야 기후변화 대응 종합계획을 수립하여 정책적 방향을 제시한 바 있다(견고한 동의).

6.5. 결론 및 시사점

해양수산분야의 국내외 연구 논문 및 보고서의 분석 결과, 우리나라 해역의 해양온난화가 심각하게 진행되고 있으며, 해수면 상승도 지속적으로 나타나고 있다. 표층염분, 동해 중·심층의 용존산소, 표층 기초생산력 등의 감소가 관측 결과를 통하여 확인되었고, 표층 해양산성화도 전 세계 대양과 유사한 수준으로 진행되고 있음을 확인하였다. 연근해 어업 생산성은 지속적으로 감소하고 있으며, 아열대성 어종

출현 빈도가 증가하고, 출현 해역이 북상하고 있다. 양식어업 생산량은 연근해 어업생산량보다 높은 수준을 보이고 있지만, 2010년대 이후 이상기후에 따른 피해가 증가하고 있었다.

SSP 시나리오 기반으로 21세기말 우리해역의 해면수온은 1~5℃ 상승, 해수면은 47~82cm까지 상승할 것으로 전망되었다. 고등어와 살오징어의 미래 서식지 적합성은 감소할 것이며, 식중독 유발 플랑크톤의 서식 가능 기간은 증가할 것으로 예측되었다. 연근해 어업에서 업종으로는 근해통발, 어종으로는 참가자미가 가장 높은 취약성을 보였고, 양식 어업에서는 해조류 전반, 멍게, 바지락, 조피볼락 등의 양식 생산성이 크게 감소할 것으로 평가되었다. 연안재해 영향은 향후 제주도에서 가장 높게, 강원도와 전라남도에서 가장 낮게 나타났다.

해양수산분야의 적응해법으로 감시, 관측 기능 확대 및 고도화와 함께 생명공학기법을 활용한 양식품종 개발 및 새로운 양식어종 발굴을 위한 노력을 기울이고 있다. 또한 친환경고효율·자연재해 대응 차원의 다양한 양식 기술이 개발되고 있으며, 해양온난화에 따른 수산질병 발생 증가에 대한 선제적 대응을 준비중이다. 이와 함께 탄소중립, 과학 기술 육성, 지표종 선정 등의 해양수산분야 정책적 대응 수립이 진행되고 있다.

최근 연구 결과를 통해 해양온난화의 가속화와 이상기후 증가로 인하여 수산업, 해양생태계 및 연안 환경은 큰 변화를 맞고 있음을 확인하였다. 기후변화에 따른 해양 및 수산분야의 피해 최소화를 위해서는 인간의 힘으로 대처할 수 있는 비기후적 요소에 따른 피해 저감을 위한 노력이 필요할 것이다. 또한 많은 연구 결과들은 기후변화 취약성이 높은 수산업의 지속가능성을 위해 기후변화 적응과 관련된 집중적인 정책 지원 및 연구개발이 필요함을 시사하고 있다. 또한 해양생태계의 하위단계에서 발생하는 기후변화의 부정적 요소는 향후 먹이사슬 상위단계에도 큰 영향을 줄 것으로 판단되어 지속적인 기후변화 대응 수산자원 관리가 요구되며, 기후변화와 관련된 대체 품종의 신속한 개발이 필요하다. 또한 이상기후에 따른 수산재해 및 연안재해 발생 빈도와 강도가 증가하고 있음에 감시와 예측 능력 향상 등 과학적 기술 개발과 함께 재해 보험 가입 독려 등 정책적 노력이 우선되어야 한다.

제 7 장 산업 및 에너지



7.1. 서론

최근 10년간(2012~2021년) 기후변화와 관련된 자연재해로 발생한 경제적 손실은 3조 7천억 원으로 복구 비용은 손실 비용의 약 2~3배인 것으로 나타났다.

기후리스크 증가에 따라 기후변화 취약산업의 부정적인 영향이 점차 커지는 것으로 나타났으며, 국내 역시 태풍 한남노로 인한 포스코 침수로 기후변화 물리적 위험에 대한 사업장 영향평가의 중요성을 인식하는 계기가 되었으며, 이외에 기상이변에 따른 제조생산설비 피해 및 물류시스템 차질 등 생산성 및 수요감소가 동시에 발생하여 매출액 감소가 나타났다(견고한 동의).

또한, 최근 연구에 따르면 태풍·폭염·한파 등 극한기상은 건설업의 시공과정 전반에 영향을 미치고, 야외근로자의 건강위험을 증가시키는 것으로 나타났다(중간적 동의).

「한국 기후위기 평가보고서 2025」에서는 관측된 영향 부문에서 기존의 산업분류보다 세분화된 산업카테고리에서 기후변화 영향과 연계된 연구가 진행되고 있으며, 또한, 디자인 등의 측면에서 패러다임의 변화가 나타나는 것으로 검토되었다.

7.2. 관측된 영향

✓ 최근 10년간(2012~2021)의 추세를 살펴보면, 1990년대에 비해 2000년대에는 물리적 피해 보다는 경제적 피해가 크게 증가하고 있다(견고한 동의).

✓ 태풍을 동반한 주요 사건의 유무에 따라 피해 정도가 크게 영향을 받겠지만, 한편으로는 사회적 취약성도 그 원인으로 고려할 필요가 있다(중간적 동의).

✓ 기후변화의 심화에 따라 다양한 업종에서의 기후테크산업이 발달하는 양상을 보이고 있다(중간적 동의).

✓ 업종별, 구조별 리스크 평가 시도는 지속되고 있으나, 고도화를 위한 지속적 연구 필요하다(중간적 동의).

관광산업에 있어서의 기후변화 영향은 생태자연과 연관된 지역축제에 있어서 더 뚜렷하게 나타나는데 이는 주로 예측 불가능한 온도의 변화 및 상승에 따라 축제의 시기 및 지역의 변화 등이 발생하는 것으로 나타났다. 연구에 의하면 꽃축제 및 빙하축제의 경우에는 온도 상승에 따라 강설량의 감소, 개화시기의 문제 등이 발생됨에 따라서 연기 혹은 취소되는 것으로 나타났다(중간적 동의).

식품산업의 경우 전통적인 축산 유래 단백질은 급격한 인구 증가에 따라 수요가 지속해서 증가할 것이나, 식육 단백질은 수요에 비하여 생산량 확보에는 어려움이 있을 것으로 예상된다(중간적 동의).

이러한 시대적 흐름에 편승하여 대체 단백질 확보를 위한 다양한 푸드테크 기술 개발 연구를 진행하고 있다.

광업 및 제조업 등 야외 근로가 중심이 되는 산업은 기후변화로 인해서 노동생산성이 떨어져서 생산성 하락이 나타날 수 있다. 특히, 지속해서 증가하는 고온 현상은 내외부 근로환경을 악화시켜 근로자의 노동생산성을 낮출 수 있다(중간적 동의).

7.3. 영향 및 취약성

- ✓ 극한기상 및 극한기후로 인한 영향은 슈퍼태풍, 집중호우, 홍수, 폭설 등 다양한 기후 위험으로 발생하며 그 피해 규모나 빈도를 예측하기 어렵다(견고한 동의).
- ✓ 제조업의 경우 고온현상의 지속에 따라 노동생산성이 저하되는 것으로 나타났다(중간적 동의).
- ✓ 식품업계에서는 낙농업의 한계에 따라 대체 단백질(식물성, 곤충단백질)의 시장 규모가 커지고 있다(제한적 동의).

기후변화는 폭염과 같은 극한 기상의 빈도와 강도를 증가시킬 것이며, 이로 인해 인간은 다양한 기후 리스크를 받을 것이다. 노동자들은 열 스트레스에 따라 작업효율이 달라지는데, 기후변화는 열 스트레스를 증가시켜 작업효율을 낮추고 최종적으로 총 노동시간을 감소시킬 것으로 보인다.

낙농업 분야에서는 기후변화 적응에 대응하기 위해 식생활 전환을 위해서 식용곤충의 활용방안을 적극적으로 찾고 있다. 또한 고전 의약서나 구전으로 내려오는 곤충들의 건강 증진 효과를 바탕으로 인간의 질병을 예방하거나 치료하는데 활용하는 연구가 활발히 이루어지고 있다(제한적 동의).

에너지 분야는 크게 폭염 및 한파에 따른 에너지 사용 증가와 관련된 연구와 전기산업에 대한 기후변화 영향, 대형 재난에 따른 송/배전 인프라 파괴 등의 리스크 요소들에 대한 연구가 주로 이루어졌다.

여름철 폭염으로 인한 태양광 발전의 효율저하, 수명 단축으로 인한 발전부문의 경제적 파급효과를 분석하였다. UNICON (UNified Climate Options Nexus) 전력부문 상하향식 연계형 통합 모형을 이용하여 영향을 분석하였는데, 1) 폭염에 따른 태양광 패널 효율 0.75% 하락과 2) 폭염으로 인한 태양광 수명 5년 단축으로 인한 경제적 파급효과를 분석하였다.

물 산업은 수자원, 용수(생활·공업·농업) 생산·공급, 하폐수 처리 및 재이용 등 물순환 전과정을 포괄하는 사업 및 관련

서비스를 포함하고 있으며, 2018년 기준, 국내 환경산업(99조7천억 원)의 26%에 해당하는 25조 9천억 원 환경 시장을 형성하고 있는 주요 환경산업 분야이다.

기후변화에 따른 물 산업체의 직접적인 재무적 리스크 분석결과를 정량적으로 제시하기 위하여 2015년 환경부와 한국환경정책평가연구원 국가기후변화적응센터에서 국가적 차원으로 구축한 Web 기반의 기후변화 리스크 평가 시스템(CRAS: Climate Change Risk Assessment System)을 일부 활용하여 분석을 진행하였다(중간적 동의).

7.4. 적응해법 및 정책

- ✓ 기업중심의 기후위기 적응대책에 대한 지원이 필요하다(중간적 동의).
- ✓ 지역차원에서의 기후변화 적응을 위해서는 기후 변화 관련 기술의 혁신과 기존 산업의 구조전환이 연계되어야 하며, 이를 위해 각 지역의 역량을 고려한 중앙정부의 정책적 노력 필요하다(견고한 동의).
- ✓ 인공지능망 연구와 연계된 LSTM 기반의 에너지 예측 연구가 많이 진행되고 있어 향후 더 우수한 연구가 진행될 것으로 보인다(제한적 동의).
- ✓ 각 노력에 대한 이행점검방안이 확보되려면 정책 평가의 정량적 접근을 위한 연구가 요구된다(중간적 동의).

생산을 위한 원자재 수급부터 제품과 서비스 판매에 이르기까지 비즈니스 전반에 대한 기후변화 영향이 발생할 것으로 예상된다. 산업계도 기후변화로 인한 위험성을 식별하고 영향을 저감시킬 수 있는 전략을 수립할 필요가 있다. 기후변화 위험을 인식하고 사업의 기회로 변화시키기 위한 기업의 자발적인 노력이 필요하며, 과학적 접근에 따른 예측과 정보의 활용, 관리 효율성 개선, 신제품과 서비스의 개발 확대, 새로운 자금조달 방법 마련 등 다양한 방향의

기후변화 적응 전략이 필요하다(견고한 동의).

ESG 등 국제적인 경영 패러다임의 변화를 통해 기후변화는 기업이 관리해야 하는 핵심지표로 자리매김하고 있다. ESG 경영의 중요성이 부각됨에 따라 환경, 사회, 지배구조 측면에서 다양한 요소를 고려하게 되었고, 그 중에서도 특히, 환경(E) 측면에서 기후변화와 관련된 대응이 핵심아젠다로 부각됨에 따라 국내외에서는 기후변화 관련 위험 및 기회에 관한 기업들의 정보를 투자자를 포함한 대내외 이해관계자에게 효과적으로 전달할 수 있도록 하는 다양한 공시제도가 마련되어 추진 중에 있다. 이에 따라 기후변화 공시와 관련된 기업의 대응과 관련된 연구들을 고도화 하여, 산업계의 기후변화 적응을 위해서는 다양한 기후변화공시기준에 적절하게 대응하기 위한 지표들을 선정하고 분야별·업종별

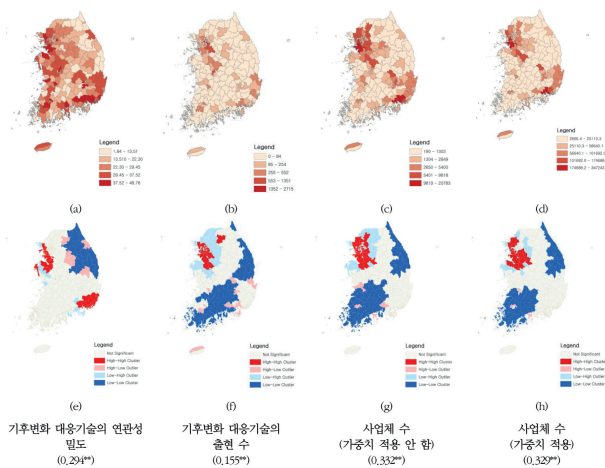


그림 7.1 시도별 지식 및 기술과 산업의 공간적 분포(상) 및 집중(하) (박기웅과 김도형, 2023).

기업의 핵심적인 환경적 요소들을 파악하고 대응하는 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다(중간적 동의).

최근 지역이 기후변화 대응기술의 혁신유형을 따르는데 있어서 기존의 지식기반과 지역적 특성이 미치는 영향을 분석한 연구에 따르면, 기후변화 대응기술의 연관성 밀도는 모든 유형에 유의하게 나타났는데, 이는 기술혁신에 기존의 지식기반이 영향을 미친다는 경로의존성 개념을 뒷받침한다. 또한 기후변화 대응기술의 혁신유형과 지식, 기술, 산업은 특정 공간에 집중되는 것으로 나타났다. 기후변화 대응을 위한 혁신을 위해 각 지역의 역량을 고려한 정책적 지원이

이루어져야 한다는 점을 시사한다.

한편, 기존 인공지능망 연구 중 가장 높은 평가를 받는 기술을 활용하여 반복 LSTM (Long Short-term Memory)된 시뮬레이션을 통해 각 신재생에너지의 발전량을 예측하는데 적합한 모델을 만들고 이를 활용하여 신재생에너지를 포함한 전력네트워크의 리스크 평가 방안을 제시한 연구에서는 Local level. 실제 데이터를 활용하기 위해 년 기후데이터를 통해 2019 LSTM 모델을 만들고 서울특별시 강서구의 계통을 바탕으로 모의계통을 만들어 리스크 평가를 진행하였다.

특히 기후변화 완화 과정에서 대규모로 도입이 예정된 신규설비는 전통적인 전기설비에 비해 극한기상에 상대적으로 취약하므로 재난관리체계의 개선이 필요하다(중간적 동의).

기후 위기에 대한 적응을 위해 설비의 설계 단계부터 기후변화에 따른 극한기상의 수준과 사건 발생의 경로에 대한 통제, 사건 발생 후의 복원에 대한 대응 등 설비 생애 전주기에서 고려 가능한 방법론을 제시하고, 리스크 요인의 생애주기 및 전력의 생애주기와 연계한 리스크 관리 체계 마련이 필요하다(중간적 동의).

미래의 시점에서 기후변화로 인해 재난으로 발전할 수 있는 리스크 요인의 식별 방법과 적응 우선순위 설정에 필요한 리스크 평가 방법론이 제시되었다. 특히 동일 대상 설비도 현재 시점과 기후변화 탄소중립 후의 미래시점은 다를 수 있으므로, 이와 같은 특성을 고려한 정책 수립 방법을 제시하였다.

7.5. 결론 및 시사점

기후변화로 인해 발생하는 영향은 산업 부문에서는 이득을 가져다 줄 수도 있으며, 피해를 줄 수도 있다. 그렇기 때문에 각 산업별로 체계화된 리스크 평가 및 적응능력 측정이 필요하다.

우리나라의 경우 현재 기 구축된 기존의 연구결과를 바탕으로 리스크 평가의 고도화 및 적응계획 수립이 진행되고 있는 과정에 있다고 생각된다. 기후변화와 연계된 기상기술은 ICT 등 4차산업 혁명과 맞물려 다양한 형태로 융복합되어

산업 및 에너지 분야에 적용되고 있는 추세이다. 특히, 기존의 리스크 평가는 컨설팅 기업 등의 주도로 진행되다 보니, 과학적 깊이보다는 체크리스트 형태로 진행되어, 정부주도의 과학적 분석이 진행될 수 있어야 한다.

이제부터라도 정부는 기후위기 적응대책 수립이 민간 산업부문까지 확산될 수 있도록 법·제도적 장치를 마련하고 이를 이행할 수 있도록 적절한 지원책을 강구하여야 한다.

급격한 사회시스템이 변화함에 따라 발생할 수 있는 위험을 최소한으로 줄이고, 대응능력을 강화할 수 있는 적응방안을 마련하는 것이 더욱 중요하다고 할 수 있다. 이제부터라도 정부는 기후위기 적응대책 수립이 민간 산업 부문까지 확산될 수 있도록 법·제도적 장치를 마련하고 이를 이행할 수 있도록 적절한 지원책을 강구하여야 한다. 기후변화 적응의 경우 지역적인 접근이 매우 중요하다고 할 수 있다.

세부적으로 기업별로는 현재 국내외적으로 도입이 진행 중에 있는 기후관련 공시에 대응하는 노력이 필요할 것으로 보인다. 따라서, 각 기후관련 공시 기준별로 요구 수준과 공통요구사항 및 차이점을 분석하는 연구를 통해 효과적인 기후공시 DB를 구축할 수 있도록 시스템을 갖출 필요가 존재한다.

시스템의 구축과 더불어 기업의 ESG 관련 이슈 중 이해 관계자와 비즈니스 측면에서 기업의 전략 및 가치에 영향을 줄 수 있는 정보들을 파악하는 연구가 부족한 실정이다. 따라서 기후리스크의 평가 및 우선순위나 수용성 확대를 위한 평가 방안이 필요한데 아직까지 이에 대한 연구가 부족한 편이다.

제 8 장 보건



8.1. 서론

IPCC에서는 기후변화에 적절히 대응하지 못할 경우 기후 관련 질병, 조기 사망, 영양실조, 정신 건강에 대한 위협 등 전 세계 사람들의 건강에 심각한 위험이 초래될 수 있음을 경고하였다. 따라서 8장에서는 기후변화가 건강에 미치는 영향을 폭염, 기상재해, 대기질과 알레르기, 매개 감염병, 정신건강 5가지 항목으로 나누어 살펴보았다.

8.2. 관측된 영향

- ✓ 기후변화로 인한 기온 상승과 폭염은 온열질환, 심혈관계 질환, 호흡기 및 알레르기 질환 등 다양한 건강 문제를 악화시키며, 이러한 건강 피해는 증가하는 추세를 보인다(건고한 동의).
- ✓ 또한, 기후변화는 기상재해(호우, 태풍 등), 대기 오염, 감염병 확산 등을 통해 건강에 부정적인 영향을 미치며, 최근에는 정신건강에도 심각한 영향을 미친다고 보고되고 있다(중간적 동의).

기후변화와 가장 밀접하게 연관되어 있는 기온 상승 및 폭염 현상은 다양한 경로로 건강에 악영향을 미친다(건고한 동의). 폭염으로 인한 열 스트레스는 생리적 반응을 손상시켜 온열질환과 같은 급성 병리학적 상태로 이어질 수 있다. 온열질환 응급실 감시체계에 따르면, 2018년에 가장 많은 온열질환자(4,526명) 및 사망자(48명)이 발생하였으며, 2020년부터 2023년까지의 연평균 온열질환자 수는 1,709명, 사망자 수는 17명으로, 2011년부터 2019년까지의 연평균 온열질환자 수(1,588명)와 사망자 수(15명)보다 증가한

추세를 보였다. 폭염은 또한 심각한 탈수나 혈전 형성을 유발하여 심뇌혈관계 질환으로 인한 건강 위험을 증가시킬 수 있다. 그 밖에도 폭염은 신장질환, 호흡기계·알레르기 질환, 정신질환 등의 위험을 높이는 것으로 알려져 있다. 한편, 최근에는 폭염 현상 외에도 기온변동폭 증가나 열대야 현상 등 기후변화와 관련된 다양한 기온 관련 현상으로 인한 건강 영향이 연구되고 있으며, 일교차가 크거나 열대야 현상이 발생할 경우 사망 위험이 증가하는 것으로 나타났다.

기상재해는 최근 한반도에 큰 피해를 가져다주었는데, 이는 인명피해뿐만 아니라 재산피해액과 피해복구액이 2020년 기준 5조 원을 넘을 정도로 막대한 재산피해를 주었다. 2020년과 2022년에 이례적인 홍수 피해가 발생하였으며, 집중호우로 인해 하천이 범람하고 지하철역과 도로 등이 침수되어 많은 재산피해가 발생했다. 특히, 이러한 피해는 2020년을 기준으로 최근 들어 뚜렷한 증가가 나타났다. 2016~2019년 동안 연평균 재산 피해액은 약 2,080억 원, 사망·실종자는 평균 29.3명, 이재민은 약 6,140명 수준이었으나, 2020~2023년에는 재산 피해액이 연평균 약 7,338억 원, 사망·실종자 73.5명, 이재민 약 20,541명으로 각각 3.5배, 2.5배, 3.3배 이상 증가하였다. 이처럼, 기상재해는 사망, 실종과 같은 직접적인 인명피해를 유발하며, 집중호우 및 태풍으로 인한 침수는 감염성 질환과 곰팡이 관련 호흡기 및 피부 질환으로도 이어질 수 있다. 특히, 우울, 불안, 불면증 등의 정신건강과 감염병 발생과도 관련성이 있음이 밝혀졌다(건고한 동의). 그럼에도 기후변화에 따른 기상재해의 건강 영향을 정량적으로 평가한 연구는 부족한 실정이다.

기후변화는 기상 요인 변화를 통해 대기질에 영향을 미칠 수 있으며, 특히 기후변화로 인한 기온 상승은 오존 농도를 증가시킬 것으로 예상된다. 인체가 대기오염에 노출될 경우 심혈관계 및 호흡기계 질환뿐만 아니라 신장질환, 정신질환, 안구 질환, 뇌신경 질환, 조산 등과 관련된 다양한 건강

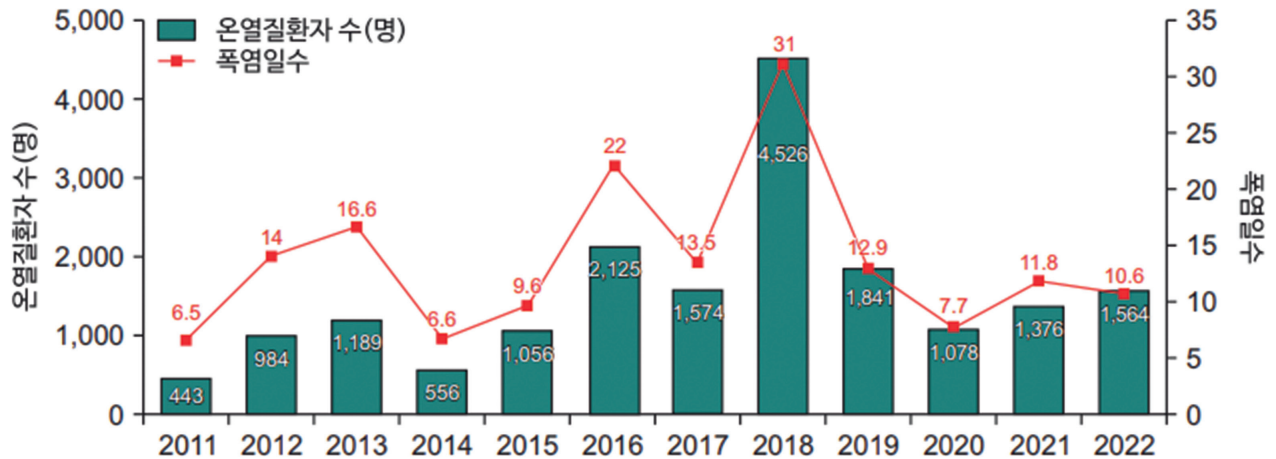


그림 8.1 연도별 온열질환자 수와 폭염일수(박성우 외, 2023).

위험이 발생할 수 있음이 잘 알려져 있다. 최근 연구에서는 기후변화와 관련하여 기온과 대기오염이 서로 영향을 주고 받으며 건강에 영향을 미칠 수 있다는 점이 보고되었으며, 미세먼지가 고농도인 환경에서 기온 상승으로 인한 사망 위험이 더 커질 것으로 예측되었다.

대기오염으로 인한 염증 반응은 알레르기성 비염과 아토피 피부염과 같은 알레르기 질환의 증상을 더욱 악화시킬 수 있다. 또한, 기후변화는 지구 온난화를 통해 꽃가루 배출 시기와 양을 변화시키고 있으며, 이와 관련하여 알레르기 질환과 호흡기 질환의 유병률과 심각성이 증가하고 있다(중간적 동의).

감염병 발생 추이를 살펴보면, 2020년을 기점으로 모두 전반적으로 감소 이후 다시 증가하는 경향이 관찰되었다. 최근 3년 동안 쯔쯔가무시증으로 인한 사망자는 2016~2019년 연평균 11명에서 2020~2023년 연평균 14.25명으로 증가하였다. 말라리아 국내 연평균 환자 수는 2016~2019년 310명에서 2020~2023년 370명으로 늘었으며, 특히 2023년에는 673명으로 급증하였다. 식중독 연평균 환자 수는 2017~2019년 7,076명에서 2020년 2,534명으로 감소 후 2023년 8,309명으로 증가하였다. 이러한 매개 감염병들의 양상 변화가 기온 상승과 강수량과 같은 다양한 기후 요소에 기인한다는 연구들이 보고되고 있다. 수인성 및 식품 매개 감염병의 경우, 병원 미생물은 기후변화에 의해 기온, 해양 온도, 습도, 강수량, 염도, 생태환경 등이 변화하면 이들 병원 미생물들의 이상 증식 및 번식이 올

수 있다. 곤충 및 설치류 매개 감염병도 기후변화로 인한 생태계 교란은 매개체 분포 확대와 밀도 증가에 영향을 주기 때문에 쯔쯔가무시증, 중증열성혈소판감소증, 렙토스피라증 및 말라리아 등의 질병발생이 기후와 밀접한 연관을 갖는다. 하지만, 현재 진행되고 있는 기후변화와 관련하여 이러한 요소들이 얼마나 영향을 받고 있고 받을 것인지에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다(중간적 동의).

기후변화는 폭염, 홍수 등 극단적인 기상현상과 대기오염, 식량 부족 등 환경적 요인을 통해 신체 및 정신건강에 부정적인 영향을 미치며, 이는 우울증, 불안, 자해 및 자살 등 다양한 정신건강 문제를 유발할 수 있다(중간적 동의). IPCC와 WHO 보고서에 따르면, 기후변화는 사회적, 경제적, 환경적 요인을 악화시켜 정신건강에 위협을 가하며, 특히 고온과 기상재해는 심리적 트라우마와 외상 후 스트레스 장애, 우울증, 수면 장애 등을 초래할 수 있다. 또한, 기후 변화에 대한 인식 자체가 불안과 스트레스를 유발하지만, 이는 환경친화적 행동으로 이어지는 긍정적 동력이 될 수도 있다는 연구 결과도 보고되었다.

8.3. 영향 전망 및 취약성

✓ 기후변화로 인해 우리나라에서는 미래에 기온 상승과 더불어 극한 고온, 강수, 대기오염, 매개 감염병, 그리고 정신건강 문제 등의 위험이 증가할 것으로 전망되며, 이로 인한 건강 피해는 지역적·사회적 취약성에 따라 불균등하게 나타날 가능성이 크다(견고한 동의).

✓ 이러한 건강 영향에 대한 정량적 평가와 기후 시나리오에 기반한 예측 연구의 강화가 필요하다.

최신 기후변화 시나리오에 따르면 우리나라의 미래 후반기(2081~2100년)의 연평균기온은 현재 대비 +2.6℃~7.1℃ 상승할 것으로 전망된다. 이에 따라 폭염 현상의 빈도와 강도가 빠르게 증가하고, 폭염 및 고온 현상으로 인한 초과 사망률도 함께 증가할 것으로 예측되고 있다. 다만, 최근 연구에서는 폭염의 건강 영향을 추정할 때 미래의 기온 뿐만 아니라 인구구조 변화와 같은 비기후적 요인을 고려하고자 하였다. 또한, 같은 폭염 현상에 대해서도 개인의 적응능력, 건강상태, 지역적 특성에 따라 건강 피해 수준이 달라질 수 있음이 보고되었으며, 이에 따라 취약 인구집단 또는 취약 지역을 대상으로 한 적절한 개입 정책의 필요성이 강조되고 있다.

기상재해에 대한 영향 전망 연구는 주로 시나리오로 인한 기온과 강수량 예측에 집중되어 왔다. 국립기상과학원은 동아시아 및 한반도 육상의 미래 기온 상승폭은 전지구 육상의 평균과 비슷하나 미래 강수량은 전지구 평균에 비해 증가폭이 크고, 미래 극한 고온 현상과 극한 강수 현상은 증가하고 극한 저온 현상은 감소할 것으로 전망하고 있다. 특히 SSP5-8.5 시나리오에서 연간 최대 일일 강수량의 경우 예상 빈도는 2021~2050의 경우 지난 30년의 약 1.0배,

2046~2075는 약 1.25배, 2071~2100는 약 1.91배 증가할 것으로 예상되었다. 한반도 내 지역에 따른 강수 취약성의 경우, 한반도 남부와 중부에서 극한 강수가 더 두드러지고, 폭설 취약성의 경우, 경상북도 성주군 지역이 가장 취약한 것으로 나타났고 부산광역시 동구 지역의 취약성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이처럼 기후변화의 영향으로 기온 상승에 더불어 극한 고온과 강수로 인한 위험이 증가하고, 지역적으로 이 피해가 균등하지 않을 것으로 전망된다.

기후변화 관련하여 대기오염의 농도는 대체적으로 현재 수준을 유지하거나 감소할 것으로 전망되고 있으며, 대기질 개선 정책의 수준은 기후변화 시나리오에 따라 달라질 것으로 예상된다. 지속 가능한 발전을 지향하는 SSP1 시나리오와 화석연료에 의존하여 발전하는 SSP5 시나리오에서는 대기 오염 관련 정책이 빠르고 광범위하게 실행될 것으로 가정되지만, 취약한 사회 성장을 고려하는 SSP3 시나리오와 양극화 성장을 고려하는 SSP4 시나리오에서는 대기오염 관련 정책이 상대적으로 느리게 진행될 것으로 예상된다. 한편, 미래 대기질이 개선됨에 따라 대기오염으로 인한 건강 영향도 따라서 감소할 것으로 예상되고 있지만, 최근에는 대기오염과 고온 현상의 상호 작용을 함께 고려해야 할 필요성도 제기되고 있다. 또한, 기후변화로 인해 꽃가루 기간이 길어지고 노출 총량이 증가하여 알레르기 질환자의 민감성이 증가할 수 있으나, 관련 연구는 아직 부족한 실정이다.

기후변화가 가속되면서 매개 감염병이 증가하는 전망이 보고되고 있다. 기온 상승으로 인한 매개체의 특징 변화와 서식지 변화로 인해 기후변화로 인한 생태계 교란은 곤충 및 설치류 매개 감염병의 질병 발생 양상에 많은 영향을 미칠 것으로 예측된다. 또한, 해외 유입 감염병의 경우에도 지구온난화로 인해 Dengue, Chikungunya, Zika 바이러스, West Nile virus와 같은 감염병의 국내 상륙 시점이 앞당겨질 것으로 보인다. 곤충 및 설치류 감염병에 대한 취약 집단은

표 8.1 기후변화 시나리오에 따른 미래 고온에 의한 고령자의 초과사망자 수(명) 및 95% 신뢰구간(임연엽 외, 2023)

기후변화 시나리오	과거(2000~2019년)	2050년대(2051~2060)	2090년대(2091~2100)
SSP2-4.5	1,042(20~2,013)	6,537(1,086~11,660)	5,474(1,409~9,249)
SSP3-7.0		9,428(2,276~16,093)	15,142(4,948~24,316)

주로 매개체와의 접촉 빈도가 높은 농촌 지역에 거주하는 고연령층에 해당한다. 예를 들어, 찻집가무시증과 중증열성혈소판감소증의 경우, 농촌 지역에 거주하는 고연령층(60세 이상)에서 주로 발생하며 농업 및 임업 종사자의 비율이 높다.

기후변화는 정신건강에도 미래에 심각한 위협을 줄 것으로 예상된다. 일본과 미국의 연구에서는 미래 기후변화 시나리오에 따라 온도 상승으로 자살률이 증가할 것으로 전망하였으며, 국내에서도 관련 연구도 수행될 필요가 있을 것이다. 한편, 기후변화가 정신건강에 미치는 영향은 연령, 성별, 사회경제적 불평등, 기저질환 등 다양한 취약성 요인과 맞물려 더욱 심화된다. 예를 들어, 아동은 적응 능력이 제한적이고, 노인은 이동성과 사회적 고립 문제가 있으며, 기존에 정신질환을 가진 사람들은 기상재해로 증상이 악화될 가능성이 크다. 따라서 시나리오 기반 기후 모델을 활용한 정량적 예측과 효과적인 대응 전략 마련이 이루어져야 할 것이다.

8.4. 적응해법 및 정책

✓ 기후변화에 대응하기 위한 보건부문 적응 대책으로는 ‘제3차 국가 기후변화 적응대책 및 국가 기후위기 적응 강화대책’, ‘기후보건 중장기 시행계획’, 그리고 ‘2050 탄소중립녹색성장위원회’가 있으며, 이들 정책은 기후변화로 인한 건강 영향을 감시하고 취약계층 보호 및 감염병 대응을 강화하는 데 초점을 맞추고 있다.

기후변화와 관련하여 보건부문의 적응대책은 크게 ‘제3차 국가 기후변화 적응대책 및 국가 기후위기 적응 강화대책’, ‘기후보건 중장기 시행계획’, ‘2050 탄소중립녹색성장위원회’로 구성된다.

제3차 국가 기후변화 적응대책(21~25) 중 건강 부문 추진 과제는 기후변화 건강영향 감시 체계를 운영하고, 기후변화에 따른 감염병 대응을 강화하며, 기후변화 취약계층 건강을 보호하는 것을 목표로 한다. 또한, 기후변화와 관련된 건강

부문의 13가지 리스크 항목을 제시하였으며, 주요 리스크 항목에 대하여는 정책적 개입의 효과가 평가되기도 하였다. 하지만 최근 기후 위기로 인한 피해가 심화됨에 따라, 사회 전반의 적응 기반 시설 확충 및 실제 적용 가능한 실행계획 중심으로 기존 대책을 보강한 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(‘23~’25)이 수립(‘23.6)되었다. 건강 부문 리스크 항목에는 한파에 의한 한랭질환 증가가 추가되어, 온열질환 외에도 한랭질환 관련 연구의 필요성이 제기되었다.

질병관리청에서는 기후변화로 인해 예상되는 건강 영향에 대하여 대응 방안 마련하기 위하여 2024년 기후보건 중장기 시행계획을 수립하였다. 기후위기에 대한 선제적 감시를 수행하고, 기후위기 대비 및 대응체계를 강화하며, 민·관 협력 및 글로벌 네트워크를 강화하며, 기후보건 적응을 위한 과학적 인프라를 구축하는 것을 목표로 한다.

감염병과 관련하여서, ‘2030 말라리아 퇴치를 향한 제2차 말라리아 재퇴치 실행계획(2024-2028년)’을 실시하여 말라리아 퇴치의 기초를 구축하는 데 중점을 두고 있다.

8.5. 결론 및 시사점

위 내용을 바탕으로 하였을 때, 향후 정책적으로 기후, 경제, 사회, 건강 요인 등을 고려하여 기후변화와 건강 영향을 평가하고 이를 기반으로 한 적응대책을 계속해서 발전시킬 필요가 있다. 또한, 기상재해의 미래 건강 영향을 정량적으로 예측하고, 불확실성을 고려하여 기후변화에 따른 감염병 발생 및 건강 영향을 평가하기 위한 연구가 더욱 활발히 이루어져야 할 것이다. 이를 위하여 기후변화 건강영향 평가에 대한 법률 및 제도의 지속적인 보완이 필요하며 관련된 국가보고서가 지속적으로 발간될 수 있는 여건이 마련되어야 할 것이다.

제 9 장 인간정주공간 및 복지



9.1. 서론

기후변화로 인해 폭염, 폭우 등 이상기상 현상의 빈도와 강도가 지속적으로 증가하는 추세로 확인된다. 인간정주공간 및 복지 부문에서는 「한국 기후변화 평가보고서 2020-기후 변화 영향 및 적응」에서 제시된 영향, 취약성, 적응해법 등을 검토하고, 2020년 이후 발간된 연구를 기반으로 내용을 최신화 하였다.

「한국 기후변화 평가보고서 2020-기후변화 영향 및 적응」에서는 ①취약계층에 대한 고려 및 기후변화 적응능력 향상 ②에너지 생산과 소비 공간의 분포 패턴 변화 ③기후변화 영향평가와 취약성평가 고도화 ④기후변화 대응을 위해 완화 및 적응까지 고려하는 포괄적인 접근 ⑤재해가 증가함에 따라 영향을 받는 요소 도출에 대한 연구가 주로 이루어진 것으로 확인되었다.

본 보고서에서는 ①취약계층에 대한 중점보호 및 영향 예측 ②기후변화와 에너지 소비량의 상관관계 ③기후변화 취약계층에 대한 정의 및 취약지역 도출 ④기후변화로 인해 발생할 것으로 예상되는 현상에 관한 연구 ⑤인구구조, 도시특성 변화가 기후변화 적응에 미치는 영향에 대한 연구의 필요성을 중심으로 서술하였다.

9.2. 관측된 영향

✓ 도시 및 인구 구조 변화로 인해 취약계층 및 취약 지역이 증가하고 있으나, 취약계층에 대한 정의 부재로 인한 구체적 정책 실현이 어려움(견고한 동의).

✓ 취약계층 대상 복지시설의 꾸준한 확대에도 불구하고, 인구구조 변화로 취약계층이 체감하는

시설의 수는 감소(견고한 동의).

✓ 기후위기 취약계층과 취약지역에 대한 명확한 정의 및 취약계층 대상 복지시설 확대 필요 (중간적 동의).

인간정주공간에서의 영향은 전국적인 단위에서 나타나는 영향과, 도시 및 농촌에서 나타나는 영향을 각각 서술하였다.

전국적인 단위에서는 출산율 감소로 인하여 전체 인구는 감소하지만 고령인구는 증가하여 초고령 사회로 진입하였으며, 이에 따라 기후변화에 취약한 취약계층의 비율이 증가할 것으로 전망된다. 또한, 전국적으로 기후재해의 빈도 및 강도가 증가함에 따라 재산 및 인명피해가 함께 증가하는 것으로 확인되었다. 재산피해 측면에서, 2020년 이전 10년(2010~2019)의 연평균 자연재해피해액은 3,883억 원으로 나타났으나, 2020년 이후에는 호우피해액만 연평균 5,000억원을 넘어서는 것으로 확인되었다.

도시지역에서는 인구 고밀화로 인한 에너지 소비량 증가와 함께 대기오염이 증가하는 것으로 확인되었고, 인구의 도시 집중화가 지속되고 있으나 충분한 인프라가 확보되지 않은 경우 피해 규모의 증가로 이어질 수 있다. 대부분의 도시는 외곽 신시가지 개발로 인해 공동화현상을 겪고 있으며, 이로 인해 소외받는 구도심 지역은 인프라 부족으로 인해 점차 기후재해에 취약한 지역이 될 것으로 판단된다. 폭염 및 한파와 같은 기온의 변화는 냉난방 증가로 이어져 에너지 사용량을 증가시킨다. 더욱이 1인가구 증가로 인해 에너지 사용량 증가는 가속화 될 것으로 판단된다. 기후변화의 주요 요인으로 지목되는 온실가스의 관점에서 도시지역은 주요 배출원으로 여겨진다. 대도시의 경우 일반 도시에 비해 단위면적당 인구수가 두 배 이상 높게 나타났고 온실가스 배출 또한 유사한 경향을 나타냈다. 서울특별시의 경우 온실가스 배출량이 지속적으로 감소하고 있으나, 전반적인

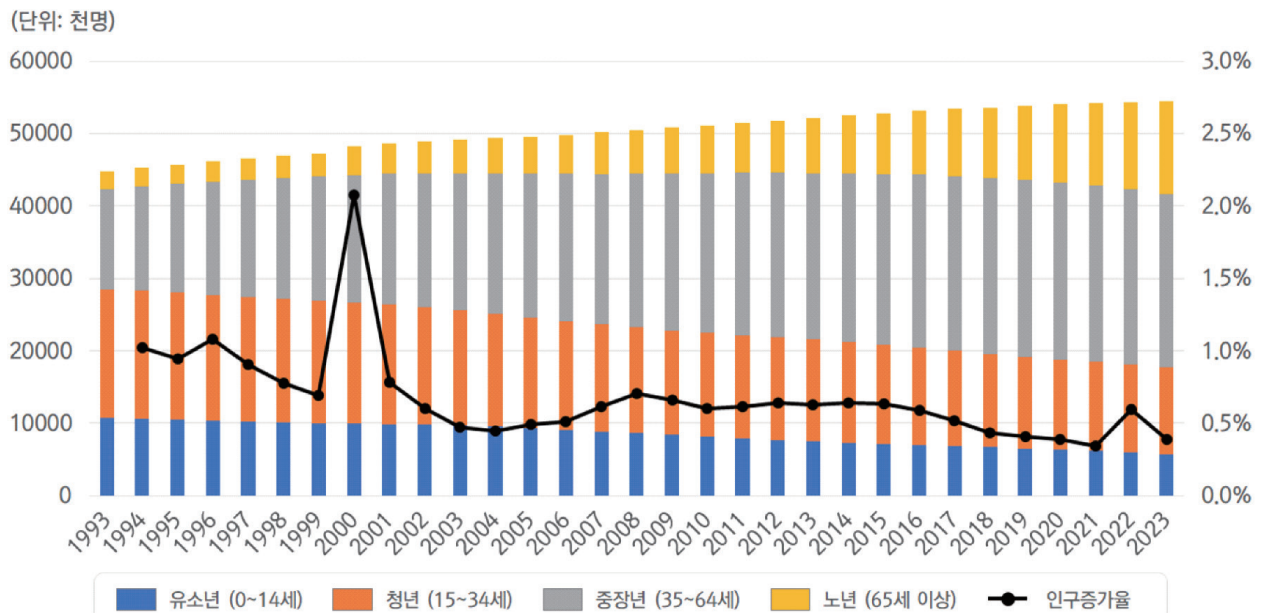


그림 9.1 주민등록연앙인구 기준 연도별 인구추이(국가통계포털을 기준으로 작성).

인구감소의 영향인지 온실가스 감축에 의한 결과인지는 확인되지 않았다.

농촌지역에서는 전반적인 인구감소로 인해 지방소멸을 겪을 것으로 예상되며, 65세 이상 노년인구 비율이 급격하게 증가하여 취약계층 증가가 예상된다. 강우패턴의 변화는 농작물 생산량에 직접적으로 영향을 미칠 뿐만 아니라, 평균저수량이 불안정해짐에 따라 농업 생산량 안정성을 위협하고 있다. 이에 따라 농가의 경영 불안정성이 심화될 것으로 판단된다.

기후변화가 복지에 미치는 영향은 주로 간접적 또는 연쇄적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 복지의 주요 대상은 기후변화 취약계층이나, 현재 기후변화 취약계층에 대하여 법적으로 명확하게 정의된 바가 없으며 각 연구 또는 정책별로 취약계층을 달리 정의하고 있다. 기후변화 취약계층은 대체로 폭염, 한파 등 극한기상 현상에 대해 매우 취약함에도 불구하고, 대체로 노출도가 높은 지역에 거주하는 것으로 나타났다. 취약계층에 대한 복지정책에 따라 복지 관련 시설은 지속적으로 증가하는 추세이다. 복지 관련 시설중 하나인 무더위 쉼터의 경우 2014년 36,422개소에서 2023년 53,411개소로 지속적으로 증가하는 것으로 확인되었다. 하지만, 인구구조 변화로 인한 고령인구 증가에 따라 노년

인구 천명당 무더위쉼터 개소수는 지속적으로 감소하는 추세인 것으로 확인되었다.

9.3. 영향 및 취약성

- ✓ 개별 정책의 효과 평가는 일부 수행되고 있으나 정책간 연계성 및 효과 평가는 정량적으로 이루어지고 있지 않음(중간적 동의).
- ✓ 기후변화적응 정책의 상호연계적인 효과평가 필요 (제한적 동의).

인간 정주공간에서는 극한기상의 빈도 및 강도 증가로 인해 직·간접적인 피해 규모가 커지고 있는 것으로 확인되었다. 「IPCC 제6차 평가보고서 제2실무그룹」에서는 기후변화로 인하여 비전염성 질환, 정신건강 등의 질환 발생 가능성이 증가할 것이라 언급하였다. 또한, 기후적응을 방해하는 요소로 재정, 거버넌스, 제도화 같은 정책적인 제약과 사회·경제적인 제약을 제시하였다(견고한 동의).

도시와 관련해서는 크게 취약계층의 증가, 취약지역의 증가, 에너지 사용 증가가 취약성으로 이어질 것으로 판단된다. 취약계층의 증가 측면에서, 인구의 도시 집중화 및 고령 1인가구의 증가가 그 원인으로 제시된다. 취약지역의 증가 측면에서는, 신시가지 개발로 인하여 공동화 현상이 발생하고, 구도심의 높은 불투수면적 비율과 건축밀도는 취약지역을 증가시킬 것으로 판단된다. 또한, 구도심에 저소득층과 노인 인구가 집적되어 취약지역에 취약계층이 밀집되어 취약성을 가중시키는 것으로 나타났다(견고한 동의). 에너지 사용 증가 측면에서는 도시지역의 인구 집중에 따라 에너지 소비가 증가하고 온실가스 배출 및 대기오염 증가로 이어진다. 대기 오염 증가는 실내 활동을 강제하는 요소로 작용하고, 이에 따라 다시 전력소비량이 증가하는 양성피드백을 나타낼 것으로 판단된다(중간적 동의).

농촌의 경우 인구가 지속적으로 감소할 뿐만 아니라 노년 인구를 제외한 연령대가 도시로 이주하고 있는 것으로 확인된다. 이에 따라 노년인구의 비율이 급격하게 높아져 취약계층이 증가하고, 지방소멸이 가속화 될 것으로 판단된다(중간적 동의). 기후변화로 인해 연 강수량이 증가하지만, 특정 시기에 집중된 강수는 안정적인 농업용수 확보에 부정적인 영향을 미친다. 또한 재배작지가 변화하고, 새로운 병해충 관련 재해가 증가하는 등 기후변화로 인해 농가 소득의 안정성이 위협받을 것으로 판단된다.

복지의 경우 복지 대상인 기후변화 취약계층에 대한 정의가 부재하다는 것이 가장 큰 취약 요인이다. 또한, 대부분의 복지는 폭염 및 한파를 대상으로 하고 있으나, 한파보다는 사망 위험이 비교적 높은 폭염 및 온열질환을 중심으로 제시되고 있어 다양한 기후재해를 보편적으로 다루고 있지 않은 것으로 확인된다. 또한, 다양한 정책이 적용되고 있는 것으로 확인되었지만, 정책간 연계성 및 효과에 대한 정량적 평가는 미비한 실정이다(중간적 동의). 폭염 완화를 위한 차열페인트(열반사 페인트) 사업은 여름철 실내 온도를 2.3℃ 감소시키는 효과가 있으며, 한파 완화를 위한 단열사업은 난방비의 36.1%를 절감시키는 효과가 있다. 하지만, 차열 페인트 사업은 겨울철 열을 반사시켜 난방비 증가로 이어지고 단열사업은 여름철 열을 가두어 에어컨이 없는 경우 열기 배출이 어렵다는 단점이 존재한다. 즉, 폭염 및 한파가

물리적으로 반대의 성질을 띠고 있어 복지정책을 펼치는 데 어려움을 주고 있는 것으로 확인되었다.

9.4. 적응해법 및 정책

- ✓ 특정 재해(폭염, 한파 등) 및 이로 인해 발생하는 특정 질환(온열질환, 한랭질환 등)에 집중된 복지 정책(견고한 동의).
- ✓ 가뭄, 고농도 미세먼지 등 다양한 기후재해와 그로 인한 질환에 대한 복지정책 고려 필요(중간적 동의).
- ✓ 인구 밀집 지역을 대상으로 예경보 시스템을 운영 중이지만, 제한적 요소가 존재함(중간적 동의).
- ✓ 다양한 기후재해와 그로 인한 질환 대비 및 예경보 시스템 고도화 필요(중간적 동의).

「한국 기후변화 평가보고서 2020-기후변화 영향 및 적응」에서 제시된 적응해법은 크게 공간특성 변화, 자연재해 대응, 기후변화 적응의 세 가지로 구분하여 제시하였다.

2022년 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄소중립기본법)」이 시행되고, 관련 추진전략 및 기본계획이 수립됨에 따라 예·경보체계 마련, 취약계층 지원 등과 관련된 내용이 강화되었다. 따라서, 본 연구를 통해 기후위기 적응에 관한 국가 방향성을 고려하여 인간정주공간 및 복지 부문의 적응해법을 제시하고자 하였다. 인간정주공간 및 복지 부문의 적응해법은 타 부문의 적응해법과 다소 연계 되는 측면이 있다. 기후변화로 인해 기후재해의 빈도 및 강도가 증가함에 따라 재산 및 인명피해 또한 증가할 것으로 예상된다. 우리나라는 주로 폭염, 폭우, 한파와 같은 기후재해에 대해 집중적으로 다루고 있다(견고한 동의).

폭염피해에 대한 적응 해법으로 회복탄력성 개선을 위한 그린인프라 도입과 함께 폭염 대응시설인 쿨링포그, 클린로드, 쿨루프, 바람길 숲이 제시되고 있다. 또한 이에 대한 실효성에 대한 과학적 분석 결과를 제공할 필요성이 있으며, 공간적으로 폭염에 취약한 지역을 식별하거나 사회적 요인들을

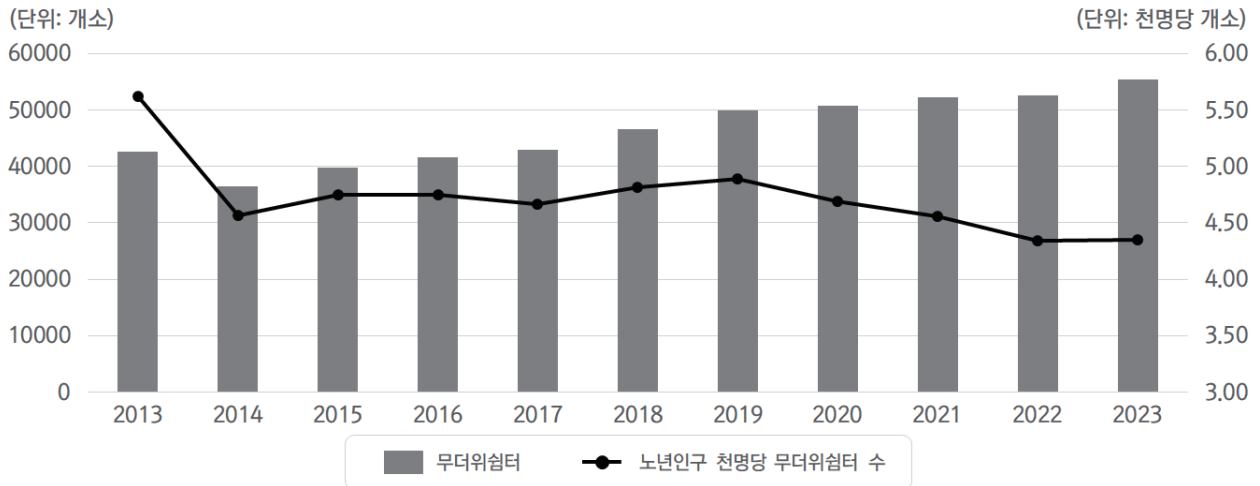


그림 9.2 연도별 무더위쉼터 현황(행정안전부, 2024)

고려하여 취약성 분석을 수행하는 등 도시 공간적 측면에서의 접근이 시급하다(견고한 동의).

폭우의 경우 홍수, 산사태 등으로 이어져 인명피해 뿐만 아니라 재산피해로 이어진다. 인간정주공간의 경우 홍수는 침수로 이어지는데, 거주지를 기준으로 행정구역 단위로 제공되는 현행 대피소 위치 및 경로 제공은 실효성이 떨어질 수 있다. 따라서, 행정경계와 관계없이 거주지별 대피소 위치 파악을 기준으로 하는 대피 전략 수립이 필요하다. 또한, 도시 침수에 대응하기 위해서 침수 데이터를 구성하고 분석함으로써 위험 지역을 사전 분석하고, 도시 침수 센서를 활용하여 실시간 위험을 분석해 시민들에게 제공할 필요가 있다(중간적 동의).

한파의 경우 저체온증, 동상 등을 유발하며, 저온에 장시간 노출시 사망위험이 증가한다. 한랭질환은 고령층일수록 증가하는 경향을 보이는데, 단열성능이 떨어지는 노후주택과 구름성 산지에 의한 기온감소가 주된 원인이다. 저층 주거지의 골목길은 체계적인 도시관리체계가 확립되지 못해 방치되어 있으며, 전반적인 온열환경 개선을 위한 방안이 미비한 실정이다. 따라서 체감온도 분포특성을 연구하는 등 극단적 이상기후로부터 대응력을 갖출 수 있는 연구가 필요하다(제한적 동의).

현행 복지정책은 대체로 특정 재해와 이로 인해 발생하는 질환, 피해에 집중된 것으로 확인되었다. IPCC는 「IPCC

제6차 평가보고서 제2실무그룹」을 통해 기후변화로 인한 정신건강 문제에 대해 고려가 필요하다고 하였다. 따라서, 주요 재해로 다루어지는 폭염, 폭우, 한파 외에 가뭄, 고농도 미세먼지 등 다양한 기후재해와 그로 인한 질환에 대한 복지정책에 대한 고려 또한 필요하다(중간적 동의).

기후재해는 위와 같은 직접적인 영향 외에 생활편의에 간접적인 영향을 미쳐 냉난방 수요를 증가시킨다. 폭염의 경우 여름철 냉방 수요를 증가시킨다. 벽면녹화는 도시 수준에서 열섬현상 저감 및 폭염저감에 효율적인 것으로 알려져 있지만, 효과를 정량화하는 연구가 부족한 실정이다. 그린인프라에 대한 기초데이터를 확보하고 정량적 효과를 도출함으로써 그린인프라 도입을 가속화 할 필요성이 있다(중간적 동의). 한파의 경우 겨울철 난방수요를 증가시킨다. 도시 가스의 수요가 급증하게 되면 늘어난 수요를 감당하지 못하여 가스공급이 중단될 수 있으며, 반대로 일일 최대수요를 과다 예측할 경우 재고의 유지 및 관리비용이 상승하여 수급관리가 비효율적으로 이루어지게 된다. 따라서, 에너지 수급의 안정을 위해 수요에 대한 정확한 예측이 필요하다.

9.5. 결론 및 시사점

국내외 문헌 및 보고서 검토를 통해 인간정주공간 및 복지

부문에 대한 기후변화 리스크를 검토해 본 결과, 기후재해의 빈도 및 강도 증가에 따라 점차적으로 리스크의 심각성이 높아질 것으로 전망된다(견고한 동의). 특히, 저출산-고령화와 인구의 도시 집중, 도시공동화 현상 심화는 취약지역과 취약 계층을 증가시킴으로써 기후변화 적응에 영향을 미칠 것으로 예상된다(견고한 동의).

인간정주공간 및 복지 부문에서 사회적 문제로 제시되는 저출산, 고령화, 인구의 도시 집중 등이 기후변화 취약성과 개별적인 요소가 아니라, 복합적인 요소임을 확인하였다(제한적 동의). 현재 기후변화 적응 측면에서 스마트 그린도시, 기후변화 대응 도시재생 등을 통해 그린인프라를 적용함으로써 기후변화에 대한 회복탄력성을 증가시키는 방향의 적응해법이 적용되고 있는 것으로 확인되었다(견고한 동의). 하지만, 현재의 대응책은 현상의 해결을 위한 것으로, 근본적인 원인에 대한 해결은 미비한 실정이다(제한적 동의). 따라서 보다 근본적인 원인을 파악하고 해결하기 위해 사회문제와 기후변화를 연계하여 분석함으로써 효과적인 대응책을 마련할 필요성이 있다.

제 10 장 적응 및 취약성



10.1. 서론

「한국 기후변화 평가보고서 2020」에서는 2008년 최초의 국가 적응계획인 ‘기후변화협약 대응 종합기본계획’을 시작으로, 20년을 계획기간으로 하는 법정계획인 제1차 및 제2차 기후변화대응 기본계획이 수립되기까지의 과정을 체계적으로 정리하였다. 또한 2016년부터 2020년까지 한반도를 대상으로 진행된 기후변화 정책 수립 및 평가 관련 주요 연구들을 종합하여 소개하였다.

이번 「한국 기후위기 평가보고서 2025」에서는 2020년 보고서 이후 새롭게 발간된 연구들을 종합하여 내용을 보다 구체화하였다. 특히 새롭게 수립된 ‘제3차 국가 기후변화 적응대책’과 ‘제3차 국가 기후위기 적응 강화대책’을 포함하여, 기후위기 속에서 심화되는 기후 관련 재난 및 피해, 그리고 이에 대한 적응대책 수립에 관한 다양한 연구 결과들을 반영하였다.

10.2. 기후위기 적응대책 수립

- ✓ 국가-광역-기초 단위 적응대책 수립 및 지원체계를 완성하고 성공적으로 확산하였다(견고한 동의).
- ✓ 과학 기반 정책, 재난 대응 강화, 국민 인식 제고 등 시기에 맞는 키워드를 바탕으로 기후변화 적응 대책을 체계적으로 수립 및 추진하였다(견고한 동의).
- ✓ 지자체 및 공공기관 적응대책 수립과정에서의 어려움을 해소하기 위한 지속적인 노력이 필요하다(견고한 동의).

한국의 기후위기 적응정책은 2008년 「기후변화협약 대응 종합기본계획」 수립을 시작으로 본격화되었으며, 2010년 「저탄소녹색성장 기본법」 제정 이후 5년 단위 법정계획으로 구조화되었다. 제1차(2011~2015), 제2차(2016~2020), 제3차(2021~2025) 적응대책을 통해 기후위기 대응 전략이 점차 고도화되었으며, 2023년에는 기후위기의 심화로 인한 기존 적응대책들의 한계를 보완하고자 ‘제3차 국가 기후위기 적응 강화대책’이 추가로 수립되었다.

국가 적응대책의 주요 전환점은 다음과 같다. ‘제1차 대책’은 감시·예측, 영향 및 취약성 평가, 부문별 적응사업을 포함하는 기초계획으로, 부처별 분담 체계와 세부과제 목록화를 통해 정부조직 중심의 대응 구조를 형성하였다. ‘제2차 대책’은 정책 정합성, 감축·적응 통합성, 이해관계자 참여, 공동편익(Co-benefit) 개념 도입 등 전략적 기반을 강화했으며, ‘제3차 대책’은 국민평가단, 정책지표와 국민체감지표 병행 도입 등 시민참여형 구조를 제도화한 것이 특징이다. 여기에 더해 ‘제3차 국가 기후위기 적응 강화대책’은 기후위험 예측 정확도 제고, AI 기반 예·경보 체계 도입, 취약계층 대응력 강화 등 정량적 대응 역량 확대에 방점을 두고 있다.

지방정부 차원에서는 2012년 광역지자체를 중심으로 적응 대책 세부시행계획 수립이 시작되었으며, 이후 기초지자체로 확대되었다. 특히 「저탄소녹색성장 기본법」 및 이후 제정된 「탄소중립·녹색성장 기본법」에 따라 모든 지자체는 5년 단위 지방적응대책 수립과 이행점검을 의무화하였다. 적응 대책 수립은 ‘기후영향 분석 → 취약성 평가 → 대책 도출’의 기본 틀을 따르며, 주요 부문으로는 건강, 재난·재해, 농수산, 산림·생태계, 물관리, 산업·에너지, 국토·연안이 있다.

광역지자체 적응계획은 초기(1·2차)에는 정성적 접근이 주를 이루었으며, 기존 정책을 나열하거나 정량적 근거 없이 우선순위를 도출하는 방식이 많았다. 그러나 제3차 계획에서는 VESTAP(취약성 평가)과 MOTIVE(기후영향 예측) 도구를 통해 정량적 분석 기반이 강화되었으며, 계획 이행에

표 10.1 3차 광역지자체 적응계획에 명시된 지자체별 이행 장애요소

구분	지자체 목록
상위계획과의 연계, 주류화 방안 부족	강원도, 경상북도, 서울특별시
인식/이해도 부족(공무원, 주민), 추진의지 부족	경상남도, 대구광역시, 세종특별자치시, 전라북도, 제주특별자치도, 충청남도
지역주민 수용성 반영 미비	부산광역시, 충청남도
부문간, 세부사업간 유사 중복성 문제	경상남도, 부산광역시, 전라북도
담당자 축소변경에 따른 연속성 문제	강원도, 광주광역시, 대구광역시
예산 추가확보의 어려움	강원도, 경상북도, 대구광역시, 부산광역시, 충청남도
이행평가 체계 미흡, 평가결과 활용방안 미비	강원도, 경상남도, 대구광역시, 대전광역시, 서울특별시, 세종특별자치시, 전라북도
관련 부서간 협력체계 부족	경상남도, 대구광역시, 대전광역시, 세종특별자치시, 전라북도
정량 및 정성지표의 불확실성 문제	경상남도, 대전광역시
지역 특성 미반영 문제	광주광역시, 서울특별시, 전라북도

있어 기존 사업과 신규사업, 보완사업 간 구성의 균형이 개선되었다. 그럼에도 불구하고 여전히 주민참여 부족, 실효성 낮은 정성지표 사용, 부서 간 협력 미흡 등은 과제로 남아 있다.

기초지자체는 국가지침에 따라 '계획준비 → 수립 → 이행'의 3단계를 따라 수립된다. 226개 기초지자체 중 대부분은 '제2차 세부시행계획(2018~)'을 이행 중이며, 실질적 대응 주체로서 적응정책의 기초단위 역할을 수행하고 있다. 환경부는 이를 매년 점검·평가하며, 결과는 「탄소중립기본법」에 따라 2050 탄소중립녹색성장위원회에 보고된다.

한편 공공기관의 기후위기 적응대책은 2016년 자발적 참여 형태로 시작되었고, 2022년 이후 법적 의무화되었다. 주요 대상은 교통·에너지·용수·환경·국립공원 등 사회기반 시설 운영기관으로, 공공시설물뿐만 아니라 관리자와 서비스 영역까지 포함하여 적응역량을 관리한다.

하지만 적응계획 수립과 이행에는 여전히 다음과 같은 장애요소가 반복되고 있다. (1) 부처·부서 간 협업 부족, (2) 정량·정성지표의 불확실성, (3) 지역 특성 미반영, (4) 기후정보 및 데이터 부족, (5) 이행평가체계 미비, (6) 계획 간 연계성과 피드백 체계 부족 등이다. 특히 협의체가 공무원 중심으로 구성되어 주민 참여나 지역 수용성이 부족하고, 이행과제 도출의 근거와 지표 체계가 미흡하여 평가와 연계되지

못하는 한계가 반복되고 있다.

향후 제4차 적응대책에서는 이행평가체계의 정비, 지역 간 정보공유 시스템 구축, 기초지자체 역량 강화, 상위계획과의 정합성 확보, 시민참여 확대 등이 핵심 과제로 제시된다. 이를 위해 환경부와 국가기후위기적응센터의 정책지원, 컨설팅, 교육훈련 등 통합적 관리 시스템이 보다 체계적으로 작동해야 할 것이다.

10.3. 기후위기 적응대책 수립 방법론 연구

- ✓ 적응대책 관련 법·제도를 뒷받침하기 위한 과학적 평가기법의 개발과 고도화가 활발히 이루어졌다 (중간적 동의).
- ✓ 시민과학 등 이해관계자 기반 의사결정의 필요성이 강조되었다(중간적 동의).
- ✓ 모니터링을 통한 정책의 효과 정량화 시도가 꾸준히 증가하고 있다(견고한 동의).

세 차례의 「기후변화 평가보고서」를 통해 기후위기 적응 대책 수립에 필요한 방법론과 기반 연구는 점차 고도화되어 왔다. 2014년에는 사전예방적(low-regret) 의사결정, 기후 자료의 신뢰성 확보, 취약성 분석 도구(CGIS), 거버넌스 인식 조사 등이 강조되었으며, 2020년에는 영향평가 고도화, 이행 평가 및 정책 우선순위 설정에 관한 논의가 본격화되었다. 2025년에는 특히 기후변화영향평가 제도 도입 이후 관련 연구의 방향성 변화와 지역단위 데이터 수집, 시민참여 기반 확산에 주목하였다.

취약성 및 리스크 평가 부문에서는 여전히 VESTAP, MOTIVE 등 기존 도구가 중심을 이루고 있으나, 상대적 지표 중심 평가의 한계와 지표 불확실성, 정책 연계성 부족 등이 반복적으로 지적되었다. IPCC AR6의 새로운 리스크 평가 프레임 도입은 미흡한 상황이며, 정량지표 기반 평가 체계의 강화 필요성이 제기되고 있다. 이에 따라 향후에는 평가 결과와 정책 이행 간 인과 구조를 강화하고, 정량지표 기반 평가 도구 개선이 요구된다(견고한 동의).

2023년 기후변화영향평가 제도 시행은 이러한 평가체계의 법제화를 촉진하였으며, 향후 지방자치단체의 세부시행계획 수립에 있어 VESTAP, MOTIVE의 활용을 제도적으로 연계하는 기초가 되었다. 이에 따라 영향평가와 적응전략 간 실질적 연결성을 확보하기 위한 정량화 기반 후속 연구가 필요하다(중간적 동의).

기후변화 인식 및 시민 참여 측면에서는 시민과학의 도입이 정책 실효성 강화의 핵심 도구로 부각되고 있다. 서울연구원, 경기연구원, 대전세종연구원 등의 사례에서 확인되듯, IoT 기반 생활기온 측정, 자율기록 시스템 등을 통해 시민 주도의 데이터 축적과 인식 제고 효과가 확인되고 있으며, 이는 지역 맞춤형 정책 설계의 토대가 되고 있다. 더불어 안전환경재단과 한국환경연구원에서는 시민참여형 기후정보 체계 구축이 확대되고 있다.

거버넌스 연구에서는 이해관계자 기반 의사결정 모델의 필요성이 강조되었으며, ADAPT-Ko 같은 의사결정지원 시스템은 사용자 중심 기후정보 통합과 행정·정책 연계 가능성을 실증하고 있다. 제주도와 같은 특수 행정구역의 사례는 지자체별 제도·지리적 특성에 따른 적응한계의 구체적 실증사례로서 정책 설계의 다층적 접근 필요성을

환기시켰다.

정책의 실효성과 우선순위 분석에 대한 연구도 확장되었다. 그린인프라, 쿨링포그, 투수성 포장 등 도시 열저감 및 홍수 대응 인프라의 열쾌적성·수문학 효과가 실험 및 모의 실험을 통해 정량화되었으며, 옥상녹화·벽면녹화의 조건별 열 저감 성능도 수치 기반으로 제시되었다. 이와 함께, AHP·ANP 같은 계층적 분석 기법을 통해 재난재해 적응대책의 중요도를 평가하는 정책 우선순위 연구도 나타났으며, 이는 향후 전략적 자원 배분의 기준이 될 수 있다.

기후변화 적응 관련 연구는 정성적 분석을 넘어 정량 기반 평가로의 전환이 진행 중이며, 정책 설계, 지역 계획, 시민참여 시스템, 기술 기반 대응책 개발을 유기적으로 연계하는 방향으로 발전하고 있다. 이러한 흐름은 향후 제4차 국가 기후위기 적응대책과 지방정부의 실행계획 수립에 핵심적인 기초자료로 기능할 것으로 기대된다.

10.4. 기후위기 적응대책 수립 시 고려사항

- ✓ 취약계층 정의의 다각화 및 지역 맞춤형 지원체계 강화가 필요하다(중간적 동의).
- ✓ 다양한 기후 재난 유형을 고려한 공간계획 중심의 적응 전략 확대 및 제도적 기반 마련이 필요하다(견고한 동의).
- ✓ 주류화, 지역 역량 강화, 민관 연계 확대를 통해 정책 실행력과 효율성을 높이는 방향으로 발전하고 있다(중간적 동의).
- ✓ 정책의 정합성과 효과성 제고를 위해 정량적 평가 기반의 근거 중심 체계 마련이 시급하다(견고한 동의).

기후위기 적응대책 수립 시 고려해야 할 주요 사항은 크게 네 가지로 요약된다. 첫째, 기후변화 취약계층에 대한 다차원적 이해와 정밀한 대응 전략의 필요성이다. 기존에는

주로 고령층 중심으로 취약계층을 정의했지만, 건강 상태, 경제 수준, 주거 환경, 사회적 고립도 등 다양한 요인을 종합적으로 고려한 다차원적 기준이 점차 강조되고 있다. 특히 정책 수립 시 기상청 수치에만 의존하지 않고 실제 체감 기온과 생활권 기반의 실태조사, IoT 센서, 공간분석 도구(SOLWEIG 등) 등을 활용해 실질적 환경 조건을 반영하는 것이 중요하다. 더불어 취약계층 정책은 폭염에 한정되지 않고 한파, 감염병, 침수 등 다양한 재난에 대한 통합 대응 체계를 수립하는 방향으로 확장될 필요가 있으며, 적응 매뉴얼 제공, 거버넌스 참여 유도 등 실천적 기반이 뒷받침되어야 한다(견고한 동의).

둘째, 지역 맞춤형 공간계획을 통한 회복력 향상이다. 침수, 열섬, 바람길 확보 등 도시 공간 구조의 변화에 따른 기후 위험을 줄이기 위한 전략이 구체화되고 있으며, 특히 쇠퇴지역이나 도시재생지역에서 재난 위험을 고려한 공간 계획 기법이 요구되고 있다. 이를 위해 도시 유형에 따른 물순환 기준, 불투수면 비율, 저감성과 공간구조 간의 관계를 고려한 정량적 계획 기법이 적용되고 있으며, 시민참여와 실증 기반 정책설계도 함께 강조되고 있다. 더불어 공간계획은 단순한 구조적 해법을 넘어서 비구조적 접근(시민조직, 지역 네트워크 등)과 연계되어야 하며, 이를 위해 관련 정책 간 정합성과 실행력 확보가 필수적이다(견고한 동의).

셋째, 기후변화 적응 전략의 발전방향이다. 적응의 주류화, 상향식 의견수렴, 지역 단위 이행역량 강화 등은 2014년부터 강조된 핵심 방향으로, 이후 보고서들에서 보다 구체화되었다. 특히 부처 간 연계, 시민체감형 정책지표 도입, 민간 영역으로의 전략 확산, 산업계 참여 기반 확대 등이 중점 과제로 제시되며, ADAPT-Ko와 같은 의사결정지원 시스템 구축은 정책 실행의 효율성을 높이는 수단으로 부각되고 있다(중간적 동의). 메가시티 및 초대형 재해 대응을 위한 예측·복합대응·복원력 확보 전략, 국토종합계획 내 적응 전략 반영 등 중장기적 국가 대응 로드맵도 제시되고 있다.

마지막으로, 기존 적응정책의 효과성·정합성을 높이기 위한 기술적·제도적 기반 확충이 필요하다. 폭염과 침수 중심의 연구 외에도 황사, 산사태, 가뭄, 토석류 등 다양한 재해에 대한 구체적 대응 전략이 부재한 실정이며, 각 재난 유형에 적합한 공간계획 수단 개발, 정책 간 중복 방지 및

연계 강화가 필요하다. 정책 설계는 정성적 판단을 넘어 정량적 평가와 우선순위 분석을 통해 근거 기반 정책으로 전환되어야 하며, 이를 위한 데이터 수집 체계, 평가 지표 고도화, 시민 인식 기반 확산 전략이 병행되어야 한다(견고한 동의).

정책결정자를 위한 요약서

한국 기후위기 평가보고서 2025

- 기후위기 영향 및 적응 -

발 행 인 환경부장관

총괄편집 환경부(박정철, 이현민, 김하은)
국립환경과학원(이대균, 유은진, 홍정기, 최희영)

발 간 일 2025년 9월

주 소 (30103) 세종특별자치시 도움6로 11 정부세종청사 6동 환경부
(22689) 인천 서구 환경로 42(종합환경연구단지) 국립환경과학원

연 락 처 Tel. 044-201-6953, 032-560-7290

누 리 집 www.me.go.kr, www.nier.go.kr/naccc

ISBN 978-89-6558-570-1(93530)

NIER-GP2025-074



본 보고서의 내용 사용시 출처를 표시해야 하며
비영리 목적으로만 이용할 수 있습니다.