

# 인구와 기후변화: 주요 이슈와 대응 과제

우해봉·임지영



사람을  
생각하는  
사람들



KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS



한국보건사회연구원  
KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS



## 연구진

연구책임자 **우해봉** 한국보건사회연구원 연구위원  
공동연구진 **임지영** 한국보건사회연구원 전문연구원

연구보고서 2024-05

## 인구와 기후변화: 주요 이슈와 대응 과제

발행일 2024년 12월  
발행인 원장직무대행 강혜규  
발행처 한국보건사회연구원  
주소 [30147]세종특별자치시 시청대로 370  
세종국책연구단지 사회정책동(1~5층)  
전화 대표전화: 044)287-8000  
홈페이지 <http://www.kihasa.re.kr>  
등록 1999년 4월 27일(제2015-000007호)  
인쇄처 에코디자인

© 한국보건사회연구원 2024  
ISBN 979-11-7252-022-9 [93330]  
<https://doi.org/10.23060/kihasa.a.2024.05>

## 발|간|사

고령화와 더불어 전체 인구가 본격적인 감소 국면에 진입함으로써 급격한 '인구변동'은 한국 사회가 직면한 가장 중요하고도 풀기 어려운 문제가 되고 있다. 비록 선진국 대부분의 출산율이 대체출산율에 미치지 못하는 상황이지만, 우리나라의 저출산 현상은 전 세계적으로 유례를 찾기 어려울 정도로 극단적인 양상을 보여 준다. 급속히 전개되는 인구학적 문제에 본격적으로 대응하기 위해 2005년에 대통령 직속 저출산·고령사회 위원회를 설치하고 '저출산·고령사회 기본계획'을 수립한 지도 20년이 가까워지고 있지만, 현재까지도 문제 해결의 뚜렷한 실마리를 찾지 못하고 있다.

한편 인구변동과 마찬가지로 '기후변화'도 재난-안전, 건강-복지, 경제, 생태계 등에 광범위한 파급 효과를 미칠 것으로 전망되는 전 세계적 이슈이다. 기후변화의 위기적 측면을 강조하기 위해 최근에는 '기후위기'라는 용어가 빈번히 사용되는 한편 지구 온난화(global warming) 시대가 끝나고 지구 열대화(global boiling) 시대가 도래했음이 지적되고 있다(United Nations[UN], 2023). 이에 따라 온실가스 배출량을 줄이고 기후변화가 초래할 수 있는 위험에 성공적으로 대응하기 위한 다양한 국제적 논의가 진행 중이다.

인구 고령화와 지구 온난화가 전 세계적으로 많은 주목을 받는 동시에 밀접하게 연관된 이슈들이지만, 국내 인구학계에서는 현재까지도 인구와 기후변화를 둘러싼 쟁점과 대응(완화-적응) 과제에 대한 논의가 거의 전무한 상황이다. 비록 외국과 비교할 때 상당히 늦었지만, 우리나라 또한 인구와 기후변화가 상호작용하여 초래할 수 있는 문제에 적극적으로 대응하는 정책 방향을 검토할 필요가 있다. 인구와 기후변화 모두

---

문제 해결에는 적기 대응이 중요하며, 제때 적절한 대응이 이루어지지 못하면 그 부정적 파급 효과가 매우 클 수 있다. 또한 인구와 기후변화 모두 느리게 변화하는 속성으로 인해 일상에서 그 변화 양상을 정확히 인지하기 어려운 동시에 결정적인 변화가 나타난 후에 이루어지는 정책적 대응은 효과성이 떨어질 개연성이 높다.

이러한 배경하에 이 연구는 인구와 환경이 상호작용하는 주요 영역 중의 하나인 기후변화를 중심으로 주요 인구학적 이슈와 대응 과제를 살펴본다. 특히, '완화'와 '적응' 이슈를 모두 아울러 인구와 기후변화 간에 존재하는 광범위하고도 복잡한 상호적 관계를 고려하여 이 연구는 인구와 기후변화에 관한 특정 주제(예컨대, 기후변화와 건강-사회보장)에 초점을 맞추지 않고, 인구-기후변화와 관련한 연구의 분석 틀과 발전 과정, 기후변화의 현재와 미래 전망, 인구와 기후변화의 상호 관계와 주요 이슈, 인구와 기후변화 관련 대응 과제를 모두 아우름으로써 인구와 기후변화에 관한 종합적인 이해를 도모하고자 한다.

이 연구는 본원의 우해봉 연구위원이 책임을 맡아 수행하였으며, 임지영 전문연구원이 공동 연구진으로 참여하였다. 연구의 진행 과정에서 귀중한 조언을 해 주신 국토연구원의 윤은주 박사님과 본원의 신윤정 박사님께 감사의 말씀을 전한다. 마지막으로 이 보고서에 포함된 모든 내용은 연구진의 개인적 의견이며, 본원의 공식적인 견해가 아님을 밝힌다.

2024년 12월

한국보건사회연구원 원장직무대행

강혜규

# 목 차

KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS



<b>요 약</b> .....	<b>1</b>
<b>제1장 서론</b> .....	<b>3</b>
제1절 연구의 배경 및 목적 .....	5
제2절 연구의 내용 및 용어 .....	17
<b>제2장 인구-기후변화 연구의 분석 틀과 발전 과정</b> .....	<b>27</b>
제1절 인구-기후변화 연구의 분석 틀 .....	29
제2절 인구-기후변화 연구의 발전 과정 .....	50
<b>제3장 기후변화의 현재와 미래</b> .....	<b>63</b>
제1절 기후변화의 현황 .....	65
제2절 기후변화의 미래 시나리오와 전망 .....	77
<b>제4장 인구와 기후변화: 상호 관계와 주요 이슈</b> .....	<b>109</b>
제1절 서론 .....	111
제2절 기후변화에 대한 인구의 영향 .....	112
제3절 인구에 대한 기후변화의 영향 .....	132
제4절 기후변화와 인구동태 .....	167
<b>제5장 인구와 기후변화: 대응 과제</b> .....	<b>189</b>
제1절 기후변화 대응 정책의 기본 방향 .....	191
제2절 기후변화 대응 정책의 주요 과제 .....	208



제3절 기후변화 대응 정책의 기반 강화 .....	235
<b>참고문헌</b> .....	<b>249</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>289</b>

# 표 목차

KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS



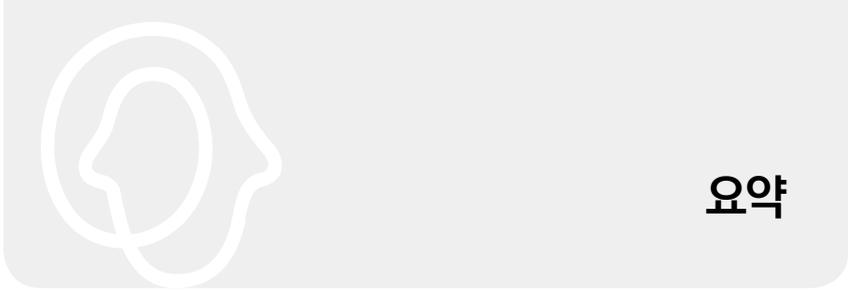
---

〈표 3-1〉 공통사회경제경로(SSPs)의 인구 및 인적자본 구성 요소 정의 .....	100
〈표 3-2〉 SSP 시나리오별 지구 표면 온도 변화 .....	103
〈표 5-1〉 2010~2020년 센서스 조사 항목 및 기후변화 취약성/적응력 관련성 .....	246

# 그림 목차

---

[그림 2-1] 인구변동과 기후변화 연구의 분석 틀 .....	33
[그림 2-2] 인구-발전-환경 변화의 전개 양상 도식화 .....	37
[그림 2-3] 인구-환경 악순환 모델의 도식화 .....	60
[그림 3-1] 연간 평균 온도 편차(좌) 및 지구 표면 온도 변화(우) .....	66
[그림 3-2] 해양 열수지(Ocean Heat Budget) 추이: 1960~2019년 .....	70
[그림 3-3] 지구 평균 표면 온도 변화(편차) 추정치 및 전망치 .....	73
[그림 3-4] 1850~1900년(평균) 대비 지구 표면 온도 변화(편차) .....	75
[그림 3-5] 기후 모델의 격자 구조(좌) 및 IPCC 기후 모델의 공간 해상도 변화(우) .....	81
[그림 3-6] Charney 및 IPCC 보고서의 평형 기후 민감도(ECS) .....	87
[그림 3-7] 배출 시나리오에 대한 IPCC 특별보고서의 배출 시나리오 도식화 .....	93
[그림 3-8] 공동사회경제경로(SSPs) 논리 체계(기본 SSPs) 및 개발 과정의 도식화 .....	97
[그림 3-9] SSPs 시나리오별 전체(좌) 및 교육 수준별(우) 세계 인구 전망: 2010~2100년 .....	102
[그림 3-10] SSP 시나리오별 CO <sub>2</sub> 배출량(좌) 및 1.5°C/2.0°C 온난화 제한 경로(우) .....	105
[그림 3-11] IPCC 시나리오별 지구 표면 온도 변화(좌) 및 AR5-AR6의 전망치 비교 .....	106
[그림 4-1] 지역별 온실가스 배출(2019년; 좌) 및 요인별 분해(2010~2019년; 우) .....	116
[그림 4-2] IPCC 제6차 평가보고서(AR6)의 기후변화 위험 평가의 도식화 .....	136
[그림 4-3] 기온의 평균 및 분산 변화가 극한 기온에 미치는 영향의 도식화 .....	141
[그림 4-4] 연평균 기온(좌) 및 연간 인구성장률(우)의 분포 .....	143
[그림 4-5] 자연재난에 따른 인명(상) 및 경제(하) 피해 위험의 전 지구적 분포 .....	151
[그림 5-1] 기후변화와 재난 위험 대응의 통합적 접근 .....	226
[그림 5-2] 주요 대기오염물질과 온실가스의 관계 .....	231
[그림 5-3] 환경 오염과 기후변화 정책의 연계/통합 .....	233



## 1. 연구의 배경 및 목적

이 연구는 인구와 환경이 상호작용하는 주요 영역 중의 하나인 기후변화를 중심으로 주요 인구학적 이슈와 대응 과제를 살펴본다. 인구와 기후변화 간에 존재하는 광범위하고도 복잡한 상호적 관계를 고려하여 인구-기후변화에 관한 연구의 분석 틀과 발전 과정, 기후변화의 현재와 미래 전망, 인구와 기후변화의 상호 관계와 주요 이슈, 인구와 기후변화 관련 대응 과제를 모두 아울러 인구와 기후변화에 관한 종합적인 이해를 도모하고자 한다.

## 2. 주요 연구 결과

첫째, 인구와 기후변화의 관계에 관한 개념적인 분석 틀과 환경 이슈를 둘러싼 인구학적 논의의 발전 과정이다. 인구와 기후변화의 관계를 분석하는 기본 틀을 구성하고 인구와 기후변화의 상호적 관계 그리고 발전, 과학-기술, 제도-정책, 문화 등 이러한 관계를 조정하는 다양한 요인을 살펴보았다. 또한 환경 이슈에 관한 인구학적 연구의 역사 및 최근까지의 인구학적 연구에서 환경 이슈가 주요 주제로 자리 잡지 못한 배경을 검토하였다. 둘째, 인구와 기후변화 논의의 기초가 되는 기후변화의 현재와 미래 전망을 살펴보았다. 특히 기후변화의 전망은 장기적 안목에서 기후변화가 초래하는 위험을 '선제적으로' 파악하여 부정적 파급 효과를 최소화하는 정책의 기초가 된다. 세부적으로 지구의 표면 온도 변화, 해양 열용량 변화 등 지구 온난화의 주요 근거와 기후변화에서 인간 활동의 영향력에 관한 논의를 검토하였다. 또한 기후변화의 과거와 함께 기후 모델의 기초 및 기후변화 전망 시나리오 등 기후변화의 미래 전망과 관련된 주요 이슈들을 살펴보았다.

## 2 인구와 기후변화: 주요 이슈와 대응 과제

셋째, 인구와 기후변화의 상호적 관계와 주요 이슈를 분석하였다. 현실에서 인구와 기후변화의 관계는 상호 영향을 주고받고 다양한 매개 및 조절 요인이 개입하는 복잡한 양상을 보인다. 이 연구에서는 인구가 기후변화에 미치는 영향과 기후변화가 인구에 미치는 영향으로 구분하여 영향의 세부적 내용과 작동 기제 및 관련 이슈들을 분석하였다. 또한 현재까지 기후변화가 출산, 사망, 이동에 미치는 영향에 관한 종합적인 정리와 관련 이슈에 대한 분석이 매우 부족하다는 점에서 ‘기후변화와 인구동태’를 별도의 절에서 검토하였다. 넷째, 인구와 기후변화 대응 정책 과제이다. 인구-기후변화 대응 정책의 기본 방향과 주요 기후변화 대응 과제를 논의하였다. 기후변화에 대한 ‘적응’이 지속 가능한 발전, 재난 위험, 환경 오염 등과 밀접히 연관된 이슈라는 점에서 기후변화에 대응하는 정책에서는 ‘특화된’ 접근 대신에 ‘통합적’ 접근의 중요성이 강조될 필요가 있다. 또한 인구추계 등 기후변화 전망의 인구학적 기초를 다지는 한편 기후변화 대응 전략을 수립하기 위한 인구통계의 구축 등 기후변화 대응 정책의 기반 강화 방안을 검토하였다.

## 3. 결론 및 시사점

인구와 기후변화 대응 정책에서는 공감대가 높고 논란이 적은 지점에 우선순위가 부여될 필요가 있다. 기후변화에 대응하는 인구정책에서도 인간 개발과 재생산권 보장이 핵심이지만, 다른 한편으로 인구정책을 다른 이슈들과 구분하여 별개로 추진하는 대신에 인구와 기후변화의 문제를 ‘발전’과 연계하여 통합적으로 대응할 필요가 있다.

주요 용어: 인구, 기후변화, 완화, 적응, 인구정책

사람을  
생각하는  
사람들



KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS



# 제 1 장

## 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

제2절 연구의 내용 및 용어



# 제 1 장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

고령화와 더불어 전체 인구가 본격적인 감소 국면에 진입함으로써 급격한 ‘인구변동’(demographic change)은 한국 사회가 직면한 가장 중요하고도 풀기 어려운 문제가 되고 있다. 비록 선진국 대부분의 출산율이 대체출산율(replacement-level fertility)에 미치지 못하는 상황이지만, 우리나라의 저출산 현상은 전 세계적으로 유례를 찾기 어려울 정도로 극단적인 양상을 보여 준다. 급속히 전개되는 인구학적 문제에 본격적으로 대응하기 위해 2005년에 대통령 직속 저출산·고령사회 위원회를 설치하고 ‘저출산·고령사회 기본계획’을 수립한 지도 20년이 가까워지고 있지만, 현재까지도 문제 해결의 뚜렷한 실마리를 찾지 못하고 있다. 잘 알려져 있듯이 현 정부 들어서는 인구 관련 문제를 전담하는 부처의 신설을 통해 인구 문제에 대응하는 방안을 모색하고 있다.

한편 인구변동과 마찬가지로 ‘기후변화’(climate change)도 재난-안전, 건강-복지, 경제, 생태계 등에 광범위한 파급 효과를 미칠 것으로 전망되는 전 세계적 이슈이다. 기후변화의 위기적 측면을 강조하기 위해 최근에는 기후위기(climate crisis)라는 용어가 빈번히 사용되는 한편 지구 온난화(global warming) 시대가 끝나고 지구 열대화(global boiling) 시대가 도래했음이 지적되기도 한다(United Nations[UN], 2023). 이에 따라 온실가스 배출량을 줄이고 기후변화가 초래할 수 있는 위험에 성공적으로 대응하기 위한 다양한 국제적 논의가 진행 중이다.

우리나라도 2010년에 ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 제정하고, 녹색성장

국가전략(상위계획)과 녹색성장 5개년 계획(하위계획)을 수립하기 시작했다. 2015년에 파리 협정이 채택됨에 따라 2016년에는 ‘제1차 기후변화 대응 기본계획’을 수립하였다. 기후변화 문제가 더욱 심각해짐에 따라 2021년에는 2050년까지 탄소중립 사회로 이행하기 위하여 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법’(탄소중립기본법)을 제정하였고, 2023년에는 ‘국가 탄소중립 녹색성장 국가전략’과 ‘제1차 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획’을 수립한 바 있다(대한민국 정부, 2023).

기후변화 문제가 개별 국가 차원에서 해결하기 어려운 국제적 이슈인 동시에 한국 사회가 경험하는 인구변동의 심각성으로 인해 현재까지 국내에서는 인구변동과 기후변화가 상호작용하여 초래하는 파급 효과에 대해서는 그렇게 관심이 높지 않다. 그럼에도 Lutz and Striessnig(2015, p. S69)가 지적한 것처럼 인구변동과 기후변화의 상호작용에서 발생하는 문제가 21세기에 인류가 직면할 가장 중요한 도전이 될 개연성이 높다는 점에서 이에 대응한 체계적인 준비가 필요한 시점이다.

기후변화의 파급 효과를 고려할 때 기후과학 분야를 넘어 인구학 같은 사회과학에서도 기후변화에 대한 관심이 필요하지만, 인구변동과 비교할 때 기후변화는 그 원인과 파급 효과를 분석하기가 더욱 어려운 주제이다. 예컨대, 인구변동과 비교할 때 기후변화에 관한 논의에서는 자료상의 제약이 훨씬 크며, 결과적으로 그 해석을 둘러싼 견해차도 작지 않다. 특히 지구의 기후 시스템을 이해하기 위해서는 지구 표면의 대략 70%를 차지하고, 기후 시스템에서 발생한 초과 에너지의 대부분을 흡수하는 해양 시스템을 이해해야 하지만, 육지 데이터와 비교할 때 해양 데이터의 수집은 현재까지도 쉽지 않은 과제이다. 예컨대, 인공위성을 활용해 해수면 온도를 측정하기 시작한 지 불과 반세기 정도밖에 되지 않는다. 또한 아르고(Array for Real-time Geostrophic Oceanography: ARGO) 로봇 부

표(플로트) 시스템을 통해 수심 1km 이상의 해양 특성을 기록하기 시작한 것이 불과 2000년부터인데(Koonin, 2022, p. 62), 이러한 아르고 시스템을 통해 비로소 전 지구적 차원에서 수심 700~2,000m 깊이의 해양 특성에 대한 체계적인 측정이 가능해졌다(Intergovernmental Panel on Climate Change[IPCC], 2021, p. 177).<sup>1)</sup>

기후변화에 관한 논의의 어려움은 기후변화 이슈가 지닌 정치사회적 파급력에 비해 그 원인과 영향을 둘러싼 불확실성이 매우 큰 것과도 관련이 있다. 기후변화만큼 과학적 논의와 정치적 논의가 혼재된 이슈를 찾기도 어렵다. 특히 기후변화와 관련한 전문적 지식이 없는 일반 대중은 기술적인(technical) 측면이 강한 과학적 논의를 ‘직접’ 검토하는 대신에 언론매체 등을 통해 요약되어 전달되는 정보에 의존하는 경향이 강하며, 이러한 과정에서 과학적 논의에 본질적으로 내재한 불확실성이 제대로 전달되지 못하거나 전달자가 보유한 시각에 의해 과학적 논의가 변형될 개연성도 있다. 또한 심층 보도보다는 시간에 쫓기는 경쟁적 보도와 독자층 확보가 더욱 중요해진 언론 환경 속에서 독자들을 유도하는 자극적 표현 없이 언론이 과학적 사실에만 기초하여 정보를 전달하기도 쉽지 않다. 연구자를 포함한 전문가 집단도 예외가 될 수는 없는데, 윤리적 의무나 정치적 지향을 과학적 사실과 엄밀히 구분하지 않거나 기후변화 관련 논의에 수반된 불확실성을 정보 사용자에게 충실히 제공하지 않음으로써 기후변화를 둘러싼 정확한 사실 파악을 어렵게 하는 원인이 되기도 한다.

기후변화 논의에서 핵심 이슈 중의 하나는 ‘인간 활동’이 기후에 미치는 영향과 그 결과로 자연 생태계와 인간 사회에 나타나는 부정적 파급 효과이다. 인간이 기후에 미치는 영향이 기후변화 논의의 핵심에 있다는 점은 UN

1) 우리나라 또한 2001년부터 한반도 주변 해양을 감시하기 위해 ARGO 국제 공동연구 프로그램에 참여 중이다. 2023년 9월 현재 우리나라에서는 국립기상과학원의 10기와 한국해양과학기술원의 9기를 포함하여 총 19기가 운영 중이다(김백조 외, 2023, pp. 562-563).

의 기후변화 정의에서도 찾아볼 수 있다. UN은 1992년에 체결된 기후변화에 관한 UN 기본 협약(유엔기후변화협약; United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)에서 ‘기후변화’(climate change)를 지구의 대기 구성을 변화시키는 직간접적인 인간 활동에 의한 기후의 변화로서 동일한 기간에 관측된 기후의 자연적 변동성(natural climate variability)에 추가하여 이루어지는 변화로 정의한다(UN, 1992, p. 7).<sup>2)</sup> 이 정의에서 볼 수 있듯이 UN의 기후변화 정의에서는 기본적으로 자연적 원인에 기초한 변화는 배제된다. 결국 기후변화에 관하여 과학적으로 엄밀한 논의를 진행하기 위해서는 기후에서 나타나는 변화를 인간 활동에 의해 초래되는 변화와 내재적 혹은 자연적 원인에 의한 변화로 구분하는 작업이 필요하다. 그러나 기후변화와 극한 기상 및 그 파급 효과의 원인이 항상 명확히 규명될 수 있는 것은 아니다.

참고로 인위적 원인에 초점을 맞춘 UNFCCC의 정의와 달리 세계기상기구(World Meteorological Organization: WMO)와 국제연합환경계획(United Nations Environment Programme: UNEP)이 공동으로 설립한 ‘기후변화에 관한 정부 협의체’(IPCC)는 지속적인 인간 활동에 의한 대기의 구성이나 토지 이용에서 나타난 변화(anthropogenic change) 뿐만 아니라 자연적인 내적 과정(natural internal processes)이나 태양 주기의 조정, 화산 폭발 같은 외적 강제력(external forcings)에 기인한 변화를 포함하여 기후변화를 광의로 정의한다(IPCC, 2023, p. 122).<sup>3)</sup>

---

2) UNFCCC에서 사용한 기후변화 정의의 원문은 다음과 같다. “Climate change means a change of climate which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and which is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods” (UN, 1992, p. 7).

3) 기후과학에서 사용하는 ‘강제력’(forcing) 용어(예컨대, 복사강제력)는 일반 사회과학에서 찾아보기 어려운 용어(번역)이지만, 사회과학 분야에서 빈번히 사용하는 ‘영향력’이나 ‘효과’ 등과 유사한 의미를 지닌 표현으로 볼 수 있다.

비록 IPCC가 기후변화의 원인과 관련하여 포괄적인 접근을 취하지만, 인위적 및 자연적 원인에 의한 변화 모두에 관심을 기울이는 UNFCCC와 달리 IPCC는 인간 활동에 의해 초래된 기후변화에 초점을 맞추어 기후 변화에 관한 논의를 진행하는 것으로 알려진다(McGuffie & Henderson-Sellers, 2014, p. 211).

기후변화를 포함한 환경 분야 연구의 어려움에도 불구하고 인구와 환경(자연 자원)의 관계에 관한 맬서스(T. R. Malthus)의 ‘인구론’처럼 환경에 대한 인구학적 관심은 오랜 역사를 가진다. 또한 UNFCCC의 정의처럼 기후변화 논의에서 기후에 대한 인구(인간 활동)의 영향이 핵심이기에 인구에 관한 과학적 분석을 지향하는 인구학에서 기후변화가 주요 이슈로 자리매김할 잠재력은 상당하다. 그러나 최근까지도 인구학적 논의에서 기후변화를 포함한 환경에 대한 관심이 높지 않았고 연구 분야 또한 대체로 협소한 모습을 보였다. 물론 다양한 학문 영역을 가로지르는 기후 변화 문제를 제한된 시각에 기초하여 분석하는 것은 인구학만이 아니라 사회과학 일반이 공통으로 가지고 있는 문제라고 할 수 있다(Lutz & Striessnig, 2015, p. S69). 이는 기본적으로 생태학자나 환경운동가들이 인간과 인간 이외의 생물종을 모두 아우른 생물 다양성을 강조하는 것과 달리 대부분의 사회과학자는 환경 변화가 ‘인간’에 미치는 영향에 초점을 맞추는 것과 관련이 있다(Pebley, 1998, p. 377). 기본적으로 사회과학에서는 인간 이외의 생물종이나 자연환경은 인간에게 필요하거나 유용한 것으로 인식되는 한에서 그 가치를 인정받는 것이다.

비록 1960년대 후반부터 1970년대 초반까지 환경 분야(특히 환경 운동)에서 인구(특히 인구 성장)가 주요 이슈로 주목을 받았지만, ‘인구와 재생산권’을 둘러싼 정치적 논란(특히 가족계획, 인공임신중절)과 환경 관련 정치 지형의 변화, 그리고 생물 다양성의 감소와 기후변화 같은 새

로운 환경 관련 이슈들의 등장으로 인구는 환경 운동 의제에서도 점차 주변화되는 모습을 보였다(Speidel et al., 2009, p. 3049). 인구와 환경의 관계에 관한 최근의 논의는 UN이 주도하는 새천년발전목표(Millennium Development Goals: MDGs)와 뒤를 이은 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals: SDGs) 체제에 기초하여 이루어지고 있다. 비록 MDGs와 이를 이어받은 SDGs 체제에서도 '인구'와 '환경'이 주요 이슈로 포함되어 있지만, 수많은 이슈를 포괄하는 이들 체제에서 복잡하게 얽힌 인구와 환경의 상호적 관계에 관한 체계적인 논의는 여전히 부족한 상황이다.<sup>4)</sup>

사실 인구와 환경의 상호적 관계에 관한 관심은 이미 UN의 설립 시점부터 시작되었다. 비록 '인구와 발전'에 초점을 맞추었지만, 1974년(부쿠레슈티), 1984년(멕시코시티), 1994년(카이로)의 국제인구개발회의(International Conference on Population and Development: ICPD)에서도 인구, 발전, 환경의 문제가 논의된 바 있다. 그러나 인구와 환경의 관계에 대한 참가국의 시각이 첨예하게 대립한 관계로 원론적인 수준의 언급에 그친다. 후속으로 2000년대 이후 추진된 UN의 MDGs와 SDGs는 이러한 상황의 연장선으로 볼 수 있으며, 1994년의 카이로 국제인구개발회의(ICPD)를 기점으로 이루어진 인구정책의 패러다임 전환은

4) 국내에서는 환경부 산하 지속가능발전위원회가 인구, 발전, 환경을 아우른 SDGs를 이행하기 위한 과제를 점검한 바 있지만(K-SDGs), 인구변동에 대해서는 피상적인 수준의 논의만이 이루어졌다. 예컨대, 2018년 국가지속가능성 보고서(환경부, 지속가능발전위원회, 2018, p. 158)는 인구변동 부분의 지표로 인구증가율, 인구밀도, 고령인구 비율을 제시한 바 있다. 가장 최근인 2022년 국가지속가능성 보고서(환경부, 한국환경연구원, 2022, p. 34)에서도 K-SDGs 목표 3(건강하고 행복한 삶 보장)의 세부 목표 3-8(대한민국의 저출생 극복과 인구 고령화 대비)을 측정하는 지표로 1) 영아사망률, 2) OECD 더 나은 삶의 질 지수(Better Life Index), 3) 치매안심센터의 치매 환자 등록 및 관리율, 4) 기능적 제약이 없는 노인인구의 비율을 제시하는 등 인구변동에 관한 논의는 대체로 형식적 수준에 그치고 있다. 참고로 2022년에 다시 제정된 '지속가능발전 기본법'에 따라 지속가능발전위원회는 지속가능발전 국가위원회로 대체되었다. 지속 가능한 발전을 둘러싼 문제는 제5장에서 좀 더 심층적으로 검토한다.

UN 주도의 국제적 논의에서 인구학적 이슈가 더욱 주변화되는 계기가 되었다고 볼 수 있다.

인구와 기후변화를 둘러싼 연구의 어려움은 기후변화 대응 정책을 둘러싼 시각에서 더욱 분명히 드러난다. 예컨대, 인구와 기후변화 논의에서 가장 잘 알려진 주장은 이른바 ‘선진국 시각’(The Northern Perspective)으로 명명되는 접근이다(Hummel et al., 2009, p. 3). 기본적으로 이 시각은 개발도상국의 고출산과 이에 따른 급격한 인구 증가가 기후변화에 부정적 파급 효과를 초래할 개연성이 높으며, 가족계획(family planning)이 기후변화에 대응하는 비용 효과적인 방법일 수 있음을 주장한다(Bongaarts & O’Neill, 2018; Speidel et al., 2009). 반면에 그 대척점에는 가족계획이 빈곤, 건강, 환경 등 개발도상국이 직면한 다차원적 문제를 해결하는 데 효과적이지 않으며(Senderowicz & Valley, 2023), 사회경제적 발전이 출산을 감소와 인구 증가를 억제하는 최고의 방안이라는 주장이 있다(Egerö, 2013, p. 96).

다른 한편으로 기후변화에 관한 국제적 논의를 주도하는 IPCC는 전통적으로 ‘완화’ 혹은 ‘적응’ 논의에서 인구정책의 중요성을 경시하는 모습을 보였다.<sup>5)</sup> 이는 가족계획 프로그램을 둘러싼 논란을 우려하거나 인구가 기후변화에 미치는 영향의 중요성을 정확히 이해하지 못한 상황을 반영한 것일 수 있다. 기후변화의 영향과 적응 방안에 관한 가장 최근의 제6차 평가보고서(Sixth Assessment Report: AR6)에서도 IPCC(2022b)는 ‘인구’를 빈번히 언급하지만, ‘인구정책’의 의미나 역할에 관해서는 대체로 침묵하는 모습을 보인다.<sup>6)</sup> 물론 이러한 IPCC의 모습이 인구변동이나 인

5) 인구변동에 대응하는 정책과 유사하게 기후변화 대응 정책에서도 기후변화 문제의 근본적 원인을 지향하는 정책(예컨대, 온실가스 배출량 감소)을 ‘완화’(mitigation), 기후변화 문제의 존재를 전제로 그 파급 효과를 조절하는 정책(예컨대, 사회제도의 기후변화 대응 역량 강화)을 ‘적응’(adaptation)으로 분류한다. 물론 이러한 개념상의 분류에도 불구하고 완화와 적응의 관계는 매우 복잡하다.

구정책에 대한 과학계 전체의 무관심을 의미하지는 않는다. 이미 수많은 과학자가 연명으로 기후변화에 대응하기 위하여 가족계획 등에 기초한 추가적인 출산율 감소와 인구 안정화의 필요성을 표명한 바 있다(Ripple et al., 2017, p. 1028; Ripple et al., 2021, p. 897). 그럼에도 IPCC가 발간한 가장 최근의 평가보고서(AR6)에서도 이러한 과학계의 주장은 반영되지 않고 있다. 이러한 상황은 인구가 기후변화에 미치는 영향에 대한 이해의 부족보다는 IPCC가 가족계획 프로그램을 둘러싼 정치적 논란을 더욱 우려하고 있을 개연성을 시사한다. 기후변화의 ‘원인’과 이러한 원인을 제거하고자 하는 기후변화 ‘완화’ 조치는 관련될 수밖에 없으며, 앞에서 언급했듯이 IPCC가 ‘인간 활동에 의한 기후변화’(anthropogenic climate change)에 초점을 맞추기에 가족계획에 기초한 인구 증가의 억제 정책처럼 정치적 논란이 될 수 있는 주제는 IPCC가 주도하는 국제적 논의에서 국가 간 긴장이나 갈등을 초래하는 원인이 될 수 있다(McGuffie & Henderson-Sellers, 2014, p. 211).

명시적이든 암묵적이든 ‘인구와 환경’에 관한 논의들은 오랫동안 이념적 지향을 함축하거나 지나치게 단순화된 경향을 보였다(Martine, 2009, p. 10). 이러한 측면에서 과제의 시급성에도 불구하고 인구-기후변화 연구에서는 상호 영향을 주고받는 동시에 다양한 요인들이 개입하는 복잡한 관계에 대한 이해가 필요하다. 기후변화 등 환경 분야 이슈들에 관한 논의가 전 지구적 이슈로 주목받음에 따라 인구와 환경의 연관성에 대한 관심 또한 높아지고 있지만, 그 관계는 단순하지 않다. 잘 알려져 있듯이 과거 1960~1990년대에 걸쳐 ‘인구와 발전’(population and development)의 문제는 국제적인 이슈였다. 이는 기본적으로 급격한 인구 증

---

6) 다만 기후변화의 ‘완화’에 관한 IPCC(2022a, p. 273)의 논의에서는 온실가스 배출을 줄이기 위해 추가적인 연구가 필요한 영역의 하나로 인구 통제(population control)를 언급한다. 분명하지는 않지만, IPCC의 ‘인구 통제’는 문맥상 인구 증가 억제의 의미로 읽힌다.

가가 경제발전에 걸림돌이 된다는 전제에 기초한다. 상대적으로 최근의 이슈인 ‘인구와 기후변화’에서도 비슷한 접근이 이루어지기도 한다. 예컨대, 기후변화와 환경에 미치는 부정적 영향을 줄이기 위해 급격한 인구 증가를 안정화시킬 필요가 있음을 지적한다. 이러한 접근 또한 ‘인구와 발전’ 논의와 비슷하게 급격한 인구 증가가 환경(기후변화)의 지속 가능성에 걸림돌이 될 수 있다는 전제에 기초한다.

그러나 인구와 환경은 일방향적 관계(인구 → 환경)가 아니라 서로 영향을 주고받는 복잡한 관계(인구 ↔ 환경)를 형성한다. 급격한 인구 증가가 환경의 지속 가능성에 부정적 함의를 지닌다는 점이 지적되며, 기후변화 또한 인구(특히, 취약계층)의 건강과 안전은 물론이고 지속 가능한 발전에도 중대한 위험 요인이 될 수 있다. 예컨대, 개발도상국의 고출산 현상은 아동의 인적자본 형성을 저해하고 빈곤을 고착화함으로써 인구 압력의 완화에 걸림돌이 되는 동시에 토지 등 자연 자원의 집약적 활용처럼 환경에 대한 부담의 증가로 이어질 수 있다. 다른 한편으로 기후변화 같은 환경 변화는 폭염, 홍수 같은 극한 기상이나 자연재난의 위험을 높이고 건강과 복지에도 부정적 영향을 미칠 수 있다. 더욱이 인구 고령화 같은 인구학적 변화는 신체적으로 허약한 인구의 절대적 규모 및 전체 인구 대비 상대적 비중을 높임으로써 기후변화가 초래할 수 있는 건강 등의 위험을 가중시킬 수 있다. 인구와 환경의 상호적 관계는 직접적인 관계에 국한하지 않고 다양한 매개 및 조절 과정을 거친다. 기후변화에 대한 인구의 영향은 직접적인 영향뿐만 아니라 시장 기제, 빈곤, 과학기술 등을 통해 매개되며, 기후변화가 인구에 미치는 영향 또한 인구학적 과정뿐만 아니라 사회 기반 시설의 구축, 지리적 위치 및 이동 가능성, 다양한 형태의 필요(지원) 자원에 대한 접근 가능성 등에 의해 조정될 수 있다.

인구 고령화와 지구 온난화가 전 세계적으로 많은 주목을 받는 동시

에 밀접하게 연관된 이슈들이지만, 국내 인구학계에서는 현재까지도 인구와 기후변화를 둘러싼 쟁점과 대응(완화-적응) 과제에 대한 논의가 거의 전무한 상황이다. 인구와 환경(기후변화)이 독자적 분야로 연구를 축적한 지 오래되었지만, 인구학에서 인구와 환경의 연관성에 관한 논의는 1990년대에 이르러 본격적으로 시작되었다. 1990년대는 지구 온난화와 오존층 파괴처럼 환경 문제가 전 지구적 차원으로 확대된 동시에 1997년에 교토 의정서(Kyoto Protocol)가 채택됨으로써 환경 문제가 새로운 전기를 마련한 시기에 해당한다.

비록 외국과 비교할 때 상당히 늦었지만, 우리나라 또한 인구와 기후변화가 상호작용하여 초래할 수 있는 문제에 적극적으로 대응하는 정책 방향을 검토할 필요가 있다. 인구와 기후변화 모두 문제 해결에는 적기 대응이 중요하며, 제때 적절한 대응이 이루어지지 못하면 그 부정적 파급 효과가 매우 클 수 있다. 또한 인구와 기후변화 모두 느리게 변화하는 속성으로 인해 일상에서 그 변화 양상을 정확히 인지하기 어렵고 결정적인 변화가 나타난 후에 이루어지는 정책적 대응은 효과가 떨어질 개연성이 높다. 그러나 인구와 기후변화 문제 모두 해결이 쉽지 않다. 선진국을 아울러 저출산 문제에 대한 우려가 커지고 있지만, 저성장과 인구 고령화로 재정적 여건이 열악해진 상황에서 적극적인 재정 투입을 통해 안정적인 출산과 양육 환경을 구축하기가 쉽지 않다. 선진국과 달리 개발도상국(특히 사하라 이남 아프리카 지역)은 정책적 노력에도 불구하고 급격한 인구 증가 현상이 지속되는 상반된 문제에 직면하고 있다. 마찬가지로 대부분의 국가(정부)가 중장기적으로 기후변화가 초래할 수 있는(잠재적) 위험성에 동의하지만, 현시점에서 분출하는 경제성장과 발전(소비)에 대한 욕구(필요)를 충족하기 위해 기후변화 문제의 완화를 위해 요구되는 적극적인 정책적 개입의 필요성을 의심하거나 실행을 주저하는 상황이다

(Headrick, 2019, p. 60).

특히 인구와 기후변화는 ‘공정성’ 이슈로 인해 문제 해결이 쉽지 않다. 개발도상국은 현재의 기후변화 문제에 대한 책임이 상대적으로 덜한 상황에서 경제발전에 걸림돌이 될 수도 있는 기후변화 완화 조치의 시행을 주저하는 경향이 있다. 현 상황에 대한 책임으로 인해 기후변화 문제를 선도적으로 해결해야 할 책임을 인정하기는 하지만, 선진국 또한 경제성장이나 국제 경쟁력을 저해할 수 있는 적극적인 조치를 주저하는 상황이다. 이러한 문제는 기후변화의 원인과 완화 방안으로 ‘인구’가 논의될 때 더욱 극단적인 상황으로 치닫게 된다. 기후변화에 대응하여 개발도상국의 급격한 인구 증가를 억제할 필요성이 제기되지만, 1인당 온실가스 배출량이 개발도상국에 비해 훨씬 높은 선진국에서는 저출산 및 이로 인한 인구 감소 문제를 우려하는 상반된 상황이 전개되고 있다. 이렇듯 적극적인 정책적 대응이 시급히 요청되지만, 사회적 파급 효과가 큰 동시에 주장이 첨예하게 대립할 수 있는 인구와 기후변화 논의에서는 상호적 관계에 관한 체계적인 이해와 함께 공감대가 높고 논란이 적은 정책 방향의 설정에 대한 요구가 크다.

기후변화의 함의가 커지고 있지만, 인구학 같은 사회과학 분야 종사자가 기후변화 관련 이슈를 연구하기는 쉽지 않다. 대규모의 연구자가 참여하여 공동으로 생산한 기후과학 분야 연구물을 처음 접하는 사회과학 분야 연구자들은 기후변화 관련 이슈의 다양성과 내용의 심층성에 압도당하는 느낌을 받을 수밖에 없다. 가장 최근인 IPCC의 제6차 평가보고서(AR6) 작성 과정에서는 7백 명 이상의 연구자가 참여하였고, 보고서의 분량 또한 수천 쪽을 넘어선다. 기후변화, 더 나아가 인구와 기후변화에 관한 문제를 어디에서부터, 또 어떤 방식으로 살펴보아야 하는지와 관련하여 막막하고 혼란스러운 상황에 직면할 개연성이 높다. 인구와 기후변화

에 관한 논의가 거의 전무한 국내의 경우는 두말할 나위가 없다.

이러한 배경하에 이 연구는 인구나 환경이 상호작용하는 주요 영역 중의 하나인 기후변화를 중심으로 주요 인구나학적 이슈와 대응 과제를 살펴본다. 특히, ‘완화’와 ‘적응’ 이슈를 모두 아울러 인구나와 기후변화 간에 존재하는 광범위하고도 복잡한 상호적 관계를 고려하여, 이 연구는 인구나와 기후변화에 관한 특정 주제(예컨대, 기후변화와 건강-사회보장)에 초점을 맞추지 않고, 인구나-기후변화와 관련한 연구의 분석 틀과 발전 과정, 기후변화의 현재와 미래 전망, 인구나와 기후변화의 상호 관계와 주요 이슈, 인구나와 기후변화 관련 대응 과제를 모두 아우름으로써 인구나와 기후변화에 관한 종합적인 이해를 도모하고자 한다.

이 연구의 세부적인 목적은 다음과 같다. 첫째, 독자적 영역으로 자리매김한 인구나와 기후변화가 어떻게 상호 연관되는지에 관한 분석 틀과 세부적 작동 기제를 살펴본다. 둘째, 기후변화의 현재와 미래 전망을 살펴보고, 인구나와 기후변화를 둘러싼 주요 이슈들을 살펴본다. 셋째, 기후변화 문제를 ‘완화’하기 위한 정책 수립 과정에서 인구나변동을 체계적으로 고려하는 접근의 중요성을 살펴보는 한편 다양한 분야별 위험 요인과 취약 집단을 확인하는 등 기후변화에 ‘적응’하기 위한 과제를 논의한다. 최근까지도 인구나변동에 관한 논의는 인구나의 규모(성장)에 초점을 맞춤으로 인해 기후변화 문제의 ‘완화’ 측면에서 그 의미가 제대로 이해되지 못하는 상황이다. 한편 기후변화에 대한 ‘적응’의 문제에서는 취약성(vulnerability)에 대한 이해가 매우 중요하다. IPCC를 중심으로 기후변화 위험(climate change risk)을 평가하는 틀이 구축되고 있지만, 현재까지도 이를 구성하는 다양한 요인들 사이의 복잡한 관계가 명확히 파악되지 못하는 상황이다.

## 제2절 연구의 내용 및 용어

이 연구의 내용은 다음과 같이 구성되어 있다. 첫째, 인구와 기후변화의 관계에 관한 개념적인 분석 틀과 환경 이슈를 둘러싼 인구학적 논의의 발전 과정을 살펴본다(제2장). 인구와 기후변화의 관계를 분석하는 기본 틀을 구성하고 인구와 기후변화의 상호적 관계 그리고 발전, 과학-기술, 제도-정책, 문화 등 이러한 관계를 조정하는 다양한 요인을 살펴본다. 또한 환경 이슈에 관한 인구학적 연구의 역사 및 최근까지의 인구학적 연구에서 환경 이슈가 주요 주제로 자리 잡지 못한 배경을 살펴본다.

둘째, 인구와 기후변화 논의의 기초가 되는 기후변화의 현재와 미래 전망을 살펴본다(제3장). 지구의 표면 온도(surface temperature) 변화, 해양 열용량(Ocean Heat Content: OHC) 변화 등 지구 온난화의 주요 근거와 기후변화에서 인간 활동의 영향력에 관한 논의를 살펴본다. 기후변화의 과거와 함께 기후 모델의 기초 및 기후변화 전망 시나리오 등 기후변화의 미래 전망과 관련된 주요 이슈들을 검토한다. 기후변화의 전망은 장기적 안목에서 기후변화가 초래하는 위험을 '선제적으로'(적극적으로) 파악하여 부정적 파급 효과를 최소화하는 정책의 기초가 된다. 비록 기후과학이 물리, 화학, 기상, 생물, 지질 등 다양한 분야를 아우르는 매우 복잡한 분야이지만, 인구변동이 기후 시스템에 미치는 영향을 이해하기 위해서는 기후 시스템과 기후 모델의 작동 방식에 대한 기초적인 이해는 반드시 요구된다. 특히 IPCC의 기후 모델이 인구와 사회의 복잡한 특성을 적절히 반영하기 위해서는 사회과학 분야에서도 기후 시스템과 기후 모델의 핵심에 대한 이해가 필요하다.

셋째, 인구와 기후변화의 상호적 관계와 주요 이슈를 분석한다(제4장). 현실에서 인구와 기후변화의 관계는 상호 영향을 주고받고 다양한 매개

및 조절 요인이 개입하는 복잡한 양상을 보인다. 그럼에도 분석과 논의의 명확성을 확보하는 차원에서 이 연구에서는 인구가 기후변화에 미치는 영향(인구 → 기후변화)과 기후변화가 인구에 미치는 영향(기후변화 → 인구)으로 구분하여 영향의 세부적 내용과 작동 기제 및 관련 이슈들을 분석한다. 인구와 기후변화에 관한 관심이 커지고 있지만, 현재까지 기후변화가 인구동태(출산, 사망, 이동)에 미치는 영향에 관한 종합적인 정리와 관련 이슈에 대한 분석이 매우 부족하다는 점에서 ‘기후변화와 인구동태’를 별도의 절에서 검토한다.

넷째, 인구와 기후변화 대응 관련 주요 과제를 검토한다(제5장). 인구-기후변화 대응 정책의 기본 방향을 정립하고, 주요 기후변화 대응 과제를 논의한다. 이 연구에서는 기후변화 대응 과제를 ‘완화’와 ‘적응’으로 분리하여 검토하지 않는다. 제5장에서 자세히 논의하겠지만, 이러한 접근을 취하는 것은 ‘인구 부문’에서 기후변화에 대한 대응의 초점이 ‘적응’인 것과 관련이 있다. 한편 기후변화에 대한 ‘적응’이 지속 가능한 발전, 재난 위험, 환경(대기) 오염 등과 밀접히 연관된 이슈라는 점에서 이 연구는 기후변화에 대응하는 정책에서 ‘특화된’ 접근 대신에 ‘통합적’ 접근의 중요성을 강조한다. 마지막으로 인구추계 등 기후변화 전망의 기초를 다지는 한편 기후변화 대응 전략을 수립하기 위한 인구통계의 구축 등 기후변화 대응 정책의 기반 강화 방안을 검토한다.

기본적으로 이 연구에서 검토하는 기후변화 문제는 일반 사회과학 분야 연구자에게 익숙하지 않은 내용을 다수 포함하고 있다. 본 보고서에서 논의되는 일부 기술적 내용을 이해하기 위해서도 기후과학 분야에서 사용되는 용어에 익숙해질 필요가 있다. 이러한 측면에서 인구와 기후변화에 관한 본격적인 논의에 앞서 아래에서는 기후와 기상, 온실가스(온실기체)와 온실효과 등 기후변화 논의에서 빈번히 등장하는 주요 개념과 관련

사항들을 간략히 소개한다.

우선, 기상과 기후의 관계이다. 기본적으로 기상(weather)이 어떤 시점의 기온, 기압, 강수, 습도 등 대기 중에서 일어나는 순간적이고 개별적인 대기 현상을 지칭하는 반면에 기후(climate)는 장기간에 걸친 기상 현상을 종합하고 누적시킨 통계에 해당한다(이승호, 2022, p. 29). 장기간에 걸친 기상 상황을 종합하고 누적시킨 통계에는 평균뿐만 아니라 변이(분산) 등도 포함된다. 시간적 차원에서 기후를 정의하는 다양한 방식이 사용되지만, 세계기상기구(WMO)는 30년을 기준으로 기후를 정의한다. 우리나라의 기상청 또한 기본적으로 30년을 기초로 기후통계를 작성하며, WMO의 권고에 따라 매 10년 주기로 새로운 '기후 평년값'을 산출한다. 참고로 대부분의 국가와 마찬가지로 우리나라 기상청의 기후 평년값도 0으로 끝나는 연도를 기준으로 최근 30년간(예컨대, 1991~2020년)의 누년 평균값을 정의한다(기상청, 2023). 기후에 대한 이러한 정의에 기초하여 IPCC(2023, p. 122)는 기후변화를 일반적으로 수십 년 이상의 장기간에 걸쳐 지속되는 기후 현상의 '평균'과 '변이'에서 나타나는 변화로 정의한다. 물론 평균과 변이 외에도 최댓값, 최솟값, 편포도, 첨도 같은 측정치의 사용도 가능하다.

순간적으로 관측되는 극한 기상 현상이 장기적으로 전개되는 기후의 평균과 변이에서 나타나는 변화와 연관될 수 있지만, 현재까지 기후의 평균과 변이에서 나타나는 변화가 상호작용하여 극한 기상의 빈도와 강도에 영향을 미치는 세부적인 기제는 명확히 알려지지 않고 있다.<sup>7)</sup> 비록 기후변화 과정에서 기후 현상의 '평균'과 '변이'에서 변화가 나타날 수

7) 최근에 이루어진 van der Wiel and Bintanja(2021)의 연구는 월별 폭염 건수의 변화가 기후 '평균'의 영향을 강하게 받는 반면에 월별 호우 건수는 상당한 정도로 기후 '변이'의 영향을 받을 것으로 전망한다. 일반적으로 기후 변이에 비해 기후 평균에 관한 이해 수준이 상대적으로 높다는 점에서 이러한 분석 결과는 호우 전망보다는 폭염 전망이 좀 더 강건할 것임을 시사한다.

있지만, 두 속성의 반응이 동일하지 않을 수 있다. 일반적으로 기후 평균(climate mean)과 비교할 때 기후 변이(climate variability)와 관련된 논의의 불확실성이 더 큰 상황이다. 예컨대, 선행 연구는 다양한 지역과 기후 모델을 아울러 ‘평균’ 기온이 21세기에 걸쳐 일관되게 상승할 것임을 전망하지만, 기온의 변이에서 관측되는 변화는 상당히 불확실할 수 있음을 지적한다(Donat & Alexander, 2012; Lewis & King, 2017, p. 1). 그러나 ‘기온’에서 관측되는 변이와 다르게 ‘강수량’ 변이를 시뮬레이션한 연구에서는 다양한 분석 단위(일/월/연/십 년)를 아울러 기후 변화에 따른 강수량의 ‘변이’가 강건하게 증가함을 보여 주기도 한다(Pendergrass et al., 2017).

기후 ‘평균’에서 예상되는 변화가 수십 년에 걸쳐 점진적으로 진행되는 과정임에 비해 기후 ‘변이’는 주/월 단위(예, 폭풍, 홍수)에서 연/십년 단위(예, 엘니뇨)까지 변화의 시간 단위가 다양하다. 이론적으로 기후 ‘평균’에서 나타나는 변화보다는 기후 ‘변이’에서 나타나는 변화의 사회경제적 파급 효과가 단기적으로 더 크게 나타날 것으로 기대된다. 이는 시간상으로 개인, 지역사회, 국가가 기후변화에 대응할 수 있는 조건의 확보 여부와도 관련이 있다(Githeko & Woodward, 2003, pp. 45-46). 일반적으로 기후 평균에서 나타나는 변화가 점진적이고 방향성이 확인되는 것과 다르게 기후 변이에서는 방향성과 변동 폭을 둘러싼 불확실성이 크기에 단기적으로 대응하기가 더 어렵다고 볼 수 있다. 실제로 생태학 분야에서 진행된 연구는 이러한 가능성을 시사한다. 예컨대, 기후변화가 생물종에 미치는 영향을 전망한 Vasseur et al.(2014)의 연구는 평균 온도의 변화보다 온도의 변이에서 나타나는 변화가 기후변화에 따른 생물종의 성과(적응력)에 더 큰 파급 효과를 미칠 것으로 전망한다.

기후변화에 평균값의 변화뿐만 아니라 변이 등에서 나타나는 변화도 포함되지만, 현재까지 기후변화에 관한 대부분의 논의에서는 기온, 강우, 해수면 등에서 관측(전망)되는 '평균적' 변화에 초점을 맞추는 것이 일반적이다. 비록 관측된 '극한 기온'에서의 변화가 대체로 (변이보다는) 평균에서의 변화로 설명될 수 있음을 지적하는 연구들이 많지만(McKinnon et al., 2016; Rhines & Huybers, 2013; Simolo et al., 2010; Tingley & Huybers, 2013), 현재까지 평균과 변이의 변화가 어떤 차별적인 결과를 초래하는지에 대해서는 논의가 충분하지 않다. 특히 기후변화의 부정적 영향을 강하게 받을 것으로 전망되는 개발도상국에서는 평균에서 나타나는 변화보다는 기후의 변이 증가가 미칠 영향이 더욱 중요할 수 있음이 지적된다(O'Brien et al., 2008, p. 195).

기후변화 분야에서 등장하는 또 다른 주요한 용어들이 온실가스(온실기체)와 온실효과이다. 기후변화를 초래하는 다양한 요인이 존재하지만, 기후변화 논의에서 가장 많은 주목을 받는 것이 지구의 대기에 누적되어 지구 온난화를 초래하는 온실가스(Greenhouse Gases: GHGs)이다. 참고로 지구의 대기(공기)는 수증기를 제거한 건조 공기(dry air) 기준으로 질소(N<sub>2</sub>; 78.08%)와 산소(O<sub>2</sub>; 20.95%)가 대부분이며, 나머지를 아르곤(Ar; 0.934%), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>; 0.042%), 네온(Ne; 0.001818%), 헬륨(He; 0.000524%), 메테인(메탄)(CH<sub>4</sub>; 0.00017%), 크립톤(Kr; 0.000114%), 수소(H<sub>2</sub>; 0.000055%) 등이 차지한다(National Aeronautics and Space Administration[NASA], 2024).

지구에 도달하는 태양복사 에너지의 대략 30%(지구의 평균 반사율(알베도; albedo))가 지표면이나 대기에서 반사되어 우주로 빠져나가며, 나머지 대략 20%는 대기 중에, 대략 50%는 지표면에 흡수된다(이승호, 2022, p. 66). 이 과정에서 지표면에 흡수된 태양복사 에너지는 대체로

적외선의 형태로 방출된다.<sup>8)</sup> 지구 대기권(대류권, 성층권, 중간권, 열권)의 가장 낮은 권역인 대류권에 존재하는 온실가스는 지구로 들어오는 태양 에너지를 그대로 투과시키는 반면에 우주로 빠져나가는 에너지의 일부를 가두어 지구의 온도를 상승시키는 온실효과(Greenhouse Effects)를 초래한다. 이러한 온실효과는 인류를 포함한 지구 생태계의 중요한 존립 기반이 되기도 하지만, 다른 한편으로 인간에 의한 온실가스의 과도한 배출은 지구 온난화를 가속화하는 원인이 될 수 있다.

지구 대기의 99%를 차지하는 질소( $N_2$ )와 산소( $O_2$ )는 물론이고 나머지 기체의 대부분을 차지하는 아르곤 또한 적외선을 흡수하지 않아 온실효과를 초래하지 않는다. 비록 수증기( $H_2O$ ), 이산화탄소( $CO_2$ ), 아산화질소( $N_2O$ ), 메테인( $CH_4$ ), 오존( $O_3$ ) 등의 온실가스가 지구 대기의 1% 미만에 불과하지만, 지표면에서 방출되는 복사열의 80% 이상을 흡수한다(Harde, 2017, p. 11). 참고로 인위적으로 생성되는 온실가스에는 육불화황(sulphur hexafluoride;  $SF_6$ ), 수소불화탄소(hydrofluorocarbons; HFCs), 염화불화탄소(chlorofluorocarbons; CFCs), 과불화탄소(perfluorocarbons; PFCs)도 포함된다. 이들 온실가스 중 (프레온 가스로 잘 알려진) 염화불화탄소(CFCs) 같은 일부 기체는 몬트리올 의정서에 의해 규제되는 물질이기도 하

8) 지구에서 대기 현상을 일으키는 에너지는 대부분 태양복사에 기초한다. 지구에 도달하는 태양 에너지는 전자기파 형태의 복사에너지이다. 전자기파는 파장이나 주파수에 따라 분류할 수 있는데, 전체 전자기파를 파장이나 주파수에 따라 배열한 것을 복사 스펙트럼이라고 한다. 복사 스펙트럼은 파장이 짧은 감마( $\gamma$ )선부터 X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 전파(초고주파, 고주파, 저주파, 극저주파) 등으로 분류된다. 복사 스펙트럼 가운데 기후과학에서 관심을 두는 전자기파는 가시광선, 적외선, 자외선 정도이다. 이 중에서 시각으로 감지할 수 있는 것이 가시광선(빛)이다. 반면에 적외선은 열로 감지되는데, 지표면에 흡수된 태양복사 에너지는 대부분 적외선의 형태로 방출된다(이승호, 2022, pp. 58-59). 참고로 열에너지의 전달 방법 중에서 복사(radiation)는 중간에서 열을 전달하는 물질(매개체) 없이 열에너지(복사열)가 다른 물체에 직접 전달되는 현상이다. 이러한 점에서 복사는 물질의 직접적인 이동 없이 물체를 구성하는 분자의 연속적인 충돌 과정을 통해 열에너지가 전달되는 전도(conduction)나 액체나 기체 상태의 분자가 직접 이동하여 열을 전달하는 대류(convection) 현상과는 구분된다.

다(IPCC, 2023, p. 124).

우리나라의 경우 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법’(제2조)에서 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메테인(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>)의 6가지 물질을 온실가스로 규정하고 있다(직접 온실가스). 기후변화에 직접적으로 영향을 미치는 이러한 온실가스 외에도 직접 온실가스의 전구물질(前驅物質; precursor)인 간접 온실가스로 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>), 비메테인 휘발성 유기화합물(Non-Methane Volatile Organic Compounds: NMVOC) 등이 알려진다(United Nations Framework Convention on Climate Change[UNFCCC], 2006, p. 7). 다른 한편으로 이들 간접 온실가스는 동시에 ‘대기오염물질’에 해당한다. 이러한 관계는 대기 오염과 기후변화가 밀접하게 관련되어 있음을 시사하며,<sup>9)</sup> 기후변화 대응 정책과 환경 오염 정책 간 연계의 중요성을 시사한다. 이에 대해서는 제5장에서 좀 더 자세히 논의하기로 한다.

현재까지 온실가와 관련하여 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)가 주목을 가장 많이 받지만, 자연적인 온실효과 생성에 대한 기여도 측면에서는 수증기(H<sub>2</sub>O)의 역할이 가장 크다. 수증 공기(moist air; 건조 공기 + 수증기)에서 수증기의 양은 시간과 공간에 따라 큰 변이를 보인다. 평균적으로 수증기가

9) 취사, 냉난방, 수송 등의 과정에서 탄소 성분의 불완전 연소 시 발생하는 일산화탄소(CO)는 대류권 오존의 전구물질이다. 질소와 산소로 이루어진 화합물인 질소산화물(NO<sub>x</sub>)은 일산화질소(NO)와 이산화질소(NO<sub>2</sub>)를 총칭(NO<sub>x</sub>=NO+NO<sub>2</sub>)하는 개념으로 일산화탄소와 마찬가지로 대류권 오존의 전구물질이다. 휘발성 유기화합물(VOC)은 끓는 점이 낮아 대기로 쉽게 증발하는 액체나 기체상의 유기화합물을 총칭하는데, 이 또한 대기 중의 질소산화물과 반응하여 대류권 오존을 생성한다. 아황산가스로도 불리는 이산화황(SO<sub>2</sub>)은 석탄, 석유 같은 황 성분을 함유한 화석연료의 연소나 금속 제련 공정 등에서 발생하는 무색의 자극성 불연성 가스로 미세먼지(PM) 같은 에어로졸 생성의 원인 물질로 알려져 있다. 이들 물질은 모두 간접적으로 온실가스 생성에 관여하는 한편 인체에 다양한 질환이나 손상을 일으키는 대기오염물질에 해당한다(국립환경과학원, 2023, pp. 3-4; 김승도, 2018, p. 16).

대기 분자의 대략 0.4%를 구성하지만, 대기가 열을 가둘 때 수증기의 역할이 90%를 넘는 것으로 알려진다(Koonin, 2022, p. 79). 산출 방법에 따른 차이가 있지만, 자연적 온실효과 생성 과정에서 이산화탄소에 대비한 수증기의 기여도가 대략 2~3배 큰 것으로 지적된다(IPCC, 2013, p. 666). 그러나 관개 사업이나 발전소 냉각 등을 통해 인위적으로 배출된 수증기의 영향이 미미하며, 기본적으로 대기 중의 수증기량이 인간 활동 보다는 '대기 온도'에 의해 조절된다는 점에서 과학자들은 기후변화에 대한 강제력(forcing)보다는 환류(feedback) 기제로 수증기를 이해하는 경향이 있다. 이러한 점에 기초하여 연구자나 기관에 따라 수증기를 온실가스로 분류하지 않기도 하지만, 현재 IPCC(2023, p. 124)는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메테인(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), (대류권 체류) 오존(O<sub>3</sub>; Tropospheric Ozone) 등과 함께 수증기(H<sub>2</sub>O)를 온실가스로 분류한다. 비록 대기 중에 존재하는 수증기의 구성비가 매우 낮지만, 기후변화에서 그 역할이 매우 중요하기에 그 작동 기제에 대한 이해는 중요하다. 기본적으로 지구가 온난화하면 해수나 지표수의 증발량이 많아져 대기 중에 수증기량이 증가하며, 이는 후속적으로 수증기의 온실효과를 통해 지구 온난화를 가속화하는 환류 기제로 작용할 수 있다(water vapor feedback). 이러한 점에서 수증기에 의한 환류 효과는 온실가스 증가에 따른 기후 시스템의 민감도에 영향을 미치는 핵심 요소 중의 하나로 인식되고 있다(O'Neill et al., 2001, p. 5).

마지막으로 아래에서는 수증기와 달리 생성 과정에서 인간의 직접적인 영향이 강하게 작용하는 다양한 온실가스 중에서 이산화탄소와 메테인의 현황과 주요 특징을 간략히 살펴본다. 잘 알려져 있듯이 지구 대기의 구성 요소 중에서 온실가스와 관련하여 가장 많은 주목을 받는 것이 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)이다. 시간과 공간에 따라 큰 변이를 보이는 수증기와 달리 이산

화탄소의 농도는 전 지구의 대기에 걸쳐 거의 일정하며, 대기가 열을 가둘 때 이산화탄소의 역할이 7% 정도인 것으로 알려진다(Koonin, 2022, p. 79). 온실가스와 관련하여 이산화탄소가 가장 많이 주목받는 것은 인간이 발생시킨 온실기체 중에서 기후변화에 가장 큰 영향을 미치는 화합물이라는 것과 관련이 있다. 앞에서 언급했듯이 수증기의 온실효과가 훨씬 크지만, 대기 중의 수증기량은 인위적인 조절이 쉽지 않다.

다른 한편으로 온실가스 중에서 이산화탄소가 대기에 오랫동안 남아 있다는 점도 우려를 자아내는 원인이 된다. IPCC 제5차 평가보고서(AR5)는 인간이 배출한 이산화탄소의 15~40%는 1,000년이 지난 뒤에도 대기에 잔류할 것으로 추정하고 있다(IPCC, 2013, pp. 472-473).<sup>10)</sup> 대기에 장기간 체류하는 이산화탄소의 이러한 특성은 인간에 의한 기후변화 문제에 대응하여 대기 중의 이산화탄소 농도를 줄이려는 시도가 쉽지 않음을 시사한다. 산업화의 기준점인 1750년 이전의 이산화탄소 농도가 대략 280ppm(parts per million; 백만분율)이었지만, 2백 년 이상에 걸친 산업화 과정에서 대기 중의 이산화탄소 농도는 지속해서 증가하는 모습을 보였다. 2023년 11월 기준으로 전 세계(평균)의 이산화탄소 농도는 산업화 이전 대비 대략 50% 증가한 420.15ppm에 이른다. 지난 43년(1979~2022년)에 걸쳐 이산화탄소 농도는 연평균 1.88ppm씩 증가했지만, 1980년대는 연평균 1.6ppm, 1990년대는 1.5ppm, 지난 10년(2012~2022년)은 연평균 2.4ppm씩 증가하여 이산화탄소 농도의 증가세가 최근 들어 가속화되는 모습을 보인다(National Oceanic and Atmospheric Administration[NOAA], 2024).

이산화탄소와 함께 인간의 활동으로 초래되는 또 다른 중요한 온실가스

10) 인간이 배출하는 이산화탄소의 양이 많을수록 해양이 이산화탄소를 흡수할 수 있는 능력을 떨어뜨리기에 대기 중에 잔류하는 이산화탄소의 양이 많아질 수 있다.

가 메테인( $\text{CH}_4$ )이다. 메테인은 주로 농업(특히 벼 재배)과 축산(특히 소 장내 발효) 및 폐기물에서 배출되는 것으로 알려진다. 이산화탄소에 비해 대기 중의 메테인 농도는 상당히 낮은 수준이다. 2019년 기준으로 이산화탄소의 농도가 409.9ppm이지만, 메테인의 농도는 이보다 훨씬 낮은 1,866.3ppb(parts per billion; 십억분율)에 불과하다(IPCC, 2021, p. 290). 산업화 이전에 700ppb 정도였던 메테인의 농도 또한 지속해서 증가하여 2023년 10월 기준으로 전 세계(평균)의 메테인 농도는 1,933.46ppb로 산업화 이전 대비 170% 이상 증가하였다(NOAA, 2024).

비록 온실가스 배출 총량은 이산화탄소에 비해 적지만, 메테인은 분자당 지구 온난화에 대한 기여도가 높은 특징이 있다. 이산화탄소가 지구 온난화에 미치는 영향을 준거(이산화탄소 = 1)로 하여 다른 온실기체가 지구 온난화에 미치는 기여도를 지수로 표시한 지구 온난화 지수(Global Warming Potential: GWP)에서 100년 기간에 걸친 메테인의 지구 온난화 지수는 27~30 수준으로 이산화탄소에 비해 매우 높다. 다만, 이산화탄소와 비교할 때 메테인이 대기에 체류하는 기간(lifetime)은 평균 10년 정도로 이산화탄소에 비해 상당히 짧다(United States Environmental Protection Agency[US EPA], 2023a). 지구 온난화에 대한 (분자당) 기여도가 높은 동시에 대기 중에 체류하는 시간이 이산화탄소에 비해 상대적으로 짧다는 점에서 온실가스 감축 대상으로 메테인의 중요성을 지적하기도 한다.

사람을  
생각하는  
사람들



KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS



## 제2장

### 인구-기후변화 연구의 분석 틀과 발전 과정

제1절 인구-기후변화 연구의 분석 틀

제2절 인구-기후변화 연구의 발전 과정



## 제 2 장 인구-기후변화 연구의 분석 틀과 발전 과정

### 제1절 인구-기후변화 연구의 분석 틀

기후변화에 관한 인구학적 연구를 진행하기 위해서는 기후변화는 물론이고 토양, 물, 대기, 식생을 모두 아우르는 환경과 인구의 관계를 이해할 필요가 있다. 역사적으로 인구와 환경이 밀접한 관계에 있었지만, 그 관계에 관한 이론적 논의는 매우 부족했다. 인구변동(특히 사망률)의 역사에서 기근, 식량 부족, 자연재난이 중요한 동인이었음은 널리 알려진 사실이지만, 인구변천이론(demographic transition theory) 같은 대표적인 인구학 이론에서도 환경의 역할에 관해서는 ‘명시적인’ 논의가 부재한 모습을 보였다. 인구에 대한 식량, 자연 자원 등 환경의 영향을 강조한 맬서스의 논의 또한 예외는 아니다.

인구와 환경의 복잡하고도 동태적인 관계를 고려할 때 인구와 환경의 상호작용을 적절히 설명할 수 있는 어떤 ‘단일’의 이론 체계를 구축하는 작업은 현실적으로 매우 어려운 시도라고 볼 수 있다(Davis, 1990, p. 20). 다른 한편으로 복잡하고도 동태적인 인구와 환경의 관계에 관한 ‘단일’의 이론을 구축하려는 시도는 이론 체계의 과도한 일반성(포괄성)으로 말미암아 현실 세계에서 어떠한 경험적 유용성을 찾기가 쉽지 않을 개연성이 높다(Mishra, 1995, pp. 1-2). 이러한 측면을 고려하여 이 연구에서는 경험적 분석에 직접 활용할 수 있는 이론이나 분석 틀을 제시하는 대신에 인구와 환경의 복잡한 관계를 이해하는 차원에서 개념적 틀을 살펴본다. 다른 한편으로 이 연구에서 인구와 환경(기후변화)에 관한 이론 대신에 개념적 틀에 초점을 맞추는 것은 현재까지 이 분야에서 이루어진 이론적

진척이 매우 더딘 것과는 관련이 있다. 사회과학 분야에서 인구와 환경의 관계를 분석하는 도구로 빈번히 사용된 'I-PAT 모델'에 대해서는 다음 절에서 좀 더 자세히 살펴보기로 한다.

비록 엄격한 의미에서 이론으로 볼 수 없지만, 개념적 틀에 기초한 접근은 주요 변수(요인)를 확인하고 인과 기제의 작동 과정을 이해할 수 있다는 점에서 간접적으로 경험적 연구를 위한 기초를 제공할 수 있다. 전통적으로 인구학이나 환경 분야에서 인구 규모(증가)를 중심으로 인구와 환경의 관계를 분석하였지만, 인구와 환경을 연결하는 기제가 인구 규모(증가)에만 한정 되지는 않는다. 또한 기존의 인구학적 연구들이 기본적으로 '인구-환경' 연구의 일반적인 분석 틀을 논의하기에 이 연구가 초점을 맞추는 '인구-기후변화' 연구의 분석 틀을 제공하지는 않는다. 이러한 점을 고려하여 이 연구에서는 Cohen(2010, p. 159), Hunter(2000, p. 4), Lutz(1994b, p. 215), MacKellar et al.(1998, p. 137), Mishra(1995, p. 8), Muttarak(2021, p. S79) 등의 연구에서 사용한 '인구와 환경' 연구의 분석 틀에 기초하여 [그림 2-1]처럼 인구와 기후변화 연구의 분석 틀을 구성한다.

이 연구에서 사용하는 분석 틀에서 인구 부문은 인구의 다양한 차원(규모, 분포, 구성) 및 그 기초가 되는 출산력, 사망력, 이동력 같은 인구학적 과정, 그리고 이들 인구변동 요인에 영향을 미치는 근접 요인들(proximate determinants)을 모두 아우른다. 기후 부문도 환경 과정, 즉 기후변화를 초래하는 자연적 및 인위적 원인, 그리고 토양/지표, 물/빙하, 대기, 식생(생물) 등 기후 시스템을 구성하는 요소들의 상호작용을 거쳐 기후에서 변화가 나타난다.<sup>11)</sup> 인구 부문에서 인구변동 요인과 그 근접 요인을 구분한 것과 달리 기후 부문에서 기후변화의 원인을 인위적 과정과 자연적 과정으로 구분한 것은 기후변화 논의에서 인위적 원인에

---

11) 이는 지구의 기후 시스템이 지권, 수권, 빙권, 대기권, 생물권으로 구성된 것을 반영한다.

의한 기후변화가 중심적인 위치를 점하는 것과 관련이 있다. [그림 2-1]의 분석 틀에서 세부적으로 표시되지는 않았지만, 인구 과정과 환경 과정 사이에도 밀접한 관계가 있다. 예컨대, 토지 이용과 토지 피복(land-cover) 변화는 인구이동 및 이에 기초한 인구 분포의 변화와 밀접한 관련을 맺고 있다. 분석 틀에서 제시한 항목들은 기본적으로 예시적인 차원이며, 다양한 방식으로 연계 및 확장될 수 있음은 물론이다.<sup>12)</sup> 또한 이 연구에서 제시하는 분석 틀은 어디까지나 인구와 기후변화의 관계를 이해하는 기본 틀을 보여 줄 뿐이며, 경험적 분석이나 예측을 목적으로 하지는 않는다.

[그림 2-1]에서 살펴볼 수 있듯이 인구-기후변화 연구는 기후변화에 대한 인구의 영향(인구 → 기후변화)과 인구에 대한 기후변화의 영향(기후변화 → 인구)을 모두 포함하는 복잡한 관계를 형성한다. 또한 인구와 기후변화의 관계는 발전, 과학-기술, 제도-정책, 문화 등의 요인들에 의해 매개되거나 조절될 수 있다. 분석 틀의 해석에서는 이들 요인이 인구와 기후변화의 관계를 ‘조정하는’ 측면에 초점을 맞추지만, 현실에서는 이를 넘어 매개-조절 요인과 인구-기후변화 간에도 복잡한 관계가 형성되어 있다고 볼 수 있다. 한편 이 연구에서 사용하는 분석 틀에서는 매개-조절 요인들(과학-기술, 제도-정책, 문화)과 구분하여 ‘발전’이 표시되어 있다. 선행 연구에서 ‘발전’을 과학-기술, 제도-정책, 문화와 마찬가지로 매개-조절 요인의 일환으로 이해하기도 하지만(e.g. Mutarak, 2021, p. S79),<sup>13)</sup> 이 연구에서는 인구와 기후변화 문제를 이해하는 데 ‘발전’이

12) 참고로, 인구변동 요인 중에서 근접 요인에 관한 기존 논의는 대체로 출산력을 중심으로 이루어졌으며, 사망력이나 이동력에서는 이러한 논리 체계가 정교하게 확립되지 못한 상황이다.

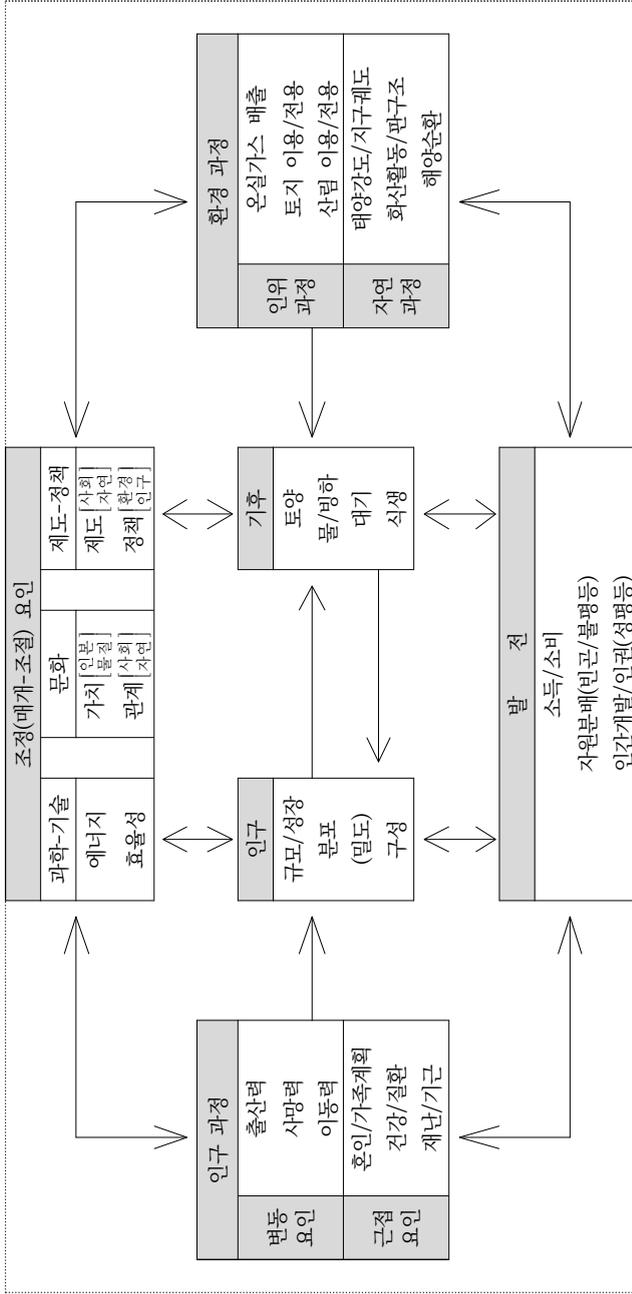
13) 선행 연구(e.g., Hunter, 2000, p. 4; Mutarak, 2021, p. S79)에서는 경제발전, 과학-기술, 제도-정책, 문화 등을 매개 요인(mediating factor)으로 명명하는 경향이 있지만, 이들 요인이 단순히 인구와 기후변화의 영향을 중간에서 전달하는 데 그치지 않고 영향의 강도는 물론이고 영향의 방향을 변화시킬 수도 있다는 점에서 조절 요인(moderating factor)으로 볼 여지도 있다. 기본적으로 이 보고서에서는 경제발전, 과학-기술, 제도-정책, 문화 등이 매개 기능과 조절 기능을 모두 가지고 있는 것으로 이해하며, 매개 및 조절 기능을 포괄하는 개념으로 ‘조정’을 주된 용어로 사용한다.

핵심적인 역할을 한다는 점을 고려하여 별도의 요소로 구분하여 발전이 인구 및 기후변화와 맺는 관계를 살펴본다.<sup>14)</sup>

기본적으로 발전이라는 개념 자체가 다양한 이론적 시각에 기초하여 정의되고 논의되는 관계로 인구와 기후변화를 연결하는 의미에서 ‘발전’의 개념을 명확히 정의하기는 쉽지 않다. 시대(시간)와 공간(사회)에 따라 ‘발전’(development)의 개념 자체가 다르게 정의될 수 있는 것이다. 전통적으로 근대화와 산업화를 통한 빈곤 해소를 발전의 궁극적 목표로 규정하는 경향이 강했다. 이는 발전을 단선적(미발전 → 발전) 과정으로 이해하는 시각에 가깝다. 그러나 UN-SDGs 같은 최근의 지속 가능한 발전(sustainable development) 논의에서 볼 수 있듯이 발전이 개발도상국에 국한된 이슈는 아니며, 선진국에서도 발전은 중요한 이슈에 해당한다. 이러한 측면에서 임희섭(1995, p. 16)은 발전을 “특정한 시기의 특정한 사회의 성원들이 열망하는 가치를 실현하는 체계 능력의 증가”로 정의한다. 이 연구에서 사용하는 발전의 개념도 기본적으로 이 시각에 기초한다. 다만 분석 틀에서 볼 수 있듯이 이 연구에서는 경제적 및 사회적 차원의 발전을 상대적으로 강조한다. 아래에서는 이러한 분석 틀에 기초하여 인구와 기후변화의 관계를 살펴본다. 다만 여기에서는 분석 틀을 이해하는 차원에서 인구, 환경(기후변화), 발전의 관계를 살펴보며, 인구와 기후변화의 복잡한 관계 및 주요 이슈에 대해서는 제4장에서 좀 더 자세히 검토하기로 한다.

14) 다른 한편으로 이 연구의 분석 틀에서 ‘발전’을 과학-기술, 제도-정책, 문화 등과 구분하여 협의적 의미(경제적-사회적 발전)로 사용하고 있지만, 광의적으로 이들 매개-조절 요인도 발전의 다양한 차원에 포함할 수 있다.

[그림 2-1] 인구변동과 기후변화 연구의 분석 틀



출처: 선행 연구(문헌 참고)에 기초하여 저자 작성

인구와 발전(population and development)의 문제가 국내 및 국제 인구정책의 주요 이슈 중의 하나이지만, 발전은 기후변화 같은 ‘환경’ 문제에서도 중요한 의미를 지닌다. 인구와 기후변화 연구의 분석 틀에 대한 이해를 높이기 위해 아래에서는 ‘인구-환경(기후변화)-발전’의 일반적 관계를 살펴보고, 인구와 환경(기후변화)의 관계에 영향을 미치는 작동 기제를 좀 더 세부적으로 살펴본다. 다만 선행 연구에 기초한 논의의 특성상 기후변화에 국한하지 않고 전체 환경 문제를 중심으로 인구 및 발전과의 관계를 살펴본다. 앞에서 언급했듯이 이 연구에서 언급하는 발전은 과학-기술, 제도-정책, 문화 등을 제외한 경제적 및 사회적 측면의 발전(economic-social development)을 상대적으로 강조한다.

인구와 기후변화의 관계에 관한 논쟁의 상당 부분이 온실가스 배출을 둘러싼 ‘인구-소비 논쟁’(population-consumption debate)의 형식을 취한다는 점(MacKellar et al., 1998, p. 119)에서 볼 수 있듯이 인구와 기후변화 논의의 핵심에 ‘발전’(특히 경제적 발전)이 자리 잡고 있다. 지속적인 경제성장과 이에 기초한 소비 지향적 발전 양식이 기후변화에 큰 영향을 미치지만, 소비 지향성이 현대 사회를 특징짓는 근본적인 발전 양식에 해당하기에 기후변화 문제에 대응하여 이를 변화시키는 것은 인구 문제를 해결하는 것보다 더욱 어려운 과제일 수 있다.

기본적으로 경제적 차원의 발전은 생산과 소비 수준을 높여 직접적으로 환경에 영향을 미치지만, 인구와 환경의 관계를 조절하는 측면에서도 중요한 역할을 할 수 있다. 예컨대, 선행 연구는 온실가스 배출과 기후변화에 대한 인구의 영향은 국가의 경제발전 수준에 따라 다르게 나타남을 보고한다(Fan et al., 2006, pp. 390-391). 경제발전이 온실가스 배출 저감 기술의 발전과 에너지 효율성의 향상으로 환경에 대한 인구의 영향에서 변화가 발생할 수 있다. 경제발전이 기후변화에 미치는 영향은

물질적인 차원뿐만 아니라 아래에서 논의하는 문화적 측면의 가치관 변동을 통해 나타날 수도 있다. 인구변천 과정에서 나타나는 인구 증가와 맞물려 경제발전이 환경에 부정적인 영향을 미치는 경향이 있지만, 경제발전이 환경에 부정적인 영향만을 미치는 것은 아니다. 이는 경제발전에 따라 기술, 개인들의 선호 체계(가치관), 환경에 대한 투자에서 변화가 나타나는 것과 관련이 있다(Mishra, 1995, p. 12).

경제적 차원의 발전과 함께 사회적 발전(social development)도 환경과 관련하여 중요한 의미를 지닌다. 경제적 발전 수준이 비슷하더라도 사회적 발전 수준에 따라 환경에 미치는 파급 효과는 다를 수 있다. 빈곤과 불평등 같은 자원 배분, 건강이나 교육 같은 인간 개발(human development), 성평등, 사회적 배제-차별 해소 같은 인권 보장도 사회적 발전의 개념에 포함될 수 있으며, 환경과 관련해서도 유의미한 영향을 미칠 수 있다. 예컨대, 교육 수준 향상 같은 인적 역량 강화(인간 개발)나 성평등 강화는 직접적으로 환경과 영향을 주고받는 관계를 규정하는 동시에 출산율 감소 등의 인구학적 기제를 통해 간접적으로 환경에 영향을 미칠 수 있다.

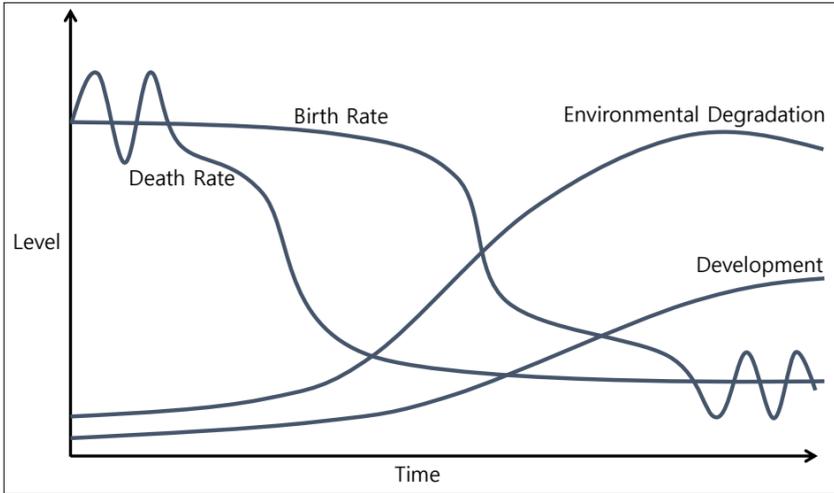
아래에서는 대표적인 인구학 이론인 인구변천이론(Theory of Demographic Transition)에 기초하여 인구와 환경 그리고 발전의 상호적 관계를 살펴본다. 잘 알려져 있듯이 인구변천이론은 사망률과 출산율의 구조 변동 및 이러한 인구변동 요인의 변화로 나타나는 인구의 증감과 구조 변화를 이해하기 위한 유용한 분석 틀이다(Notestein, 1945; Thompson, 1929). 일반적으로 인구변천이론에서는 사망률 감소가 출산율 감소에 선행하며, 사망률 감소 후 출산율이 감소할 때까지의 전환기에 급격한 인구 증가 현상이 나타나는 것으로 이해된다. 고전적 인구변천이론에서는 고사망률-고출산율에서 저사망률-저출산율 단계로 이

행하여 최종적으로 인구변천이 완료될 것임을 상정하지만, 우리나라를 포함하여 최근의 선진국 출산율 변동이 보여 주듯이 출산율은 선진국에서도 안정화되지 못하는 상황이다. 기본적으로 고전적 인구변천이론은 유럽과 북미 지역 국가의 인구변동에 기초한 이론으로, 이들 지역의 인구변천은 경제성장, 기술 진보, 도시화 등을 통한 전반적인 생활 수준 향상과 맞물려 진행된 것으로 이해된다. 이들 지역의 인구변천은 지난 수백년에 걸쳐 진행된 근대화(현대화) 과정의 일부인 것이다. 근대화 과정을 통한 경제적 및 사회적 발전이 인구변동에 영향을 미치는 구조이다. 반면에 대부분의 사회과학 이론처럼 인구변천이론에서도 기후변화 같은 ‘환경’은 주어진 외생적 요인으로 간주된다. 이러한 논리 구조에서 환경 요인은 경제적 및 사회적 조건에서의 변화를 거쳐 간접적으로 인구변동에 영향을 미치는 것으로 이해된다.

이러한 고전적 인구변천이론을 수정하여 시간의 흐름에 따른 인구-환경-발전의 관계를 도식화한 시도로 Mishra(1995, pp. 10-16)가 제안한 가설이 있다(〔그림 2-2〕 참고). 그에 의하면 인구변천의 시작과 함께 전반적으로 환경의 지속 가능성이 저해되기 시작한다. 인구 증가에 따라 소비가 증가하고 환경에 부정적 영향을 초래하는 기술의 발전으로 환경 훼손은 어떤 임계점을 지나면서 상대적으로 더욱 가팔라지는 패턴을 보인다. 이는 환경에 가해지는 스트레스가 일정 수준에 이를 때까지는 가시적인 모습이 관측되지 않지만, 환경 훼손 활동이 누적되어 일정한 임계점을 지나는 시점부터 환경의 지속 가능성이 본격적으로 악화하는 것과 관련이 있다. 상대적으로 가파른 환경 훼손은 인구변천이 완료되고 일정 수준의 발전과 생활 수준이 성취될 때까지 지속되며, 이후 최종적으로 안정화 단계에 진입할 때까지 점진적으로 감소하는 패턴을 보일 것으로 가설화된다. 물론 이는 가설화된 인구-환경-발전의 패턴에

해당하며, 개별 국가의 인구변천, 발전 수준, 및 다양한 매개-조절 요인에 따라 다양한 양상을 보일 수 있다.

[그림 2-2] 인구-발전-환경 변화의 전개 양상 도식화



출처: "A conceptual framework for population and environment research", Mishra, V., 1995, <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/4572/1/WP-95-020.pdf>, p. 11(Figure 2). International Institute for Applied Systems Analysis (부분 수정하여 재구성).

한편 환경 문제의 악화와 개선의 시간적 패턴은 환경 문제의 종류(차원)에 따라 다를 수 있다. 이와 관련하여 Mishra(1995, p. 11)는 시간의 흐름에 따른 환경의 훼손과 개선의 전개 과정에서 환경 문제의 '근접성'(proximity)이 중요함을 지적한다. 이는 환경 문제가 악화하고 개선되는 과정이나 양상이 문제를 해결하기 위한 정부, 지역사회, 조직, 개인 등 다양한 행위자의 영향을 강하게 받으며, 이들 행위자의 반응 및 개입 수준이 환경 문제의 근접성에 따라 다른 것과 관계가 있다. 비록 환경 문제의 다차원성과 중첩성으로 인해 엄밀한 분류가 쉽지는 않지만, 개념적으로 '지역적' 차원의 환경 문제가 개인들의 일상생활에 직접적인 영향을

미치는 반면에 ‘국제적’ 차원의 환경 문제는 간접적 파급 효과를 초래할 개연성이 상대적으로 높다. 근접성에 기초하여 환경 문제를 분류하는 접근의 중요성은 개인들에게 근접한 환경 문제일수록 환경 훼손(파괴)이 조기에 정점에 이른 후 빠르게 개선될 개연성이 높다는 것과 관련이 있다. 이는 건강이나 복지 등 개인들에게 근접한 환경 문제일수록 개인들이 일상에서 필요로 하는 기본적인 욕구나 서비스와 관련되기에 환경 문제에 대한 조기 개입의 요구가 크며, 중앙-지방 정부 또한 개인들의 높은 욕구에 반응하여 조치를 신속히 취할 개연성이 높음을 의미한다. 반면에 근접성이 낮은 환경 문제는 개인들의 일상생활과 상대적으로 거리가 멀기에 체감도가 낮을 뿐만 아니라 혜택과 비용의 수준과 부담 주체가 명확하지 않은 관계로 우선순위가 높지 않다.

근접성에 관한 이러한 논의는 기후변화에 대응하는 인구정책과 관련하여 유용한 시사점을 제공할 수 있다. 예컨대, 개발도상국의 경우 비용과 혜택을 정확히 계산하기 어려운 동시에 국가의 경제발전에 걸림돌이 될 수 있는 온실가스 배출 축소 같은 기후변화 문제의 ‘완화’ 조치에 적극적으로 참여할 개연성은 높지 않다. 반면에 지리적(저위도) 및 인구학적(고출산) 조건으로 기후변화의 부정적 영향을 받을 개연성이 상대적으로 높다는 점에서 기후변화에 대한 적응의 문제는 개발도상국에서도 매우 중요한 이슈에 해당한다. 이러한 상황을 고려할 때 기후변화에 대응하는 개발도상국의 인구정책에서는 인구 증가의 억제를 통한 온실가스 배출 축소(완화)가 아니라 기후변화에 대한 적응이 더욱 중요한 이슈일 수 있다.

환경과 마찬가지로 발전도 다양한 경로를 보일 수 있다. 전통적으로 발전 이론에서 사회경제적 발전의 기초가 되는 ‘물리적’ 환경의 역할은 논의의 대상에서 제외된다. 그러나 사회경제적 발전과 물리적 환경은 서로 영향을 미칠 수 있는 관계이다. 예컨대, 발전은 공업화 같은 산업 구

조 변화와 소비 증가를 초래하기에 인구 증가와 맞물려 환경을 훼손할 개연성이 높다. 물론 발전이 항상 환경 훼손으로 이어지는 것은 아니다. 발전 방식에 따라 환경 관련 정책 및 투자, 과학-기술, 소비 양식에서 변화가 나타날 수 있으며, 결과적으로 발전 방식에 따라 환경의 훼손과 개선 양상이 달라질 수도 있다. 다른 한편으로 급격한 환경 훼손은 사회경제적 발전에도 부정적 영향을 미칠 수 있으며, 증가하는 인구 압력은 이러한 관계를 더욱 악화시킬 수 있다. 이처럼 발전과 환경의 관계가 일면적이지는 않지만, 개발도상국이 정책, 기술, 소비 등에서의 변화를 통해 환경 문제를 해결하기는 쉽지 않다. 현재까지 지속되고 있는 급격한 인구 증가와 발전 지체의 문제를 고려할 때 개발도상국(특히, 사하라 이남 아프리카)에서 발전에 따른 환경 훼손은 향후 상당한 기간에 걸쳐 지속될 개연성이 높다. 한편 환경 문제가 개인들에게 얼마나 ‘근접한’ 이슈인지에 따라 환경의 훼손과 개선 양상이 다를 수 있음을 언급했지만, 개인들에게 ‘발전’의 문제는 다른 어떤 환경 관련 문제보다 더욱 ‘근접한’ 이슈일 수 있다. 이는 인구변천이 완료되어 인구변동이 안정화될 때까지, 그리고 사회경제적으로 일정 수준 이상의 발전을 이룰 때까지 개발도상국에서 환경 훼손이 지속될 개연성이 높음을 시사한다.

위에서는 환경에 영향을 미치는 요인으로 인구와 발전을 언급했지만, 인구와 발전의 관계를 명시적으로 설정하지는 않았다. 일반적으로 경제적 및 사회적 발전은 사망률과 출산율 감소를 통해 인구변천을 촉발할 수 있다. 고전적 인구변천이론이 이러한 맥락에 기초하여 인구변천을 이해한다. 물론 사회적 및 경제적 발전이 반드시 사망률과 출산율 감소의 전제 조건은 아니다. 예컨대, 제2차 세계대전 이후 많은 개발도상국에서 이루어진 사망률 감소는 사회경제적 발전보다는 선진국에서 수입된 보건의료기술의 영향을 강하게 받음으로써 사망력에 대한 통제

가 출산력에 대한 통제를 크게 능가하는 모습을 보였다(Omran, 1971, p. 536). 다른 한편으로 선진국과 달리 개발도상국의 출산율 감소는 경제발전이 아니라 가족계획의 영향을 강하게 받았음이 지적되기도 한다(Götmark & Andersson, 2023, p. 1606). 물론 사망률이 점진적으로 감소하고 가족계획 프로그램이 보급되었음에도 출산력 변천이 지연되거나 정체되고 있는 사하라 사막 이남 아프리카 지역은 예외적인 사례에 속한다(Bongaarts, 2017, pp. 54-55; Schoumaker, 2019, p. 257). 이렇듯 인구와 발전의 경로가 다양한 양상을 보임에 따라 환경에 미치는 영향 또한 다르게 나타날 수 있다.

인구-발전-환경의 일반적 관계에 이어 아래에서는 이 연구가 초점을 맞추는 인구가 기후변화에 미치는 영향(인구 → 기후변화)과 기후변화가 인구에 미치는 영향(기후변화 → 인구)의 작동 기제를 좀 더 세부적으로 살펴본다. 다만 아래에서 검토하는 내용은 인구-기후변화 연구의 분석 틀을 이해하는 차원으로 한정하며, 인구가 기후변화에 미치는 영향과 기후변화가 인구에 미치는 영향의 세부적인 내용은 제4장에서 검토한다.

인구는 다양한 기제를 통해 환경에 영향을 미친다. 기본적으로 인구의 증가는 생존에 필요한 물, 토지, 화석연료 등 자연 자원에 대한 수요를 증가시킨다. 인구 증가가 촉발한 자연 자원에 대한 수요 증가는 에너지를 집약적으로 사용하도록 함으로써 환경에 영향을 미친다. 인구 증가에 따른 에너지의 집약적 사용은 생산 영역에만 국한하지 않고 소비 영역으로도 확대된다. 최근까지 인간 활동에 의한 온실가스 배출과 관련하여 가장 주목을 많이 받은 이산화탄소의 상당 부분은 이러한 생산과 소비 과정에서 이루어진 화석연료의 연소를 통해 배출되는 것으로 알려진다. 인구의 증가가 자연 자원에 대한 수요 증가와 연계될 수 있음은 직관적으로 이해할 수 있지만, 인구가 환경에 미치는 영향은 추가로

다양한 과정을 통해 이루어진다. 인구가 환경에 미치는 파급 효과의 작동 기제가 단순하지 않다는 점은 인구와 환경의 관계에 대한 종합적 이해를 어렵게 하는 주요 원인이 된다.

우선, 인구의 구성이 인구와 환경의 관계에서 중요한 역할을 한다. 인구의 구성과 관련하여 주목을 가장 많이 받는 인구학적 특성은 인구의 연령 구조(age structure)이다. 특히 연령 분포의 중심이 고연령대로 이동하는 인구 고령화 현상은 기후변화와 함께 전 세계적으로 파급 효과를 갖는 이슈이다. 기후변화에 대한 연령 구조 변화의 중요성은 무엇보다도 에너지 사용이나 온실가스 배출과 관련된 개인의 행위 양식이 생애 주기를 거치면서 변화하는 점에 있다(Muttarak, 2021, p. S78). 다른 한편으로 인구의 연령 구조 변화는 인구이동 및 이에 따른 도시화 현상과 연관됨으로써 환경에 영향을 미칠 수 있다. 이는 기본적으로 인구이동이 연령별로 구조화되는 것과 관련이 있다(Rogers, 1988; Rogers & Castro, 1981). 예컨대, 교육이나 취업 등으로 젊은 연령층(특히 20대)의 인구이동 성향이 상대적으로 높은 모습을 보이며, 전체 인구 대비 젊은 연령층 인구의 구성비 증가는 후속적으로 도시화 현상의 심화로 연결될 개연성이 높다.<sup>15)</sup> 출산, 사망, 이동 같은 인구학적 과정이 초래하는 가구의 구성 변화도 기후변화와 관련하여 중요한 함의를 지닌다. 규모의 경제를 고려할 때 일반적으로 가구의 규모가 커질수록 1인당 에너지 사용이나 온실가스 배출량이 감소할 개연성이 높다. 이에 따라 최근 들어 온실가스 배출에 대한 인구의 영향을 분석하는 과정에서는 개인 대신에 생산과 소비 관련 의사결정의 주요 주체인 가구의 중요성이 강조된다(Jiang & Hardee, 2011; MacKellar et al., 1995; Prskawetz et al., 2004).

15) 물론 인구이동 자체가 환경 변화에 따른 결과의 성격을 띠 수도 있다(예컨대, 환경 난민). 인구이동의 의미를 둘러싼 논란에 대해서는 제4장에서 좀 더 자세히 검토한다.

인구의 구성뿐만 아니라 인구의 공간적 분포도 환경에 대한 인간 활동의 영향에서 중요한 의미가 있다. 인구이동과 관련하여 앞에서 언급한 도시화는 인구의 공간적 분포에서 핵심 이슈이다. 도시화가 진전되는 초기 단계에서는 온실가스 배출량이 많아지지만, 에너지를 절약하는 소비 패턴의 확립과 함께 도시의 기반 시설(교통)이 체계적으로 구축되고 에너지를 효율적으로 사용하는 환경이 조성되면 도시 환경은 비도시 지역보다 1인당 온실가스 배출량을 크게 줄임으로써 기후변화에 더 효과적으로 대응하는 방안이 될 수도 있다(Dodman, 2009a, pp. 198-199). 그러나 사회 기반 시설이나 환경 규제 등의 발전 속도를 능가하는 수준으로 진행되는 과잉 도시화는 환경의 파괴나 오염은 물론이고 장기적으로 도시의 지속 가능한 발전을 저해하는 원인이 될 수도 있다(Hunter, 2000, pp. 24-26).

다양한 기제를 통해 인구가 환경에 영향을 미치는 것처럼 환경 또한 인구에 영향을 미칠 수 있다. 예컨대, 기후변화는 식수 안전, 식량 생산, 건강, 복지, 도시, 거주 및 기반 시설 등에 변화를 초래함으로써 인구에 영향을 미칠 수 있다(IPCC, 2022b, pp. 9-11). 물론 환경이나 기후변화가 인구에 미치는 영향이 모든 인구 집단에서 동일한 것은 아니다. 이에 따라 환경(기후변화)이 인구에 미치는 영향에 관한 논의에서는 ‘차별 취약성’(differential vulnerability)이 핵심 개념으로 등장한다.

전통적으로 기후변화가 인구에 미치는 영향에 관한 논의에서는 ‘지리적(공간적) 조건’이 환경 변화에 대한 취약성을 결정하는 핵심 요인으로 인식되었다. 예컨대, 농어촌 지역에 비해 인구나 경제적 자산이 집중됨으로써 도시 지역은 다양한 유형(태풍, 홍수, 가뭄, 지진, 산사태, 화산 분출)의 재난 발생 시 인명 손실이나 재산 피해가 클 수 있다. 특히 선진국에 비해 각종 기반 시설이 제대로 구축되지 못한 개발도상

국의 도시(특히 대도시)는 자연재난의 발생과 자연재난으로 인한 인명 및 경제적 손실 위험에 취약함이 지적된다(Gu, 2019, p. 20). 그러나 환경이 인구에 미치는 영향은 공간적 위치뿐만 아니라 재난의 유형에 따라 다를 수 있다. 앞에서 언급했듯이 인구의 밀집도가 높고 경제적 자원이 집중된 도시가 자연재난에 노출될 위험이 높지만, '생계유지'의 측면에서는 농어촌 지역에 거주하는 인구 집단이 기후변화의 영향에 더 취약할 수 있다(Muttarak, 2021, p. S80). 사하라 이남 아프리카 지역 등 자연환경(예컨대, 강수)에 생계를 의존하는 천수농업(天水農業) 지역이 여기에 해당하는 대표적인 사례이다.

한편 기후변화가 초래할 수 있는 위험은 공간적 위치뿐만 아니라 인구 집단이 보유한 특성에 따라 차이를 보일 수 있다. 생리학적 취약성(강건성), 위해(hazard)에 대한 노출 여부와 수준, 사회경제적 및 심리학적 요인 등에서의 차이가 후속적으로 기후변화 위해에 대한 인지와 대응 능력에 영향을 미칠 수 있다(Muttarak, 2021, p. S79). 특히 최근으로 올수록 기후변화에 대한 취약성을 하나의 고정된 속성으로 이해하는 대신에 지리적(자연환경), 물리적(건조환경), 사회적 환경이 상호작용한 결과로 이해하는 경향이 관측된다.

앞의 인구변동과 기후변화 연구의 분석 틀([그림 2-1])에서 볼 수 있듯이 인구변동과 기후변화의 관계는 상호 영향을 주고받는 관계인 동시에 다양한 요인들에 의해 그 파급 효과가 조정되는 과정을 거친다. 아래에서는 위의 분석 틀에서 언급한 주요 조정 기제들을 살펴본다. 첫째, 과학과 기술이다. 과학-기술이 인구와 환경의 관계를 조정하는 중요한 기제 중의 하나라는 점은 잘 알려져 있다. 지속 가능한 방식으로 환경을 보호하고 발전을 이룩하기 위한 기초가 과학-기술이며, 기술 진보는 동일한 사회경제적 조건에서도 환경 문제를 줄이거나 개선할 수 있다(Shaw, 1992, p.

14; World Bank, 1992, p. 10). 기후변화에 관한 가장 최근의 논의에서 IPCC(2022a, p. 255)도 기술 변화가 온실가스 배출 감소에서 핵심 요인임을 지적한다. 기후변화 문제로 인해 과학-기술의 역할이 더욱 두드러지는 측면이 있지만, 사실 인구와 환경의 관계를 조정하는 기제로서 과학-기술은 전체 인류 역사에서 지속적으로 중요한 역할을 해 왔다. 경작의 기계화, 수확량이 많은 종자의 개발, 비료나 농약 같은 농업 기술(기법)의 혁신(녹색 혁명)은 고전적 맬서스 이론이 예상하지 못한 지속적인 인구 증가를 가능하게 했으며, 후속적으로 인구 증가는 경쟁과 협력 과정을 통해 추가적인 기술 혁신의 기초가 되기도 한다. 물론 Mishra(1995, p. 16)가 지적하듯이 기술 발전이 환경 문제 해결의 만병통치약이 될 수는 없다. 기술 발전은 잠재적으로 환경 문제의 해결책이 될 수 있는 동시에 문제를 악화시키는 원인이 될 수도 있다.

무엇보다도 환경에 가장 큰 영향을 미치는 기술은 인간이 에너지를 사용하는 기술이다. 이는 에너지 사용이 인구와 환경을 연결하는 가장 기초적인 연결고리인 것과 관련이 있다. 예컨대, 석유, 석탄, 천연가스 등 에너지와 관련된 기술 변화는 근대화(산업화) 과정의 가장 중요한 측면을 구성한다(Hunter, 2000, p. 37). 화석연료의 사용으로 인한 온실가스 배출이 인위적 기후변화를 초래하는 주요 원인임은 잘 알려져 있다. 물론 온실가스 배출에 대한 기술 변화의 영향은 일면적이지 않으며, 그 작동 기제에 따라 온실가스의 증가 혹은 감소와도 연결될 수 있다. 예컨대, 노동생산성을 높이는 방식의 기술 변화는 후속적으로 노동 투입량을 증가시켜 온실가스 배출량을 증가시킬 개연성이 있지만, 정제 연료나 전기 등 저탄소 배출 연료 분야에서 이루어지는 기술 향상은 산출물의 탄소 집약도(carbon intensity)를 낮춤으로써 온실가스 배출을 줄일 수 있다(Dalton et al., 2005, p. 17).<sup>16)</sup>

환경 문제에 대한 기술의 영향과 관련한 논의에서는 기술의 혁신 못지않게 기술의 이전 또한 중요하다(Mishra, 1995, p. 16). 현재까지 대부분의 개발도상국에서 사용 중인 생산 기술은 선진국과 비교할 때 효율적이지 못하고 대기 오염 등 또 다른 환경 문제를 초래할 개연성이 높다. 이러한 측면에서 더욱더 효율적이고 환경 친화적인 기술의 신속한 이전은 개발도상국의 발전과 환경 훼손의 전개 양상에 큰 영향을 미칠 수 있다. 참고로 파리 협정(Paris Agreement)은 온실가스 배출량을 줄이고 기후변화에 대한 회복력을 높이기 위하여 기술 개발과 이전의 중요성에 대한 장기적 비전을 강조한다(UNFCCC, 2024). 그러나 온실가스 배출 감소에 큰 역할을 할 수 있는 재생에너지 체제로의 전환을 둘러싼 경제적 주도권 확보가 큰 이슈라는 점에서 기술 이전이나 재정 지원은 간단한 문제가 아니다. 다른 한편으로 과학-기술은 인구가 환경에 미치는 영향의 '완화'뿐만 아니라 환경 변화에 따른 인구의 '적응' 측면에서도 중요한 역할을 할 수 있다.

둘째, 다양한 환경 및 사회(인구) 관련 제도와 정책이다. 지역-국가-국제 단위의 제도 및 정책도 환경에 대한 인구의 영향과 인구에 대한 환경의 영향을 조정하는 역할을 할 수 있다. 국제적으로 공감대를 형성한 '정책'이 환경 문제의 해결에서 중요하다는 점은 잘 알려져 있다. 1980년대에 과학계는 지구 대기권(성층권)의 오존 감소 위험을 경고하면서 오존층 파괴가 프레온 가스로 알려진 염화불화탄소(CFCs) 등의 생산과 관련이 있음을 지적하였다. 이에 대응하여 1987년에 채택된 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)는 오존층 파괴 같은 환경 문제를 해결하는 데 정책이 큰 역할을 할 수 있음을 보여 주는 대표적인 사례로 지적된다(Hunter, 2000, p. 38). 실제로 2022년에 이루어진 오존층 파괴에 관한 과학적 평

16) 탄소 집약도는 산출물 단위당 이산화탄소 배출량을 의미한다.

가(World Meteorological Organization[WMO], 2022, p. 3)에 의하면 몬트리올 의정서에 기초하여 취해진 조치로 인해 대기 중의 오존층 파괴 물질이 지속해서 감소 중이며, 이에 따라 오존층이 회복되는 동시에 지구 온난화 문제의 완화에도 긍정적으로 기능함을 보고하고 있다.

그러나 기후변화 대응 정책이 항상 성공적이지는 않다. 1992년 브라질의 리우데자네이루에서 열린 유엔환경개발회의(United Nations Conference on Environment and Development: UNCED)에서 채택되어 1994년에 발효된 UNFCCC의 최고 의사결정기구인 당사국총회(Conference of the Parties: COP)는 1997년의 제3차 총회(COP3)에서 교토 의정서(Kyoto Protocol)를 채택하였다. 교토 의정서는 제1차 공약 기간인 2008~2012년에 걸쳐 인준 국가를 대상으로 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축할 것을 규정하였다(2005년 2월 발효). 이러한 목표의 이행을 촉진하기 위해 비준 국가가 설정된 감축 목표를 달성하지 못하면 제2차 공약 기간인 2013~2020년에 걸쳐 새롭게 설정된 제2차 이행 목표(평균 18% 감축)를 달성해야 함과 동시에 30%의 벌칙이 가산된 제1차 목표의 이행 의무를 부과하였다. 그러나 배출권 거래 등 유연한 시장 기제를 도입했음에도 중국, 인도 등 개발도상국에 온실가스 배출 감축 의무를 부과하지 않는 동시에 미국 등이 교토 의정서를 탈퇴함으로써 사실상 존폐 위기에 직면하게 된다(UNFCCC, 2024).

교토 의정서를 대체하여 2015년 COP21에서 채택(2016년 발효)된 파리 협정은 온실가스 배출량 감축에 초점을 맞춘 교토 의정서와 달리 지구의 평균 온도를 산업화 이전 대비 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지하는 한편 1.5℃ 이내로 억제하기 위해 노력할 것을 목표로 설정하였다. 하향식으로 국가별 감축 목표를 설정한 교토 의정서와 달리 파리 협정은 협정 목표를 달성하기 위해 개별 국가 스스로 온실가스 감축 목표를 설정하

는 방식(Nationally Determined Contributions: NDCs)을 채택하였다. 파리 협정은 선진국과 개발도상국을 모두 아울러 기후변화를 완화하고 기후변화가 초래하는 문제에 적응하기 위한 다자간 협정이라는 점에서 의의가 크다(UNFCCC, 2024). 그러나 잘 알려져 있듯이 미국의 트럼프 행정부가 파리 협정을 탈퇴하고 뒤를 이은 바이든 행정부에서 재가입하는 등의 진통을 겪은 바 있다. 또한 국제(선진국/개발도상국) 및 국내(산업/비산업)의 이해관계가 다르고 목표 불이행에 따른 벌칙이 없다는 점에서 실질적인 성과를 거두기가 쉽지 않다는 비판이 제기되기도 한다. 그러나 벌칙 조항을 둔 교토 의정서가 실질적으로 작동하지 않았다는 점을 고려할 필요가 있다. 국가별 감축 목표(NDC)의 수준을 ‘강제하는’ 대신에 ‘자체적으로’ 설정한 국가별 감축 목표를 제출하도록 하는 한편 주기적으로 목표의 이행 상황을 보고하도록 하는 등 자율성과 투명한 절차를 강조하는 현재의 방식이 더욱 효과적일 수 있다.

우리나라는 파리 협정을 채택하기 전인 2009년에 저탄소 녹색성장 기본법을 제정한 후 2014년에 국가 온실가스 감축 목표를 수립한 바 있다. 이 시기에 수립된 온실가스 배출 감축 목표는 2020년의 통상 배출량 전망치(Business As Usual: BAU) 대비 30% 감축이었다. 파리 협정이 채택된 해인 2015년에는 국가 온실가스 배출 감축 목표를 2030년의 BAU 대비 37% 감축으로 설정하였다(대한민국 정부, 2023, p. 5). 2019년에 이르러 더욱 강력한 기후변화 대응 의지를 표명하기 위해 기존의 BAU 방식 NDC 대신에 절대량 방식 NDC로 수정하여 2030년까지 온실가스를 2017년 대비 24.4% 감축하도록 하는 법령(녹색성장기본법 시행령)의 개정 작업을 완료하고 2020년에 UN에 제출하였다(외교부, 2024). 2021년에는 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립 녹색성장 기본법’을 제정하여 2050년까지 탄소중립을 목표(제7조)로 2030년까지

국가 온실가스 감축 목표(NDC)를 2018년 대비 35% 이상으로 설정하였다(제8조 제1항). 후속적으로 2021년 12월에는 2030년까지 2018년 대비 온실가스 배출 감축 목표를 40%로 상향 조정하여 UN에 보고하고, 이를 추진하기 위해 2022년 3월에 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 시행령’(제3조)을 제정한 바 있다.<sup>17)</sup>

정책과 함께 제도 또한 환경에 대한 인구의 영향을 조정하고 환경의 영향을 완화하는 역할을 할 수 있다. 기후변화가 인구에 미치는 영향은 상당히 복잡하며, 인과관계의 규명 또한 쉽지 않다. 이렇게 인구와 기후변화의 관계가 복잡한 것은 부분적으로 제도의 역할과도 관계가 있다. 기후변화와 매개체 질환(vector-borne disease)의 확산 문제를 예로 들면, 기후변화가 감염병 발생에 미치는 영향에서는 모기 같은 매개체의 역할이 중요하며, 매개체가 전파하는 질환은 환경과 숙주의 복잡한 상호작용에 따라 다양한 양상을 보인다. 특히 기후나 환경 변화에 따른 숙주의 재생산율에 따라 질환의 전파 속도는 큰 차이를 보일 수 있다. 비록 기후와 환경 변화가 질환 발생률에서 큰 변화를 촉발할 수 있지만, 보건 의료 제도 또한 질환의 전파를 통제하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 이에 따라 어떤 질환의 발생과 확산이 변화된 기후 및 환경 조건에 기인하는지 아니면 제도의 실패를 반영하는지는 불분명할 수 있다. 또한 기후변화나 환경 요인이 건강상의 문제를 초래할 수 있지만, 이러한 문제 중 정확히 어느 정도가 기후변화나 환경 요인에 기인하는지를 판단하는 것은 현실적으로 쉽지 않다(Githeko & Woodward, 2003, p. 46). 물론 이러한 논의는 기후변화와 건강 영역에만 국한하지 않으며,

17) 참고로 올해 8월에 헌법재판소(2024)는 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립 녹색성장 기본법’ 제8조 제1항에 대해 헌법불합치 결정을 내린 바 있다. 이는 국가가 2050년까지 온실가스 순배출량 0(net zero)의 달성을 목표로 함에도 2031~2049년 기간의 온실가스 감축 목표를 제시하지 않고, 이와 관련한 최소한의 보호 조치도 마련하지 않음으로써 국민의 기본권(환경권)을 침해한다는 판단이다.

기후변화가 인구에 미치는 영향 대부분에서 나타나는 현상이다. 예컨대, 기후변화 및 그로 인한 극한 기상 현상이 초래한 자연재난에서도 제도적 대응에 따라 결과는 크게 달라질 수 있다.

위에서 언급한 감염병이나 자연재난의 사례에서 추론해 볼 수 있듯이 기후변화는 완전히 새로운 형태의 위험 요인들을 만들어 내기보다는 현존하는 위험을 확대하고 강화하는 방식으로 작동할 개연성이 상대적으로 높다. 기후변화 위험의 이러한 작동 방식은 다양한 자연적 및 사회적 위험에 대응하기 위해 구축된 기존 제도가 새롭게 다가온 기후변화 위험에 대한 대응에서도 중요한 역할을 할 수 있음을 추론하게 한다. 이렇듯 제도의 대응 역량에 따라 기후변화의 파급 효과가 다를 수 있다는 점은 기후변화 대응 정책에서 기후변화에 특화된 수단 대신에 기존 사회제도의 역할 및 이를 보완하는 정책적 개입이 중요할 수 있음을 시사한다. 이 연구의 기후변화 대응 정책 과제(제5장)에서 다양한 부문 간 연계 정책을 강조하는 것은 이와 관련이 있다. 특히 기후변화에 대한 '적응'의 문제에서는 기후변화에 특화된 적응 방안의 모색보다는 발전 정책, 재난 위험 대응 정책, 환경 오염(대기 오염) 정책 등과의 연계가 중요하다.

마지막으로 물질적 재화는 물론이고 가치, 규범 등 인구 집단의 고유한 특징을 형성하는 문화 또한 인간이 자연환경과 상호작용하는 방식을 직간접적으로 규정한다는 점에서 인구와 환경의 관계를 조정하는 데 일정한 역할을 할 수 있다. 최근까지도 기후변화에서 문화(가치)의 역할에 관한 연구는 상대적으로 부족했으며, 논의의 범위 또한 경제적 차원으로 한정된 측면이 있다(예컨대, 후생경제학적 의미에서 환경이 지닌 '가치'). 그럼에도 최근의 논의는 기후변화의 위험을 충분히 이해하고 적절히 대응하기 위해서는 객관적 수단이나 경제학적 분석을 넘어 기후변화의 주관적 차원을 고려할 필요가 있음을 시사한다. 예컨대, 개인의 가치 지향(value orientation)

은 기후변화의 위험과 영향에 대한 반응은 물론이고 기후변화에 대한 적응 방식(취약성)을 규정하는 데도 중요한 역할을 할 수 있다(Corner et al., 2014, p. 415; O'Brien & Wolf, 2010, p. 235).

앞에서 언급했듯이 이 연구에서는 인구와 기후변화의 문제를 이해하고 해결하는 과정에서 '발전'이 핵심적인 역할을 한다는 시각에 기초한다. 특히 대다수 사회 성원들이 발전을 통해 달성하고자 하는 가치 지향성을 의미하는 '발전 가치'는 사회적으로 당면한 주요 문제를 해결하고 사회 성원들의 열망을 성취하는 과정에서 매우 중요하다(임희섭, 1995, p. 16). 경제발전과 정치 민주화를 거쳐 최근에는 경제, 사회, 환경을 모두 아우르는 '지속 가능한 발전'이 한국 사회는 물론이고 전 세계적으로 중요한 발전 가치로 부상하는 모습을 보게 된다. 특히 기후변화에 성공적으로 대응하기 위해서는 지속적인 경제발전과 소비를 지향하는 사고방식 및 행위 양식에 대한 근본적인 성찰과 변화가 필요하다는 점에서 가치 지향, 특히 발전에 대한 사회 구성원들의 가치 지향은 점점 더 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다.

## 제2절 인구-기후변화 연구의 발전 과정

인구와 기후변화 연구의 발전 과정과 관련하여 인구학에서 환경 문제가 주변화된 이유를 살펴보는 작업은 인구학에서 환경 문제를 재조명하고 향후 발전 방향을 모색하는 측면에서 의미가 있다. 환경 문제가 인구학에서 주목받지 못한 이유에 대한 초기적 논의는 미국 인구학회지(Demography)에 게재된 1998년의 미국 인구학회장(Anne R. Pebley)의 연설(Pebley, 1998)에 잘 요약되어 있다. 기후변화 등 환경 문제가 인구학적으로 주목을 받지 못한 원인을 분석한 또 다른 연구로 기후변화에 따른 재난 취약성의 문제를 논의한 Vienna Yearbook of Population

Research(Muttarak & Jiang, 2015)가 있다. 아래에서는 이들 선행 연구를 포함하여 최근까지 인구학에서 환경 문제가 주요 연구 주제로 자리 매김하지 못한 원인을 좀 더 세부적으로 살펴본다.

첫째, 급격한 인구 증가가 환경을 위태롭게 할 것임을 많은 인구학자가 당연한 사실로 전제했다는 것이다. 이에 따라 인구와 환경이 상호작용하는 세부적인 작동 기제를 파악하기보다는 인구 증가를 억제하는 방안이 인구학적 논의가 집중되는 모습을 보였다(Davis, 1990, p. 2; Pebley, 1998, p. 379). 가족계획(출산 억제) 이슈를 중심으로 1970~1980년대의 국제 인구정책을 주도한 국제인구개발회의(ICPD)는 이러한 상황을 잘 보여 준다. 물론 인구 증가의 억제가 경제성장(발전)과 환경 문제 해결 측면에서 긍정적인 역할을 할 수는 있다. 그러나 인구 증가의 억제는 단순한 문제가 아니다. 무엇보다도, 과거의 사례가 보여 주듯이 인구 증가 억제 정책은 재생산권(reproductive rights) 보장과 충돌할 개연성이 높다. 잘 알려져 있듯이 인구통제(population control) 성격이 강했던 1970~1980년대의 국제 인구정책이 1994년 이집트 카이로(Cairo)에서 열린 국제인구개발회의(ICPD)를 기점으로 패러다임을 전환한 것도 이와 관련이 있다. 다른 한편으로 인간 활동에 의한 기후변화의 주된 원인인 온실가스 배출 문제에서 출산율이 낮은 선진국의 책임이 더 크다는 점도 환경의 지속 가능성을 높이기 위한 목적으로 개발도상국의 인구 증가를 억제하려는 주장과 논리적으로 배치된다. 기후변화를 완화하려는 조치가 개발도상국의 발전에 대한 권리(right to development)를 제약할 개연성이 있다는 논의(Baer et al., 2009, p. 1123; van Dalen & Henkens, 2021, p. 562)도 이러한 맥락에서 이해할 수 있다.<sup>18)</sup>

18) 예컨대, Satterthwaite(2009)는 '공정한 분담'(fair share) 수준보다 온실가스를 적게 배출하는 저소득-저소비 가구(국가)와 '공정한 분담' 수준보다 온실가스를 많이 배출하는 가구(국가)를 다르게 취급해야 함을 주장한다.

개발도상국의 출산율 감소에 초점이 맞춰진 인구정책을 둘러싼 이러한 논란은 결과적으로 가족계획 정책을 둘러싼 명확한 방향 정립을 어렵게 하고 기후변화를 포함한 환경 관련 이슈에 대한 인구학자들의 적극적인 참여를 저해하는 원인이 되고 있다. 현재까지도 온실가스 배출량을 줄이기 위해 세계 인구가 감소해야 하는지, 가족계획이 이를 위한 효과적인 수단인지를 둘러싼 인구학계 내부의 견해차가 매우 큰 상황이다(van Dalen & Henkens, 2021, p. 551). 이러한 논쟁적 상황으로 인해 최근까지도 기후변화 같은 환경 문제에 대응하기 위해 인구 증가를 억제하는 방안에 관한 논의는 오히려 인구학계 ‘외부’에서 더욱 활성화된 모습을 보인다(Crist et al., 2017, p. 260; Gerlagh et al., 2023, pp. 209-210; Guillebaud, 2016; Hugo, 2011, p. S31; Speidel et al., 2009, p. 3060).

둘째, 다른 일군의 인구학자들은 반대로 환경 문제에서 인구가 핵심적인 이슈가 아니라는 주장을 견지함으로써 환경 문제가 인구학적 연구의 주제로서 적절하지 않음을 지적한다. 이들은 사회제도, 시장 기제의 효율성, 빈곤 등 소득 분포의 양상, 과학기술의 수준, 사회적 규제 같은 요인들이 인구의 증가 못지않게 중요한 요인임을 주장한다. 또한 환경에 대한 인구 증가의 ‘직접적’ 효과는 인구 증가로 인해 초래되는 과학기술의 변화, 제도적 조정, (후속적인) 출산율 감소 같은 환류 과정에 의해 완화될 수 있음을 지적한다. 비록 인구 외적 요인이나 환류 과정이 중요한 역할을 할 수 있지만, 이러한 시각은 사회제도, 시장 기제, 환류 효과의 역할에 과도하게 초점을 맞추므로써 인구변동이 환경에 유의미한 영향을 미치지 못한다는 잘못된 결론에 도달한 측면도 있다(Muttarak, 2021, p. S83; Pebley, 1998, p. 379). 이렇게 인구와 환경의 관계에서 인구 외적 요인이나 환류 과정에 대한 지나친 강조는 인구학에서 환경 이슈가 중심적인 연구 주제로 자리매김하지 못하는 또 다른 원인이 되었다는 것이다.

환경 문제에서 인구가 핵심적인 이슈가 아니라는 인식의 또 다른 배경에는 1990년대 이후의 인구학적 상황과 이에 관한 국제적 인식이 있다 (Bongaarts & O'Neill, 2018, pp. 650-651; Zlotnik, 2009, pp. 39-41). 1970~1980년대와 비교할 때 1990년대에 들어 전 세계적으로 인구성장률이 감소함으로써 인구는 과거와 같은 핵심 이슈로서의 위치를 상실하기 시작했다. 1992년 브라질의 리우데자네이루에서 열린 'Agenda 21'의 추진 상황을 점검한 1997년의 UN 총회는 경제 상황 악화와 불평등 증가 추세와는 반대로 전 세계적으로 인구성장률이 감소함으로써 21세기 중엽에는 세계 인구가 안정화 단계에 진입할 것으로 낙관적인 평가를 내렸다(UN, 1997, p. 5). 그러나 이는 개발도상국의 출산율이 즉각적으로 대체출산율(replacement-level fertility) 수준까지 감소하더라도 인구 구조에 내재한 성장 잠재력(인구 모멘텀; population momentum)으로 인해 세계 인구가 향후 상당한 기간에 걸쳐 지속해서 증가하는 상황을 고려하지 못한 부정확한 진단이다. 더욱이 1994년의 국제인구개발회의(ICPD) 이후 국제적 관심이 HIV/AIDS로 이동함으로써 가족계획에 대한 재정 지원이 크게 줄어들었다. 이러한 상황에서 상대적으로 가파른 사망률 감소에 비해 출산율 감소가 정체된 사하라 이남 아프리카 지역을 중심으로 개발도상국의 가파른 인구 성장 추세가 지속되었다. Bongaarts and O'Neill(2018, p. 650)은 인구 성장이 더 이상 문제가 아니라는 이러한 오해가 기후변화 논의에서 인구(정책)를 경시하게 된 원인 중의 하나로 지적한다.

셋째, 기후변화를 포함하여 많은 환경 문제를 이해하기 위해서는 물리학, 화학, 생물학, 기상학, 생태학, 지질학처럼 인구학 영역을 넘어서는 다양한 자연과학 분야의 이론, 자료, 방법론에 관한 지식이 필요하다(Hayes, 2015, p. 33). 물론 다양한 학문 분야를 가로지르는 기후변화

연구의 특성은 기후과학에 관심이 있는 모든 연구자에게 공통으로 적용되는 문제이다. 자연과학 분야 종사자도 예외가 될 수 없다. 또한 환경 문제에는 공간 통계학, 인공위성이나 조사 로봇 등을 통한 원격 탐사, 지리정보 시스템(GIS) 등 복잡하고도 다양한 분석 도구들이 활용된다. 기후변화를 포함한 환경 문제의 이러한 특징은 불가피하게 다양한 영역 간 협력 작업을 요구한다(Muttarak, 2021, p. S83; Pebley, 1998, pp. 379-380). 그러나 사회과학 내부의 협력 작업과 비교할 때 자연과학자와 사회과학자의 협력 작업은 패러다임이나 가정(assumption) 등에 존재하는 근본적 차이로 인해 접점을 찾기가 쉽지 않음이 지적된다(Pickett, 1993, pp. 37-41). 환경 이슈에서 자연과학과 사회과학의 협력 부족은 인구학적 연구가 제공할 수 있는 비판이나 통찰력이 환경 관련 논의에서 충분히 반영되지 못하는 결과로 이어졌다. 기후변화와 관련하여 현재까지 사용되는 기후 모델이 대체로 사회 체계나 인구학적 행동과 관련하여 단순한 접근(가정)을 취하는 상황도 어느 정도 이러한 협력 부재의 결과로 이해할 수 있다.

마지막으로, 환경 문제에 관한 인구학적 분석과 논의를 효과적으로 진행하기 위해서는 환경 변수들에 관한 지역사회 수준의 종단적 자료가 필요하지만, 현재까지 자료의 활용 가능성은 상당히 낮은 상황이다. 과학기술의 발전 등으로 자료에 대한 접근성이 좋아지고 있지만, 환경에 대한 가구나 개인 행동의 효과를 체계적으로 분석하기 위해서는 충분한 규모의 공간-지역 및 해당 공간-지역에 거주하는 개인-가구에 관한 정보가 필요하다. 특히 환경 이슈가 기본적으로 전 지구적 문제이지만, 개발도상국의 자료 접근성은 더욱더 제한적이다. 사회과학의 다양한 분야 중에서 계량 분석의 전통이 매우 강한 인구학에서 적절한 자료의 부족은 환경과 기후변화에 관한 인구학적 연구를 크게 저해하는 원인이 되었다(Hayes,

2015, p. 35; Muttarak, 2021, p. S83; Pebley, 1998, p. 380).

환경과 기후변화에 관한 관심 부족에도 불구하고 기후변화의 주된 동인으로서 인간 활동의 역할에 관한 증거가 축적됨에 따라 최근 들어 인구 관련 이슈를 이해하기 위한 인구학적 통찰력에 대한 요구가 커지고 있다. 환경과 기후변화 이슈와 관련하여 최근까지 이루어진 주목할 만한 인구학적 기여는 인구, 발전, 환경을 통합적으로 아우르는 분석 틀(Population-Development-Environment: PDE)을 통해 본격화되었다(Lutz, 1994a; O'Neill et al., 2001). 인구, 환경, 발전이 복잡하게 연관되어 있으며, 이들 문제 중 어떤 것도 고립된 상태에서 성공적으로 해결할 수 없음은 잘 알려진 사실이다. 그러나 복잡하게 얽힌 인구, 환경, 발전의 문제를 경험적으로 분석할 수 있는 경험적 분석 틀의 부족은 이들 이슈의 통합적 분석과 이해의 걸림돌이 되었다. 기본적으로 PDE 접근은 인구변동(P), 사회경제적 발전(D), 환경(E) 간에 존재하는 복잡한 관계를 이해하기 위한 유연하고 사용자 친화적인 분석 도구로 정의할 수 있다(Lutz, 1994b, p. 210). PDE 접근은 양적 및 질적 방법을 통해 분석 대상 국가(지역)에 관한 역사적 분석과 시뮬레이션 분석을 결합하는 접근 방식을 취한다. 다양한 정책 조합에 기초한 대안적 시나리오들을 사용하여 PDE 모형은 정책 결정자나 이해관계자들이 지속 가능한 발전 경로를 탐색할 수 있는 도구의 역할을 할 수도 있다(Muttarak, 2021, p. S84).

PDE처럼 인구와 환경의 관계를 분석하는 분석 틀의 도입과 함께 인구와 환경 분야를 아우르는 미시 자료의 연계 작업(e.g. Kugler et al., 2015) 또한 인구와 환경의 복잡한 관계를 이해하는 측면에서 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 전통적으로 자연과학적 시각을 강조했지만, 최근으로 올수록 IPCC의 논의에서도 자연과학과 사회과학의 통합적 접근을 강조한다. 예컨대, 가장 최근의 제6차 평가보고서(AR6)에

서 IPCC(2022b, p. 123)는 기후변화 위험의 감소와 적응에 대한 해결책을 모색하는 측면에서 자연과학과 사회과학의 통합적 접근을 강조한 바 있다. 최근 들어 인구나 환경(기후변화) 연구에서도 새로운 국면을 맞이하고 있다. 인구추계(예컨대, multidimensional population projection), 기후변화 시나리오(예컨대, SSPs) 등 미래 기후변화 전망을 위한 기초 자료를 생산하는 한편 기후변화 위해(hazard)에 대한 노출이나 취약성 등 기후변화가 인구에 미치는 영향에 관한 연구에서도 인구학적 관심이 크게 높아진 상황이다. 이에 대해서는 제3장과 제4장의 관련 부분에서 좀 더 자세히 소개하기로 한다.

인구와 기후변화 연구의 발전 과정과 관련하여 마지막으로 아래에서는 I-PAT 모델을 간략히 논의한다. 이는 I-PAT 모델이 인구학을 포함한 사회과학에서 가장 널리 알려진 기후변화 모델인 동시에 상대적으로 최근까지 온실가스 배출을 둘러싼 인구-소비 논쟁을 주도한 것과 관련이 있다. 앞에서 언급했듯이 현재까지 기후변화와 관련된 모형 구축 작업은 자연과학적 기후 모델이 주도한다. 최근 들어 기후변화 논의에서 사회과학적 연구의 중요성이 강조되고 있지만, 이는 대체로 기후변화에 대한 ‘적응’ 차원에 초점이 맞추어지는 경향이 강하다. 그러나 자연과학적 기후 모델의 정교성에도 불구하고 기후변화에 대한 사회과학적 통찰의 부족은 기후변화의 전망은 물론이고 기후변화의 ‘사회경제적’ 파급 효과를 체계적으로 전망하는 데도 한계로 작용하는 상황이다. 이렇듯 기후 모델에서 자연과학과 사회과학의 협력이 요구되는 상황에서 사회과학 분야에서 빈번히 사용된 기후 관련 모델을 살펴보는 것도 의미가 있다.

전통적으로 사회과학 분야에서 인구가 환경에 미치는 영향은 I-PAT 모델을 통해 모형화되었다. I-PAT 모델을 일종의 인구-환경 연구의 분석 틀로 해석해 볼 수도 있지만, 앞 절에서 검토한 분석 틀(그림 2-1)과 비

교할 때 환경이 인구에 미치는 영향(환경 → 인구)이 고려되지 못하는 등 상당히 단순한 수준의 모델이다. Ehrlich and Holdren(1971)이 제안한 인구와 환경에 관한 초기적 접근은 현대적 논의에서 일반적으로 아래와 같은 I-PAT 방정식(항등식)을 통해 모형화되었다. 이 항등식에서 I는 환경에 미치는 영향(Environmental Impact), P는 인구(Population), A는 생산(경제) 혹은 소비(Affluence/Consumption), T는 기술(Technology)을 나타낸다. 통상적으로 경험적 연구에서 I는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량(에너지 소비), A는 1인당 GDP(소비), T는 GDP(소비) 단위당 이산화탄소 배출량으로 정의되는 경향이 있다. 추가로 항등식 우측의  $A \times T$ 는 1인당 이산화탄소 배출량(CO<sub>2</sub> Emissions/Person)으로 단순화할 수 있다.<sup>19)</sup>

$$\begin{aligned}
 I &= P \times A \times T = \text{Population} \times \frac{\text{GDP}}{\text{Person}} \times \frac{\text{CO}_2 \text{ Emissions}}{\text{GDP}} \\
 &= \text{Population} \times \frac{\text{CO}_2 \text{ Emissions}}{\text{Person}}
 \end{aligned}$$

위의 수식에서 볼 수 있듯이 기본적으로 인구와 환경에 관한 사회과학적 모형에서 환경에 대한 인구의 영향은 인구의 (절대적) 규모만이 고려된다. 앞에서 환경 이슈가 인구학적 연구의 중심이 되지 못한 배경과 관련해서 언급했듯이 자연 자원이 한정된 상황에서 인구(P)의 증가는 경제발전

19) Ehrlich and Holdren(1971, p. 1212)이 최초 제안한 수식은  $I = P \times F$ 이며, 여기에서 F는 환경에 대한 다양한 요인들의 1인당 영향을 측정하는 명시화되지 않은 함수이다. 그러나 후속적으로 환경에 대한 1인당 영향을 간명하게 조작적으로 정의하기 위하여  $I = P \times A \times T$  형식의 항등식을 취하게 된다. 이 형식은 환경에 대한 영향을 구성 요소별로 분해하는 측면에서도 이점이 있다. 참고로 일부 연구들은 이산화탄소 배출량 대신에 에너지 소비량에 초점을 맞추어 I-PAT 항등식을 분해하기도 한다.

(A)과 환경(I)을 위협하는 제약 요인으로 이해되고 있다. 1960~1970년대의 급격한 인구 증가가 전 세계적 관심의 대상이 된 것은 이러한 배경에 기초하고 있으며, 인구학적 논의 또한 인구와 환경의 관계에 관한 심층적인 분석과 논의 대신에 인구 증가의 억제와 이를 위한 출산율 감소(가족계획)에 초점을 맞춘 것도 이러한 배경에 기초하고 있다.

I-PAT 모델에 기초한 연구들(Dietz & Rosa, 1997, p. 179; Neumayer, 2004, p. 25; Rosa et al., 2004, p. 510; York et al., 2003, p. 292)은 대체로 다른 요인들을 통제된 상태에서 인구의 1% 증가가 1% 내외 수준의 이산화탄소 배출 증가로 이어짐을 보고한다. 이는 인구와 이산화탄소 배출량 간의 단위 탄력적(unitary elastic) 관계, 즉 인구의 변화량과 이산화탄소 배출량의 변화량이 같다는 초기 I-PAT 모델의 명시화와 대체로 일치하는 결과이다.<sup>20)</sup>

I-PAT 모델은 가장 최근인 IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)를 포함하여 온실가스 배출을 관련 동인별로 분해하는 목적으로 사용되었다(IPCC, 2000, pp. 105-106; IPCC, 2007a, pp. 178-179; IPCC, 2022a, pp. 245-255). 그러나 I-PAT 모델에 기초한 분석은 과도히 단순화된 모형 설계와 함께 기후과학 연구자들에게 익숙한 자연과학적 기후 모델과는 이질성이 큰 관계로 자연과학 분야에서 많이 주목받지는 못했다. 이는 환경(I)에 영향을 미치는 요인(P-A-T) 간에 존재하는 복잡한 상호작용이 고려되지 못하는 한편 과도히 단순화된 변수(분석 단위)의 선택과도 관련이 있다(MacKellar et al., 1995, p. 849). 예컨대, 인구의 절대적 규모만 고려될 뿐 인구의 연령, 성별, 교육 수준, 거주 지역,

20) 참고로 전통적인 I-PAT 항등식을 경험적 검증이 가능한 통계적 모형으로 재구성한 것은 Dietz and Rosa(1994)이다. 이들의 확률적 모형은  $I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i$ 로 표현할 수 있는데(Dietz & Rosa, 1994, p. 175), 초기 I-PAT 모델은  $a = b = c = e_i = 1$ 을 상정하는 모형으로 볼 수 있다( $i$ 는 분석 단위).

가구 구성 등 다양한 인구학적 특성에 따라 에너지 소비와 온실가스 배출에서 차이가 있다는 점이 고려되지 못한다.

한편 모형의 부분적 수정을 넘어 I-PAT 모형의 근본적 한계가 지적되기도 한다. 예컨대, 인구 증가 대신에 기후변화의 또 다른 동인으로 ‘소비’(Consumption)가 초점(I-PAT → I-CAT)이 되어야 함이 지적되기도 한다(Satterthwaite, 2009, p. 550). 만일 개발도상국의 인구 증가가 크게 억제되더라도 경제적 및 사회적 발전 과정을 통해 개발도상국 인구의 소비 패턴이 현재의 선진국 패턴을 그대로 따라간다면 기후변화에 대한 인구 증가 억제의 효과는 크지 않을 수도 있다는 것이다.<sup>21)</sup>

I-PAT 모형을 둘러싼 이러한 상황은 또한 사회 체계의 복잡성과 사회(인구)가 환경에 미치는 영향에 대한 자연과학자들의 인식 부족을 보여 주는 동시에 사회과학자 또한 분석 결과의 강건성과 비교 가능성을 높이는 차원에서 자연과학적 접근을 이해하고 자연과학자와 사회과학자가 서로 공감하는 분석적 기반과 모형을 발전시킬 필요가 있음을 시사한다(Jiang & Hardee, 2011, pp. 289-290). 시나리오에 기반한 기후 모델을 사용한 미래 기후변화의 전망, 특히 기후변화 시나리오의 설계와 관련하여 최근까지 이루어진 IPCC의 논의(제4장 참고)는 이러한 틈새를 줄이려는 시도로 해석될 수 있다.<sup>22)</sup>

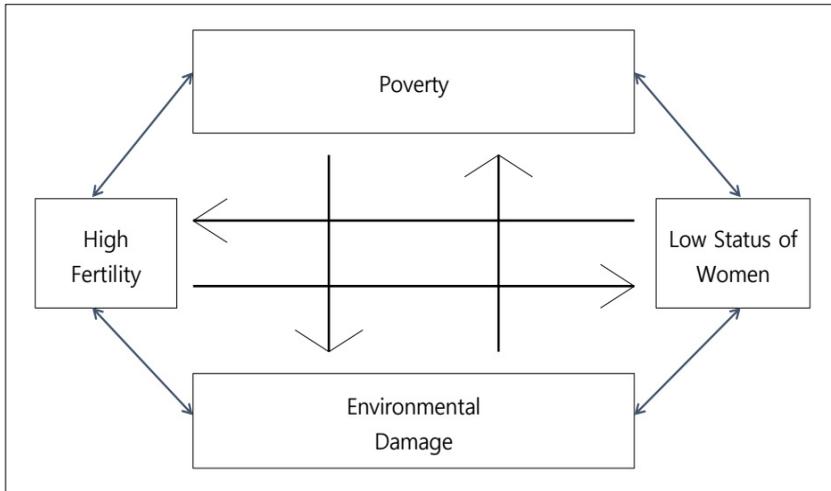
기본적으로 I-PAT 모형이 기후변화의 ‘책임’에 초점을 맞춘 ‘회계 형식의 분석 체계’(accounting framework)라는 점에서 대안으로 ‘인과적 논리 체계’에 기초하여 기후변화의 부정적 영향을 가장 크게 받는 인구 집단의 ‘적응 역량’에 초점을 맞춘 모형이 좀 더 바람직함이 지적되기도

21) I-PAT 모형의 한계와 비판적 평가에 대해서는 MacKellar et al.(1998, pp. 126-133)을 참고할 수 있다.

22) I-PAT 모형을 통해 대안적인 기후변화(온실가스) 전망 시나리오를 산출하는 시도(e.g. Welch, 2024) 또한 이루어지고 있다.

한다(MacKellar et al., 1998, p. 120, 129). 이러한 측면에서 대안으로 주목받은 것이 인구-환경의 악순환 모델(vicious cycle model)이다 ([그림 2-3] 참고). 이 모델은 고출산, 빈곤, 여성과 아동의 낮은 사회경제적 지위, 환경 훼손 간의 밀접한 관계망이 작동하는 상황에서 한 요인에서 발생한 문제로 전체 지역사회가 파괴적 반응의 악순환 탓에 빠질 수 있다는 논리 구조를 취한다(O'Neill et al., 2001, p. 96).

[그림 2-3] 인구-환경 악순환 모델의 도식화



출처: "Population and Climate Change", O'Neill, B. C., MacKellar, F. L., & Lutz, W., 2001, p. 97(Figure 3.1). Cambridge University Press. Copyright 2001 by International Institute for Applied Systems Analysis.

이 모델에서 여성의 낮은 지위와 맞물린 고출산 현상은 빈곤과 환경 훼손의 관계를 악화시킬 수 있다. 고출산으로 인한 급격한 인구 증가는 자연 자원에 대한 압력으로 작용하며, 이들이 처한 빈곤은 환경 훼손을 피하거나 최소화할 수 있는 대안적인 자원이나 생계 수단을 활용할 가능성을 낮춤으로써 환경의 지속 가능성에 걸림돌이 되는 구조이다. 더 나아가

여성의 낮은 사회경제적 지위는 인적자원 형성, 빈곤 탈출, 출산율 감소의 구조적 조건 형성을 더욱 어렵게 만드는 원인이 된다.

기본적으로 이 모델은 경제적(빈곤) 및 사회적(여성의 사회적 지위, 성평등) 발전과 환경의 관계 속에 인구 문제를 추가함으로써 인구와 환경의 관계를 이해하는 데 유용한 시사점을 제공한다. 이 모델은 또한 환경 문제의 부정적 영향을 가장 크게 받는 동시에 환경 변화에 대한 적응 역량이 가장 부족한 인구 집단에 초점을 맞추므로써 환경 변화에 따른 적응 전략 측면에서도 중요한 의미가 있다(MacKellar et al., 1998, p. 149). 또한 이 이론은 빈곤과 성평등의 문제를 아우름으로써 인구와 환경을 둘러싼 정책 논의에서 '공정성' 이슈가 중요함을 보여 준다(O'Neill et al., 2001, p. 97).

비록 사회 체제와 생태계 내에서 경제발전(빈곤), 성평등(인간 개발), 환경 문제가 복잡한 방식으로 얽혀 있음을 잘 보여 주지만, 기후변화가 특정 국가나 지역에 한정된 문제가 아니라 전 지구적 문제임에도 이 모델은 기본적으로 산업화나 도시화 이전의 개발도상국 상황에 적합화된 논리 체계의 한계를 가지고 있다. 저출산과 인구의 고령화 및 감소가 진행 중인 선진국 상황으로의 확장 가능성은 이 모델의 중요한 과제로 남아 있는 것이다. 또한 이 모델이 정책적 개입을 위한 유용한 기초를 제공하지만, 환경 변화에 따른 사회제도의 역할(적응력)과 이에 영향을 미치는 맥락적 요인들에 대한 논의가 없다는 문제도 제기된다. 특히 이 모델은 가구 혹은 지역사회 수준에서 전개되는 경제적 및 생태학적 변화에 초점을 맞추지만, 이러한 변화가 사회제도의 적응력에 어떠한 함의를 갖는지에 관한 논의는 부족하다(MacKellar et al., 1998, pp. 178-180).



사람을  
생각하는  
사람들



KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS



# 제3장

## 기후변화의 현재와 미래

제1절 기후변화의 현황

제2절 기후변화의 미래 시나리오와 전망



## 제3장 기후변화의 현재와 미래

### 제1절 기후변화의 현황

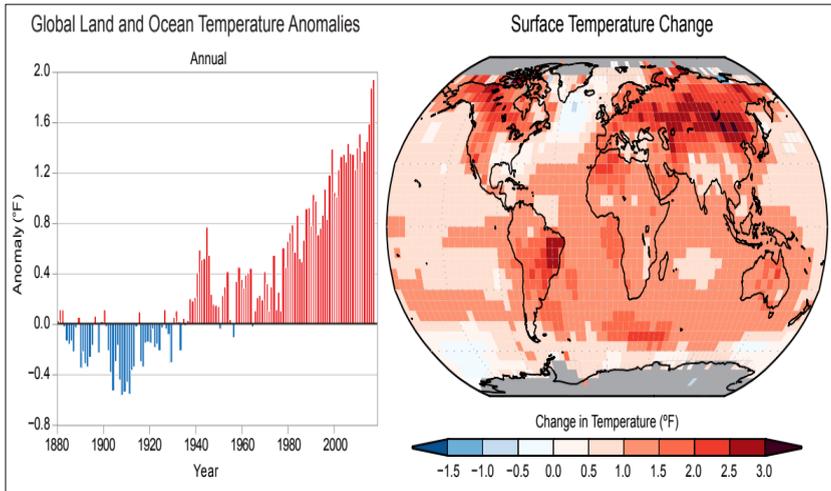
제3장은 기후변화의 과거와 현재, 그리고 미래 전망에 관한 최근까지의 논의를 살펴봄으로써 인구와 기후변화의 연관성을 이해하기 위한 기초를 다지는 데 목적이 있다. 대기, 토양, 해양, 빙권(빙하), 식생(생물권) 등 지구 시스템의 권역별로 지구 온난화의 다양한 근거가 제시되지만, 여기에서는 대기(지구 표면 온도)와 해양(열용량; OHC)에 초점을 맞추어 기후변화의 근거를 살펴본다. 다음으로 자연적 및 인위적 요인을 모두 아울러 기후변화를 초래하는 다양한 원인을 살펴보고 최근 들어 기후변화에서 그 영향력이 더욱 커지고 있는 인간 활동의 영향력(인위적 강제력)에 관한 최근까지의 논의를 정리한다.

비록 기후변화가 강수량, 운량(cloud cover) 등 다양한 요인들로 구성되어 있지만, 일반적으로 장기간에 걸쳐 관측된 지구의 표면(지표면/해수면) 온도 변화를 통해 기술된다. 이는 지구의 표면 온도(평균) 변화가 기후변화와의 직관적인 관련성이나 측정상의 편의성을 가지면서 동시에 다른 기후변화 요인들과도 밀접히 연관되는 것과 관계가 있다. 비록 지역사회 차원에서는 국지적으로 형성되고 전개되는 온도 변화가 더욱 중요할 수 있지만, 증장기적 차원에서 볼 때 지구의 표면(평균) 온도가 에너지 사용, 수자원, 사회 기반 시설, 농업 생산성, 건강-복지, 생태계 등 사회 체계와 자연환경의 모든 분야에 걸쳐 큰 영향을 미치는 좀 더 근본적인 요인이라고 할 수 있다.

최근까지의 자료는 인간 활동으로 전 지구적 차원에서 표면 온도가 가

파른 상승세에 있음을 시사한다. 예컨대, 환경 변화의 자연적 및 인위적 원인과 사회에 미치는 파급 효과를 분석하는 미국의 United States Global Change Research Program(USGCRP, 2017)이 펴낸 기후과학 특별보고서에 의하면 20세기 후반 이후 지구의 표면 온도가 뚜렷하게 상승하는 패턴을 보인다([그림 3-1] 참고).

[그림 3-1] 연간 평균 온도 편차(좌) 및 지구 표면 온도 변화(우)



주: 좌측의 편차 그래프에서 빨간색 막대는 1901~1960년 평균보다 높은 온도, 파란색 막대는 1901~1960년 평균보다 낮은 온도를 표시하며, 우측의 지도는 1901~1960년 대비 1986~2016년의 온도 변화를 표시함(회색 영역은 결측치).

출처: “Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment (Volume I)”, United States Global Change Research Program, 2017, [https://science2017.globalchange.gov/downloads/CSSR2017\\_FullReport.pdf](https://science2017.globalchange.gov/downloads/CSSR2017_FullReport.pdf), p. 13(Figure ES.1).

육상과 해양을 모두 아울러 계기 관측 자료로부터 산출된 지구의 연평균 온도는 1901~1960년 기간(평균)과 비교할 때 1986~2016년 기간(평균)에 0.7°C(1.2°F) 이상 상승하였으며, 1901~2016년의 전체 기간에 걸친 온도 변화(선형 회귀 추정치)는 1°C(1.8°F)에 이른다. ‘인간

활동'에 의한 지구 온난화가 점진적인 패턴을 보이지는 않는데, 이는 인간 활동에 의한 지구 온난화가 기후의 '자연적 변동성'과 겹치는 것과는 관련이 있다. 1900년대 전반부 동안 대체로 북반구를 중심으로 진행된 온난화는 최근 수십 년에 걸쳐 온실가스 농도가 더욱 가파르게 증가함에 따라 특히 북반구 고위도 지역과 (해양 대비) 육지를 중심으로 온난화 현상이 더욱 심화되는 모습을 보인다. 일반적으로 여름보다 겨울, 낮보다 밤, 그리고 높은 고도의 지역에서 온난화가 더욱 빠르게 진행되는 모습을 보인다(USGCRP, 2017, pp. 39-40).

가장 최근에 발표된 IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)도 기본적으로 동일한 추세를 보고한다. 2011~2020년의 표면 온도는 1850~1900년 대비 1.09℃ 상승했으며, 해양(0.88℃)보다 육상(1.59℃)의 표면 온도 상승 폭이 더 큰 것으로 관측된다. IPCC에 의하면 1970년 이후 50년 동안 진행된 지구 표면 온도 변화는 지난 2000년에 걸친 기간 중의 그 어떤 50년보다도 빠르게 상승한 기간으로 추정된다. IPCC는 1850~1900년에서 2010~2019년 기간에 걸쳐 인간 활동이 유발한 지구 표면 온도 상승의 범위(likely)를 0.8~1.3℃, 최적 추정치를 1.07℃로 추정한다.<sup>23)</sup> 이 기간에 걸쳐 온실가스는 1.0~2.0℃ 범위(likely)의 온난화 효과를, 에어로졸 같은 다른 인위적 요인은 0.0~0.8℃ 범위의 냉각 효과를 유발한 것으로 추정된다. 한편 태양이나 화산 활동 같은 자연적 요인은 지구의

23) IPCC 보고서에 기술된 내용은 분석 결과의 타당성과 불확실성을 반영하기 위하여 다양한 등급으로 표시된다. 신뢰도(level of confidence)는 분석 결과의 타당성에 관한 '정성적' 측정치로 증거의 강건성이나 동의 수준에 관한 보고서 저자들의 평가에 기초하여 very low, low, medium, high, very high의 다섯 등급으로 표시된다(예컨대, medium confidence). 반면에 개연성(likelihood)은 분석 결과에 수반된 불확실성의 '정량적' 측정치로, 확률로 표시된다. 개연성의 확률적 평가에 사용되는 용어로는 virtually certain 99~100%, very likely 90~100%, likely 66~100%, more likely than not >50~100%, about as likely as not 33~66%, unlikely 0~33%, very unlikely 0~10%, exceptionally unlikely 0~1% 등이 있다.

표면 온도를  $-0.1\sim+0.1^{\circ}\text{C}$ , 내부 변동성은  $-0.2\sim+0.2^{\circ}\text{C}$  변화시킨 것으로 분석하고 있다(IPCC, 2023, p. 4).<sup>24)</sup>

지구 온난화가 뚜렷하게 관측되지만, 표면 온도 상승이 시간의 흐름에 따라 일관되게, 그리고 공간적으로 균일하게 전개되지는 않는다. 이러한 시간적 및 공간적 변이는 엘니뇨(El Niño)와 라니냐(La Niña) 현상을 아우르는 엘니뇨 남방 진동(El Niño-Southern Oscillation: ENSO)이나 화산의 분출 과정에서 배출된 입자(에어로졸)의 냉각 효과 같은 내적 변동성이나 자연적 강제력이 인간 활동의 영향력(인위적 강제력)과 겹치는 것과 관련이 있는 것으로 알려진다. 그럼에도 최근의 상황은 인간 활동에 의한 지구 온난화가 엘니뇨 현상보다 기록적인 고온 발생에 더 큰 영향을 미칠 수 있으며,<sup>25)</sup> 기후 시스템에 대한 인간 활동의 영향에 의해 엘니뇨-라니냐 현상의 주기 자체가 변화될 수도 있음이 지적된다(USGCRP, 2017, p. 39).

기후변화의 양상을 살펴볼 수 있는 또 다른 지표로 해양 열용량 변화가 있다. 해양은 지구의 기후 시스템을 안정적으로 유지하는 데 매우 중요한 역할을 한다. 지금으로부터 대략 46억 년 전에 태양계가 처음 생성되었을 때보다 오늘날의 태양이 25%나 밝아졌지만, 지구의 기후 시스템이 안정적으로 유지되는 것은 탄소를 흡수하여 대기 중에 온실가스가 축적되는 것을 막아주는 해양의 역할과 관련이 있는 것으로 알려진다(Bryson,

24) 여기에서 IPCC가 사용하는 온실가스(GHGs) 개념은 '잘 혼합된 온실가스'(well-mixed greenhouse gases)이다. IPCC가 사용하는 '잘 혼합된 온실가스'는 대류권에서 농도가 상대적으로 균일할 정도로 잘 혼합된 온실가스를 의미한다. 여기에 해당하는 온실가스로는  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  등이 있다. 이들 온실가스는 상대적으로 균일하게 혼합될 수 있을 정도로 충분한 기간에 걸쳐 대류권에 체류한다. 반면에 대부분이 성층권에 존재하지만, 대류권에 일부 존재하는 오존( $\text{O}_3$ ) 같은 온실가스는 상대적으로 짧은 기간 동안에 체류하기에 대기 중에 균일하게 분포하기 어려운 특징이 있다.

25) 예컨대, 엘니뇨가 기록적인 고온 현상에 영향을 미친 1998년과 2015년을 비교하면 1998년의 엘니뇨 현상이 더욱 강력했음에도 불구하고 1998년의 온도는 2015년보다 유의하게 낮았다(USGCRP, 2017, p. 39).

2003, p. 303). 해양이 지구의 기후 시스템에서 발생한 열의 상당 부분을 흡수하여 기후 시스템을 안정적으로 유지하는 데 중요한 역할을 하지만, 지구 온난화로 인한 해양의 산성화는 해양의 이산화탄소 흡수 능력을 떨어뜨리는 원인이 될 수 있다(IPCC, 2013, p. 478).

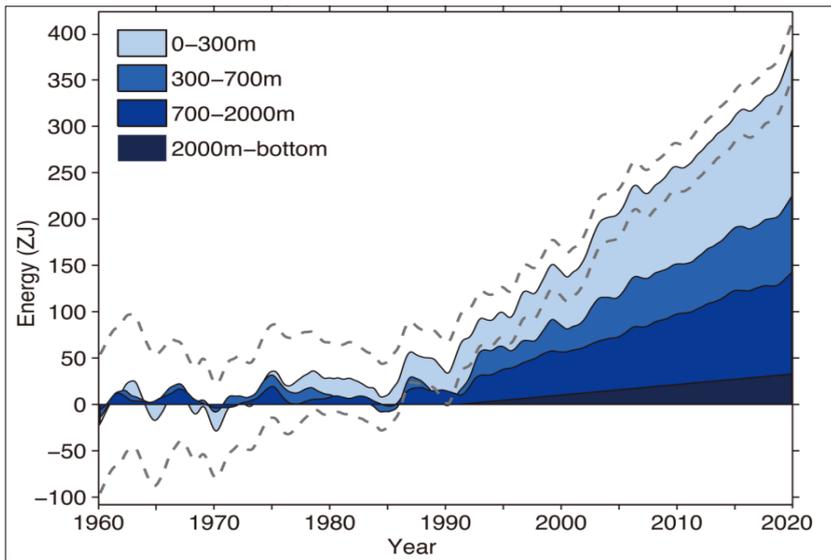
이러한 측면에서 지구 온난화의 또 다른 근거로 바다에 흡수되어 저장된 열량을 의미하는 해양 열용량(OHC)의 변화를 살펴볼 수 있다. 일반적으로 해양이 지구의 기후 시스템에서 발생한 열의 90% 이상을 흡수하여 기후 시스템을 안정시키는 데 중심적인 역할을 한다는 점에서 해양 열용량을 측정하는 것이 기후변화의 원인과 반응 양상을 추적하는 더욱 신뢰할 만한 방법으로 알려진다. 해양 열용량은 또한 엘니뇨(El Niño) 같은 기후의 내부 변동성(internal climate variability)의 영향을 덜 받는다는 점에서 전 지구적 기후변화에 대한 좀 더 강건한 측정치로 평가된다(Cheng et al., 2023, p. 964; US EPA, 2023b). 참고로 가장 최근에 이루어진 IPCC(2021, p. 11)의 제6차 평가보고서(AR6)는 지구 온난화의 91%를 해양 온난화가 차지함을 보고한다.

최근에 이루어진 Cheng et al.(2023, p. 966)의 연구에 의하면 2022년의 수심 2,000m 이내 해양 열용량은 기준선인 1981~2010년 평균보다 245제타줄, 2021년보다 11제타줄 증가한 것으로 나타난다(Institute of Atmospheric Physics(IAP; 중국과학원) 데이터 기준).<sup>26)</sup> 아래의 [그림 3-2]에서 볼 수 있듯이 해양 온난화는 대부분 표층부터 수심 2,000m 이내를 중심으로 가파른 상승세를 보였지만, 최근에는 수심 2,000m 이상

26) 미국의 해양대기청(NOAA)의 환경정보센터(National Centers for Environmental Information: NCEI) 자료에서도 2022년이 인간에 의해 기록된 해양 열용량 중 가장 높았던 것으로 나타난다(1981~2010년 평균보다 238 제타줄, 2021년보다 9 제타줄 증가)(Cheng et al., 2023, p. 966). 참고로 해양 열용량은 에너지의 단위인 줄(Joule: J)로 측정하며, 1 제타줄(Zetta Joule: ZJ)은  $10^{21}$  줄에 해당한다(제타는  $10^{21}$ 을 나타내는 접두어).

의 심해 영역에서도 온난화 현상이 나타나고 있다. 이러한 해양 열용량의 증가는 바닷물이 따뜻해지면서 부피가 커지는 열팽창(thermal expansion)으로 이어지는데, 해수의 열팽창은 해수면 상승의 주요 원인 중의 하나로 알려져 있다. 참고로 IPCC(2021, p. 11)의 제6차 평가보고서(AR6)는 해양 열용량 증가에 따른 해수의 열팽창이 1971~2018년 기간에 진행된 해수면 상승의 50%를 차지한다고 보고한다(빙하 손실 22%, 빙상 손실 20%, 육상 저류량 변화 8%).

[그림 3-2] 해양 열수지(Ocean Heat Budget) 추이: 1960~2019년



주: 해양 열수지는 해양이 흡수한 열량과 방출한 열량의 차이를 의미함; 기준선인 1958~1962년 대비 편차(anomaly)이며, 회색 점선은 전체 해양 열수지의 95% 신뢰구간을 표시함; IAP(중국과학원)과 Purkey & Johnson(2010)의 해양 온도 자료를 결합한 Cheng et al.(2017; p. 7; Fig. 6)을 최근 자료로 업데이트한 그래프임.

출처: "Record-setting ocean warmth continued in 2019," Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., & Mann, M. E., 2020, *Advances in Atmospheric Sciences*, p. 139(Fig.2). Copyright 2020 by Institute of Atmospheric Physics/Chinese Academy of Sciences, and Science Press and Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature.

앞에서는 기후변화의 지표로 지구의 표면 온도와 해양 열용량 변화를 살펴보았는데, 기후변화를 둘러싼 논쟁의 핵심은 기후 시스템의 내부 변동성이나 자연 현상에 의한 강제력이 아닌 인간에 의한 영향력(인위적 강제력)이다. 최근 2천 년을 넘어 오랜 과거의 지구 표면 온도를 살펴보면 그 변화 폭은 매우 크다. 인간이 지구에 출현하기 이전에도 지구의 공전 궤도나 자전축 기울기 변화 같은 현상 또한 표면에 흡수되는 태양 에너지의 양을 변화시킴으로써 지구의 기후변화에 일정한 영향을 미친 것으로 알려진다. 기후의 자연적 변화를 초래하는 대표적인 원인으로 태양과 지구의 천문학적 관계가 지적된다. 예컨대, 세르비아의 천문학자인 밀란코비치(Milankovitch)는 빙기와 간빙기의 교차 출현을 1) 지구 공전 궤도(이심률; eccentricity)의 변화, 2) 지구 자전축의 세차운동(precession), 3) 지구 자전축의 기울기 변화로 설명하였다. 우선, 지구의 공전 궤도가 원형에서 벗어난 정도를 의미하는 이심률(離心率)은 대략 10만 년을 주기로 원형에서 타원형, 그리고 타원형에서 원형으로 변함으로써 지구에 도달하는 태양 복사량에서 차이를 만들어 낸다. 한편 지구 자전축의 세차운동(歲差運動)은 대략 26,000년을 주기로 지구의 자전축이 작은 원을 그리며 회전하는 현상이다. 북반구 기준으로 현재는 여름이 태양과의 거리가 가장 먼 원일점에 해당하지만, 대략 13,000년 후에는 여름이 근일점에 해당한다(남반구는 반대). 이와 같은 세차운동으로 지구 표면의 가열 및 냉각 패턴이 변하여 현재에 비해 여름과 겨울 간 기온 차가 확대된다(남반구는 반대). 마지막으로 지구의 자전축은 대략 41,000년을 주기로 21.5°에서 24.5° 사이에서 변하는데(현재는 23.5°), 자전축의 기울기에 따라 계절별 기후 차이가 발생한다. 자전축의 기울기가 커지면 중위도와 고위도 지역에서는 여름 기온이 높아지고 겨울 기온이 낮아져 여름과 겨울 간 계절 차이가 커진다. 반대로 자전축의 기울기가 작을수록 계절 간 기온 차가 작아지며, 겨울은 온화하고 여름은 시원해지는 현상을 초래한다(이승호, 2022, pp. 459-462).

이와 같은 지구의 공전 및 자전과 관련된 운동 외에 기후의 자연변동을 초래하는 또 다른 원인으로 화산 활동이 지적된다. 화산 폭발로 대기 중에 유입된 화산재는 태양복사를 차단하여 기온 상승을 억제하는 한편 구름의 양을 증가시킨다. 특히 화산 폭발 때 배출되는 이산화황(SO<sub>2</sub>) 가스가 성층권에 유입되어 수증기와 결합할 때 생성되는 황산염 에어로졸(sulphate aerosol)은 지구에서 방출되는 열을 흡수하고 태양복사 에너지를 반사하여 냉각 효과를 일으킬 수 있다(이승호, 2022, pp. 463-471). 이 외에도 태양 활동이나 해양 순환, 판 구조 변화 또한 기후의 자연적 변화의 원인이 될 수 있음이 지적된다.

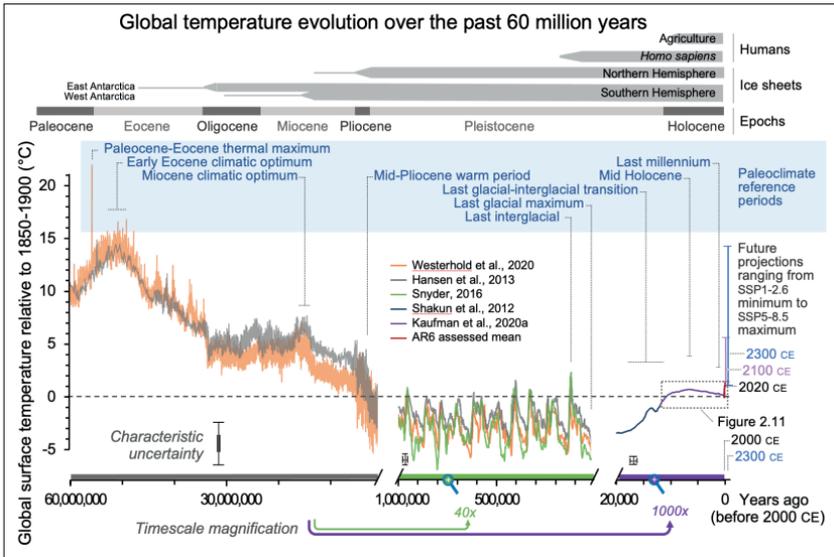
앞에서 살펴본 이론적 차원의 논의를 넘어 실제의 지질학적 자료 또한 인간의 영향이 없었던 과거에도 지구에서 대규모의 기후변화가 발생하였음을 보여 준다. 지질시대(地質時代)의 분류상 가장 최근 시대인 신생대(대략 6,500만 년 전 시작) 팔레오세(Paleocene epoch) 이후를 대상으로 한 [그림 3-3]에서 볼 수 있듯이 현생인류가 출현한 것으로 추정되는 수십만 년 전에도 지구는 온난화와 냉각화를 번갈아 경험했다. 특히 과거로 더욱 거슬러 올라갈수록 지구의 온도 변화는 현재에 비해 훨씬 더 가파른 것을 볼 수 있다.

최근 들어 ‘지구 열대화’란 용어까지 등장하고 있지만(UN, 2023), 빙하학적으로 현재 우리가 살고 있는 시대는 여전히 빙하기(ice age)로 분류된다. 현재까지도 지구 육지의 대략 10%는 빙하로 덮여 있으며(대부분 그린란드와 남극대륙), 대략 14%는 여름에도 땅이 녹지 않는 영구 동토층을 이루고 있다(Bryson, 2003, p. 479). 빙하기는 빙하가 확장하는 빙기(glacial period)와 빙하가 후퇴하는 간빙기(interglacial period)로 구성되는데,<sup>27)</sup>

27) 빙하(氷河; glacier)는 육지에 눈이 쌓여 만들어진 얼음덩어리를 말하는데, 빙상(氷床; ice sheet), 빙붕(氷棚; ice shelf), 빙산(氷山; iceberg) 등으로 구분된다. 빙상은 통상적으로 50,000km<sup>2</sup>(남한 면적의 대략 1/2) 이상의 육지 면적을 덮고 있는 얼음덩어리이며, 빙붕은 빙하(빙상)가 흘러내려 바다까지 길게 이어진 얼음덩어리를 의미한다. 마지막으로 빙상이나 빙붕에서 떨어져 나와 바다에 떠다니는 얼음덩어리(통상 해수면 기준 5m 이상)를 빙산이라 한다(5m 미만은 유빙(流氷)으로 명명). 참고로 빙하는 민물로 만들어진 얼음덩어리를 지칭하며, 바닷물이 얼어 만들어진 해빙(海水; sea ice)과는 구분한다.

현재의 빙하기는 분류상 빙기와 간빙기의 교대 주기 중에서 마지막 빙기가 종료된 이후의 기간을 의미하는 후빙기, 또는 마지막 빙기(Last Glacial Period)와 다음(미래) 빙기 사이의 간빙기에 해당한다.

[그림 3-3] 지구 평균 표면 온도 변화(편차) 추정치 및 전망치



주: 준거 기간은 1850~1900년의 평균 기온이며, 미래 전망치는 IPCC Sixth Assessment Report(AR6) 시나리오에 기초한 수치임.

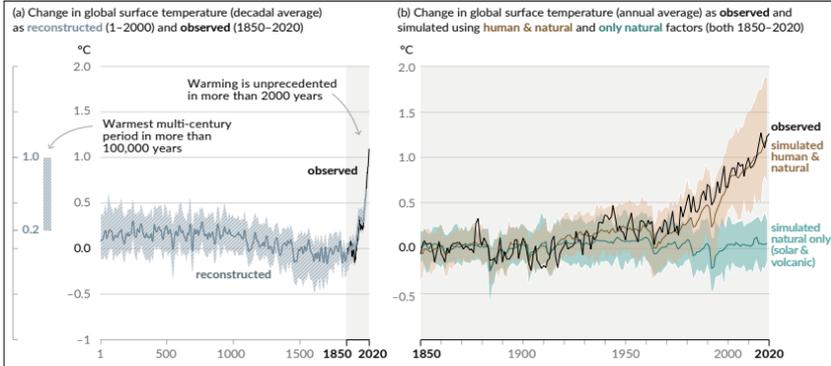
출처: "Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf), p. 296(Cross-Chapter Box 2.1, Figure 1). Copyright 2021 by Intergovernmental Panel on Climate Change.

[그림 3-3]에서 볼 수 있듯이 대략 20,000년 전인 최종 빙기 최성기(Last Glacial Maximum)에는 현재 기온보다 4~6℃ 정도 낮았으며, 이후 변동기를 거쳐 서서히 기온이 상승하고 빙하기 후퇴하였다. 그러나 역사시대(歷史時代)에도 대략 6,000년 전의 홀로세 온난기(Holocene Thermal Maximum)나 대략 900~1200년에 해당하는 중세 온난기

(Medieval Warm Period)처럼 현재보다 기온이 높게 형성되기도 하였다 (이승호, 2022, pp. 442-447). 더욱이 현재로부터 6,000만~5,000만 년 전인 팔레오세-에오세 온난기(Paleocene-Eocene Thermal Maximum)는 기준 시점인 1850~1900년 기간보다 10℃ 이상 온난한 모습을 보였다 (IPCC, 2021, p. 296). 이러한 점에서 인간 활동에 의한 기후변화(인위적 강제력)를 내부 변동성(자체 변동)이나 자연 현상에 의한 기후변화(자연적 강제력)와 분리하여 그 영향력을 분석하는 것이 중요하다. 물론 이러한 논의가 최근의 기후변화에서 자연적 원인이 중요하지 않음을 의미하는 것은 아니다. 자연적 원인은 앞으로도 지속해서 시공간을 가로질러 인위적 강제력이 초래하는 변화에 추가하여 다양한 변이를 만들어 낼 것이다. 이에 따라 인간 활동이 기상과 기후에 미치는 영향력을 정확히 파악하기 위해서는 인위적 강제력과 기후의 자연적 변동성 간의 복잡한 상호작용을 정확히 파악할 필요가 있다.

기후변화에서 인위적 강제력의 영향과 관련하여 IPCC(2021, p. 59)의 제6차 평가보고서(AR6)는 별도의 시뮬레이션을 수행한 바 있다. [그림 3-4]의 좌측(a)은 고기후학(지질시대) 자료를 활용하여 재구성한 자료(1~2000년; 회색 실선)와 직접 관측한 자료(1850~2020년; 검정 실선)에 기초한 지구 표면 온도의 변화를 보여 준다(1850~1900년 대비 편차; 10년 단위 평균). 참고로 자료를 재구성한 기간(1~2000년)의 회색 음영 부분은 ‘매우 그럴함’(very likely; 90~100%) 수준의 추정치 범위를 표시한다. Y축 옆에 두껍게 표시된 회색 수직 막대는 최근 100,000년 이상의 기간에서 가장 따듯한 기간(예, 홀로세 온난기, 최종 간빙기)의 온도 추정치 범위(very likely)를 보여 준다.

[그림 3-4] 1850~1900년(평균) 대비 지구 표면 온도 변화(편차)



출처: “Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf), p. 6(Figure SPM.1). Copyright 2021 by Intergovernmental Panel on Climate Change.

한편 [그림 3-4]의 우측(b)은 기준 기간인 1850~1900년(평균) 대비 과거 170년(1850~2020년)의 관측 기간에 걸친 온도(연평균; 검은색 표시)의 변화와 IPCC 기후 모델(Coupled Model Intercomparison Project Phase 6: CMIP6)의 시뮬레이션 결과를 보여 준다. IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)에 의하면 지구의 표면 온도는 1850~1900년 대비 2001~2020년 기간에 0.99℃(90% 추정치 범위는 [0.84℃, 1.10℃]), 1850~1900년 대비 2011~2020년 기간에 1.09℃(90% 추정치 범위는 [0.95℃, 1.20℃]) 상승한 것으로 분석된다. IPCC는 인위적 강제력의 영향과 관련하여 1850~1900년 대비 2010~2019년 기간의 표면 온도 상승에서 인간 활동이 유발한 변화의 범위(likely range)를 0.8~1.3℃로 추정한다(최적 추정치 1.07℃).<sup>28)</sup>

28) 참고로 기후변화의 원인을 하위 요인으로 구분한 IPCC의 분석은 2011~2020년이 아니라 2010~2019년을 대상으로 한 결과이다. 이 기간의 표면 온도는 1850~1900년 대비 1.06℃ 상승하였다(likely range 0.88~1.21℃).

IPCC의 이러한 분석 결과는 산업화 시대 이후에 이루어진 기후변화의 대부분이 인간 활동에 기인함을 시사한다. 2007년의 제4차 평가보고서(AR4)에서 기후 시스템의 온난화가 분명하다고 진단한 IPCC는 2013년의 제5차 평가보고서(AR5)에서 기후 시스템에 대한 인간의 영향이 확실하다는 진단을 내린 데 이어 2021년의 제6차 평가보고서(AR6)는 기후 변화에 대한 인간의 영향이 확립된 사실(established fact)이라는 결론을 내린다. 산업화 시대에 걸쳐 진행된 대기 중 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메테인(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 농도의 증가가 대체로 인간 활동의 결과이며, 인간 활동이 대기, 해양, 설빙권(cryosphere), 생물권(biosphere)을 가로질러 관측된 다양한 변화의 주된 동인이라는 것이다(IPCC, 2021, p. 41).

IPCC는 19세기 중반 이후에 관측된 온실가스 농도의 증가는 명확히 이 기간에 걸쳐 이루어진 인간 활동에 의해 유발되었음을 지적한다. 1850~2019년 기간의 이산화탄소 누적 순 배출량은 2400±240 GtCO<sub>2</sub> 인데, 이 중에서 대략 58%가 1850~1989년, 대략 42%가 1990~2019년 기간에 발생한 것으로 추정된다(high confidence). 2019년의 대기 중 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도(410ppm)는 최소한 최근 200만 년 중의 어떤 기간보다 높은 수준이며(high confidence), 메테인(CH<sub>4</sub>) 농도(1866ppb)와 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 농도(332ppb)도 최소한 최근 80만 년 중의 어떤 기간보다 높은 수준에 해당한다(very high confidence). 한편 2019년 기준으로 인간 활동에 의한 전 지구 온실가스 순 배출량은 59±6.6 GtCO<sub>2</sub>-eq로, 2010년보다 대략 12%(6.5 GtCO<sub>2</sub>-eq), 1990년보다 54%(21 GtCO<sub>2</sub>-eq) 높은 수준이다(IPCC, 2023, p. 4).<sup>29)</sup>

29) 이산화탄소상당량톤(tCO<sub>2</sub>-eq)은 상이한 온실가스 배출량을 공통 단위로 표현하기 위한 측정 단위이다. 온실가스의 온난화 영향이 이산화탄소 1톤에 상응하는 양을 의미한다.

## 제2절 기후변화의 미래 시나리오와 전망

자연과학과 사회과학을 모두 아울러 기후변화와 관련된 과거 데이터에 모델을 적합시키고 미래를 전망하는 다양한 접근이 이루어진다. 그러나 현재까지 기후변화에 관한 자연과학 모델과 사회과학 모델 간 격차와 비대칭성은 현저하다. 자연과학에서는 지구의 기후 시스템을 모형화하기 위해 수많은 과학자가 대거 참여하여 대기와 해양의 순환 과정을 시뮬레이션 하는 GCMs(Global Climate Models) 등 대규모의 과학 프로젝트가 존재 하지만, 사회과학에서는 이에 상응하는 수준으로 미래 인구와 사회경제적 발전을 전망하는 모형이나 연구 공동체가 부재한 상황이다. 이러한 차이로 인해 기후변화가 사회에 미치는 영향에 관한 과거의 논의에서는 기후 조건이 변화함에도 인구 및 사회경제적 발전 조건은 현재 상황을 유지한다는 비현실적 가정이 종종 사용되는 모습을 보였다(Lutz & Striessnig, 2015, p. S70).

모델 구축상의 어려움에도 불구하고 기후변화에 대한 인구의 영향을 파악하고 기후변화에 성공적으로 적응하기 위해서는 인구 및 사회경제적 조건이 미래에 어떻게 전개될 것인지를 파악하려는 시도가 중요하다는 것에 의문이 없다. 또한 Lutz and Striessnig(2015, p. S69)이 지적하는 것처럼 인간 행동이 대부분의 자연과학적 현상에 비해 덜 결정적이기는 하지만, 사회변동에 관해서도 설정된 수준의 불확실성 범위 내에서 정책적 개입의 결과를 확률적으로 전망하는 모형의 구축이 불가능한 것은 아니다. 뒤에서 좀 더 자세히 살펴보겠지만, IPCC와의 협력에 기초하여 미래 기후 전망의 기초 자료(시나리오)로 사용되는 공통사회경제경로(Shared Socio-economic Pathways: SSPs) 접근도 이러한 측면에서 이해할 수 있다.

아래에서는 기후 모델의 기초와 기후변화의 미래 전망에 관한 시나리오 체계(예컨대, SSPs)의 발전 과정을 살펴본 후 가장 최근인 IPCC의

제6차 평가보고서(AR6)에 기초하여 기후변화의 미래 전망 결과를 살펴본다.<sup>30)</sup> 지구의 기후 시스템은 매우 복잡하며, 이를 이해하기 위한 기후 과학은 다양한 분야의 이론, 자료, 방법론을 통합할 것이 요구된다. 다른 분야와 마찬가지로 인구변동이 기후변화에 미치는 영향을 이해하고 정교히 모형화하기 위해서는 지구의 기후 시스템에 대한 지식과 함께 이를 모형화하는 기후 모델의 기초에 대한 이해가 필요하다.

기후 모델 논의에서는 단순히 기후변화 전망에 사용되는 사회인구학적 정보의 기초를 이해하는 수준을 넘어 기후 모델 자체에 대한 기본적인 이해가 필요하다. 특히 기후 모델을 사용하여 기후변화가 사회의 다양한 영역에 미치는 영향을 이해하는 한편 다양한 분야에 속한 연구자들의 시너지 효과를 높이기 위해서는 기후 모델 자체에 대한 이해가 중요하다. 그러나 현재까지도 다양한 자연과학 분야 연구자들과 마찬가지로 사회과학 분야 연구자에게도 기후 모델에 대한 이해와 사용은 어려운 과제로 남아 있다. 이러한 점을 고려하여 아래에서는 기후 모델의 기초를 소개한 후에 기후 모델에서 사용되는 시나리오를 살펴보기로 한다.

1988년에 설립된 이후 IPCC는 가장 최근의 제6차 평가보고서(AR6)를 포함하여 총 여섯 번의 평가보고서(Assessment Report: AR)를 발간하였다. 2013~2014년에 제5차 평가보고서(AR5)를 발간한 후 2015년부터 제6차 평가 주기가 시작되었다. 기존과 마찬가지로 제6차 평가보고서(AR6) 작성도 3개의 작업반(Working Group: WG)으로 나누어 진행하였는데, 제1 작업반(WG I)은 기후변화의 과학적 기초(The Physical Science Basis), 제2 작업반(WG II)은 기후변화의 영향, 적응, 취약성(Impacts, Adaptation, and Vulnerability), 제3 작업반(WG III)은 기후변화의 완화(Mitigation

30) 기후변화의 미래 전망에 관한 논의는 대체로 IPCC(2021)의 작업반 중에서 기후변화의 과학적 기초를 다루는 제1 작업반(WG I)의 논의에 초점을 맞추며, 제2 및 제3 작업반의 논의는 인구와 기후변화의 상호 관계와 주요 이슈(제4장) 부분에서 필요시 검토한다.

of Climate Change) 문제를 담당하였다. 2017년에 보고서의 구성에 대한 합의가 이루어졌고, 2018년에 7백 명 이상의 집필진을 포함하여 작업반 구성이 이루어진다. 가장 먼저 이루어진 제1 작업반(WG I) 보고서는 관측, 고기후 자료, 기후 시뮬레이션 등 다양한 자료원에 기초하여 획득한 기후 변화의 과학적 근거를 평가하고 있다(IPCC, 2021, p. 150). 이러한 평가 과정에서 핵심적인 역할을 하는 것이 바로 기후 모델이다.

기후 모델은 지구의 특정 지역이나 기후 시스템의 일부를 모형화하는 모델부터 지구 전체의 대기, 해양, 빙하, 토양을 시뮬레이션하는 모델까지 매우 다양하다. 기본적으로 기상 예측(weather forecasting)을 확장한 것으로 기후 모델을 이해할 수 있지만,<sup>31)</sup> 기상 예측과 달리 기후 모델은 수십 년에 걸친 변화에 초점을 맞춘다. 근본적으로 기후 모델 또한 지구의 기후 시스템에서 발생하는 다양한 과정을 구현하기 위하여 실제 지구의 기후 시스템에서 작동하는 물리학적, 화학적, 생물학적 현상의 기초가 되는 법칙을 적용한다. 예컨대, 에너지 보존 법칙(열역학 제1법칙), 슈테판-볼츠만 법칙 같은 물리학 법칙을 적용한다.<sup>32)</sup> 또한 대기 온도와 수증기량의 관계,

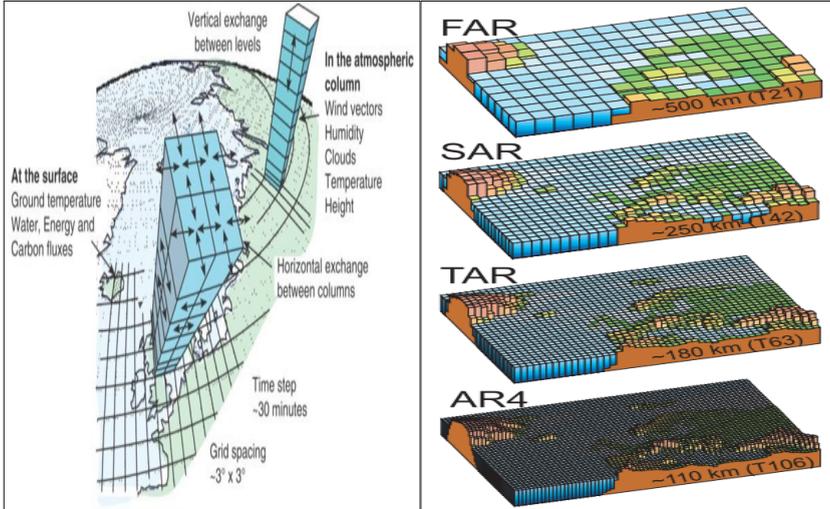
31) 예컨대, 영국의 Unified Model(UM)은 기상과 기후 분석 목적에 동시적으로 사용되는 대기 모델이다. 또한 이 모델은 전 지구적 수준과 함께 지역적 수준의 모델로도 사용될 수 있다. UM에 관한 자세한 사항은 모델 홈페이지(<https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model>)를 참고할 수 있다.

32) 에너지 보존 법칙은 주변과 물질 및 에너지가 교환되지 않는 환경(고립계)에서 에너지의 형태는 변할 수 있지만, 에너지의 총합은 일정하게 유지된다는 법칙이다. 슈테판-볼츠만 법칙(Stefan-Boltzmann law)은 흑체(black body; 입사되는 모든 복사에너지를 완전히 흡수하고 방출하는 가상의 물체)가 방출하는 복사의 강도는 그 물체의 절대온도( $K = ^\circ C + 273.15$ )의 4제곱에 비례한다는 법칙을 말한다. 예컨대, 흑체가  $25^\circ C$ 인  $1m^2$  공간에서 방출하는 복사에너지는  $448W$  정도이다( $R = e\sigma AT^4 = 5.670367 \times 10^{-8} \times (25 + 273.15)^4 = 448.0747W$ ;  $R$ 은 복사에너지,  $e$ 는 반사율(흑체=1),  $\sigma$ 는 슈테판-볼츠만 상수,  $A$ 는 면적( $m^2$ ),  $T$ 는 절대온도). 흑체가 아닌 일반 표면의 경우에는 산식에 반사율( $e$ )이 추가된다. 앞에서 언급했듯이 지구는 태양복사 에너지의 70% 정도만 흡수하고 대략 30%(평균 알베도)를 우주 공간으로 방출한다. 이 법칙으로부터 과학자들은 자연적 온실가스가 지구 표면 온도를  $33^\circ C$  정도 상승시켰음을 보였다(McSweeney & Hausfather, 2018). 참고로 지구 표면에 대기가 없으면 표면 온도는  $-18^\circ C$ ( $0^\circ F$ ; 복사 평형온도)이지만, 지구의 실제 평균 온도는  $15^\circ C$  수준이다(Koonin, 2022, p. 76).

대기 가스와 해수의 속력, 압력, 온도, 밀도 등 유체 운동(fluid motion)에 관한 다양한 방정식을 적용한다. 다만, 기후 시스템의 복잡성으로 인해 이러한 작업의 대부분은 분석적 접근(analytical solution)을 사용하는 대신에 컴퓨터를 활용하여 근삿값을 사용하는 수치적 접근(numerical solution)을 사용한다(McSweeney & Hausfather, 2018).

기후 시스템의 복잡성과 컴퓨터 처리 능력의 한계로 인해 어떤 특정 모델이 지구의 모든 공간에서 발생하는 물리적, 화학적, 생물학적 과정을 정확히 계산하지는 못한다. 대신에 기후 모델은 [그림 3-5]의 좌측처럼 지구의 대기, 지면, 해양의 높이와 깊이를 모두 아울러 공간을 일련의 3차원 격자(grid)로 표시한다. 이렇게 지구를 일련의 격자 셀로 나눈 후 기후 모델은 각각의 셀에 기온, 대기 압력, 습도, 풍속 등 기후 시스템의 각종 상태값을 할당한다. 대류 등 기본 격자보다 더 작은 공간에서 발생하는 기후(기상) 현상에 대해서는 관련 파라미터를 미세 조정하는 방식을 통해 변화 과정을 근사화한다. 기후 모델에서 사용되는 격자 셀의 크기를 공간 해상도(spatial resolution)라고 한다. 상대적으로 정교성이 떨어지는 기후 모델에서는 위도와 경도가 대략 100km인 격자 셀로 구성된다. 반면에 고해상도 기후 모델일수록 더 작은 격자로 구성되는데, 해상도가 높을수록 기후 모델이 생산하는 공간 정보가 더 구체적이다(McSweeney & Hausfather, 2018). 최근의 IPCC 평가보고서로 올수록 점점 더 고해상도 모델에 기초하는 모습을 보인다. [그림 3-5]의 우측은 IPCC의 제1~4차 기후 모델에서 사용된 공간 해상도의 변화를 도식화하여 보여 준다. 최근의 IPCC 기후 모델로 올수록 공간 해상도가 점점 높아지는 패턴을 확인할 수 있다.

[그림 3-5] 기후 모델의 격자 구조(좌) 및 IPCC 기후 모델의 공간 해상도 변화(우)



주: IPCC 기후 모델의 공간 해상도 변화(우)에서 FAR은 1990년의 제1차, SAR은 1995년의 제2차, TAR은 2001년의 제3차, AR4는 2007년의 제4차 평가보고서(AR)에서 사용된 기후 모델의 공간 해상도를 표시함.

출처: "The Climate Modelling Primer," McGuffie, K., & Henderson-Sellers, A., 2014, John Wiley & Sons, p. 288(Figure 5.2). Copyright 2014 by John Wiley & Sons, Ltd. "Climate Change 2007: The Physical Science Basis," Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007c, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4\\_wg1\\_full\\_report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf), p. 113(Figure 1.4). Copyright 2007 by Intergovernmental Panel on Climate Change.

공간 해상도를 통해 공간을 표상하는 것과 비슷하게 기후 모델에서는 시간의 흐름에 대한 고려가 필요하다. 현실에서는 시간이 연속적으로 흐르지만, 기후 모델에서는 컴퓨터의 처리 능력을 고려하여 시간을 이산적인(discrete) 단위(예컨대, 일, 시간, 분)로 나눈 후 과거 및 현재의 조건에 기초하여 미래로 기후(기상) 현상이 전개되도록 구현된다. 공간 해상도와 마찬가지로 시간 단위를 작게 할수록 좀 더 세부적인 기후 정보를 산출할 수 있지만, 다른 한편으로 연산 과정이 더욱 복잡해지기에 정확성과 컴퓨터 연산 처리 시간 사이에서 적절한 타협이 필요하다. 앞에서 논

의한 공간 격자에 할당된 기후 상태 값들은 시간의 흐름에 따라 물리학적, 화학적, 생물학적 기제의 기초가 되는 법칙을 사용하여 수정되는 과정을 거친다. 물론 설정된 규칙에 따라 모델이 시뮬레이션하는 기후가 현실에 부합하는지에 대해서는 추가적인 분석이 이루어지며, 이에 기초하여 모델 수정 작업이 이루어진다(McSweeney & Hausfather, 2018).

위에서 기후 모델이 무엇이며, 어떻게 작동하는지에 관한 기초를 살펴 보았지만, 현실에 존재하는 기후 모델은 매우 다양하다. 가장 초기 단계의 단순한 모델로 EBM(Energy Balance Models)가 있다. EBM은 지구의 전체 기후 시스템을 시뮬레이션하는 대신에 태양에서 지구 대기로 들어오는 에너지와 다시 우주로 방출되는 에너지의 균형만을 고려하는 특징이 있다. 이 모델이 계산하는 유일한 기후 변수는 표면 온도이다(McSweeney & Hausfather, 2018). 상당히 단순한 모델이기는 하지만, EBM은 외적 변화에 따른 기후 시스템의 민감도를 분석하거나 복잡한 기후 모델에서 나타난 결과를 이해하기 위한 목적으로 광범위하게 활용된다(McGuffie & Henderson-Sellers, 2014, p. 81). 상대적으로 단순한 수준의 또 다른 기후 모델이 RCM(Radiative Convective Models)인데, 이 모델은 대류 과정을 통해 대기의 고도에 따른 에너지의 전이를 시뮬레이션한다. 온실가스는 지표면 온도에 영향을 미칠 뿐만 아니라 복사에너지의 흡수와 방출 과정을 통해 대기 온도에도 영향을 미친다. RCM을 통해 대기 중 온실가스 농도가 변함에 따라 나타나는 지표 및 고도별 대기 온도 변화의 민감도를 분석할 수 있다(McGuffie & Henderson-Sellers, 2014, p. 206).<sup>33)</sup>

33) 예컨대, MIT의 웹 기반 RCM은 이산화탄소, 메테인, 아산화질소 같은 온실가스 농도 변화에 따른 대기 온도 변화를 테스트할 수 있다. 이 모델에 관한 자세한 사항에 대해서는 모델 홈페이지([http://12.340x.scripts.mit.edu/eaps-rc-model-12340x/RC\\_model/index.html](http://12.340x.scripts.mit.edu/eaps-rc-model-12340x/RC_model/index.html))를 참고할 수 있다.

기후 모델의 다음 단계가 GCMs(General Circulation Models)이다. 기후 모델 분야에서 GCMs 용어의 사용은 다소 모호한 측면이 있다. 과거에 GCMs는 ‘General Circulation Models’를 의미했지만, 최근에는 ‘Global Climate Models’를 의미하는 용어로 사용되는 경향이 있다. 전자(General Circulation Models)는 또한 ‘기상 예측’ 모델로 언급되기도 하는데, 1980년대 기후학에서 GCMs는 ‘General Circulation Climate Models’를 의미하는 것으로 이해되었다. 또한 역사적으로 해양과 대기를 추가로 구분하여 OGCMs(Oceanic General Circulation Models)와 AGCMs(Atmospheric General Circulation Models)로 구분하기도 하였다. 기본적으로 GCMs 모델은 열에너지의 전이뿐만 아니라 대기나 해양에서 기체나 물의 흐름을 시뮬레이션하는 복잡한 모델에 해당한다. 초기 모델이 해양이나 대기 중의 하나만을 시뮬레이션했지만, 최근에는 온실가스 배출에 따른 기후의 반응 방식에 영향을 미치는 해양, 대기, 생물, 토양 화학 등 다양한 생지화학적 순환(biogeochemical cycling) 과정들이 GCMs에 통합되는 모습을 보인다. 이러한 기후 모델은 현재 ‘Coupled Climate System Models(CCSMs)’나 ‘Earth System Models(ESMs)’로 알려져 있다(McGuffie & Henderson-Sellers, 2014, p. 80). 상호 관계를 보면 모든 ESMs는 GCMs이지만, 모든 GCMs가 ESMs인 것은 아니라고 할 수 있다. 한편 GCMs와 비슷한 방식으로 작동하지만, 지구의 제한된 지역을 대상으로 하는 기후 모델로 RCMs(Regional Climate Models)가 있다. 일반적으로 RCMs가 좁은 지역을 대상으로 하기에 GCMs보다 빠르게 작동하며 공간 해상도가 높은 것이 일반적이다. RCMs는 지구의 기후 정보를 지역 수준으로 축소하는 방법 중의 하나로 GCMs에 의해 제공되는 정보를 취하여 특정 지역에 적용하는 기후 모델로 이해할 수 있다(McSweeney & Hausfather, 2018).

비록 기후 모델이 복잡해지고 정교해짐에도 불구하고 기후 시스템에 대한 불완전한 혹은 불충분한 지식으로 인해 기후 모델을 통해 기후 시스템을 완벽히 시뮬레이션하는 것은 불가능하다. 이러한 점에서 기후 모델을 구축하는 연구진과 실제로 기후 현상을 분석하는 연구진의 협력 작업이 매우 중요하다. 가장 최근인 IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)에서는 전적으로 기후 모델에 기초하여 기후 민감도를 추정하는 대신에 다양한 추가 자료원을 활용하는 방식을 취하는데(IPCC, 2021, p. 9), 이 또한 기후 모델의 불완전성을 보완하는 시도로 이해할 수 있다. 이러한 사항을 종합적으로 고려할 때 모든 분석과 연구를 가로질러 단일의 최적 기후 모델을 찾기는 어렵다고 할 수 있다. 각각의 기후 모델은 분석하고자 하는 기후 변수, 지역, 시공간 규모에 따른 장단점을 가지고 있기에 분석 목적에 기초하여 기후 모델을 선택할 필요가 있다.

기후 모델에 수반된 불확실성을 고려할 때 복수의 기후 모델에 기초하여 분석 결과를 상호 비교하는 작업도 필요하다. 이러한 측면에서 기후의 과거, 현재, 미래를 시뮬레이션하는 과정에서 다양한 기후 모델에 대한 실험이 진행된 바 있다. 다양한 기후 모델의 특정 부분을 검증하기 위한 목적으로 모델 실험이 설계되기도 한다. 다양한 집단이나 조직이 구축한 기후 모델을 대상으로 동일하게 설계된 실험을 진행하는 방식의 접근(model ensemble)을 통해 연구자들은 다양한 기후 모델의 차이와 기후변화의 미래 전망에 수반된 불확실성을 이해할 수 있다. 특히 동일한 조건에 기초하여 다양한 기후 모델을 비교함으로써 기후 전망 자체에 수반된 불확실성과 함께 기후 모델의 구조나 특성에 의해 초래되는 불확실성을 이해할 수 있다. 예상할 수 있듯이 기후 모델을 개발하고 운영하는 수많은 조직이 등장하여 분석 결과의 비교 가능성이 떨어질 수 있다는 위험성도 제기된다. 이에 대응하기 위해 마련된 조치가 바로 CMIP(Coupled Model Intercomparison Project)이다.

CMIP의 'Coupled'에서 추론해 볼 수 있듯이 이 프로젝트에 포함된 기후 모델은 해양과 대기 등 지구의 기후 시스템을 구성하는 다양한 부분을 연계하는 GCM 모형(Coupled GCMs)이다. 1995년에 '세계 기후 연구 프로그램'(World Climate Research Programme: WCRP)에 의해 만들어진 CMIP는 전 세계의 수많은 독립된 기후 연구기관에서 생산되는 다양한 해양-대기 모델의 결과를 체계적으로 분석하기 위해 잘 정의된 기후 모델 실험 프로토콜, 표준 양식, 배포 기제를 발전시켰다. IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)는 WCRP의 'CMIP6'에 의해 조정되는 가장 최신 세대의 기후 모델에 기초하는데, CMIP6 프로젝트는 미래 기후변화 전망치를 생산하기 위해 가장 최신의 과학기술을 적용하는 전 세계 연구기관의 모델 집합체라고 할 수 있다. CMIP6에서는 전 세계적으로 30개 이상의 연구기관이 개발한 기후 모델이 IPCC 최종 평가에서 사용되었다(IPCC, 2021, pp. 2101-2107). 참고로 CMIP 결과가 IPCC 평가보고서의 중요한 기초가 되지만, CMIP는 IPCC와 완전히 독립적으로 운영된다.

사회과학의 모델링과 마찬가지로 기후 모델링, 특히 인간 활동에 의한 기후변화를 모형화하는 과정에도 상당한 수준의 불확실성이 수반되어 있음에 유의할 필요가 있다. 특히 기후 모델에 의한 전망이 소규모 공간 단위에 적용될 때 불확실성은 더욱 커지게 된다. 물론 이러한 기후 모델링에 수반된 불확실성의 배경에는 활용할 수 있는 자료의 한계(관측 기간 및 자료의 질)와 함께 기후의 내부 변동성과 자연 현상에 의한 영향(자연적 강제력)이 자리 잡고 있다. 일반적으로 기후 모델에 수반된 불확실성은 대기 중의 이산화탄소, 메테인 같은 온실가스의 농도 변화에 따른 표면 온도 변화를 측정하는 기후 민감도(climate sensitivity) 지표를 통해 확인할 수 있다. 특히 이산화탄소 농도가 즉각적으로 산업화 이전 수준의 2배로 증가할 때 (기후가 정상 상태(steady state; 대기와 해양 간의 안정

적인 에너지 균형 상태)에 도달한 후) 지구 표면 대기 온도(Global Surface Air Temperature: GSAT)에서 나타나는 변화(산업화 이전 대비 편차)를 의미하는 ‘평형 기후 민감도’(Equilibrium Climate Sensitivity: ECS)는 기후 시스템에 미치는 인간 활동의 영향력을 가늠해 볼 수 있는 중요한 지표이다.<sup>34)</sup>

기본적으로 ECS가 높을수록 기후 시스템이 인간 활동의 영향에 더욱 민감하게 반응한다는 것을 의미한다. [그림 3-6]에서 볼 수 있듯이 2013년의 IPCC 제5차 평가보고서(AR5)에서 ECS는 1.5~4.5℃ 범위(likely)로 전망되었지만, 가장 최근인 2021년의 IPCC 제6차 평가보고서(AR6)에서는 이보다 크게 줄어든 2.5~4.0℃ 범위(likely)로 전망되었다. 이는 기후과학 지식의 발전과 기후 모델의 정교화를 반영하는 결과로 평가할 수 있다. 한편 이산화탄소 농도가 즉각적으로 산업화 이전 수준의 2배로 증가하는 대신에 연간 1%씩 점진적으로 증가하여 그 농도가 2배가 될 때의 지구 온난화 수준을 측정하는 TCR(Transient Climate Response) 지표에서도 제6차 평가보고서(AR6)의 추정치 범위(likely)는 1.4~2.2℃로, 제5차 평가보고서(AR5)의 1.0~2.5℃ 범위보다 좁게 추정된다(IPCC, 2021, p. 183). 그러나 [그림 3-6]에서 볼 수 있듯이 2007년의 제4차 평가보고서(AR4)에서 ECS는 2.0~4.5℃의 범위(likely)로 전망된 바 있는데, 이는 6년 뒤에 이루어진 2013년의 제5차 평가보고서(AR5)에서 추정된 ECS 개연성 구간보다 좁은 범위이다(IPCC, 2021, p. 183). 기후 모델에 수반된 불확실성 수준이 상당함을 시사하는 대목이다.

34) IPCC 보고서에서 지구 온난화를 추정하기 위해 사용하는 지구 표면 온도 측정치 중에서 지구 평균 표면 온도(Global Mean Surface Temperature: GMST)는 해양의 해수면 온도와 육지 및 해양 빙하 지역의 2m 높이의 대기 온도를 결합한 지표이다. 반면에 지구 표면 대기 온도(GSAT)는 전체 표면에 걸친 2m 높이의 대기 온도를 측정하는 지표이다(IPCC, 2021, p. 59). 참고로 장기적 환류 효과(빙상 제외)를 반영하고 있다는 점에서 IPCC 제6차 평가보고서(AR6)의 ECS 지표 정의는 기존 보고서와 완전히 동일하지는 않다.

[그림 3-6] Charney 및 IPCC 보고서의 평형 기후 민감도(ECS)



주: 검은색 점은 중심 추정치(central estimate)이며(TAR 및 AR5는 부재), box plot의 box는 likely 범위(66~100%)를 표시함(AR5와 AR6의 whisker는 very likely(5~90%) 범위); Charney 및 IPCC(FAR~AR6) 보고서에서 추정된 평형 기후 민감도 지숫값임.

출처: "In-depth Q & A: The IPCC's sixth assessment report on climate science," Evans, S., Gabbatiss, J., Hausfather, Z., McSweeney, R., Tandon, A., & Viglione, G., 2021, <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-the-ipccs-sixth-assessment-report-on-climate-science/>, Carbon Brief. Copyright 2024 by Carbon Brief Ltd.

더욱이 가장 최근의 기후 모델인 CMIP6을 검토한 연구는 CMIP6에서 기후 민감도가 높은(AR5의 'likely' 범위를 넘어서는;  $ECS > 4.5^{\circ}C$ ) 기후 모델들이 대부분 최근의 온난화 추세를 과대 추정함으로써 미래 온난화 전망에서도 과대 추정 편의로 이어질 개연성이 있음을 지적한다(Nijse et al., 2020, p. 746; Tokarska et al., 2020, p. 6).<sup>35)</sup> 또한 CMIP6 중에서 평형 기후 민감도가 높은 모델(예컨대, CESM2(Community Earth

35) CMIP5와 CMIP6을 비교한 연구는 전반적으로 IPCC 제6차 평가보고서(AR6)의 기초가 된 CMIP6 기후 모델들의 기후 민감도가 제5차 평가보고서(AR5)의 기초가 된 CMIP5 기후 모델들에 비해 높음을 보고한다. 현재까지의 논의는 CMIP6에 속한 기후 모델의 민감도 증가 현상이 구름과 에어로졸의 모델 내 구현과 관련이 있는 것으로 추정하고 있다(Hausfather, 2018).

System Model 2))을 활용한 시뮬레이션 결과가 지질학적 증거(지질시대의 고기후 데이터)와 일치하지 않음이 지적되기도 한다(Zhu et al., 2020, pp. 378-379). 물론 기존 평가보고서와 달리 IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)는 기후 민감도 추정 과정에서 기후 모델에 전적으로 의존하지 않는다. 기후 모델에 절대적으로 의존했던 기존 평가보고서와 달리 제6차 평가보고서(AR6)는 과거의 기후변화 자료나 기후 과정에 대한 과학적 이해 등 다양한 자료원에 기초한다는 차이가 있다. 제6차 평가보고서(AR6)는 다양한 자료원을 아울러 근거 자료의 일치성이 높다는 점을 기존 평가보고서와 비교하여 크게 진일보한 점으로 강조한다(IPCC, 2021, p. 93). 그럼에도 온실가스 증가에 따른 기후 민감도를 둘러싼 불확실성은 21세기에 걸친 지구 온난화 전망에서 불확실성의 주요 원천으로 남아 있으며, 구름 등 기후의 다양한 환류 과정을 포함하여 기후 시스템에 영향을 미치는 강제력에 대한 이해가 여전히 쉽지 않음을 시사한다.<sup>36)</sup> 한편 Voosen(2016, pp. 401-402)이 지적하듯이 과거 비밀스럽게 진행되었던 기후 모델링의 세부적인 보정(tuning) 과정을 투명하게 공개한 것이 10여 년에 불과하다는 점도 기후 모델에 수반된 불확실성의 존재와 크기를 가늠하기 어렵게 한다.

기후 모델링과 관련하여 마지막으로 IAMs(Integrated Assessment Models)를 살펴본다. IAMs 또한 일종의 기후 모델로 볼 수 있다. 이 모델은 단순한 기후 모델에 사회의 다양한 측면을 추가하여 인구와 경제 성장,

36) 기후 민감도 추정에 수반된 불확실성은 기후 시스템에서 발생하는 다양한 환류 과정(climate feedback)과 관련이 있다. 지구 표면의 대략 2/3를 덮고 있는 구름은 온실가스의 온난화 효과를 증폭시킬 수도 있지만, 상쇄할 수도 있다. 다만, 다양한 유형의 복사강제력이 지구 온난화에 미치는 영향에 대한 이해가 높아짐과 함께 구름의 환류 효과를 양화하는 능력의 향상에 기초하여 IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)는 모든 환류 과정의 통합적 효과는 온실가스에 의한 지구 온난화를 더욱 강화할 것임이 사실상 확실하다는 평가를 내리고 있다(IPCC, 2021, pp. 1022-1023).

에너지 사용이 물리적 차원의 기후에 어떠한 영향을 미치고 상호작용하는지를 시뮬레이션한다. IAMs의 특징적인 모습은 미래에 온실가스 배출이 어떻게 변할 것인지에 관한 시나리오 체계를 구축하는 과정에서 사용된다는 점이다. 후속적으로 ESMs 같은 기후 모델에 이러한 시나리오를 적용하여 미래의 기후변화를 전망하여 기후와 에너지 정책에 사용될 수 있는 정보를 제공할 수 있다. 일반적으로 기후변화 연구에서 IAMs는 미래의 온실가스 배출 수준과 이에 대응하여 취해지는 다양한 정책 방안의 편익과 비용을 전망하기 위해 사용된다(McSweeney & Hausfather, 2018).

앞에서 살펴본 기후 모델과 마찬가지로 IAMs도 상당히 다양한 모델을 지칭하는 개념으로 사용된다. 인구, 경제, 에너지 사용이 기후 시스템과 어떻게 영향을 주고받는지 시뮬레이션함으로써 IAMs는 인구, 경제, 기술 관련 사회적 조건에서의 변화(예컨대, SSPs)를 기후 시스템과 연결하는 데 핵심적인 역할을 한다. 단순한 IAMs는 대체로 추가적인 이산화탄소 배출의 사회적 비용(Social Cost of Carbon: SCC)을 양화하는 목적으로 사용된다. 이러한 단순 모델에서는 지구 시스템, 인구, 경제, 에너지 등 기후변화와 관련된 다양한 요인들의 복잡한 과정과 상호적 관계가 정교하게 모형화되지 않는다. 이산화탄소 배출의 사회적 비용을 추정하는 목적으로 사용되는 대표적인 모델로는 DICE(Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy), FUND(Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution model), PAGE(Policy Analysis of the Greenhouse Effect model)가 있다. 미국의 경우 정부 차원에서 이들 세 가지 모델에서 산출된 결과를 취합하여 SCC를 산출하여 정책적으로 활용하기도 한다. 세부적 차이에도 불구하고 이들 세 가지 모델은 공통으로 4개의 모듈(Socioeconomic Module, Climate Module, Benefit/Damage Module, Discounting Module)에 기초하여 기후

변화가 사회적 후생에 미치는 영향을 추정한다. 사회경제적 모듈은 인구, 경제, 온실가스 배출량을, 기후 모듈은 온실가스 배출에 따른 (기온, 강우 등) 기후변화의 양상을, 비용-편익 모듈은 이러한 기후변화가 다양한 영역에 미치는 파급 효과를 전망한다. 마지막으로 할인 모듈은 미래의 비용-편익을 현재가치로 할인하는 모듈이다. 온실가스가 대기 중에 장기간 체류하며, 기후변화에 따른 비용이 미래에 집중된다는 점에서 할인을 차이도 온실가스의 사회적 비용에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이들 세 가지 모델에서의 차이는 온실가스 배출이 온난화로 이어지는 강도와 기후변화가 초래하는 손실과 관련된다(Evans et al., 2017).

위에서 언급한 IAMs가 상대적으로 단순한 가정에 기초하여 기후변화가 미래에 초래하는 손실과 기후변화를 완화하는 비용을 비교 분석하는 경제적 모형인 반면에 복잡한 IAMs는 온실가스 배출에 영향을 미치는 에너지 기술, 에너지 사용, 토양 변화는 물론 미래의 인구와 경제 성장 등 사회적 추세도 고려한다. 자연환경뿐만 아니라 인간이 활동하는 사회환경을 동시에 고려한다는 점에서 이들 IAMs는 앞에서 살펴본 일반적인 기후 모델과는 큰 차이가 있다. 예상할 수 있듯이 인간의 사회적 행위를 설명하는 작업은 물리적 환경에 대한 논의와는 큰 차이가 있다. 일반적인 기후 모델과 비교할 때 IAMs에서 사회과학자들의 역할이 부각되는 것은 이와 관련이 있다.

전 지구적 수준의 복잡한 IAMs가 많이 존재하지만, IPCC 제6차 평가 보고서(AR6)의 공통경제사회경로(SSPs) 시나리오를 미래 에너지 사용량과 온실가스 배출량 추정치로 전환하는 과정에서는 6개의 모델이 참여한다(Riahi et al., 2017, p. 156).<sup>37)</sup> 이들 IAMs는 공통적으로 기후

37) 여기에 해당하는 대표적인 모델이 인구학 분야에서도 잘 알려진 오스트리아의 IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis)가 개발한 MESSAGE(Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact)이다. MESSAGE 모델의 자세한 사항에 대해서는 해당 홈페이지(<https://docs.messageix.org/en/latest/>)를 참조할 수 있다.

모델링과 관련하여 복잡한 GCMs나 ESMs 대신에 단순한 기후 모델인 MAGICC(Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change)를 사용한다.<sup>38)</sup> MAGICC를 통해 온실가스 배출량에 따른 대기 농도, 복사강제력, 지구 평균 온도 변화에 관한 정보를 산출하는데, 복잡한 기후 모델에 비해 처리 속도가 빠르고 특정 수준의 완화 목표를 충족하기 위해 요구되는 온실가스 배출 경로를 쉽게 결정할 수 있는 장점이 있다(Evans & Hausfather, 2018).

모형의 특성상 복잡한 IAMs가 다양한 요인들의 상호작용과 환류 과정을 반영하고자 하지만, 현재까지도 기후변화에 따른 경제적 손실과 성장률 저하 문제는 체계적으로 모형화되지 못하는 것으로 알려진다(Evans & Hausfather, 2018). IAMs가 복잡한 물리적-사회적 시스템을 단순화시킨 수리적 모델이기에 다양한 사회적 혹은 정치적 요인들의 영향을 체계적으로 반영하지 못하는 한계도 지적된다. 또한 IAMs가 경제학을 의사결정의 기초로 삼음으로써 기후변화와 관련된 경제적 비용을 최소화하는 데 초점을 맞추는 경향이 있음도 지적될 필요가 있다. 사회와 시장이 합리적이며, 완전한 정보에 기초하여 최적화되어 있음을 가정하고 있는 것이다(IPCC, 2014a, p. 422). 이러한 점에서 IAMs에서는 모델이 기초하고 있는 기본 가정을 염두에 두고 분석 결과를 해석할 필요가 있다. 비록 IAMs가 향후 전개될 미래에 관한 다양한 모습을 보여줄 수 있지만, 기후 외에 인구와 경제 등 다양한 가정에 기초한 모형이기에 설정된 가정에 기초한 조건적인 결과임에 유의해야 한다.

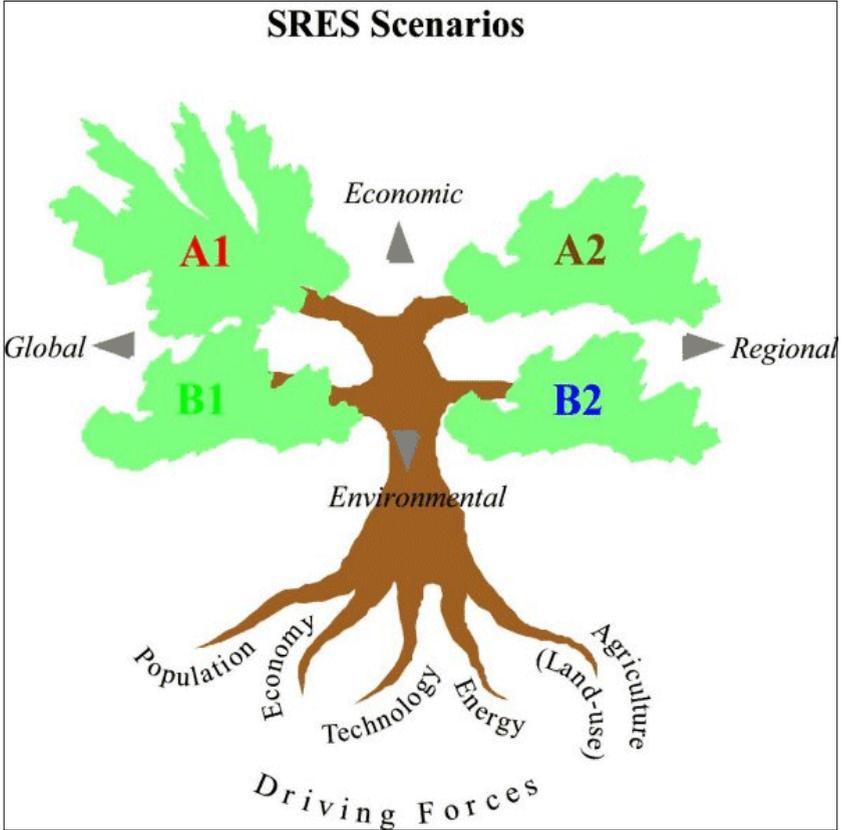
앞에서는 기후 모델의 발전 현황을 살펴보았는데, 기후변화 전망을 둘러싼 불확실성은 기후 모델이 지구의 기후 시스템을 완벽하게 구현하지 못하는 점에 기인하는 동시에 미래의 온실가스 배출 경로 등 기후 모델에

38) MAGICC 모델은 <https://magicc.org/>에서 내려받을 수 있다.

사용되는 자료의 불확실성과 관련되기도 한다. 이러한 문제에 대응하기 위해 미래의 사회경제적 발전에 관한 다양한 시나리오를 사용하지만, 시나리오 자체가 기후변화 전망의 불확실성을 초래하는 또 다른 원인이 되기도 한다. 미래의 기후변화에 관한 시나리오 체계를 구축하는 과정에서 핵심적인 역할을 하는 것이 위에서 언급한 IAMs이다. IAMs를 사용해 대안적인 미래를 탐색하기 위해 사용되는 것이 SRES, RCPs, SSPs 등 아래에서 논의하는 기후변화 시나리오이다. 물론 동일한 시나리오를 사용하더라도 분석 결과는 사용된 IAMs의 특징에 따라 큰 차이를 보일 수도 있다. 이는 시나리오가 대부분 질적으로 구성된 논리 체계(storyline)인 반면에 IAMs에서는 각 모델이 구성된 특징에 따라 질적 시나리오가 양적 투입 요소로 전환되어야 하며, 이 과정에서 모델의 특징에 따라 큰 차이가 발생할 수 있기 때문이다. 2000년의 SRES 시나리오 체계를 포함하여 IPCC의 제4차 평가보고서까지는 IPCC가 자체적으로 기후변화 시나리오를 구성하였다. 한편 IPCC의 제5차 평가보고서(AR5)는 RCPs(Representative Concentration Pathways), 제6차 평가보고서(AR6)는 SSPs(Shared Socio-economic Pathways) 시나리오 체계를 사용하였는데, 이들 시나리오 체계는 IPCC 내외부의 협력 작업에 기초한다.

인구, 사회, 경제, 기술, 환경, 정책을 모두 아울러 미래의 기후변화와 관련하여 내적 일관성을 갖춘 시나리오 체계(scenario family)를 본격적으로 구축하기 위한 시도는 2000년에 발표된 '배출 시나리오에 대한 IPCC 특별보고서'(Special Report on Emissions Scenarios: SRES)에서 시작되었다. 이 보고서에서 IPCC(2000, p. 28)는 기후변화의 동인으로 1) 인구 증가, 2) 경제 성장, 3) 기술 변화, 4) 에너지 사용, 5) 토지 사용 패턴에서의 변화에 주목한다. 이러한 다섯 가지 기후변화 동인의 조합에 기초하여 IPCC는 총 4개의 시나리오(A1, A2, B1, B2)를 구성하고 시나리오별로 온실가스 배출 경로를 전망하였다.

[그림 3-7] 배출 시나리오에 대한 IPCC 특별보고서의 배출 시나리오 도식화



출처: "Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000, Cambridge University Press, p. 28(Figure TS-2). Copyright 2000 by Intergovernmental Panel on Climate Change.

[그림 3-7] 상단의 'A' 시나리오(A1, A2)는 경제 성장 지향적, 하단의 'B' 시나리오(B1, B2)는 환경 친화적 발전 시나리오를 의미한다. 한편 좌측의 '1' 시나리오(A1, B1)는 지역(국가)별 격차가 감소하고 전 세계의 통합이 강조된 시나리오, 우측의 '2' 시나리오(A2, B2)는 지역(국가) 간 낮은 수준의 협력, 기술 이전, 사회경제적 지원을 의미하는 시나리오에 해당한다.

SRES 시나리오는 IPCC 제3차(TAR) 및 제4차(AR4) 평가보고서에서 사용된 바 있다. 그러나 이러한 IPCC의 SRES 시나리오 구성에서 기후변화에 대한 인구의 영향은 '인구 규모'만을 통해 파악되는 한계를 보인다.

IPCC의 SRES 시나리오 체계는 제5차 평가보고서(AR5)에서 RCPs 시나리오 체계로 전환된다. 이 전환은 기후변화 논의에서 상당히 중요한 의미가 있다. 기존의 SRES 시나리오 체계가 현재 혹은 미래의 온실가스 배출이 기후변화에 어떤 효과를 초래하는지에 초점을 맞춘 반면에 새롭게 도입된 RCPs 체계는 특정 온난화 수준에 도달하기 위해 어떠한 조치가 필요한지에 초점을 맞춘다(Evans & Hausfather, 2018). RCPs 체계는 4가지 경로로 구성되었는데(RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6), 각 경로에 부가된 숫자는 2100년 기준의 복사강제력(radiative forcing;  $W/m^2$ (watts per square meter) 단위)을 의미한다.<sup>39)</sup> RCPs라는 명칭에서 추론해 볼 수 있듯이 이 시나리오 체계는 각각의 복사강제력에 상응하는 온실가스 농도의 '대표적인' 경로를 나타낸다. 이렇게 RCPs 시나리오 체계로 전환됨으로써 기후변화 정책에서는 앞에서 논의한 IAMs의 역할이 더욱 커지게 된다.

미래의 기후변화 전망에서 상대적으로 가장 최근에 이루어진 인구학적 기여의 중요한 사례로 IPCC 제6차 평가보고서(AR6)의 '공통사회경제경로'

39) 지구에 도달한 태양복사 에너지를 흡수한 후 지구가 에너지를 방출하는데(지구복사), 지구에 흡수되는 태양복사와 지구가 방출하는 지구복사가 균형을 이루어 지표면 온도가 안정된 상태를 유지하는 것을 복사평형(radiation equilibrium)이라고 한다. 복사강제력은 지구의 에너지 수지가 이러한 평형 상태에서 벗어나는 정도를 측정하는 지표로 지구의 기후 시스템으로 들어오는 에너지와 나가는 에너지의 차이를 의미한다. 양(+의) 복사강제력은 기후 시스템에 에너지를 추가로 축적함으로써 기후 온난화로 이어질 수 있다. IPCC 보고서에서 복사강제력의 기준 시점은 1750년이다. IPCC(2021, p. 960)의 제6차 평가보고서(AR6)에 의하면 1750년 대비 전체 인위적 복사강제력은 2019년 기준으로  $2.72W/m^2$  증가하였다. 세부 동인별로는  $CO_2$   $2.16W/m^2$ ,  $CH_4$   $0.54W/m^2$ ,  $N_2O$   $0.21W/m^2$  등으로 기후변화에서 이산화탄소의 역할이 매우 큰 상황이다. 참고로 2019년 기준의 총복사강제력(1750~2019)은 제5차 평가보고서(2011년 기준  $2.3W/m^2$ )보다  $0.43W/m^2$  증가한 수치이다.

시나리오 체계(SSPx-y)가 있다(O'Neill et al., 2014; Riahi et al., 2017).<sup>40)</sup> 기후변화 연구자들은 오랫동안 ① 기후변화 전망, ② 사회경제적 조건 변화, ③ 기후정책을 모두 아우른 통합적인 시나리오 체계를 구성하고자 하였다. 비록 제5차 평가보고서(AR5)에서 사용된 RCPs 시나리오 체계가 유의미한 진전을 이룬 측면이 있지만, 특정 경로의 기후 조건을 달성하는 데 필요한 '완화' 조치와 이러한 기후변화 경로에서 나타나는 기후변화 및 그 영향에 대비하고 반응하는 '적응' 조치에 수반된 일련의 불확실성을 특징적으로 보여 줄 수 있는 시나리오 체계는 아니다. RCPs 체계가 온실가스 농도의 경로와 이에 따라 금세기 말까지 나타나는 지구 온난화 수준을 보여 주지만, 금세기에 걸쳐 사회경제적 요인들, 즉 인구, 경제성장, 교육, 도시화, 기술 발전이 어떻게 전개될 것인지를 고려하지 못하는 한계가 있는 것이다.

비록 기후변화에 따른 완화 및 적응 조치가 기후변화 자체(복사강제력)의 영향을 받지만, 사회경제적 발전 양상에 따라 달라질 수도 있다. 이러한 점에서 SSPs 시나리오 체계는 RCPs 체계가 초점을 맞춘 기후변화(복사강제력) 경로의 불확실성뿐만 아니라 적응 및 완화 경로의 불확실성(사회경제적 발전)을 통합적으로 고려하는 체계이다([그림 3-8] 참고).<sup>41)</sup> IPCC 제6차 평가보고서(AR6)에서 SSPs 시나리오 체계는 기후변화(복사강제력)를 반영하여 SSPx-y의 표시 형식을 취한다. 여기에서 x는 앞에서 설명한 공통사회경제경로(SSPs)의 특정 시나리오에서 가정된 사회경제적 발전의 추세를 기술하며, y는 2100년 기준으로 해당 시나리오에서 발생

40) 공통사회경제경로(SSPs) 시나리오 체계 개발에 참여한 대표적인 인구학자로 Wolfgang Lutz, Samir KC 등이 있다. 연구기관 차원에서는 IIASA(International Institute for Applied Systems Analysis)의 역할이 두드러지는데, 앞에서 언급했듯이 이 기관에서 개발한 대표적인 IAMs 모델이 MESSAGE이다.

41) 참고로 IPCC 기후 모델이 기초하고 있는 실증적 접근과 달리 IPCC의 SSPs 시나리오 체계가 서사적 접근에 기초한다는 비판이 있다(Welch, 2024, p. 14).

하는 대략적인 복사강제력을 의미한다. 예컨대, SSP1-1.9 시나리오는 완화 및 적응과 관련된 사회경제적 도전 수준이 상대적으로 낮은 SSP1 경로에서 2100년 기준의 복사강제력이  $1.9\text{W}/\text{m}^2$ 에 이르는 시나리오이다. 기존의 RCPs 체계에서는 없었지만, 파리 협정의 타결로 등장하게 된 이 경로는 2100년 기준으로 지구 온난화를 1850~1900년 대비  $1.5^\circ\text{C}$  수준으로 유지하는 시나리오로, 금세기 중반경에 이산화탄소 순 배출량을 영(0)으로 감소시키는 시나리오이다(net-zero emissions)(IPCC, 2021, p. 233). 실현 개연성에 강한 의문이 제기되기도 하지만, 파리 협정이 열망하는 의욕적인 목표가 바로 이 시나리오로 볼 수 있다.<sup>42)</sup>

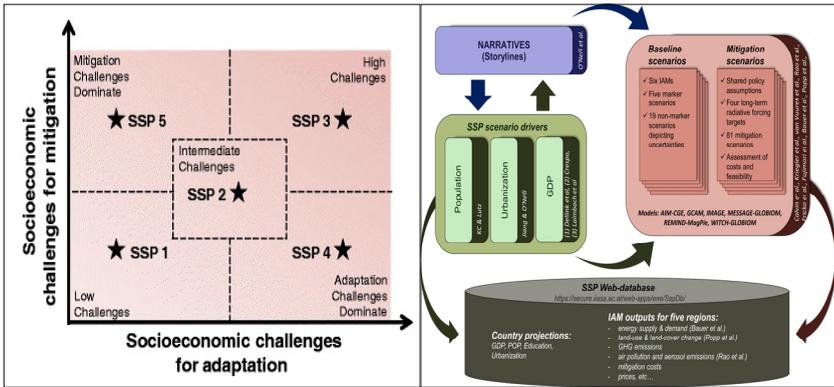
SSPx-y 시나리오 체계에서 새롭게 도입된 공통사회경제경로(SSPs)는 기후의 변화나 그 영향 혹은 기후변화에 대응하는 ‘정책’의 효과를 가정하지 않는 ‘가설적’(hypothetical) 발전 경로이다(reference path).<sup>43)</sup> 비록 SSPs가 미래의 기후변화와 기후정책의 효과를 고려하지 않기에 향후 전개될 그럴듯한 미래를 묘사하지 못한다고 판단할 수도 있지만, 이는 기후변화와 기후정책의 효과를 고려하는 후속적 논의를 위한 의도적인 설계이다. SSPs는 인구 성장이나 경제 성장처럼 기후변화 및 그 영향의 동인만을 포함하며, 이러한 동인이 초래하는 ‘결과’는 후속적으로 SSPs에 기초하여 이루

42) 21세기 말까지 지구의 평균 온도 상승을  $2^\circ\text{C}$  이내로 유지하는 좀 더 현실성 있는 시나리오로 SSP1-2.6이 있다. 다만 이 시나리오에서 2081~2100년 기간의 최적 추정치(편차)가  $1.8^\circ\text{C}$ 이지만, 추정치(편차)에 수반된 불확실성의 범위는  $1.3\sim 2.4^\circ\text{C}$ 로  $2^\circ\text{C}$ 를 초과할 개연성(very likely; 90~100%)도 있다(〈표 3-2〉 참고).

43) SSPx-y 시나리오 체계에서 기후변화에 대응하는 ‘정책’의 효과를 연계하는 작업은 SPAs(Shared Policy Assumptions)에 기초한다. 이에 대해서는 Kriegler et al.(2014)을 참고할 수 있다. 한편 기존의 RCPs 체계와 비교할 때 SSPs 체계는 기후변화에 대응하는 정책적 개입이 없을 때 전개될 미래에 대해 다양한 가능성을 보여 준다는 차이가 있다. 기존의 RCPs 체계에서 연구자들은 RCP8.5를 정책적 개입이 없을 때 도래하게 될 미래를 보여 주는 시나리오(business-as-usual scenario)로 이해하는 경향이 있었다(IPCC, 2021, p. 232). 그러나 SSPs 체계는 기후변화에 대응하는 정책적 개입이 없더라도 사회경제적 발전 양상에 따라 기후변화의 미래가 다양하게 전개될 수 있음을 보여 준다는 차이가 있다(Hausfather, 2018).

어지는 시나리오 체계 구성 과정에서 검토된다. 결국 SSPx-y 시나리오 체계에서는 RCPs나 SSPs처럼 전체 시나리오 체계를 구성하는 하위 요소의 전개 양상을 기술하는 ‘경로’와 이들 요소에 추가로 온실가스 배출, 기후 전망, 기후정책을 결합하여 미래의 기후변화와 사회경제적 발전을 통합적으로 기술하는 ‘시나리오’를 구분하는 구조이다(O’Neill et al., 2014, pp. 389-390).

[그림 3-8] 공통사회경제경로(SSPs) 논리 체계(기본 SSPs) 및 개발 과정의 도식화



출처: “A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways,” O’Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & Van Vuuren, D. P., 2014, *Climatic Change*, p. 391(Fig. 1). Copyright 2024 by Springer Nature. “The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview,” Riahi, K., Van Vuuren, D., Kriegler, E., Edmonds, J., O’Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Crespo Cuaresma, J., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M., 2017, *Global Environmental Change*, p. 155(Fig. 1). Copyright 2024 by Elsevier B.V., its licensors, and contributors.

[그림 3-8]에서 볼 수 있듯이 SSPs 체계에서는 기후변화와 관련된 사회경제적 및 환경적 이슈를 ‘완화’와 ‘적응’ 차원에서 바라본다. 그림에 명시적으로 표시되어 있지는 않지만, 다양한 SSPs 경로에는 시간적 차원이 함축되어 있다. 또한 그림에서는 ‘사회경제적’(Socioeconomic)이라는

용어를 사용하지만, 목표로 제시되는 기후변화(복사강제력)와 이를 달성하기 위한 기후정책을 제외한 인구, 정치, 사회, 문화, 제도, 기술, 행위 양식 등이 모두 망라되어 있다.

SSPs 경로의 개발은 단계적인 성격을 띤다. 첫 번째 단계는 ‘기본’(핵심) SSPs(Basic SSPs)를 정의하는 단계이다. 기본 SSPs는 완화와 적응 차원에서 SSPs 경로를 상호 구분하고 후속의 IAMs에서 투입 요소로 사용되기 위한 최소한의 요소만으로 정의된다. 다음은 이러한 기본 SSPs에 기초하여 좀 더 세부적인 정보를 제공하기 위한 목적으로 ‘확장’ SSPs(Extended SSPs)를 구성하는 단계이다. 물론 확장 SSPs의 세부적인 요소는 연구 목적 등 다양한 조건에 따라 다르게 정의될 수 있다. [그림 3-8]은 기본 SSPs 경로의 논리 체계와 개발 과정을 도식화한 것인데, 기본 SSPs는 모두 5개의 경로로 구성되어 있다. 5개의 기본 경로를 구성하는 서사의 핵심은 ① Sustainability-Taking the Green Road(SSP1), ② Middle of the Road(SSP2), ③ Regional Rivalry-A Rocky Road(SSP3), ④ Inequality-A Road Divided(SSP4), ⑤ Fossil-fueled Development(SSP5)이다(Riahi et al., 2017, p. 157). 기본 SSPs 경로 중에서 SSP1과 SSP5는 사회경제적 발전을 상대적으로 낙관한다. 다만 SSP5가 과거와 마찬가지로 에너지 집약적이고 화석연료 중심의 사회 체계에 기초하지만, SSP1은 재생에너지 활용 등 지속 가능한 발전으로 전환을 추진하는 경로이다. 한편 SSP3과 SSP4는 미래의 사회경제적 발전을 부정적으로 전망하는 경로이며, SSP2는 21세기에 걸친 사회경제적 발전이 과거의 패턴에서 크게 벗어나지 않는 경로에 해당한다.44)

44) 시나리오의 서사에서 본다면 기본 SSPs는 앞에서 살펴본 SRES 체계와 큰 차이를 보이지 않는다고 볼 수 있다(SSP2 제외). 예컨대, 지속 가능성이 강조된 SSP1은 SRES의 B1과 유사한 측면이 있다. 다만 SRES 시나리오와 달리 SSPs 시나리오에서는 기후변화 정책(완화)의 역할이 포함되어 있지 않다(Hausfather, 2018).

SSPs 시나리오 체계가 경제성장(GDP) 등 다양한 가정에 기초하지만, 인구와 기후변화에 초점을 맞추는 이 연구에서는 인구와 관련된 가정을 좀 더 세부적으로 살펴본다. <표 3-1>에서 볼 수 있는 것처럼 각 SSP 경로는 그에 상응하는 인구학적 가정(출산, 사망, 인구이동, 교육 수준)에 기초한다. [그림 3-8]의 SSP2가 이들 모든 인구변동 요인에서 중위 가정을 취하는 경로에 해당한다. SSPs 시나리오 체계에서는 기후변화에 대한 인구의 영향을 반영하기 위해 출산, 사망, 이동, 교육을 모두 아우른 다차원적 인구추계 모형(multi-dimensional population projection model)을 사용한다. 특히 교육 수준은 인구변동에 영향을 미치는 동시에 사회경제적 발전과 기후변화에도 중요한 함의를 갖는 요인이다. 이러한 점에서 교육 수준은 인구의 규모와 함께 연령 및 성별 구조에 초점을 맞춘 전통적인 인구추계 모형을 확장하는 동시에 기후변화를 완화하고 기후변화에 성공적으로 적응하기 위한 사회경제적 도전의 핵심(Human Core)을 포착하기 위한 목적으로 기능하는 지표라고 할 수 있다(KC & Lutz, 2017, p. 183).

IPCC의 SSPs 시나리오 체계에서 사용된 인구추계를 수행한 KC and Lutz(2017, p. 187)의 인구추계 결과를 보면 인구의 규모는 SSPs 경로 중에서 SSP1과 SSP5에서 상대적으로 작다. 2100년 기준으로 SSP1 경로에서는 세계 인구가 68.81억 명, SSP5 경로에서는 73.63억 명으로 추계되어 있다. [그림 3-9]에서 볼 수 있듯이 이들 두 시나리오에서는 2050~2060년경에 세계 인구가 정점을 찍고 감소 국면에 진입할 것으로 전망하고 있다. 모든 인구변동 요인에서 중위 가정을 취하는 SSP2 경로에서는 2070~2080년경에 세계 인구가 최고 수준에 도달하며, 2100년에는 90.00억 명 수준에 이를 것으로 전망된다. SSPs 경로 중에는 국가(지역) 간 경쟁과 갈등을 강조하는 SSP3에서 세계 인구는 2100년까지 지속해서 증가하는 모습을 보이는데, 이 경로에서 2100년 기준의 세계 인구는 126.27억 명으로 전망되어 있다.

〈표 3-1〉 공통사회경제경로(SSPs)의 인구 및 인적자본 구성 요소 정의

Country Groupings	Fertility	Mortality	Migration	Education
SSP1				
HiFert	Low	Low	Medium	High (FT-GET)
LoFert	Low	Low	Medium	High (FT-GET)
Rich-OECD	Medium	Low	Medium	High (FT-GET)
SSP2				
HiFert	Medium	Medium	Medium	Medium (GET)
LoFert	Medium	Medium	Medium	Medium (GET)
Rich-OECD	Medium	Medium	Medium	Medium (GET)
SSP3				
HiFert	High	High	Low	Low (CER)
LoFert	High	High	Low	Low (CER)
Rich-OECD	Low	High	Low	Low (CER)
SSP4				
HiFert	High	High	Medium	CER-10%/GET
LoFert	Low	Medium	Medium	CER-10%/GET
Rich-OECD	Low	Medium	Medium	CER/CER-20%
SSP5				
HiFert	Low	Low	High	High (FT-GET)
LoFert	Low	Low	High	High (FT-GET)
Rich-OECD	High	Low	High	High (FT-GET)

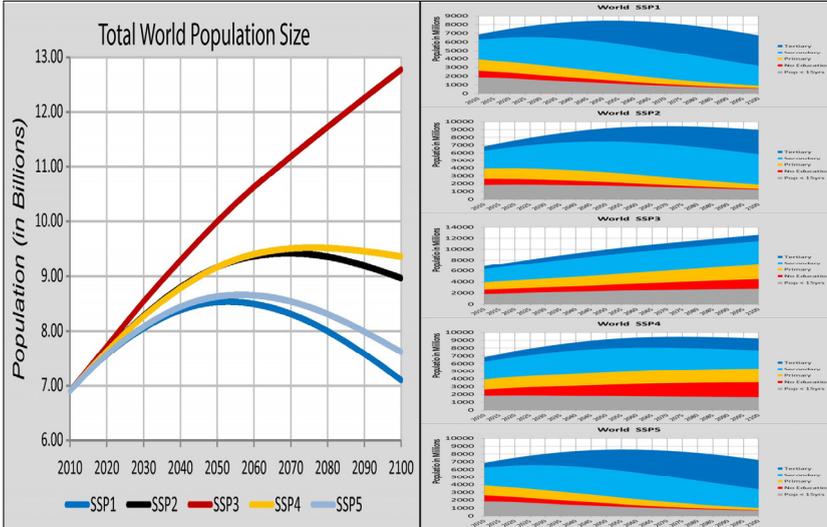
주: GET=Global Education Trend, FT=Fast Track scenario, CER=Constant Enrollment Rates.  
 출처: "The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100," KC, S., & Lutz, W., 2017, Global Environmental Change, p. 184(Table 1). Copyright 2024 by Elsevier B.V., its licensors, and contributors.

SSPs 경로별 2100년 기준의 세계 인구 전망치 범위(68.81~126.27 억 명)에서 볼 수 있듯이 전반적으로 세계 인구 전망에 수반된 불확실성은 상당하다. 물론 인구 규모의 전망에 수반된 이러한 불확실성은 출산, 사망, 이동, 교육을 둘러싼 불확실성에 기인한다. 세계 인구 전망에서 관측되는 이러한 차이는 특히 여성의 교육 수준과 교육 수준별 출산율 차이에 기인하는 바가 크다. 일반적으로 여성의 교육 수준이 높을수록 출

산율이 낮아지는 패턴이 관측되는데, 이러한 효과는 특히 인구변천 과정에 있는 개발도상국에서 더욱 크게 나타남이 지적된다(KC & Lutz, 2017, p. 188). [그림 3-9]의 우측에서 볼 수 있듯이 SSPs 경로에 따라 교육 수준별 인구 전망에서도 큰 차이가 있다. 모든 SSPs 경로를 아울러 중등(secondary) 및 고등(tertiary) 교육을 받은 인구의 규모가 증가하는 추세를 확인할 수 있다. 이는 기본적으로 전 세계적으로 관측되는 패턴, 즉 최근 출생 코호트로 올수록 교육 수준이 높아지는 패턴을 반영한다. 만일 최근의 상황이 지속되면 중등 및 고등 교육 진학률에서 추가적인 변화가 없더라도 시간의 경과에 따라 고령층의 교육 수준 또한 상승하는 현상을 초래할 수 있다.

인구 전망과 관련하여 마지막으로 IPCC의 SSPs 시나리오 체계(KC & Lutz, 2017)에 사용된 우리나라의 인구 전망에 대해서 간략히 언급하고자 한다. 2100년 기준의 우리나라 인구는 인구변동 요인들에서 중위 가정을 사용한 SSP2 경로에서 32백만 명, SSP3 경로에서 최저 18백만 명, SSP5 경로에서 최고 42백만 명으로 전망되어 있다. 참고로 2022년 기준의 장래인구추계에서 우리나라 통계청(2024a)은 2100년의 인구를 중위 가정에서 24.399백만 명, 고위 가정에서 33.738백만 명, 저위 가정에서 16.639백만 명 수준으로 전망하고 있다. 전반적으로 우리나라 통계청에 비해 SSPs 시나리오 구축 과정에서 전망된 인구 규모가 큰 패턴을 보인다. 다만 우리나라 통계청의 인구추계 모형이 성별과 연령만을 고려하는 반면에 SSPs 시나리오 구성에서 사용된 인구추계는 교육 수준을 추가로 고려한 모형이기에 추계 결과를 직접적으로 비교하기는 쉽지 않다.

[그림 3-9] SSPs 시나리오별 전체(좌) 및 교육 수준별(우) 세계 인구 전망: 2010~2100년



주: 교육 수준별 세계 인구 전망 그림(우측)에서 범례는 위에서부터 Tertiary, Secondary, Primary, No Education, Pop < 15yrs(15세 미만 인구)을 표시함.

출처: “The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100,” KC, S., & Lutz, W., 2017, Global Environmental Change, p. 185(Fig. 1), 189(Fig. 5). Copyright 2024 by Elsevier B.V., its licensors, and contributors.

기후 모델과 기후변화 시나리오를 검토한 데 이어 아래에서는 IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)를 중심으로 기후변화의 미래 전망 결과를 간략히 살펴본다. 앞에서 살펴본 바 있지만, IPCC는 2011~2020년 기간에 이미 산업화 시대 이전과 비교하여 지구 표면 온도가 1℃ 이상 상승했음을 확인하고 있다. 기후변화에 관한 부정적 미래는 IPCC(2021, p. 8)가 ‘매우 낮은 온실가스 배출 시나리오’(SSP1-1.9)에서도 지난 10년(2011~2020년)의 온도가 21세기의 나머지 기간에 비해 낮을 것으로 전망하는 부분에서도 찾아볼 수 있다.

5개의 기본 SSPx-y 시나리오에 기초하여 IPCC(2021, p. 14)의 제6차 평가보고서(AR6)는 금세기 말까지 지구의 표면 온도가 산업화 이전

수준 대비 1.4~4.4℃ 상승할 것으로 전망한다(최적 추정치 기준; <표 3-2> 참고). IPCC가 고려한 모든 기본 시나리오에서 최소한 금세기 중반경까지는 지구의 표면 온도가 지속해서 상승할 것으로 예상된다. 지난 10년(2011~2020년)의 기간에 이미 1850~1900년 대비 지구의 온도가 1℃ 넘게 상승했지만, <표 3-2>에서 볼 수 있듯이 SSP1-1.9나 SSP1-2.6 경로가 상정하는 것처럼 가까운 미래에 이산화탄소 등 온실가스 배출을 획기적으로 줄이는 조치가 이루어지지 않으면 금세기 동안에 지구의 온도가 2℃ 넘게 상승하여 사실상 파리 협정이 설정한 목표를 달성하기가 어려울 수 있음을 시사한다.

<표 3-2> SSP 시나리오별 지구 표면 온도 변화

시나리오	단기(2021~2040년)		중기(2041~2060년)		장기(2081~2100년)	
	Best Estimate(℃)	Very likely Range(℃)	Best Estimate(℃)	Very likely Range(℃)	Best Estimate(℃)	Very likely Range(℃)
SSP1-1.9	1.5	[1.2 ~ 1.7]	1.6	[1.2 ~ 2.0]	1.4	[1.0 ~ 1.8]
SSP1-2.6	1.5	[1.2 ~ 1.8]	1.7	[1.3 ~ 2.2]	1.8	[1.3 ~ 2.4]
SSP2-4.5	1.5	[1.2 ~ 1.8]	2.0	[1.6 ~ 2.5]	2.7	[2.1 ~ 3.5]
SSP3-7.0	1.5	[1.2 ~ 1.8]	2.1	[1.7 ~ 2.6]	3.6	[2.8 ~ 4.6]
SSP5-8.5	1.6	[1.3 ~ 1.9]	2.4	[1.9 ~ 3.0]	4.4	[3.3 ~ 5.7]

주: 지구 표면 온도(평균) 변화는 1850~1900년 대비 편차임.

출처: "Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf), p. 14(Table SPM.1). Copyright 2021 by Intergovernmental Panel on Climate Change.

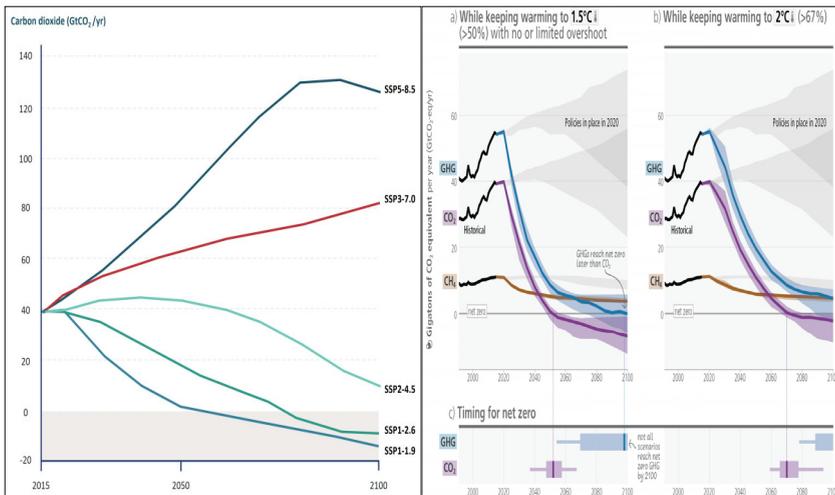
<표 3-2>와 [그림 3-11]에서 볼 수 있듯이 최적 추정치 기준으로 SSP1-2.6 시나리오에서도 금세기 중에 온난화 수준이 산업화 이전 대비

1.5℃를 넘어설 것으로 전망된다. 좀 더 정확한 도달 시점과 관련하여 IPCC(2021, p. 59)는 SSP5-8.5 시나리오를 제외한 나머지 시나리오에서 지구의 표면 온도가 2030년대 초에 1.5℃를 넘어설 것으로 전망한다. 매우 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-1.9)에서도 금세기 중기에 일시적으로 0.1℃ 정도의 오버슈트(초과 반응; overshooting)을 보인 후에 금세기 말까지 1.5℃ 아래로 떨어질 개연성이 상대적으로 높은(more likely than not; >50-100%) 것으로 전망되어 있다(IPCC, 2021, p. 15). 참고로 [그림 3-10]의 우측은 지구 온난화를 1.5℃ (>50%) 및 2.0℃ (>67%) 아래로 유지하기 위해 요구되는 총 온실가스(GHG)와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메테인(CH<sub>4</sub>)의 배출 경로를 나타내며, 좌측은 SSPx-y 시나리오별 연간 이산화탄소 배출량 전망치를 보여 준다. 그림에서 볼 수 있듯이 현시점 기준으로 실현 개연성인 상당히 낮은 것으로 평가되는 SSP1-1.9 경로를 취해야 2050년경에 이르러 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 순 배출량이 0(net zero) 수준에 도달하는 것으로 전망되고 있다.

그럼에도 IPCC(2021, p. 63)는 전 지구적으로 온실가스 배출량을 조속히 그리고 획기적으로 줄이면 지구의 표면 온도 상승이 제한될 수 있음을 거의 확실한 것으로 보고 있다. 핵심(기본) 시나리오(SSPx-y)에 따른 전망 결과에서 볼 수 있듯이 대응 조치에 따라 지구 온난화 수준은 크게 달라질 수 있다는 것이다. 예컨대, 최적 추정치 기준으로 최저 배출 시나리오(SSP1-1.9)에서 지구 표면 온도는 1850~1900년 대비 1.4℃ 상승하는 반면에 SSP5-8.5 시나리오에서는 4.4℃까지 상승할 것으로 전망되어 있다. 한편 개연성(likelihood) 기준으로 제6차 평가보고서(AR6)는 최저 배출 시나리오(SSP1-1.9) 기준으로 2081~2100년 기간의 온난화 수준이 1.0~1.8℃ 범위에 있을 개연성이 매우 높을(very likely; 90~100%) 것으로 전망한다. 한편 SSP2-4.5 시나리오에서는 2.1~3.5℃, SSP5-8.5 시나

리오에서는 3.3~5.7℃ 범위에 있을 것으로 전망하고 있다. 참고로 IPCC(2021, p. 14)는 지구의 전체 역사에서 표면 온도가 기준 시점인 1850~1900년 대비 2.5℃ 이상으로 유지되었던 마지막 시기는 3백만 년 전이었던 것으로 추정하고 있다(medium confidence).

[그림 3-10] SSP 시나리오별 CO<sub>2</sub> 배출량(좌) 및 1.5℃/2.0℃ 온난화 제한 경로(우)

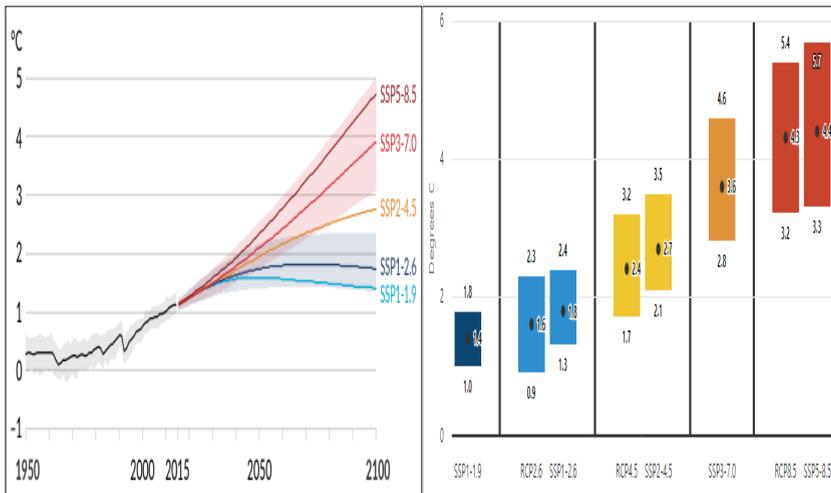


출처: “Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.” Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf), p. 13(Figure SPM.4 Panel(a)). Copyright 2021 by Intergovernmental Panel on Climate Change. “Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.” Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_FullVolume.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf), p. 86(Figure 3.6). Copyright 2023 by Intergovernmental Panel on Climate Change.

전반적으로 제5차 평가보고서(AR5)와 비교할 때 IPCC의 제6차 평가 보고서(AR6)는 유사한 수준의 온실가스 배출 조건에서 지구의 온난화가 좀 더 진행될 것으로 전망하고 있다. [그림 3-11]의 우측에서 볼 수 있듯

이, 복사강제력 2.6 기준으로 제5차 평가보고서(AR5)의 RCP2.6 시나리오에서 온난화 최적 추정치가 1.6°C였음에 비해 제6차 평가보고서(AR6)의 SSP1-2.6 시나리오에서 온난화 최적 추정치는 1.8°C로 전망되어 있다. 복사강제력 4.5 및 8.5에서도 제6차 평가보고서(AR6)의 온난화 최적 추정치가 높은 패턴이 일관되게 관측된다.

[그림 3-11] IPCC 시나리오별 지구 표면 온도 변화(좌) 및 AR5-AR6의 전망치 비교



주: 지구 표면 온도(평균) 변화(좌)는 1850~1900년 대비 편차임. 온난화 전망치(우)는 1850~1900년 대비 2081~2100년의 °C 변화이며, AR5의 RCP 시나리오는 likely 범위(66~100%), AR6의 SSP 시나리오는 very likely의 범위(90~100%)를 표시함.

출처: “Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf), p. 13(Figure SPM.4 Panel(a); p. 22, Figure SPM.8(a)). Copyright 2021 by Intergovernmental Panel on Climate Change. “In-depth Q & A: The IPCC’s sixth assessment report on climate science,” Evans, S., Gabbatiss, J., Hausfather, Z., McSweeney, R., Tandon, A., & Viglione, G., 2021, <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-the-ipccs-sixth-assessment-report-on-climate-science/>. Copyright 2024 by Carbon Brief Ltd.

더욱이 제6차 평가보고서(AR6)는 기후변화에 관한 이러한 부정적인 미래를 좀 더 확실성을 가지고 전망한다. 좀 더 구체적으로, [그림 3-11]에서 제5차 평가보고서(AR5)가 'likely' 수준의 개연성(불확실성)에 기초하여 미래의 기후변화를 전망한 반면에 제6차 평가보고서(AR6)는 'very likely' 수준의 개연성(불확실성)에 기초하여 기후변화의 미래를 전망한다는 차이가 있다. 다시 말하면 제5차 평가보고서(AR5)에서 지구 온난화가 전망치에서 벗어날 개연성이 34% 이내이지만(likely; 66~100%), 제6차 평가보고서(AR6)에서 전망치를 벗어날 개연성은 10% 이내로 보고 있다(very likely; 90~100%). 나머지 10% 이내의 불확실성은 기본적으로 앞의 기후 모델 부분에서 언급했듯이 추가적인 온실가스 배출에 따른 기후 시스템의 민감도와 미래에 전개될 온실가스의 배출 경로(시나리오) 및 탄소 순환 과정에서 나타나는 환류 효과를 둘러싼 불확실성에 기인하는 것으로 볼 수 있다(Evans et al., 2021).





## 제4장

### 인구와 기후변화: 상호 관계와 주요 이슈

제1절 서론

제2절 기후변화에 대한 인구의 영향

제3절 인구에 대한 기후변화의 영향

제4절 기후변화와 인구동태



## 제4장

# 인구와 기후변화: 상호 관계와 주요 이슈

### 제1절 서론

제2장에서 살펴보았듯이 인구와 기후변화는 서로 영향을 주고받는 동시에 다양한 조정 요인들이 개입하는 복잡한 관계를 맺고 있다. 이러한 관계를 염두에 두고 이 장에서는 인구와 기후변화의 상호적 관계 및 관련 이슈를 인구가 기후변화에 미치는 영향(인구 → 기후변화)과 기후변화가 인구에 미치는 영향(기후변화 → 인구)으로 구분하여 검토한다. 일반적으로 기후변화에 대응하는 ‘정책’ 논의에서 인구가 기후변화에 미치는 영향은 대기 중의 온실가스 농도를 줄이는 ‘완화’(mitigation) 전략과 관련되며, 기후변화가 인구에 미치는 영향은 현재 혹은 미래의 기후변화로 인한 위험에 대처하는 ‘적응’(adaptation) 전략과 연결된다. 비록 개념적으로 구분하지만, 인구의 규모, 분포, 구성 등의 요인들은 기후변화 문제의 완화는 물론이고 기후변화에 대한 적응 측면에서도 중요한 의미를 갖는 것이 일반적이다.

첫 번째 이슈인 인구가 기후변화에 미치는 영향(인구 → 기후변화)에 관한 논의에서는 그 영향의 정도를 계량화하기가 쉽지 않다. 이러한 점에서 인구가 기후변화에 미치는 영향에 관한 대부분의 선행 연구는 인구가 기후변화에 미치는 영향을 ‘직접적으로’ 계량화하는 대신에 기후변화에 영향을 미치는 에너지 사용이나 온실가스 배출이 인구의 증가나 구성 변화와 어떠한 관계를 맺는지에 초점을 맞추는 경향이 있다. 한편 기후변화가 인구에 미치는 영향(기후변화 → 인구)에 관한 논의에서는 기후변화는 물론이고 기상(예컨대, 극한 기상)이 인구에 미

치는 영향을 포함하여 살펴본다. 이는 인구에 대한 기후변화의 영향에 관한 경험적 연구들이 '기후'와 '기상'의 영향을 엄밀히 구분하지 않는 혹은 구분하기 어려운 것과 관련이 있다. 다른 한편으로 환경 변화에 따른 '적응' 전략의 측면에서 볼 때도 기후와 기상의 영향을 엄밀히 구분하기보다는 포괄적으로 논의하는 것이 바람직하다.

## 제2절 기후변화에 대한 인구의 영향

1980년대에 이르러 지구의 온난화가 명확해지기 시작한다. 이러한 지구 온난화가 부분적으로 인간 활동에 의한 것일 수 있다는 점에서 세계 기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 연합하여 1988년에 IPCC를 설립하게 된다. 현재 195개의 회원국을 보유하고 있는 IPCC는 각국 정부에게 기후변화에 대한 과학적 기초와 파급 효과, 미래 위험, 적응 및 완화 방안에 관한 정보를 제공하고 있다(IPCC, 2024). 특히 IPCC 제3차 평가보고서(TAR) 이후 기후변화에서 인간 활동의 영향에 대한 인식 수준이 크게 높아졌다(IPCC, 2001a, p. 10). 앞에서 언급했듯이 이후 2007년(AR4)에 이르러 기후 시스템의 온난화가 분명하다고 진단하며, 2013년(AR5)에는 기후 시스템에 대한 인간의 영향이 확실하다는 결론을 내린다. 가장 최근인 2021년의 제6차 평가보고서(AR6)에서 IPCC는 기후변화에 대한 인간 활동의 영향이 '확립된 사실(established fact)'이라는 입장을 표명한 바 있다(IPCC, 2021, p. 41).

기후변화에 대한 인간 활동의 영향이 명확해진 상황에서 미래 인구의 전망과 환경에 대한 영향이 크게 주목을 받게 된다. 기후변화에 대한 인구의 영향을 전망하는 수단으로는 인구학에서 널리 알려진 인구추계

(population projection) 모형이 빈번히 사용된다. 물론 미래 인구 전망에는 상당한 수준의 불확실성이 개입되며, 세계 인구에 대한 전망에서 인구추계 기관(예컨대, UN, IIASA)에 따라 큰 차이를 보이는 것이 현실이다. 예컨대, UN(2022a)의 2022년 세계인구전망(World Population Prospects 2022)에 의하면 2100년의 세계 인구(중위 가정)는 103.49억 명으로 전망되었다. 반면에 IPCC의 기후 전망에서 중요한 역할을 하는 IIASA(Lutz et al., 2014)의 2100년 세계 인구(중위 가정, SSP2)는 89.63억 명으로 그 격차가 13억 명 이상이다. UN의 인구추계 모형은 베이지언(Bayesian) 모형에 기초한 확률적 접근과 함께 전통적인 시나리오 접근을 동시에 사용한다. UN의 확률적 접근은 미래의 출산력과 사망력 변화에 수반된 불확실성을 반영함으로써 결정론적(시나리오) 접근을 보완한다(UN, 2022b, p. 47). 전통적인 시나리오 접근이 이용자의 편의성을 높이는 장점이 있지만, 확률적 접근은 미래 전망치에 수반된 불확실성을 양화할 수 있는 장점이 있다. 한편 IPCC가 사용하는 온실가스 배출 시나리오의 기초 자료로 사용되는 IIASA의 인구추계는 공통사회경제경로(SSPs)와 연계하여 다양한 시나리오를 구성하는 방식을 통해 미래 전망과 관련된 불확실성을 표현한다. 앞에서 언급했듯이, O'Neill et al.(2014) 등 기후변화 연구 공동체가 제안한 공통사회경제경로(SSPs)는 현재 IPCC의 공식적인 기후 모델 시나리오의 구성에 사용되고 있다. 비록 IIASA의 인구추계가 확률적 접근 대신에 다양한 시나리오를 사용하여 미래 인구 전망에 수반된 불확실성을 반영하는 한계는 있지만, UN의 인구추계와 같은 성별-연령별 인구추계를 넘어 교육 수준별 미래 인구를 전망한다는 점에서 비교우위에 있다.

과거 대부분의 IPCC 기후 모델에서는 ‘인구 규모’를 통해 기후변화에 대한 인구의 영향을 모형화하였다. 기후 모델에서 이러한 방식으로 인구

학적 요인을 처리하는 기본 전제는 전체 인구를 구성하는 모든 개인이 동일한 생산과 소비 행위를 보인다는 것이다. 그러나 인구학적 요인에 대한 이러한 처리 방식은 지난 수십 년에 걸쳐 축적되고 있는 연구 결과, 즉 다양한 인구학적 특성을 보유한 인구 집단들은 소비와 온실가스 배출에서 이질적인 패턴을 보이며, 이질적인 소비 및 온실가스 배출 패턴을 보이는 인구 집단의 구성비 또한 미래에 유의하게 변할 수 있다는 논의와 배치된다(Jiang & Hardee, 2011, pp. 292-293). 온실가스 배출과 기후변화에 대한 인구변동의 영향을 정확히 이해하고 기후변화 전망의 정확성을 높이기 위해서는 인구학적 요인들에 대한 좀 더 체계적인 논의가 필요한 상황이다. 전통적으로 기후변화와 관련하여 인구 규모(성장)가 많은 주목을 받았지만, 인구의 구성과 분포, 고령화, 도시화 같은 다른 인구학적 현상들도 생산-소비 과정을 통해 온실가스 배출에 영향을 미칠 수 있다. 아래에서는 인구의 규모(성장), 분포, 구성과 관련된 요인들이 기후변화에 미치는 영향을 차례로 살펴본다.

첫째, 전통적으로 인구가 온실가스 배출에 미치는 영향은 인구의 규모와 성장에 초점을 맞추었다. 전체 인류 역사에서 인구 증가의 대부분이 지난 19세기 이후 200여 년의 짧은 기간에 걸쳐 이루어졌음을 고려하면 인구 규모(성장)의 영향에 주목하는 것은 이해할 만하다. 앞에서 살펴본 전통적인 I-PAT 모델이 바로 이러한 기제를 반영한 대표적인 접근이다. 기본적으로 인간이 생존을 위한 자원을 환경에서 조달한다는 것을 고려할 때 인구 성장이 환경에 부담이 될 수 있다는 점에는 의문이 없다. 인구가 증가함에 따라 토지를 집약적으로 사용하는 한편 자연 자원을 광범위하게 개발하고 활용할 필요성도 커진다. 특히 지리적으로 제한된 공간에서 이루어지는 급격한 인구 증가는 환경 자원의 집약적 활용으로 이어질 개연성이 높다. 인구는 토지나 물 같은 자연 자원의 소비와 연계됨과 함

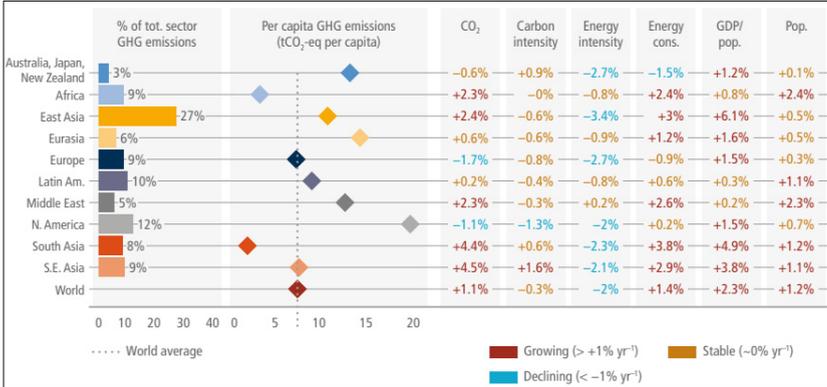
계 생산과 소비 과정의 결과로 오염 물질(특히 대기오염물질)의 배출과도 관계된다(Hunter, 2000, pp. 12-14).

기후변화에 대한 인구의 영향을 고려한 선행 연구에서 인구 성장은 예외 없이 에너지 사용과 온실가스 배출 증가로 이어짐을 보고한다. 예컨대, 최근의 연구 결과는 인구성장률의 감소로 인한 온실가스 배출량 감축 규모가 산업화 이전 대비 2°C 이내로 온난화를 억제하기 위해 2050년까지 요구되는 온실가스 배출량 감축 목표의 16~29%에 상응함을 시사한다(O'Neill et al., 2010, p. 17525).<sup>45)</sup> 가장 최근인 IPCC(2022a, p. 246)의 제6차 평가보고서(AR6)에서도 1인당 GDP(연평균 2.3%)와 함께 인구 성장(연평균 1.2%)이 2010~2019년 기간에 걸쳐 화석연료 연소에 기초한 온실가스 배출 증가의 가장 중요한 동인으로 분석된 바 있다(high confidence).<sup>46)</sup> 기술 혁신 등으로 인한 GDP 단위당 에너지 사용 감소(연평균 -2%)와 에너지의 탄소 집약도 개선(연평균 -0.3%)이 이루어졌지만, 경제 및 인구 요인에 의한 온실가스 배출 증가가 이를 능가함으로써 지난 10년의 기간에도 과거 수십 년에 걸친 추세가 지속되었다. 온실가스 배출을 요인별로 분해한 [그림 4-1]에서 볼 수 있듯이 인구의 영향은 지역별로 상당한 차이를 보인다. 아프리카(2.4%)와 중동(2.3%) 지역 등 현재까지 출산율이 상당히 높은 개발도상국을 중심으로 온실가스 배출에 대한 인구의 영향이 상대적으로 크게 나타남을 확인할 수 있다.

45) 이 연구에서 인구성장률의 감소는 2004년에 발표된 UN의 세계인구전망에서 사용된 중위(고위) 가정 대신에 저위(중위) 가정이 사용되었을 때 나타나는 인구성장률의 감소를 의미한다. 참고로 UN(2004)의 세계인구전망에서 2050년의 세계 인구는 중위 가정 대신에 저위 가정을 사용하면 15억 명 정도 감소하며, 중위 가정 대신에 고위 가정을 사용하면 17억 명 정도 증가한다.

46) 참고로 IPCC(2022a, p. 245)는 인구를 경제와 구분되는 별개의 요소로 보는 대신에 1인당 GDP와 마찬가지로 경제성장을 구성하는 요소 중의 하나로 이해한다.

[그림 4-1] 지역별 온실가스 배출(2019년; 좌) 및 요인별 분해(2010~2019년; 우)



출처: “Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022a, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf), p. 246(Figure 2.16). Copyright 2022 by Intergovernmental Panel on Climate Change.

이렇게 인구와 기후변화가 밀접히 연관된다는 점을 고려하여 인구학계에서도 개발도상국의 출산율 감소를 통해 인구 증가의 속도를 늦추는 조치가 온실가스 배출 감소에 기여할 수 있으며, IPCC의 기후변화 논의에서 인구정책을 기후정책의 수단으로 고려할 필요가 있음을 주장하기도 한다(Bongaarts & O’Neill, 2018, p. 652). 다만, 제2장의 I-PAT 모델과 관련하여 언급했듯이, [그림 4-1]의 요인별 분해도 온실가스 배출 요인들이 독립적으로 작용함을 가정하며, 결과적으로 다양한 요인들 간에 존재하는 복잡한 상호작용을 고려하지 못하는 한계가 있다. 또한 인구가 온실가스 배출 등 환경에 초래하는 영향은 인구 집단을 가로질러 일정하지 않음에도 유의해야 한다. 예컨대, 미국에서 태어난 아동은 방글라데시나 볼리비아에서 태어난 아동에 비해 평균적으로 10배의 자원을 소비하고 오염을 유발함이 지적되기도 한다(Stern et al., 1997, p. vii). 이러한 인구 집단별

차이의 상당 부분은 소득 수준에 따른 생활 양식 차이, 특히 에너지 사용과 소비 행위에서의 차이와 관련이 있다(Hunter, 2000, p. 7). [그림 4-1]은 또한 기후변화에 대한 인구의 영향이 상당히 복잡함을 보여 준다. 세계의 거의 모든 지역에서 인구 성장이 일관되게 온실가스 배출 증가를 초래한 요인으로 나타나지만, 1인당 배출 수준은 지역별로 큰 차이를 보인다([그림 4-1] 좌측의 Per capita GHG emissions). 이에 따라 선진국의 완만한 인구 증가가 온실가스 배출에 미치는 영향은 개발도상국의 가파른 인구 증가가 미치는 영향과 유사할 수 있다. 결국 Satterthwaite(2009, p. 550)가 지적하듯이 인구와 환경(기후변화)의 복잡한 관계를 정확히 이해하기 위해서는 단순히 인구의 규모(성장)만을 고려하는 접근 대신에 소비의 형태(패턴)와 수준 등 세부적 작동 기제에 대한 검토가 필요하다.

둘째, 인구의 규모(성장)와 함께 인구의 분포도 기후변화에 영향을 미치는 중요한 인구학적 현상이다. 기후변화와 관련된 인구학적 현상으로서 인구 분포(population distribution)는 인구의 공간적 배열이나 위치를 의미한다. 일반적으로 공간을 가로지른 인구의 분포에서 관측되는 변이를 측정하기 위해 인구 밀도(population density) 지표가 많이 사용된다. 기본적으로 인구 밀도가 ‘공간’을 전제한 개념이라는 점에서 ‘환경’에 대한 인구의 영향을 보여 줄 수 있다. 다른 한편으로 인구 밀도는 인구 규모와도 밀접히 관련되는데, 경계가 지어진 특정 공간의 인구 규모를 나타내는 개념이 바로 인구 밀도이다(Hunter, 2000, p. 15). 인구 밀도의 증가가 환경에 미치는 영향은 개발도상국을 중심으로 잘 알려져 있다. 개발도상국의 급격한 인구 증가 현상은 도시로의 인구이동과 맞물려 인구 밀도를 크게 높여 이미 희소해진 환경 자원에 대한 압력을 가중시킬 수 있다(Hunter, 2000, pp. 18-19).

기후변화 논의에서 인구 밀도보다 더욱 광범위하게 사용되는 인구의 분포에 관한 지표가 도시화(urbanization)이다. 기후변화에 관한 선행 연구

에서 도시화는 다소 혼란스럽게 사용되는 개념이다. 연구자에 따라 도시 인구의 증가나 도시의 면적 증가를 도시화로 지칭하기도 하지만, 엄밀한 의미에서 이들 현상은 도시화에 대한 표준적인 인구학적 정의, 즉 전체 인구가운데 도시에 거주하는 인구의 구성비와는 구분된다.<sup>47)</sup> 비록 앞에서 논의한 인구 밀도가 도시화와 밀접히 관련되지만, 두 개념이 반드시 동일한 것은 아니다. 예컨대, 20세기에 이르러 선진국과 개발도상국을 모두 아울러 도시에 거주하는 인구의 증가에 비해 도시의 면적이 더 빨리 증가함으로써 도시화 수준이 심화하는 것과는 반대로 도시의 인구 밀도는 감소세를 보였다 (Angel, Parent, Civco, & Blei, 2010, pp. 55-56; Angel, Parent, Civco, Blei, & Potere, 2010, pp. 57-58).

과거 IPCC는 환경주의적 시각을 반영하여 도시화나 도시의 성장을 부정적 측면에서 바라봄으로써 환경이나 기후변화와 관련하여 도시화가 지닌 중요성에 충분한 관심을 기울이지 못한 것으로 평가된다(Martine, 2009, p. 17). 그러나 IPCC의 가장 최근 평가보고서(AR6)에서는 기후변화에 대한 완화 및 적응 전략과 관련하여 도시 공간을 중요한 요소로 받아들인다. 이러한 맥락에서 IPCC는 2016년에 제7차 평가보고서(AR7)의 작성 과정에서 기후변화와 도시에 관한 특별보고서의 작성 계획을 승인한 바 있다(IPCC, 2022a, p. 867).

기본적으로 도시화는 산업화 및 근대화(현대화) 과정을 통해 본격적으로 나타난 인구학적 현상이다. 인류 역사상 처음으로 인구의 절반 이상이 도시에 거주하며,<sup>48)</sup> 대부분의 인구 증가가 도시에서 이루어지는 상황이다. 이에 따라 인구의 증가 문제는 대체로 도시(특히 개발도상국)와 관련된

47) 기본적으로 이 정의는 도시화의 수준(level of urbanization)을 지칭한다. 한편 도시화율(rate of urbanization)은 도시에 거주하는 인구 구성비의 연간 변화율을 의미한다.

48) UN(2018)의 2018년 세계도시화전망(World Urbanization Prospects 2018)에 의하면 2018년 기준으로 세계의 도시화율은 55.29%이며, 2050년에는 68.36%까지 증가할 것으로 전망되어 있다.

문제로 이해되고 있다(Martine, 2009, pp. 16-17). 참고로 2015~2020년 기간에 걸쳐 전 세계적으로 도시 인구는 397백만 명 증가하였는데, 이러한 증가의 90% 이상이 개발도상국에서 이루어졌다(IPCC, 2022b, p. 53). 도시화 또한 인구 규모나 인구 밀도와 밀접히 연관된다. 고전적인 인구변천 이론이 시사하듯이 선행하는 사망률 감소와 후행하는 출산율 감소 사이의 시간적 간극은 인구 증가로 이어지며, 이는 인구의 국내이동을 통해 도시화를 촉발할 수 있다. 또한 공간에 대한 압축적 사용으로 도시화는 (산업화 이전 기간과 비교할 때) 인구 밀도의 증가로 이어지는 경향이 있다.

최근까지의 통념은 도시를 현대 문명의 생산과 소비 양식에 의해 발생한 환경 문제의 주요 거점으로 인식하는 경향이 강했다. 이는 기후에 영향을 미치는 인간 활동, 특히 도시가 토지 이용-전용 및 온실가스 배출과 밀접히 연관되는 것과 관련이 있다. 초기에 도시에 초점을 맞춰 환경에 대한 인식을 높이는 데 크게 기여한 '생태발자국'(ecological footprint) 같은 논의조차도 에너지 사용과 산업 생산이 집중된 도시가 환경 문제의 주범이라는 인식을 강화시켰다(Martine, 2009, p. 18).

기존 연구들은 대체로 인구 규모의 효과와 마찬가지로 도시화가 에너지 소비와 온실가스 배출 증가로 이어짐을 보고한다(Dalton et al., 2007, p. 20; Fan et al., 2006, p. 386; Jones, 1989, p. 41; York et al., 2003, p. 293). 가장 최근인 IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)도 예외가 아니다. IPCC(2022a, p. 255)에 의하면 선진국의 도시화(기반 시설) 패턴을 따라가는 개발도상국의 최근 추세가 2050년까지 지속되면 재화의 생산으로부터 배출되는 이산화탄소는 대략 350GtCO<sub>2</sub>에 이를 것으로 전망되며, 이는 2020년 기준으로 지구 온난화를 1.5℃ 이내로 제한하기 위한 잔여 탄소 예산(carbon budget; 탄소 배출 허용량) 추정치인 500GtCO<sub>2</sub>의 70%에 상응하는 수준이다.

다만 선행 연구는 도시화의 영향에 관한 분석에서 다른 요인들을 추가로 고려할 필요가 있음을 시사한다. 예컨대, Fan et al.(2006, p. 391)의 연구는 이산화탄소 배출에 대한 도시화의 영향이 경제발전 수준, 에너지 사용 구조, 1인당 소비 수준 등에 따라 다를 수 있음을 보여 준다. IPCC(2022a, p. 255)는 온실가스 배출에 대한 도시화의 영향을 논의하는 과정에서 소비 과정과 생산 과정을 분리한다. 개발도상국의 도시화는 높은 수준의 '소비'로 인해 온실가스 배출 증가로 이어지지만, '생산'에 기초한 온실가스 배출 측면에서 도시화의 영향은 인구, 1인당 GDP, 에너지/탄소 배출 집약도와 비교할 때 제한적인 것으로 평가한다.

도시 지역으로 인구의 분포가 집중됨에 따라 '도시 공간'에 초점을 맞춰 환경에 대한 도시화의 영향을 검토하는 논의들도 이루어지고 있다. 다만 이러한 논의에서는 인구 분포(밀도) 같은 인구학적 변화가 토지 이용, 기반 시설, 생활 양식(소비 패턴) 변화 같은 다른 조건(차원)들과 명확히 구분되어 논의되지는 않는다. 특히 높은 인구 밀도, 토지의 복합적 활용, 보행자 중심의 거주 환경 같은 특징을 갖는 도시의 압축성(compactness)과 규모의 경제는 환경과 관련하여 다양한 긍정적 혹은 부정적 효과를 초래할 수 있음이 지적된다. 예컨대, 압축 도시는 대중교통, 주거, 사회 기반 시설, 물류 시스템의 효율성과 서비스에 대한 접근성을 높이고, 각종 산업-생활 폐기물의 재생이 상대적으로 쉽다. 도시의 무분별한 확장이 통제되면 도시 외곽의 자연 생태계 보전에도 긍정적으로 기능할 수 있다. 도시화 자체가 출산율 감소를 초래하는 요인이 될 수도 있다. 한편 도시 개발과 맞물려 발생하는 높은 인구 밀도는 소비 및 에너지 사용 증가로 이어짐으로써 환경의 수용력을 넘어서는 수준의 폐기물과 오염을 초래할 수 있다. 또한 단기간에 걸친 급격하고도 무질서한 도시의 확대(urban sprawl)는 환경에 대한 인구 증가(집중)의 영향을 관리하는 기반 시설에

과부하를 일으키거나 규제 조치가 적절히 기능하지 못하는 상황을 초래할 수 있다. 공간의 압축적 사용이 열섬(heat islands) 현상처럼 직접적으로 국지적 차원의 기후변화를 초래할 수도 있으며, 무분별한 도시 확대는 자연 생태계를 다른 목적으로 전용하는 현상으로 이어질 수도 있다(Chen et al., 2008, p. 29; Hunter, 2000, pp. 24-26; Martine, 2009, p. 21; Muttarak, 2021, p. S87; Pebley, 1998, p. 382).

한편 Dodman(2009a, pp. 198-199; 2009b, pp. 68-69)은 온실가스 배출의 책임이 도시(특히 개발도상국)가 아니라 선진국을 중심으로 한 고 소비 생활 방식임을 지적한다. 그는 도시가 환경에 부정적인 영향을 미친다는 기존의 통념을 비판하며 도시 환경이 기후변화 완화 전략에 적절히 기능할 수 있음을 지적한다. 다만, 온실가스 배출의 근본 원인인 소비 양식에서의 변화가 반드시 동반되어야 실질적으로 기후변화 문제를 완화할 수 있음을 주장한다. 또한 Dodman(2009a, p. 195)은 전통적인 '생산' 중심의 온실가스 배출 통계를 비판하며, '소비'에 기초한 온실가스 배출 통계의 중요성을 강조한다. 온실가스를 배출하는 생산 기지가 임금이 낮고 환경 관련 규제가 상대적으로 약한 개발도상국으로 이전한 상황에서 '생산'에 기초한 온실가스 배출 통계는 북미나 유럽 등 서비스 중심 도시의 소비 관련 온실가스 배출량을 과소평가하는 문제가 있다는 것이다.

셋째, 인구 구성(population composition)도 인구가 기후변화에 영향을 미치는 인구학적 속성이다. 인구 구성은 연령, 성별, 교육 수준 등 인구의 속성을 지칭한다. 앞에서 살펴본 인구의 규모(성장)나 분포(도시화)와 비교할 때 인구의 구성은 현재까지 인구학계 외부에서는 기후변화와 관련하여 크게 주목받지 못하는 상황이다. 그럼에도 인구학적 구성에서의 차이가 소비나 온실가스 배출에서의 차이로 이어지기에 기후변화에 대한 인구 변동의 영향을 정확히 이해하기 위해서는 인구학적 구성의 다양한 양상을

고려할 필요가 있으며, 인구의 규모나 성장에 초점을 맞춘 접근은 기후변화에 대한 인구의 영향을 과소평가할 개연성이 높다.

기후변화에 대한 우려의 정도와 기후변화 문제를 최소화하기 위한 행동의 실천 양상에서 유의미한 성별 차이가 있음을 보고하는 일부 연구(e.g. Muttarak & Chankrajang, 2015)가 있지만,<sup>49)</sup> 현재까지 기후변화 문제의 '완화'와 관련한 논의에서 생물학적 성(sex)이나 사회문화적으로 구성된 성 역할(gender)이 어떠한 의미를 갖는지에 관한 정보는 매우 부족하다. 이는 다음 절에서 다룰 기후변화에 대한 '적응'과 관련한 논의와는 큰 차이를 보이는 지점이다. 인구의 특징을 분류할 수 있는 수많은 준거가 있지만, 인구의 구성과 관련하여 아래에서는 연령, 교육 수준, 소득 분포, 가구 구성을 둘러싼 이슈들을 살펴본다.

연령은 다양한 방식으로 기후변화에 영향을 미친다. 우선, 인구의 연령 구성은 기후변화에 큰 영향을 미치는 미래의 '인구 규모' 변화와 관련하여 중요한 함의를 지닌다. 인구 모멘텀(population momentum) 효과가 대표적이다. 예컨대, 개발도상국의 젊은 연령 구조는 출산율이 대체 수준(replacement-level fertility)까지 즉각적으로 감소하더라도 향후 상당한 기간에 걸쳐 지속적인 인구 증가의 원인이 될 수 있다는 점(Bongaarts, 1994, p. 774)에서 기후변화 문제의 완화와 관련해서도 중요한 함의가 있다. 현재의 연령 구조에 인구의 미래 성장 잠재력(growth potential)이 내재되어 있는 것이다.

연령에 따라 변화하는 생산과 소비 패턴도 환경과 기후변화에 큰 영향을 미칠 수 있다. 오스트리아를 대상으로 한 Prskawetz et al.(2004, pp. 185-186)의 분석은 인구 규모만을 고려하는 모형과 연령 같은 인구(가구)

49) Muttarak and Chankrajang(2015, p. 211)은 여성이 보여 주는 상대적으로 높은 수준의 기후변화에 대한 우려와 기후변화 관련 행동 실천의 원인을 사회화 과정에서 찾는다.

구성에서의 차이를 반영하는 모형 간에 교통 수요 전망에서 큰 차이가 발생함을 보여 준다. 연령의 효과와 관련하여 이들은 교통 수요(private car use)가 일정한 기간까지 증가한 후 베이비붐 세대의 고령화로 감소 국면에 진입할 것임을 전망하고 있다. 중국과 인도를 대상으로 한 Dalton et al.(2007, p. 1), 미국을 대상으로 한 Dalton et al.(2005, p. 18)의 연구도 인구 고령화가 (장기적으로) 이산화탄소 배출 감소로 이어질 수 있음을 전망한다.

한편 연령 구성의 효과는 사회경제적 발전 수준 등과 같은 상황 조건에 따라 다를 수 있음이 보고된다. 예컨대, 선진국과 개발도상국을 모두 아우른 York et al.(2003, p. 293)의 분석은 생산연령인구(15~65세)의 구성비가 높을수록 개별 국가의 생태발자국(ecological footprint; 국가 수준에서 개인들이 소비하는 모든 생태학적 서비스를 제공하기 위해 요구되는 토지 면적)이 커지는 결과를 보여 준다. 반면에 Fan et al.(2006, pp. 390-391)의 분석은 ‘중저소득’ 국가에서는 생산연령인구의 구성비가 높을수록 이산화탄소 배출량이 증가하지만, ‘고소득’ 국가에서는 전체 인구 대비 생산연령인구(15~64세)의 구성비가 높을수록 이산화탄소 배출량이 감소하는 상반된 패턴이 나타난다고 보고한다. 이는 온실가스 배출에 대한 연령 구성의 효과가 사회경제적 발전에 따른 기술 및 생산-소비 패턴 변화로 조정될 수 있음을 시사한다.

연령 구성의 효과와 관련하여 집계적(aggregate) 수준의 에너지 사용이나 온실가스 배출 양상을 분석하는 대신에 사회조사 자료에 기초하여 연령별 패턴을 미시적으로 분석한 연구들도 이루어진 바 있다. 미국의 에너지 사용에서 인구학적 요인의 영향을 분석한 O'Neill and Chen(2002, pp. 64-65)은 에너지 사용의 연령별 패턴을 명시적으로 살펴보는 접근을 취한다. 이들의 분석 결과는 연령(가구주)이 높아짐에 따라 주거(가정) 에너

지 사용이 증가하지만, 수송(교통) 에너지 사용은 50대 초반에 정점을 찍은 후 감소하는 패턴을 보여 준다. 비슷한 맥락에서 미국에서 1인당 이산화탄소 배출량의 연령별 패턴을 분석한 Zagheni(2011, pp. 389-390)의 연구에서도 60대 후반에 1인당 이산화탄소 배출량이 정점을 찍은 후 감소하는 패턴이 확인된다.

이들 연구에서 살펴볼 수 있듯이 개인의 생애 주기에 따라 에너지 사용, 온실가스 배출 등 기후변화 관련 행동에서 유형화된 패턴이 관측되기는 하지만, 집계적 수준에서 환경에 대한 인구 고령화의 영향을 명확히 가늠하기는 쉽지 않다. 중단기적으로 온실가스 배출 등 환경에 대한 인구(연령 구성)의 영향이 증가하겠지만, 장기적으로 출산율과 사망률 감소로 인해 전체 인구에서 (초)고령 인구의 구성비가 상당한 수준으로 높아지면 환경에 대한 인구의 영향이 감소할 것임을 추론해 볼 수 있다. 그러나 집계적 수준에서 인구 고령화가 어느 수준에 도달해야 인구가 환경에 미치는 영향이 변할 것인지를 판단하기는 쉽지 않다.

이러한 상황은 기후변화에 대한 인구 구성의 영향을 이해하기 위해서는 그 미시적인 작동 기제에 대한 심층적인 논의가 필요함을 시사한다. 극히 제한적이지만, 최근 들어 인구학적 요인들이 기후변화에 영향을 미치는 구체적인 맥락을 이해하려는 시도가 이루어지고 있다. 예컨대, 연령이 높을수록 에너지 사용량과 온실가스 배출량이 감소할 가능성이 제기되지만, Muttarak and Chankrajang(2015, p. 212)의 분석은 이러한 연령에 따른 생산-소비 패턴 변화가 반드시 기후변화에 대한 고령층의 높은 '관심'을 반영하는 것은 아님을 시사한다. 이들의 분석에서 연령과 기후변화에 대한 관심(우려) 간에 유의한 연관성이 관측되지 않았다. 이들의 분석 결과는 또한 연령이 높을수록 전기와 물을 절약할 개연성이 높지만, 연령은 에너지 효율성이 높은 기기의 사용 같은 기후변화 관련 기술적-행동적 변화와는 유의하게 연관되지 않는 것으로 나타난다.

‘정책적으로’ 인구 고령화는 사망력과 마찬가지로 기후변화 문제의 ‘완화’ 측면에서는 제한적인 함의만을 지닌다. 인구의 연령 구조 변화가 온실가스 배출 등 기후변화에 유의미한 영향을 미치더라도 정책적으로 개입하여 인구의 연령 구성을 조정할 여지가 많지 않다는 것이다. 이러한 측면을 고려할 때 인구의 연령 구성과 기후변화에 관한 논의에서는 보건 의료 체계를 강화하고 고령인구 친화적인 사회 기반 시설과 서비스를 제공하는 것처럼 (다음 절에서 논의되는) 기후변화에 대한 ‘적응’ 측면에 초점을 맞추는 것이 더욱 중요할 수 있다. 다만, 연령이 높을수록 기후 친화적 기술의 사용 등 기후변화와 관련된 기술적-행동적 변화를 시도하기가 쉽지 않다는 점에서 고령층을 대상으로 한 기후변화 관련 정보 제공과 교육의 중요성은 강조될 필요가 있다.

환경과 관련하여 주목받는 인구 구성의 또 다른 차원이 교육이다. 다만, 다음 절에서 다루는 기후변화에 대한 적응(adaptation) 측면에서 교육의 효과가 상대적으로 명확한 반면에 에너지 사용이나 온실가스 배출(mitigation)에 대한 교육의 영향은 상당히 복잡한 양상을 보이는 것으로 알려진다. 예컨대, 교육 수준의 향상(특히 고출산 개발도상국 여성)은 출산을 감소 경로를 통해 인구 증가를 억제함으로써 온실가스 배출 감소에 기여할 수 있지만, 교육 수준의 향상에 따른 노동생산성 향상과 경제발전은 온실가스 배출 증가로 이어질 수 있다(Lutz & Striessnig, 2015, p. S.71). 개발도상국을 대상으로 온실가스 배출에 대한 교육의 효과를 분석한 O’Neill et al.(2020, p. 520)의 연구는 교육 수준의 향상은, 비록 효과의 크기는 작지만, 온실가스 배출 순증가로 이어짐으로써 인구 증가 억제보다는 경제성장 촉진 효과가 더 크게 작용함을 시사한다. 기후변화 문제의 완화에 대한 교육의 복잡한 효과는, 앞에서 살펴본 연령의 효과처럼 그 인과적 기제에 관한 좀 더 심층적인 분석의 필요성을 보여 준다.

이러한 맥락에서 기후변화 문제의 완화와 관련된 교육의 거시적 효과와 함께 미시적 차원에서 교육이 소비 및 온실가스 배출에 미치는 영향의 세부적 작동 기제에 관한 분석도 이루어졌다. 예컨대, 미국에서 이루어진 Sharygin(2013, p. 15)의 분석 결과는 교육 수준이 높은 개인은 지출 비용당 탄소 집약도(생산-소비 단위당 CO<sub>2</sub> 발생량)가 낮은 방식으로 소비함을 보여 준다. 비슷한 맥락에서 인도의 도시 지역 가구를 대상으로 한 연구(Farsi et al., 2007, p. 770, 772)는 가구주의 교육 수준이 가구의 취사 연료 선택과 유의하게 연관됨을 보여 준다. 좀 더 구체적으로, 가구주의 교육 수준이 무학이거나 초등학교 이하일수록 취사 연료로 장작이나 등유를 선택할 개연성이 높은 반면에 교육 수준이 대학 이상인 가구주는 LPG 연료를 사용할 개연성이 높음을 보여 줌으로써 교육 수준이 높을수록 전통적 연료 사용이 건강에 초래하는 부정적 영향을 인식하는 한편 효율성과 편의성 측면에서 현대적 연료의 장점을 잘 이해함을 시사한다.

비슷한 맥락에서 Muttarak and Chankrajang(2015, p. 214)은 전기와 물을 절약하는 행동에서 교육 수준별 차이가 관측되지 않는 반면에 기후변화와 관련된 기술적-행동적 변화와 교육 수준 간에는 정적(+ )인 관계가 있음을 발견하였다. 이들의 분석은 교육의 역할에 관한 논의에서 전기나 물 절약처럼 경제적 동기에 기초한 행동과, 편리성을 포기하거나 새로운 기기-기술의 구매나 습득을 요구하는 행동을 구분할 필요성이 있음을 시사한다. 가구의 비용 절감을 목적으로 하는 전기나 물 절약과 달리 기후 친화적 기술 및 행동에서 변화가 나타나기 위해서는 기후변화에 관한 일정 수준의 지식과 새로운 기기-기술을 사용할 능력이 필요하며, 이러한 측면에서 교육 수준별 차이가 유의하게 나타난다는 것이다.

앞에서 살펴본 인구의 연령 구조와 비교할 때 교육은 기후변화와 관련된 정책적 논의에서 중요한 대상으로 볼 수 있다. 그러나 교육을 포함하여 인구학적 요인들은 기본적으로 점진적으로 변화하는 속성을 띠기에 단기적으로 뚜렷한 성과를 거두지 못하는 한계가 있을 수 있다. 이러한 측면에서 중장기적으로 인구학적 혹은 행동적 요인들에서 변화가 나타날 때까지는 기술 혁신의 보완적 역할이 필요할 수 있다. 다른 한편으로 전체 인구의 교육 수준 향상은 성공적인 기술 혁신의 가능성을 높이고 과학과 연구 활동의 사회적 중요성을 환기하는 측면에서도 중요한 역할을 할 수 있다(Lutz & Striessnig, 2015, p. S72).

빈곤과 불평등 같은 인구(가구)의 소득 분포도 환경과 기후변화에 중요한 함의를 가질 수 있다. 개인의 행동이 먼 미래나 지리적으로 멀리 떨어진 환경에 초래할 수 있는 비용에 대한 할인율은 소득이 낮아짐에 따라 증가하는 경향을 보인다(Perrings, 1998, p. 28). 빈곤이 환경과 관련하여 근시안적 행위를 유발하는 반면에 소득 수준의 향상은 전 지구적인, 그리고 현재대를 넘어 미래 세대에 대해서도 관심을 기울이게 한다는 것이다. 특히 인구가 급격히 증가하는 개발도상국에서 높은 수준의 빈곤이 인구 압력과 상호작용하면 농업이나 연료(목재)에 대한 집약적 활용을 촉진하는 등 환경 훼손의 중요한 원인이 될 수도 있다. 제2장에서 살펴본 인구-환경 악순환 모델(vicious cycle model)이 이러한 현상을 반영하는 논리 구조라고 할 수 있다.

소득 분포는 또한 소비 패턴에서의 차이를 통해 환경에 영향을 미칠 수도 있다. 만일 소득 수준이 높을수록 에너지 집약적인 소비 패턴과 생활양식을 보인다면 소득 불평등 증가는 에너지 소비와 탄소 배출에서 불평등 증가로 이어질 수 있다. 그러나 실제로 소득 분포가 소비에 미치는 영향은 상당히 복잡한 것으로 알려진다. 예컨대, 고소득 가구는 저소득 가

구에 비해 상대적으로 에너지 사용량이 많은 패턴을 보인다. 그러나 일반적으로 저소득층은 새롭고 효율적인 기술이나 도구에 투자할 자원이 부족한 반면에 고소득층은 에너지를 효율적으로 사용하는 경향이 있음이 지적된다(Pebley, 1998, p. 383).

빈곤과 불평등은 개별 국가를 넘어 국제적 차원에서도 중요한 함의를 지닌다. 특히 기후변화와 빈곤/불평등의 관계는 발전 정책과 관련하여 중요한 함의를 지닌다. 빈곤과 불평등 감소가 개발도상국이 직면한 발전 정책의 핵심 과제인 점을 고려할 때 빈곤과 불평등 감소가 기후변화 문제의 완화와 양립 가능한지도 중요한 이슈이다. 기후변화 문제의 중요성을 고려할 때 빈곤과 소득 불평등 감소가 기후변화 문제의 해결에 긍정적인 역할을 한다면 빈곤과 소득 불평등에 적극적으로 대응하는 발전 정책의 입지는 더욱 강화될 것이다. 그러나 빈곤과 불평등이 기후변화에 미치는 영향은 복잡한 방식으로 작동한다. 소득 불평등을 예로 들면 기본적으로 온실가스 배출에 대한 소득 불평등의 영향은 두 가지 방식으로 작동할 수 있다. 우선 소득 불평등이 경제성장에 영향을 미치며, 후속적으로 경제성장이 온실가스 배출에 영향을 미치는 간접적인 경로이다. 그러나 소득 불평등이 경제성장에 미치는 영향과 관련하여 정적(+), 부정(-), 혹은 비선형적(예컨대, 역 U자형) 관계 등 선행 연구가 일관된 패턴을 보여 주지 않는다(Banerjee & Duflo, 2000). 현재까지 소득 불평등이 경제성장을 통해 온실가스 배출에 미치는 영향에 관해서는 신뢰할 만한 추론을 하기가 쉽지 않은 상황이다.

이에 따라 온실가스 배출에 대한 소득 불평등의 영향을 살펴보는 좀 더 일반적인 접근은 경제성장의 탄소 배출 집약도(emissions intensity)에 초점을 맞추는 경향이 있다. 만일 소득 증가에 따른 개발도상국의 탄소 배출 집약도 감소가 경제발전에 따른 에너지 소비나 온실가스 배출량 증

가를 상쇄한다면 국가 간 소득 불평등 감소는 기후변화 문제의 완화 측면에서 긍정적인 역할을 할 수 있다(Rao & Min, 2018). 그러나 소득 불평등이 온실가스 배출에 미치는 영향은 선진국 대비 개발도상국의 소득 수준과 함께 개발도상국 내부의 소득 상승이 어떠한 분포를 보이는지에 따라 상이한 양상을 보일 수 있다. 또한 소득 상승에 따른 탄소 배출 집약도 변화가 개발도상국에 따라 다를 수 있기에 명확한 판단을 내리기는 쉽지 않다. 개발도상국의 소득 상승 및 이로 인한 국가 간 소득 불평등 감소가 탄소 배출 집약도가 낮은 국가를 중심으로 이루어질수록 소득 불평등의 감소와 기후변화 문제의 완화가 호혜적 관계를 이룰 가능성이 높아진다고 볼 수 있다.

현재까지 빈곤이나 소득 불평등이 기후변화에 미치는 영향에 관해서는 일치된 의견이 존재하지 않는다. IPCC(2022a, p. 254)는 발전 정책의 주요 목표에 해당하는 빈곤 완화나 현대적 에너지 서비스에 대한 보편적 접근성이 보장되더라도 온실가스 배출에 미치는 영향은 미미한 수준에 그칠 것으로 진단한다. 반면에 IPCC의 SSPs 시나리오(SSP4, SSP5)를 사용하여 시뮬레이션 분석을 진행한 Rao and Min(2018)의 연구는 국가 간 소득 불평등 감소가 개발도상국의 '경제성장과 에너지 집약도' 간 탈동조화(decoupling) 과정을 통해 탄소 배출을 줄일 수도 있음을 전망한다. 이러한 상황을 고려할 때 빈곤 완화나 소득 불평등 감소가 온실가스 배출과 어떤 관계에 있는지를 명확히 규명하기 위해서는 개발도상국의 발전 수준과 발전 양식에 대한 좀 더 세부적인 논의가 필요하다.

마지막으로 기후변화에 대한 인구 구성의 영향과 관련하여 가구변동도 중요한 고려 사항이다. 최근까지 진행된 출산율-사망률의 감소나 인구이동의 증가 같은 인구변동은 가구 규모의 축소 등 가구변동에 큰 영향을 미친다. 후속적으로 가구의 형성, 전환, 소멸을 아우른 가구변동은 기후

변화와 관련하여 중요한 함의를 지닐 수 있다. 특히 가구는 에너지 소비와 이를 통한 온실가스 배출 과정에서 중요한 역할을 한다. 예컨대, 유럽에서는 1995년 이후 가구가 생산 및 중간 단계의 에너지 사용-손실을 제외한 최종에너지 소비(final energy consumption)의 대략 25~27%를 차지하는 것으로 보고된다(Karakosta, 2015).

기후변화 논의에서 가구의 구성은 분석 단위의 문제로 논의되기도 한다(Cohen, 2010, p. 167). 앞에서 살펴본 인구-소비 논쟁의 분석 틀로 사용된 I-PAT 모델은 기본적으로 환경에 대한 인구의 영향을 분석하는 단위로 ‘개인’을 사용한다. 그러나 최근 들어 인구를 구성하는 개인 대신에 소비의 주요 주체인 ‘가구’가 온실가스 배출에 대한 인구의 영향을 분석하는 인구학적 단위가 되어야 한다는 주장이 제기되고 있다(Jiang & Hardee, 2011, p. 295). 가구 규모는 1인당 소비량뿐만 아니라 소비 패턴에서도 차이를 초래할 수 있다. 예컨대, 자녀가 있는 가구와 자녀가 없는 가구는 소비 항목(예, 미래 세대 투자 대 자아실현 투자)에서 큰 차이를 보일 수 있다. 가구 규모는 앞에서 살펴본 교육 수준, 소득 수준 등에서의 차이로 이어질 수 있다. 특히 대규모 가구에 비해 소규모 가구의 ‘1인당’ 기준의 토지 이용, 공간(주택) 점유, 자동차 및 각종 제품의 소비 수준(에너지 사용량)이 높기에 가구 규모의 축소는 온실가스 배출량 증가로 연결될 개연성이 높다. 예컨대, 오스트리아에서 이루어진 Prskawetz et al.(2004, p. 187)의 분석은 인구 규모만을 고려하는 모형과 가구 규모를 고려하는 모형 간에 교통 수요에서 큰 차이가 발생할 수 있음을 시사한다. 이들의 분석은 가구원 규모가 작은 가구의 교통 수요(‘가구당’ 교통 수요 총량 기준)가 가구원 규모가 큰 가구에 비해 상대적으로 낮지만, 소규모 가구의 증가 추세가 가구변동을 주도함으로써 전체적으로 교통 수요가 증가하는 결과로 이어짐을 보여 준다.

1970년에서 1990년에 걸친 선진국의 에너지 소비에 영향을 미친 요인들의 효과를 분해한 MacKellar et al.(1995, p. 859)의 연구도 인구학적 변수로 인구 규모와 가구 규모의 사용이 유의미한 차이로 이어질 수 있음을 보여 준다. 좀 더 구체적으로, 인구학적 변수로 인구 규모가 사용된 모형(I-PAT)에서는 인구학적 요인이 전체 에너지 증가의 33.3%, 경제(소득)-기술 요인이 66.7%를 차지하지만, 인구학적 변수로 가구 규모를 사용한 모형(I-HAT)에서는 인구학적 변수가 전체 에너지 증가의 76.2%를 설명하는 것으로 나타났다(경제-기술 요인 23.8%). 다만, 선진국과 달리 개발도상국을 대상으로 한 모형에서는 인구학적 변수(개인, 가구)의 선택에 따른 차이가 상당히 줄어드는 모습을 보였다. 인구 규모를 사용한 모형(I-PAT)에서 인구학적 요인의 영향이 32.8%이지만, 가구 규모를 사용한 모형(I-HAT)에서 에너지 증가의 37.3%를 인구학적 요인이 설명하는 것으로 나타났다.<sup>50)</sup>

Bradbury et al.(2014, p. 73)은 일부 역사적 예외 사례를 제외하고 선진국과 개발도상국을 모두 아울러 가구 규모(평균 가구원 수)가 감소 추세를 보임으로써 심지어 세계 인구가 중장기적으로 감소 국면에 진입하더라도 가구 구조의 변화가 21세기 환경의 지속 가능성 측면에서 중요한 도전이 될 것임을 주장한다. 이러한 상황을 고려할 때 향후 온실가스 배출과 기후변화에 대한 인구의 영향을 체계적으로 이해하기 위해서는 다양한 유형의 가구가 보여 주는 소비 패턴의 현황과 미래를 정확히 전망하고 기후 모형에서 이를 적절히 반영할 필요가 있다.

최근 들어 미래 ‘가구변동’의 양상과 이를 초래하는 인구학적 및 사회경제적 요인을 분석하는 방법론에서 큰 진전(e.g. Jiang & O’Neill,

50) 이러한 분석 결과는 다른 한편으로 온실가스 배출과 기후변화에 관한 모형의 설계 과정에서 인구학적 변수와 경제-기술 변수 간에 존재하는 복잡한 관계를 추가로 고려할 필요가 있음을 시사한다. 제2장에서 언급했듯이 I-PAT 모델은 환경(I)에 영향을 미치는 요인들(P-A-T) 간에 존재하는 복잡한 상호작용을 고려하지 못하는 한계가 있다.

2007; Zeng et al., 2014)이 이루어지고 있다는 점도 고려할 필요가 있다. 인구학적 요인으로 가구에 초점을 맞추어 미래 에너지 수요와 온실가스 배출을 모형화하는 시도 또한 이루어진 바 있다(Zigova et al., 2009). 다른 한편으로 1인 가구 같은 소규모 가구의 인구학적 특성이나 공간적 분포 등에 관한 논의는 다음 절에서 논의되는 기후변화에 대한 '적응'과 관련해서도 유용한 함의를 제공할 수 있다.

### 제3절 인구에 대한 기후변화의 영향

기후변화에 대한 인구의 영향(인구 → 기후변화)과 마찬가지로 기후변화가 인구에 미치는 영향(기후변화 → 인구)에 대한 관심도 증가하고 있다. 기후변화와 관련된 위험을 사전에 방지하는 최고의 수단이 온실가스의 배출량을 줄이는 기후변화 '완화' 전략이지만, 이미 지구의 기후 조건이 상당한 수준으로 변화된 현재의 상황에서 인구에 대한 기후변화의 부정적 영향에 대응하기 위해 온전히 '완화' 전략에만 의존할 수는 없음이 지적된다 (McGranahan et al., 2007, p. 17; Schensul & Dodman, 2013, p. 1). 이에 따라 교토 의정서처럼 전적으로 완화 전략에 초점을 맞춘 과거의 국제적 논의와 달리 최근의 논의는 이미 피할 수 없는 상황으로 다가온 기후변화에 적응하는 것도 매우 중요하다는 쪽으로 변화를 보이고 있다. 더욱이 최근까지 진행된 인구변동 자체가 기후변화의 위험성을 잠재적으로 증폭하는 요인이 될 개연성이 높아짐에 따라 기후변화가 인구에 미치는 영향과 이에 대응한 적응 전략의 마련이 더욱 중요해진 상황이다. 예컨대, 인구 고령화로 인한 고령인구의 절대적 및 전체 인구 대비 상대적 증가는 잠재적으로 기후변화의 위험(이환, 사망)에 취약한 인구의 증가로 이어짐으로써 기후변화가 초래할 수 있는 위험을 배가시키는 측면이 있다.

인구에 대한 기후변화의 영향과 적응 논의에서는 ‘취약성’(vulnerability)이 매우 중요한 요소로 등장한다. 취약성이 중요한 요소이지만, 취약성에 대한 초기 인식은 대체로 개인보다는 시스템이나 공간적 위치에 초점을 맞추었다. 예컨대, IPCC(2001b, p. 6; 2007b, p. 6)의 제3차(TAR) 및 제4차(AR4) 평가보고서는 취약성을 ‘시스템’이 기후변화의 부정적 영향에 민감하게 반응하거나 적절히 대응할 수 없는 상황으로 정의하며, 시스템이 노출되는 기후변화(변이)의 특성, 강도, 변화율과 시스템의 민감성 및 적응력의 함수로 취약성을 이해하였다.<sup>51)</sup> 그러나 시스템에 초점을 맞춘 이러한 접근은 시스템 내에 존재하며, 시스템과 상호작용하는 ‘개인’(인구)을 적절히 고려하지 않고 기후변화의 영향에만 초점을 맞춘 한계가 있었다. 결과적으로 취약성을 시스템에서 발생한 손상이나 피해로 이해하며, 기후변화의 영향에 다양한 방식으로 대처하고 적응하는 개인(인구)의 역할을 경시하는 결과로 이어졌다(Schensul & Dodman, 2013, p. 7). 이에 따라 최근 들어 취약성에 대한 인식에서 시스템보다는 개인(인구), 생산보다는 소비에 초점을 맞춘 논의가 증가하는 모습을 보인다. 또한 인구 집단의 취약성을 평가하는 과정에서 인구 집단의 공간적 위치만큼이나 해당 집단의 인구학적 특성과 역량이 중요하다는 인식에서의 변화도 나타나고 있다. 전통적으로 자연재난 위험과 대응 논의에서는 공간적 위치가 핵심이었으며, 기후변화에 대한 논의도 예외가 아니었다. Lutz and Striessnig(2015, p. S72)가 지적하듯이 인구 집단에 따른 차별적 취약성(demographic differential vulnerability)에 대한 인식은 상대적으로 최근의 현상이다.

이러한 상황을 배경으로 IPCC(2022b, p. 133)의 제6차 평가보고서(AR6)는 불리하게 영향을 받는 성향(propensity) 또는 소인(predisposition)

51) 참고로 IPCC(2014b, p. 5)의 2014년 제5차 평가보고서(AR5)에서 시스템 중심의 취약성 인식에서 현재와 같은 방식으로 변화가 나타났다.

으로 '취약성'을 정의하며, 피해에 대한 민감성(sensitivity or susceptibility to harm)과 대처 및 적응 역량(capacity to cope and adapt)의 부족을 모두 아우르는 개념으로 이해한다. 취약성에 대한 IPCC의 이러한 개념 정의는 인구변동을 고려하지 않은 상태에서 기후변화 취약성 문제에 적절히 대응하는 것이 사실상 불가능함을 시사한다. 왜냐하면 단기적인 극한 기상 현상이나 장기적인 기후 패턴에서 나타나는 변화를 막론하고 기후변화의 영향에 적절히 대응하기 위해서는 단순히 공간적(물리적) 위치를 넘어 기후변화가 인구에 미치는 위험과 인구 집단을 가로질러 이러한 위험이 어떻게 분포하고 작동하는지를 반드시 이해해야 하기 때문이다(Guzmán et al., 2009, p. 5).

IPCC의 제6차 평가보고서(AR6)에서 기후변화가 인구에 미치는 영향은 대체로 기후변화가 초래할 수 있는 '위험'을 중심으로 논의된다. 기후변화가 초래하는 위험(climate change risk)은 ① 기후변화 관련 위해(hazard), ② 노출(exposure), ③ 취약성(vulnerability)의 동태적 상호작용과 ④ 기후변화 관련 위해에 대한 대응(response)의 결과로 이해된다(IPCC, 2022b, p. 145)([그림 4-2] 참고).

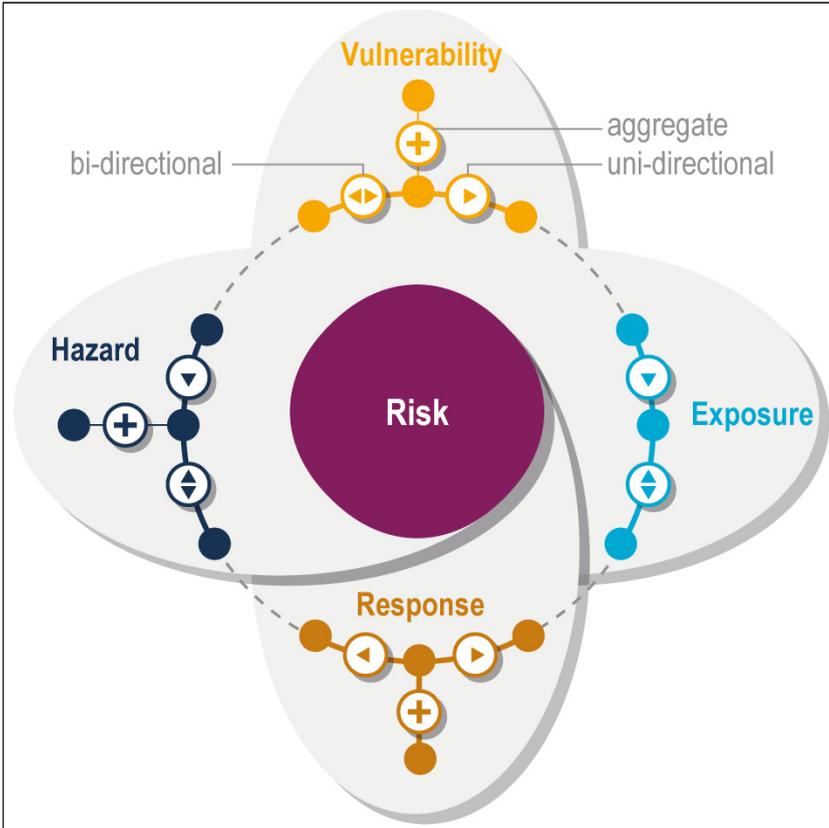
첫째, 현재 및 미래의 기후변화는 폭염은 물론이고 홍수-태풍처럼 급격히 전개되는 극한 사건이나 토양 소실-황폐화, 해수면 상승 같은 점진적 사건 등 다양한 기후변화 '위해'(hazard)로부터 영향을 받을 개연성을 결정한다. 기후 시스템의 온난화가 진행될수록 새로운 형태의 기후변화 위해가 발생할 개연성이 높아진다. 기후변화가 초래하는 위해는 자연재난(natural disaster)과도 관련이 있다. 참고로 다양한 유형 중에서 기후변화에 민감하게 반응하는 '위해'로는 수문학적(홍수 등), 기후학적(가뭄 등), 생물학적(매개체 전파 질환 등), 기상학적(극한 기온, 태풍 등) 위해가 지적된다(Banwell et al., 2018).

둘째, 노출(exposure)은 인구나 생계(生計), 생태계, 환경 자원, 기반 시설, 자산(경제, 사회, 문화) 등이 기후변화의 부정적 영향을 받을 수 있는 장소나 환경에 놓이는 것을 의미한다. 기후변화 위험 요소 중 취약성이 주로 환경 변화가 초래하는 스트레스에 더욱 민감하게 반응하거나 대처하고 적응하는 역량이 떨어지는 측면에 초점을 맞추는 반면에 노출은 '취약성'과 기후변화 '위해'의 영향을 동시에 반영한다. 일반적으로 취약성이 높은 집단일수록 기후변화 관련 위해에 노출될 개연성이 높지만, 폭염이나 홍수 등 기후변화 '위해'가 가지고 있는 고유한 특성도 노출의 여부와 수준에 영향을 미칠 수 있다는 것이다.

셋째, 기후변화가 초래하는 위험은 인구가 기후변화로부터 부정적으로 영향을 받을 경향성, 즉 취약성(vulnerability)의 영향을 크게 받는다. 기후변화 위험에 대한 '취약성'은 인구나 생태계가 기후변화에 의해 영향을 받는 정도를 의미하는 민감성(sensitivity)과 기후변화에 대한 적응력(adaptive capacity) 같은 다양한 요소를 포함한다. 참고로 IPCC의 적응력은 회복력(resilience) 개념과도 밀접히 연관되어 정의된다. IPCC(2022b, p. 7)는 회복력을 경제-사회-환경(생태계) 시스템이 적응, 학습, 변혁 역량을 보유한 상태에서 시스템의 본질적인 기능, 정체성, 구조를 유지하거나 재조직하면서 위험한 사건이나 추세, 교란에 대처하는 역량으로 이해한다.

마지막으로, 기후변화 위험 평가에서 대응(response)은 기본적으로 완화(mitigation)와 적응(adaptation) 조치를 의미한다. 완화 조치를 통해 기후변화의 위해성(hazard)을 감소시킬 수 있으며, 적응 조치를 통해 취약성과 위해에 대한 노출을 줄일 수 있다.

[그림 4-2] IPCC 제6차 평가보고서(AR6)의 기후변화 위험 평가의 도식화



출처: “Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.” Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022b. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf), p. 147(Figure 1.5). Copyright 2022 by Intergovernmental Panel on Climate Change.

취약성에 관한 IPCC의 정의는 일련의 평가보고서를 거치면서 변화해 왔다. 비록 시스템에 초점을 맞추지만, 제4차 평가보고서(AR4)까지 IPCC는 취약성 개념이 ‘민감성’과 ‘적응력’뿐만 아니라 ‘노출’을 포함하는 것으로 이해하였다(IPCC, 2007b, p. 883). 반면에 제5차 평가보고서(AR5)와

가장 최근의 제6차 평가보고서(AR6)에서는 ‘노출’을 취약성 개념과 명시적으로 구분하는 방식의 접근을 취한다. 대체로 제4차 평가보고서(AR4)까지 사용된 취약성 개념이 취약성에 대한 독립적인 평가 목적으로 사용된 반면에 제5차 평가보고서(AR5) 이후의 취약성 개념은 ‘위험’ 평가의 맥락 속에서 취약성 개념을 사용한다는 차이가 있다. 다만 현재와 같은 취약성의 재개념화가 기존에 사용된 취약성 개념의 폐기를 의미하는지는 명확하지 않다는 비판도 제기된다(Estoque et al., 2023, p. 385). 시스템에 초점을 맞춰 취약성을 이해하는 과거의 시각에서는 취약성에 영향을 미치는 근본 요인으로 해안 저지대 지역(Low-Elevation Coastal Zones: LECZs) 같은 공간적 위치에 기초하여 정의된 ‘노출’에 초점을 맞추는 경향이 있었지만, 현재는 기후변화에 의해 직접적으로 영향을 받는 기후 관련 ‘위해’ 요소와 달리 노출과 취약성 요소 모두 공간적 조건과 함께 다양한 사회인구학적 과정(예컨대, 빈곤, 발전)을 통해 형성되는 것으로 이해한다.

기후변화가 초래하는 위험에 대한 평가는 기후변화의 영향을 받는 대상(영역/제도), 기후변화의 위험성, 즉 기후변화가(부정적) 영향을 미칠 개연성, 그리고 기후변화가 초래하는 결과를 모두 포괄해야 하며, 이에 기초하여 적응 전략을 마련해야 한다. 기존의 평가보고서와는 달리 IPCC의 제6차 평가보고서(IPCC, 2022b, p. 147)는 기후변화 대응(response)과 관련된 위험도 언급한다. 비록 기후변화에 대한 대응이 기후변화 위험을 관리하고 줄일 수 있지만, 완화나 적응 같은 기후변화 대응 전략이 의도한 목표를 달성하지 못하거나 다른 사회적 목표와 상충관계 혹은 부작용을 초래할 위험도 내포하고 있다. 전통적으로 기후변화에 대한 대응을 기후변화 위험과 구분하여 별도로 혹은 부차적으로 논의하는 경향을 보였지만, 기후변화에 대한 인간의 대응 자체가 기후변화 위험의 본질과 복잡성을 변화시킬 수도 있다는 것이다. 이렇듯 전반적으로 최근으로 올수록 IPCC는 기후변화가 초래하는 위험이 단일 위험이 아니라 상호작용하는 다중적 위험과 관련된다는 점을 강조한다.

기후변화 위험을 초래하는 다양한 동인들과 마찬가지로 기후변화가 초래하는 위험도 복잡하게 상호작용한다. 사회-경제 시스템, 환경 시스템, 기술 시스템 간의 복잡한 연계는 어떤 시스템이나 영역에서 발생한 위험을 다른 시스템이나 영역으로 전이시켜 새로운 위험을 만들어 내거나 기존의 위험을 악화시킬 수 있다. 기후변화 위험과 관련한 상호작용은 기후변화 위험의 구성 요소(위해성, 노출, 취약성, 대응) 및 이들 구성 요소에 영향을 미치는 요인들의 상호작용을 모두 포함한다. 기후변화 위험과 다른 사회적-환경적 위험(예컨대, COVID19 팬데믹) 간의 상호작용도 중요하다(Simpson et al., 2021, pp. 492-493). 그럼에도 현재까지 기후변화 위험을 평가하기 위한 체계적인 분석 틀의 구축은 기후변화 위험의 평가와 관련된 논의에서 시급하고도 어려운 과제로 남아 있다.

아래에서는 인구에 영향을 미칠 수 있는 기후변화 관련 ‘위해’를 주요 유형별로 간략히 살펴본 후에 기후변화 위험에 대한 이해와 평가에서 인구학적 연구가 초점을 맞추는 기후변화에 대한 ‘취약성’의 문제를 중점적으로 살펴본다. 앞에서 언급했듯이, ‘취약성’ 개념이 기후변화 위험 논의에서 핵심적인 위치를 차지하지만, 특정 기후변화 위험에 대한 노출이 더 큰 함의를 지닐 때도 있다. 돌발 홍수(flash flood)처럼 국지적 차원에서 정의되는 ‘위해’가 대표적이다(Ignacio et al., 2015, pp. 117-118).<sup>52)</sup> 이러한 점에서 취약성 논의에 앞서 인구에 영향을 미치는 기후변화 관련 ‘위해’의 주요 양상과 그 작동 기제를 이해할 필요가 있다.

기후변화는 대기, 물, 빙하, 토지, 식생(생태계) 등 다양한 영역에 걸쳐 큰 파급 효과를 초래할 것으로 전망되지만, 아래에서는 기후변화가 ‘인구’에 미칠 수 있는 부정적 영향의 주요 양상(climate-related hazards)을 간략히

52) 돌발 홍수는 토양이나 배수시설의 처리 수준을 넘어서는 폭우로 저지대 지역이 급속히 범람하는 현상을 말한다. 최근 들어 우리나라의 도시 지역도 여름철 집중호우로 인한 돌발 홍수의 위험이 높아진 상황이다.

살펴본다. 기후변화가 인구에 미치는 부정적 영향의 양상 중에서 인구 이동의 문제는 다음 절의 기후변화가 인구동태에 미치는 영향 부분에서 검토한다. 참고로 자연적 위해(재난)는 다양하게 분류할 수 있지만, 대표적으로 지구물리학적(geophysical; 지진, 쓰나미, 화산 등), 수문학적(hydrological; 홍수, 강우 기반 산사태 등), 기상학적(meteorological; 극한 기온, 태풍 등), 기후학적(climatological; 가뭄, 산불 등), 생물학적(biological; 뎅기열, 콜레라, 말라리아 같은 기후 민감성 질환 등), 외계적(Extra-terrestrial; 우주 기상, 충돌 등) 위해(재난)로 분류할 수 있다(Centre for Research on the Epidemiology of Disasters[CRED], 2024).<sup>53)</sup>

여기에서는 이러한 위해(재난) 중에서 기후변화와 관련하여 빈번히 논의되는 주요 위해에 초점을 맞추어 기후변화의 영향을 살펴본다. ‘위해’가 잠재적으로 ‘재난’을 초래할 수 있는 상황이나 현상을 의미한다는 점에서 개념적으로 위해(원인)와 재난(결과)을 구분할 수 있지만, 위해의 유형별로 그에 상응하는 재난이 발생할 수 있다는 점을 고려하여 여기에서는 자연 재난의 구분에 많이 사용되는 CRED의 구분을 사용한다.<sup>54)</sup> 제5장에서 좀 더 자세히 언급하겠지만, 이 연구에서는 기후변화(적응)와 재난 위험 대응 정책 간 연계의 중요성을 강조한다.

첫째, 기후변화가 인구에 미칠 수 있는 ‘위해’ 중에서 가장 직접적이고도 확실한 것이 폭염 같은 극한 기온이다. 특히 폭염은 도시화, 이상 고온 현상의 증가, 인구 고령화의 심화로 점점 더 중요한 위험(특히 건강) 요인이 되고 있다(IPCC, 2022b, p. 1045). Stott et al.(2004, p. 613)의 연구는 인간 활동이 유럽의 2003년 여름(평균 온도) 같은 폭염 리스크를 2배 이상 높였음을 보여 줌으로써 기후 시스템에 대한 인간 활동의 부정적 영향과

53) 극한 기온은 연구자나 분류 기관에 따라 기후학적 위해(재난)로 분류되기도 한다.

54) CRED가 관리하는 데이터가 재난 분야에서 널리 알려진 EM-DAT(Emergency Events Database)이다.

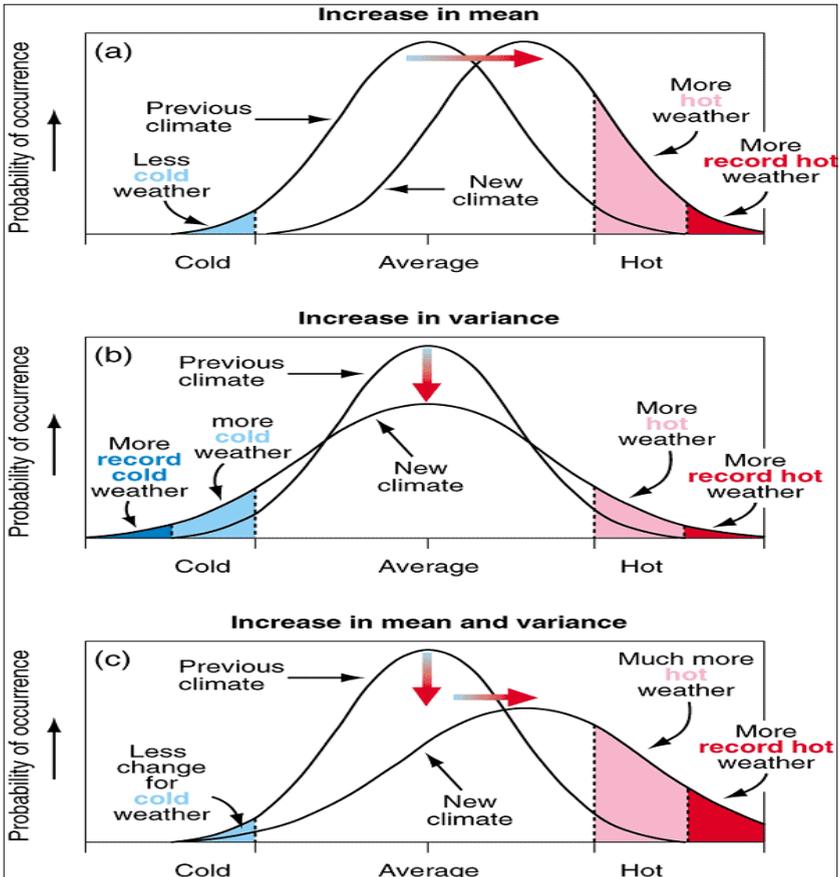
그 파급 효과가 미래가 아닌 이미 진행 중인 문제임을 강조한다.

선행 연구에서 폭염은 이환율과 사망률을 높이고, 노동 효율성과 농작물 생산량을 떨어뜨리며, 가뭄과 산불의 개연성을 높이는 것으로 보고된다(De Bono et al., 2004; Mora et al., 2017; Zhao et al., 2015). 한편 기온 상승이 건강에 미치는 영향과 관련하여 선진국과 개발도상국을 모두 아울러 진행되는 인구 고령화는 항상성 기제의 자연스러운 노화와 함께 다양한 질환(예컨대, 당뇨병, 불안, 우울증)을 보유한 고령인구의 증가를 초래함으로써 폭염 같은 극한 기온에 대한 취약성을 더욱 악화시키는 것으로 알려진다(Schwartz, 2005, p. 67; Stafoggia et al., 2006, p. 315). 물론 극한 기온이 초래하는 영향은 무차별적으로 진행되는 대신에 제도적 대응의 영향을 크게 받는다. 예컨대, 수천 명의 사망자가 발생한 2015년의 인도와 파키스탄의 폭염은 보건의료 체계와 사회 기반 시설이 열악한 상황에서 발생하는 극한 기온이 사망률의 급격한 증가를 초래할 수 있음을 보여주는 대표적인 사례이다(Zhao et al., 2015, p. 72).

기후변화가 인구에 미칠 수 있는 다양한 위해 중에서 가장 직접적이고도 확실한 위해가 폭염 같은 극한 기온이라는 점에서 그 논거를 좀 더 자세히 살펴볼 필요가 있다. 기후변화(기온 상승)가 폭염 같은 극한 기온에 미치는 영향은 분포의 다양한 차원, 특히 평균의 변화와 분산의 변화로 구분하여 살펴보는 것이 유용하다. 아래의 [그림 4-3]은 기온의 (a) 평균 상승과 (b) 분산 상승, 그리고 (c) 평균과 분산의 동시적 상승이 극한 기온에 미칠 수 있는 영향을 가설적으로 표현한 것이다. 비록 기온의 연간 분포(여름~겨울)와 비교하면 작을 수 있지만, 평균 기온의 증가는 기온 분포에서 상대적으로 더운 날씨의 출현 빈도를 크게 높일 수 있다([그림 4-3] (a)의 분홍색). 폭염 같은 극한 기온의 출현 빈도도 마찬가지로이다([그림 4-3] (a)의 빨간색). 더욱이 평균만의 상승과 비교할 때 평균과 분산의 동시적

증가는 [그림 4-3]의 (c)에서 볼 수 있듯이 폭염 같은 극한 기온 현상의 출현 빈도를 크게 높일 수 있다. 물론 구체적인 양상은 평균과 분산의 증가 패턴에 의해 결정될 것이다. 한편 기온의 평균과 분산 증가는 상대적으로 추운 날씨나 혹한의 출현 빈도를 낮추는 상반된 역할을 할 수 있다.

[그림 4-3] 기온의 평균 및 분산 변화가 극한 기온에 미치는 영향의 도식화

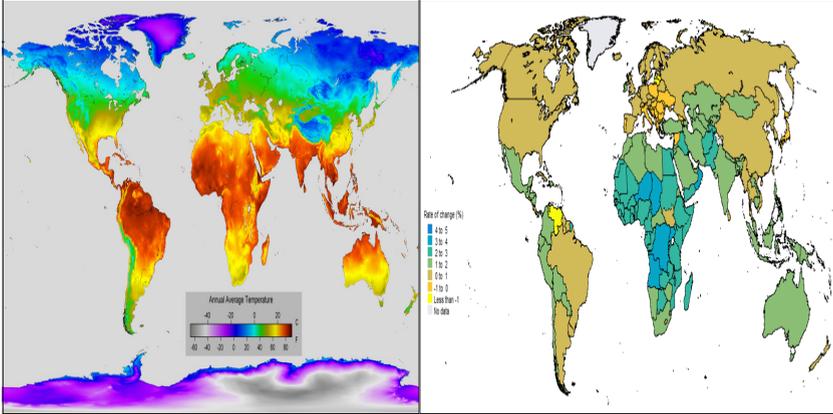


출처: "Climate Change 2001: The Scientific Basis," Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001a, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI\\_TAR\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf), p. 155(Figure 2.32). Copyright 2001 by Intergovernmental Panel on Climate Change.

기후변화가 인구에 미칠 수 있는 다양한 유형의 '위해' 중에서 폭염 같은 극한 기온 현상이 가장 직접적이고도 확실한 또 다른 이유는 기후변화가 인구변동과 맞물려 전개됨으로써 인구변동 자체가 기온 상승에 따른 위험을 잠재적으로 증폭하는 요인이 될 수 있는 것과 관련이 있다. 논리구조상 기후변화가 초래하는 위험은 기후변화의 영향이 큰 지역에 상대적으로 더 많은 인구가 거주할수록 커진다고 할 수 있다. 특히 평균 기온이 상대적으로 높은 저위도(적도 기준 남북위  $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ) 개발도상국의 인구성장률이 지속적으로 높게 유지되는 상황은 점점 더 많은 세계 인구가 미래의 기후변화 위험에 노출될 개연성을 시사한다. 물론 지리적(저위도) 및 인구학적(고출산) 조건이 기후변화 위험을 전적으로 결정하지는 않으며, 발전 등 다양한 요인들에 의해 조절되고 매개된다고 볼 수 있다.

[그림 4-4]에서 볼 수 있듯이 평균 기온이 높고 인구성장률이 높은 대표적인 지역으로는 사하라 이남 아프리카, 남아시아, 서아시아 지역을 꼽을 수 있다. 사하라 이남 아프리카는 현재까지도 고출산 상황이 지속되는 대표적인 지역이다. UN(2022a)의 세계인구전망에 의하면 2021년 기준으로 사하라 이남 아프리카 지역의 합계출산율(TFR; 추정치)은 4.59 수준이며, 연평균 인구성장률(population growth rate)도 2.51%에 이른다. 인도, 파키스탄, 방글라데시를 포함하는 남아시아 지역도 2021년의 합계출산율(추정치)이 2.23 수준이며, 튀르키예, 이라크, 사우디아라비아를 포함한 서아시아 지역의 2021년 합계출산율(추정치)도 2.59 수준에 이른다. 싱가포르, 태국 등 일부 국가에서 뚜렷한 출산력 변천(감소)이 관측되기도 하지만, 인도네시아, 필리핀 등 대부분의 동남아시아 지역(2021년 합계출산율 추정치 2.14)도 저위도 열대 기후에 속하는 관계로 평균 온도가 높은 지리적 조건에서 향후 상당한 기간에 걸쳐 인구가 지속해서 증가할 것으로 예상되는 지역으로 분류된다.

[그림 4-4] 연평균 기온(좌) 및 연간 인구성장률(우)의 분포



주: 연평균 기온은 1951~1980년 기간의 육지 평균 온도 추정치에 기초하여 산출되었으며, 연간 인구성장률은 2015~2020년 기간의 연간 인구성장률(%) 추정치를 표시한 것임.

출처: "World Population Prospects 2019 [map file]," United Nations. 2019, <https://population.un.org/wpp2019/Maps/>. Copyright 2019 by United Nations. "File: Annual average temperature map.png," Wikimedia Commons, 2024, [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Annual\\_Average\\_Temperature\\_Map.png&oldid=883485383](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Annual_Average_Temperature_Map.png&oldid=883485383). Copyright 2024 by Creative Commons Attribution 4.0 International.

둘째, 기후변화와 관련될 수 있는 또 다른 위해가 홍수나 태풍 같은 수문 기상학적 위해이다. 폭우 같은 극한 기상 현상이 인명 손실, 기반 시설 피해, 산사태 등을 초래하는 홍수로 이어질 수 있음은 잘 알려져 있다(Jonkman et al., 2018; Sebastian et al., 2019). 해안 지역에서는 강풍과 폭풍우를 동반하는 열대성 저기압(사이클론, 태풍, 허리케인)에 의해 홍수가 발생하기도 한다(Zagheni et al., 2015, p. 48). 전 세계적으로 자연재난 중에는 홍수와 태풍(허리케인, 사이클론)의 발생 빈도가 높고, 그로 인한 인명 피해 또한 많다. 단일 자연재난으로 발생한 인명 피해의 규모는 지진이나 쓰나미의 경우가 크지만, 홍수와 태풍으로 인한 피해는 빈도가 높은 관계로 집계적 차원의 인명 및 경제적 피해가 더 큰 모습을 보인다. 예컨대, CRED의 EM-DAT에 의하면 2016년 기준으로 자연재난에 의한 전체 사

망자의 대략 2/3가 홍수와 태풍에 의한 것으로 분석된다(Guha-Sapir et al., 2017, p. 1). 특히 열대 사이클론은 해안 지역을 중심으로 경제적, 사회적, 환경적 차원을 아울러 큰 파급 효과를 초래한다. 예컨대, 1980년에서 2000년까지 전 세계적으로 열대 사이클론과 관련된 사망자가 25만 명 이상인 것으로 보고된다(United Nations Development Programme[UNDP], 2004, p. 37). 한편 식수와 위생 시설이 홍수나 태풍에 노출되면 후속적으로 건강상의 문제를 초래할 수 있다.

일반적으로 극한 기온과 비교할 때 태풍이나 홍수가 초래하는 인명 피해나 경제적 손실은 전망하기가 더욱 어려운 것이 현실이다. 비록 홍수나 태풍의 피해를 줄이기 위해 건조환경을 조성하거나 거주지를 이동시킬 수 있지만, 홍수나 태풍 같은 자연재난의 발생 여부 및 강도(수준)와 관련된 예측 정보에 수반된 불확실성이 크기에 주거지 이전이나 기반 시설 구축 같은 사전적 예방 조치를 취하기가 쉽지 않다. 현실에서 사전적 예방 조치를 취하기가 쉽지 않다는 점에서 기후변화에 따라 이들 자연재난이 실제로 발생하면 홍수나 태풍으로 인한 인명 피해나 경제적 손실이 증가할 개연성이 높다.

셋째, 식량 안전과 영양 섭취의 문제이다. 기후변화는 식량 공급의 불안정성을 높임으로써 개발도상국, 특히 최빈국을 중심으로 기아와 영양실조의 문제를 더욱 악화시킬 수 있다. 감소 추세를 보였던 영양실조에 직면한 세계 인구는 2014년 이후 다시 증가세를 보이는 것으로 알려진다(Food and Agriculture Organization of the United Nations[FAO], 2020, p. 128). 유엔식량농업기구(FAO)에 의하면 2022년 기준으로 전 세계 인구 중에서 영양실조에 직면한 인구는 735백 만 명 정도로 추정된다(FAO, 2023, p. 10). 기후변화가 안정적인 식량 공급과 영양 섭취에 미치는 영향은 후속적으로 기후변화에 대한 ‘취약성’ 측면에서도 중요한

의미를 지닐 수 있다. 식량의 안정적 공급과 균형 잡힌 영양 섭취는 전체 인구의 건강에 영향을 미침으로써 후속적으로 기후변화에 대한 취약성을 결정하는 주요 요인이 될 수 있는 것이다. 특히 만성적인 영양실조에 노출된 인구는 극한 기상 현상에 따른 식량 부족이 초래하는 문제에 매우 취약할 수 있다(Kovats & Lloyd, 2009, p. 172). 예컨대, 아동 사망의 1/3 이상과 전 세계 질병 부담(global disease burden)의 10% 이상이 영양 결핍에 기인한다는 분석 결과(Black et al., 2008, p. 5)는 이러한 가능성을 시사하고 있다.

이렇듯 안정적인 식량 안전 체계의 구축이 요구되지만, 지속적인 인구 증가는 식량 불안정의 주요 원인으로 지적된다(O'Sullivan, 2021, p. 327). 더욱이 IPCC(2022b, p. 717)는 기후변화가 식량 생산과 영양 섭취와 관련된 인류의 노력에 점점 더 큰 위협이 되고 있음을 지적한다. 기후변화는 식량 생산이 가능한 물리적 조건(환경)을 규정하는 동시에 생육 과정에도 영향을 미침으로써 생계유지 및 영양 섭취와 관련한 위험 요인이 되고 있다. 기후변화가 식량 생산성에 영향을 미치지만, 식량 안전성 그리고 식량과 건강의 관계는 다양한 요인들에 의해 영향을 받는다. 일반적으로 기후변화에 따른 식량 안전과 건강의 관계에 영향을 미치는 핵심 요인으로 1) 식량 수요에 대응한 생산과 공급의 충분성, 2) 시간의 경과에 따른 식량 공급의 일관성, 3) 식량에 대한 인구의 접근성, 4) 식량을 소비하는 인구의 건강 상태와 식량 소비를 통해 에너지와 영양분을 획득하는 능력이 지적된다(Kovats & Lloyd, 2009, p. 167; Schmidhuber & Tubiello, 2007, p. 19703).

미래의 기상 및 기후변화는 이러한 요인들에 영향을 미치며, 이들 중 하나의 연결고리에서 문제가 발생하더라도 영양실조와 건강상의 문제를 초래할 수 있다. 현재까지 이러한 요인들을 모두 고려하여 기후변화

의 파급 효과를 전망하는 것은 매우 어려운 작업으로 남아 있다. 이러한 점에서 기후변화에 따른 미래의 식량 안전성에 관한 논의들은 전체 상황의 일부분만을 보여 준다는 점에 유의할 필요가 있다. 비록 기후변화가 식량 안전성에 미치는 파급 효과를 종합적으로 파악하기가 쉽지 않지만, 최근의 논의들(Battisti & Naylor, 2009; Lobell et al., 2008)은 적응을 위한 충분한 투자가 이루어지지 않으면 기후변화가 농업 생산성을 감소시켜 생계유지에 어려움을 초래할 수 있으며, 현시점에서 이미 기아와 영양실조 위험이 높은 지역에 거주하는 인구에 더욱 큰 위협이 될 수 있음을 지적한다.

한편 식량 안전성 논의에서는 식량을 생산하고 공급하는 지역과 식량을 소비하는 지역이 일치하지 않을 수 있음을 이해해야 한다. 더욱이 기후변화에 따른 농업 생산성 감소로 인해 기아와 영양실조 위험에 직면하는 인구가 증가할 것으로 전망되지만, 사회경제적 요인들이 기후변화보다 더 큰 파급 효과를 초래할 수 있다(Kovats & Lloyd, 2009, p. 167). 예컨대, 식량 안전성에 대한 기후변화의 영향을 분석한 선행 연구를 검토한 Schmidhuber and Tubiello(2007, p. 19707)에 의하면 21세기에 걸쳐 강진한 경제성장과 인구 감소가 지속되면, 2080년까지 기후변화의 영향보다 더 큰 폭으로 기아 위험에 직면한 인구를 감소시킬 것으로 나타난다.

셋째, 수자원 부족 및 물 스트레스(water stress)이다. 기후변화는 식량 안전성과 마찬가지로 수자원(용수) 이용 가능성에 영향을 미치며, 이는 후속적으로 인구의 건강에도 큰 영향을 미칠 수 있다. 특히 지표수의 이용 가능성은 상당한 정도로 강수의 시기와 양에 달려 있다. 일반적으로 물 부족(water scarcity)은 상대적 개념으로 전체 사용자의 집합적 물 수요가 주어진 시점의 물 공급이나 수질에 부정적 영향을 미치는 상황으로 정의될 수 있지만(UN Water, 2007, p. 4), 흔히 수문학적으로 어떤

지역의 1인당 연간 물 공급량이 1,700m<sup>3</sup> 아래로 떨어질 때 물 스트레스(water stress), 1인당 연간 물 공급량이 1,000m<sup>3</sup> 아래로 떨어질 때 물 부족(water scarcity), 1인당 연간 물 공급량이 500m<sup>3</sup> 아래로 떨어지면 절대적 물 부족(absolute water scarcity)을 경험하는 것으로 분류한다(UN, 2012). 일반적으로 기후변화가 수자원에 미치는 부정적 영향은 현 시점에서 이미 물 스트레스에 직면한 개발도상국의 건조(반건조) 지역에 거주하는 인구 및 다른 대안 없이 단일 수자원(자연환경)에 대한 의존도가 높은 인구 집단에서 가장 크게 나타날 것으로 전망되고 있다(O'Neill et al., 2001, p. 26).

안전한 식수에 대한 낮은 접근성이 다양한 건강상의 문제를 초래한다는 점은 잘 알려진 사실이다. 특히 개발도상국과 선진국의 저소득층 거주 지역을 중심으로 안전한 식수의 부족과 위생 불량은 설사병 같은 아동 사망의 중요한 원인이 될 수 있다(Kosek et al., 2003, p. 197). 더욱이 설사병 같은 질환의 발생은 후속적으로 영양실조의 문제를 더욱 악화시킬 수 있으며, 앞에서 살펴본 식량 안전성 문제와 맞물릴 때 그 부정적 파급 효과가 더욱 커질 수 있다(Kovats & Lloyd, 2009, p. 168). 우리나라 또한 국토 면적 대비 인구가 많은 동시에 강수량이 여름에 집중되는 관계로 물 스트레스가 발생할 개연성이 높다. 특히 전체 국토의 상당 부분이 경사가 있는 임야인 관계로 여름에 집중되는 강수가 대부분 바다로 흘러감으로써 수자원을 효율적으로 사용하기 어렵다. 물론 물 스트레스가 곧바로 체감할 수 있는 수준의 파급 효과를 초래하지 않을 수도 있다. 예컨대, 국제무역에 대한 의존도가 상당히 높은 우리나라는 농산물이나 공산품 등의 교역 과정을 통해 상당한 정도의 물을 수입(대체)하는 효과가 나타날 수 있다.

다섯째, 감염성 질환 등 건강상의 문제이다. 감염병 또한 기후변화의 영향을 받을 것으로 전망된다. 특히 모기 같은 매개체에 의해 전염되는

질환이 기후변화에 가장 민감하게 반응하는 것으로 알려진다(Kovats & Lloyd, 2009, p. 169). 현재까지 국내에서는 뎅기 바이러스(Dengue virus)나 지카 바이러스(Zika virus)를 잠재적으로 전파할 수 있는 ‘흰줄숲모기’가 실제로 뎅기열이나 지카 바이러스 감염증을 전파한 사례는 없는 것으로 알려지는데, 이는 바이러스를 보유한 성충이 추운 겨울을 나지 못하는 것과 관련이 있는 것으로 추정된다. 그러나 지구 온난화로 겨울 온도가 상승하면 바이러스를 보유한 성충이 살아남아 뎅기열이나 지카 바이러스 감염증이 토착화될 수도 있다. 마찬가지로 뎅기 바이러스와 지카 바이러스의 주된 매개체인 ‘이집트숲모기’도 국내에 서식하지 않는 것으로 알려지지만, 지구 온난화가 지속되면 국내에 유입되어 토착화될 위험도 생각해 볼 수 있다.

기후변화로 인한 질병 부담이 큰 대표적인 매개체 전파 질환으로 효과적인 예방 백신이 없는 말라리아(Malaria)가 잘 알려져 있다. 기후변화는 말라리아 같은 감염병의 원충과 감염병을 옮기는 매개체(예컨대, 모기) 모두의 생태에 큰 영향을 미칠 수 있다(Thomson et al., 2006, p. 576). 특히, 고지대가 많은 동아프리카 지역(예, 에티오피아, 르완다)처럼 산림의 농경지 전환 같은 환경 변화가 초래한 기온 상승으로 말라리아 매개체의 생존과 전파력 그리고 말라리아 원충의 발달이 최적화되는 상황에서 이루어지는 인구의 규모와 밀도 증가는 말라리아 감염병 위험을 크게 높일 수 있음이 지적된다(Himeidan & Kweka, 2012). 기후변화의 영향을 받는 감염병은 이외에도 뇌수막염(Meningitis), 콜레라(Cholera), 리프트 밸리 열(Rift Valley Fever), 리슈만편모충증(Leishmaniasis) 등 상당히 다양하다(Kovats & Lloyd, 2009, pp. 169-170). 비록 기후변화가 이들 감염병에 미치는 장기적 파급 효과가 명확하지는 않지만, 국가의 감염병 대응 역량에 따라 그 파급 효과가 달라질 수 있다는 점에서 체

계적인 준비와 대응 체계의 구축이 필요하다. 특히 한국 사회가 경험하고 있는 가파른 인구 고령화가 고령자, 만성질환자 등 기후변화가 초래할 수 있는 감염병에 취약한 인구의 증가로 이어진다는 점에서 사전적 대응의 중요성은 매우 크다.

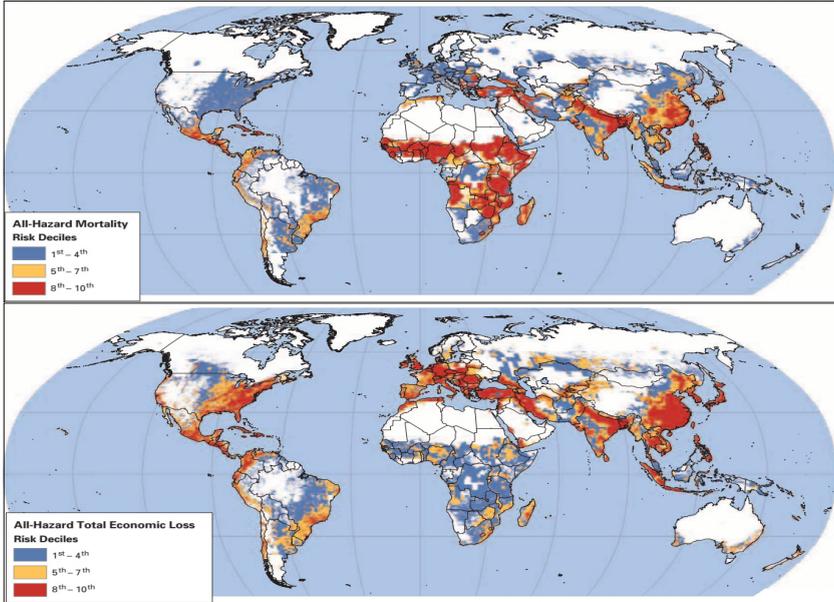
기후변화가 초래할 수 있는 다양한 ‘위해’를 살펴본 데 이어 아래에서는 기후변화에 대한 취약성과 그 작동 기제를 살펴본다. 기후변화 위험과 관련된 취약성은 ① 지리적 취약성(자연환경), ② 물리적 취약성(건조환경), ③ 사회인구학적 취약성으로 구분하여 살펴본다. 비록 지리적 취약성에 초점을 맞춘 초기의 논의와 달리 최근으로 올수록 사회인구학적 취약성이 강조되지만, 사회인구학적 취약성을 강조하는 시각에서도 지리적 취약성이나 물리적 취약성의 중요성을 부인하지 않는다는 점에 유의할 필요가 있다.

첫째, 기후변화 취약성에 관한 초기적 논의는 대체로 공간적(지리적) 위치에 초점을 맞추었다. 기후변화가 인구에 미치는 파급 효과에서는 공간적 위치가 핵심이라는 시각이다. 비록 기후변화의 영향이 전 세계적 차원에서 진행되고 있지만, 이 시각은 인구에 대한 기후변화의 영향이 모든 공간을 가로질러 균일하게 분포하지 않는다는 점을 강조한다. 기후변화로 인한 위험에 노출된 대표적인 공간으로 해안 저지대 지역(LECZ)과 건조 지역(dryland)을 들 수 있다. 최근의 극한 기상 패턴에서 볼 수 있듯이 우리나라도 예외가 아니지만, 특히 개발도상국의 인구 밀집 해안 저지대는 배수 시스템의 기능 미비나 빗물을 흡수하는 녹지 공간의 부족 등으로 도시 침수(urban flooding)의 위험이 높다. 후속적으로 도시 침수 과정에서 유해 물질이 유입되면 수인성 질환이나 호흡기 질환 등의 발생 위험이 높아질 수 있다. 한편 풍토병이 존재하는 지역에서는 도시 침수로 땀기열 같은 매개체 전파 질환의 발생 위험도 높아질 수 있다. 강수량이 적고 불규칙한 건조 지역도 농업 생산량 감소나 식수 부족 등 다양한 기후변화 관련 위험을 초래할 수 있다.

기후변화에 대한 취약성 논의에서 공간적 위치(조건)를 강조하는 접근이 빈번히 사용하는 방법이 핫스팟(hotspot) 분석이다. 아래에서는 자연 재난 핫스팟(natural disaster hotspots) 분석을 통해 취약성에 대한 공간적 접근의 내용과 문제점을 살펴본다. 참고로 자연재난 핫스팟 분석은 재난 대응(구호) 혹은 재난 위험 감소 분야에서 널리 사용되는 분석 방법이다. 전통적으로 기후변화와 재난 위험 대응 분야 사이에 상당한 간극이 있었지만, 최근 들어 '취약성' 개념을 중심으로 이들 영역 간에 수렴 현상이 나타나고 있다. 앞에서 언급했듯이 IPCC는 현재 기후변화 '위험'의 맥락에서 취약성 문제를 바라보고 있다. 기본적으로 재난 위험 대응 접근에서 취약성을 줄이고 적응력을 높인다는 것은 특정 재난(위해)이 발생할 위험이 높은 '핫스팟' 지역을 확인하고 제거하는 것을 의미한다(Schensul & Dodman, 2013, p. 4, 10).

[그림 4-5]에서 볼 수 있듯이 자연재난(태풍, 가뭄, 홍수, 지진, 화산, 산사태) 위험의 공간적 분포와 관련하여 World Bank의 핫스팟 분석(Dilley et al., 2005, p. 35)은 하나 이상의 자연재난으로부터 인명 손실이나 부상 혹은 경제적 손실 같은 부정적 영향을 받을 위험이 상대적으로 높은 지역이 공간적으로 균일하게 분포하는 것이 아니라 특정 지역을 중심으로 집중되는 경향이 있음을 잘 보여 준다. 그림에서 확인할 수 있듯이 우리나라 또한 자연재난(예컨대, 태풍, 홍수, 가뭄) 발생에 따른 인명(사망)이나 경제적 손실 위험의 발생에서 예외는 아니다. 그림에도 자연재난에 따른 인명(사망) 손실 위험이 주로 아프리카, 남아시아, 동남아시아 지역의 개발도상국에서 상대적으로 더욱 뚜렷하게 관측되는 반면에 경제적 손실 위험은 북미나 유럽 지역의 선진국에서도 광범위하게 존재하는 모습을 확인할 수 있다.

[그림 4-5] 자연재난에 따른 인명(상) 및 경제(하) 피해 위험의 전 지구적 분포



출처: “Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis,” Dillely, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L., Arnold, M., Agwe, J., Buys, P., Kjekstad, O., Lyon, B., & Yetman, G., 2005, World Bank, pp. 82-83(Figure 7.1a-b). Copyright 2005 by The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank and Columbia University.

다양한 지역(국가)을 가로질러 직면하는 자연재난 위험의 ‘유형’에서도 상당한 차이가 있다. 예컨대, 사이클론(태풍)의 영향이 서태평양, 남아프리카, 카리브해, 미국 남동부 지역에 집중되지만, 가뭄과 홍수의 위험은 대부분의 대륙(육지+해안)을 아울러 공간적으로 훨씬 더 넓게 분포하는 모습을 보인다. 특히 자연재난 핫스팟 분석은 개발도상국에 거주하는 상당수의 인구가 잠재적으로 기후변화 관련 자연재난 위험이 높은 지역에 거주하는 경향을 잘 보여 준다. 예컨대, 사하라 이남 아프리카 지역의 경우 경작지의 95%가 강수에 의존하며, 5% 미만이 농업용수 관리 체계를 갖추고 있기에 기후에 대한 의존도가 매우 높은 동시에 가뭄에 취약한

구조적 조건을 갖추고 있다(Nash et al., 2013, p. 16, 30). 이는 후속적으로 만성적인 영양 결핍 문제와 맞물려 사망 위험(특히 아동)을 크게 높일 수 있다. 또한 가난하고 식량 수급이 불안정한(농업) 지역에 거주할수록 지속 불가능한 방식으로 자연 자원을 이용하기에 토지나 산림의 황폐화가 가속화될 수 있다(Pinstrup-Andersen, 2002, p. 1208). 한편 개발도상국의 급격한 인구 증가와 맞물린 농업 생산(량) 감소는 도시 지역으로 인구이동(도시화)을 촉발할 수 있지만, 도시 지역으로 이동하더라도 도시 내 취약 지역(예컨대, 해안 저지대 지역)에 거주할 개연성이 높다는 점에서 해수면 상승 등 또 다른 형태의 기후변화 위험에 노출될 개연성이 높다(McGranahan et al., 2007, p. 17).

비록 핫스팟 분석이 특정 위해(재난)에 초점을 맞춘 표적화된 접근을 통해 '위해' 발생의 공간적 분포를 보여 줌과 함께 특정 기후변화 위험을 효과적으로 줄이기 위한 정책적 개입의 기초 자료가 될 수 있지만, 지리적 공간에 초점을 맞추므로써 위해 발생의 구체적인 작동 기제를 보여 주지 못하는 한계가 있다(Schensul & Dodman, 2013, p. 4). 앞에서 언급했듯이 최근 들어 주어진 조건으로 '노출'을 이해하는 접근 대신에 기후변화 위험에 대한 노출 자체가 다양한 사회적 과정을 통해 형성된다는 주장이 제기된다. 예컨대, 해안 저지대 지역(LECZs)과 건조 지역(dryland) 같은 공간적 조건뿐만 아니라 기후변화 대응 기반 시설이나 서비스 전달 체계, 그리고 이들 지역에 거주하는 인구의 빈곤, 생계 방식 같은 물리적 및 사회적 조건도 기후변화 위험에 대한 노출에서 중요한 역할을 할 수 있다. 기후변화의 영향을 정확히 이해하기 위해서는 단순히 공간적 위치에 초점을 맞추는 대신에 어떤 인구 집단이 기후변화 위험에 노출될 개연성이 높은지, 그리고 이들이 기후변화 위험에 노출되는 구체적인 기제가 무엇인지에 대한 이해가 중요하다는 것이다.

다른 한편으로 핫스팟 분석은 기후변화에 대한 취약성을 공간적으로만 구분함으로써 핫스팟 지역에 거주하는 인구의 특징과 역량 등 취약성에서의 이질성을 세부적으로 고려하기가 어렵다. 예컨대, 개발도상국의 취약계층은 기후변화 위험에 노출될 개연성이 높은 지역에 거주할 뿐만 아니라 천수농업 등 생존 차원에서 기후에 대한 의존도가 높고 기후변화의 부정적 영향에 대응할 자원도 적절히 보유하지 못하는 경향이 있다(Hugo, 2011, p. S30; Jiang & Hardee, 2011, p. 300). 또한 핫스팟 분석에 기초한 접근이 특정 위해(재난)에 초점을 맞추지만, 기후변화의 영향은 규모나 시계, 강도에 있어서 재난과 전혀 다른 양상을 보일 수 있다. 이에 따라 특정 위해(재난)에 초점을 맞춘 접근을 통해 기후변화로부터 예상되는 다양하고도 광범위한 파급 효과에 대응하여 취약성을 줄이고 회복력을 강화하기가 쉽지 않음이 지적된다(Schensul & Dodman, 2013, p. 4).

한편 기후변화의 영향에 취약한 인구 집단에 관한 좀 더 의미 있는 공간적 정보를 제공하기 위해서는 전 지구적 차원보다는 소규모 공간 단위에서 나타나는 인구학적 이질성을 포착하려는 시도가 더욱 바람직할 수 있다. 그러나 현재까지도 기후변화와 관련하여 공간적 이질성과 인구학적 이질성을 동시에 고려한 모형을 구축하는 것은 쉽지 않은 과제이다. 한편 기후변화의 영향을 정확히 이해하기 위해서는 어떤 인구 집단이 어떤 기후변화 위험에 노출되는지, 그리고 이들이 기후변화 위험에 노출되는 세부적인 기제가 무엇인지를 이해하는 것과 동시에 제도와 정책의 역할에 대한 고려도 필요하다. 공간적 위치나 사회경제적 조건이 기후변화의 영향에 취약하더라도 효과적인 제도의 존재나 정책적 개입에 따라 기후변화가 초래하는 위험의 양상은 달라질 수 있다.

둘째, 지리적 위치와 함께 기후변화에 대한 취약성 논의에서 또 다른 중요한 이슈가 건조환경(built environment)의 역할이다. 기후변화에

대한 취약성과 관련하여 앞에서 언급한 지리적 조건(자연환경)과 함께 도시로 대표되는 건조환경에 대한 고려가 필요하다는 인식이 증가하고 있다. 앞에서 살펴본 자연환경 혹은 지리적 조건이 기후변화의 영향이 직접적으로 작용하는 공간의 의미를 갖는 반면에 건조환경은 기후변화의 위험을 없애거나 줄여주는 기반 시설이나 서비스에 대한 접근성을 규정함으로써 자연환경 혹은 지리적 조건에서 기후변화의 영향이 전개되는 양상을 조절하는 역할을 한다고 볼 수 있다.

인구가 밀집된 도시 공간, 특히 개발도상국의 도시는 기후변화에 취약할 수 있다. 인구와 경제활동이 집중된 특징으로 인해 도시에서 기후변화로 인한 자연재난이 실제로 발생하면 그 파급 효과는 매우 클 수 있는 것이다. 특히 인구가 급격히 증가하는 개발도상국에서는 도시 지역으로 이동하는 인구가 경제적으로 취약한 동시에 이들이 정착하는 지역이 이미 경제적, 사회적, 환경적 측면에서 취약할 개연성이 높기에 도시 지역으로 이동한 인구가 직면하는 취약성은 더욱 커질 수 있다.

IPCC(2022b, p. 53)의 제6차 평가보고서(AR6)에서는 최근의 도시 인구 증가의 대부분이 개발도상국에서 이루어지며, 아프리카와 아시아의 비계획적 및 비공식적 거주 지역(공간)을 중심으로 기후변화 위험에 취약한 도시 인구의 가파른 증가 현상이 나타나고 있음을 지적한다. 그러나 다른 한편으로 Dodman(2009b, p. 71)이 지적하듯이 적절한 기반 시설이 구축되면 도시는 상대적으로 비용 효과적인 방법으로 기후변화 관련 위해나 재난에 대응할 기회를 제공하기도 한다. 결국 기후변화와 도시화의 관계는 적절한 기반 시설과 서비스의 제공 및 이를 규율하는 제도(정책)의 역할에 의해 조절된다고 볼 수 있다. 건조환경에 관한 이러한 논의는 지리적 공간 자체가 곧바로 기후변화 취약성을 규정하는 것은 아님을 시사한다.

도시화와 건강의 관계에 관해서도 비슷한 논의가 가능하다. 특히 기후변화로 인한 감염성 질환은 인구가 집중되고 보건 기반 시설이 상대적으로 부족한 개발도상국 도시에 큰 문제를 초래할 수 있다. 또한 기후변화와 별도로 도시 환경은 강수량을 줄이고 온도를 상승시키는 등 기후의 국지적 조건을 변화시킬 수도 있다. 예컨대, 인위적으로 조성된 도시 환경은 ‘열섬 현상’을 통해 지구 온난화가 초래하는 문제를 더욱 악화시킬 수도 있다. 이러한 열섬 현상 또한 다양한 건강상의 위험을 초래할 수 있는데, 특히 기후변화의 위험을 부담할 개연성이 상대적으로 높은 개발도상국의 빈곤층이 집중적으로 거주하는 도시 지역에서 그 파급 효과가 더욱 클 수 있다(Kovats & Akhtar, 2008, p. 165). 한편 지난 2020년에 시작된 COVID19 팬데믹이 보여 준 것처럼 인구 고령화의 진행은 만성질환뿐만 아니라 감염성 질환의 파급 효과를 증폭시킬 수 있다. 특히 도시의 인구 밀집은 개인 간 접촉을 통해 감염성 질환의 전파 속도를 높일 수 있으며, 취약계층이 집중적으로 거주하는 지역은 이러한 문제에 더욱 취약할 수 있다. 그러나 도시화와 건강의 관계에 대한 이러한 문제 제기에도 불구하고 체계적으로 설계되고 관리되는 도시 공간은 기후변화로 인한 건강상의 문제를 효과적으로 통제할 수 있는 조건을 제공할 수도 있다.

종합적으로 도시 같은 건조환경의 조성은 기후변화의 위험을 확대하거나 줄이는 데 일정한 역할을 할 수 있다. 다만 도시의 이러한 역할은 건조환경 본연의 특성이 아니기에 건조환경의 설계 및 운영 과정에서 기후변화의 위험을 명시적으로 고려할 필요가 있다. 건조환경으로서 도시가 지닌 이러한 특징은 앞의 기후변화에 대한 인구의 영향(인구 → 기후변화) 부분에서 살펴본 도시의 역할과 마찬가지로이다. 한편 여기에서는 기후변화에 대한 ‘적응’의 측면에서 도시화(밀도)의 문제를 보고 있지만, 기후변화 시대에 도시가 지닌 잠재력을 극대화하기 위해 IPCC(2022a, p. 876)는 도시 공간에서

기후변화에 대한 ‘완화’와 ‘적응’ 전략의 연계 및 이에 따른 시너지 혹은 상쇄 효과의 가능성을 논의하고 있음에도 주목할 필요가 있다.

셋째, 기후변화 취약성과 관련하여 가장 최근에 주목받는 현상이 사회인구학적 취약성이다. 기후변화가 인구에 미치는 영향과 이에 대한 적응이 주목받고 있지만, ‘동일한’ 지리적 공간에 거주하는 모든 인구 집단을 아울러 기후변화의 영향이 균일하게 분포하지는 않으며, 기후변화에 대처하고 적응하는 역량 또한 인구 집단들의 특성에 따라 차별화되는 양상을 보인다(Muttarak et al., 2015, pp. 2-3). 이에 따라 최근 들어 기후변화에 대한 취약성을 고정된 속성으로 이해하는 대신에 지리적(자연환경), 물리적(건조환경), 사회인구학적 과정이 상호작용한 결과로 이해하려는 노력이 점점 더 중요해지고 있다. 아래에서는 기후변화 위험을 인지하고 대응하는 역량에서 차이를 초래할 수 있는 다양한 사회인구학적 요인을 살펴본다. 참고로 여기에서 보고되는 사례는 대체로 개발도상국의 사례이다. 이는 기본적으로 개발도상국이 기후변화 관련 위험에 직면할 개연성이 높은 상황을 반영하며, ‘발전 정책’과 ‘기후변화 대응 정책’이 밀접히 연관되어 있음을 시사한다. 이에 대해서는 제5장에서 좀 더 심층적으로 관련 이슈를 검토한다.

사회인구학적 요인 중에서 아래에서는 연령(아동/노인), 성별(여성), 교육 수준에 초점을 맞추어 기후변화가 취약 인구 집단에 미치는 영향의 양상과 이들 집단이 기후변화의 영향에 노출되고 기후변화의 영향에 대한 적응력이 낮아지는 기제를 살펴본다. 최근 들어 기후변화 대응 정책이 아동, 노인, 여성, 이민자, 빈곤층, 장애인 등 취약한 인구 집단이나 공동체를 대상 집단으로 포괄하기 시작했지만, 이들이 직면하는 구체적인 취약성의 양상과 작동 기제가 충분히 이해되지 않으면 이들을 대상으로 하는 전략은 단순한 구호에 그칠 가능성도 있다. 아동, 노인, 여성, 이

민자, 빈곤층, 장애인 등이 기후변화의 영향에 취약할 개연성이 높지만, 이들 집단이 기후변화 취약성과 동일한 의미는 아니기에 취약성을 초래하는 작동 기제에 대한 이해가 필요하다. 또한 기후변화와 마찬가지로 사회인구학적 요인 또한 시간의 경과에 따라 변동한다는 점에서 그 동태적 양상에도 주목해야 한다.

기후변화 취약성과 관련하여 가장 많은 주목을 받은 사회인구학적 요인이 연령이며, 인구 집단을 기준으로 하면 아동-청소년과 노인이 여기에 해당한다. 비록 기후변화 취약성과 관련하여 연령이 많은 주목을 받지만, 현재까지 ‘생물학적’ 기제와 비교할 때 ‘사회인구학적’ 기제의 역할에 관해서는 제한적인 정보만 제공되고 있다. 우선 전 세계를 아울러 기후변화에 취약한 대표적인 인구 집단이 아동과 청소년임은 잘 알려져 있다. 기후변화의 부정적 영향이 생물학적으로 미성숙한 동시에 사회경제적으로 독립하지 못한 아동과 청소년에서 더욱 크게 나타날 것이라는 우려가 크지만, 기후변화가 아동이나 청소년에 대해 어떤 새로운 형태의 위험 요인들을 만들어 내기보다는 현존하는 위험을 확대 강화할 개연성이 상대적으로 높은 것으로 보인다. 또한 아동과 청소년이 기후변화 위험에 취약할 개연성이 높고 그 영향 또한 생애에 걸쳐 장기간 지속될 수 있지만, 기후변화에 대응하는 조치들은 아동-청소년의 취약성과 함께 이들이 보유한 잠재적 회복력도 염두에 둘 필요가 있음이 지적된다(Bartlett, 2009, p. 133).

기후변화에 취약한 대표적인 인구 집단이 아동과 청소년이라는 점은 인구변동의 특징과도 어느 정도 관련이 있다. 대부분의 선진국을 아울러 저출산 및 이로 인한 인구 고령화 현상이 심화되고 있지만, 출산율 감소가 상대적으로 정체된 개발도상국을 중심으로 전체 인구에서 아동 및 청소년 인구의 구성비가 매우 높은 특징을 보인다. 예컨대, UN(2022c)의 세계인구전망(World Population Prospects 2022)에 의하면 2021년 기준으

로 전 세계의 20세 미만 인구(아동-청소년)의 구성비가 33.36%이지만, 북아프리카를 제외한 사하라 이남 아프리카 지역의 20세 미만 인구의 구성비는 52.80%에 이른다. 소득 기준으로는 고소득 국가의 20세 미만 인구의 구성비가 21.81%임에 비해 저소득 국가의 20세 미만 인구의 구성비는 52.96%로 2배 이상 높다.<sup>55)</sup> 더욱이 사하라 이남 아프리카 지역이나 저소득 국가일수록 상대적으로 기후변화에 더욱 취약할 수 있는 5세 미만 인구의 구성비가 매우 높은 패턴을 보인다(15~16%).

현재까지 기후변화가 아동-청소년에 미치는 영향을 직접적으로 검토한 연구가 부족하고 기후변화가 미치는 영향을 연령 및 성별로 세분하여 보고하는 사례도 많지 않다. 기후변화가 아동-청소년에 미칠 수 있는 영향으로 사망 위험이 지적되는데, 이는 대체로 ‘자연재난’ 현상을 중심으로 보고된다. 예컨대, 자연재난으로 인한 아동의 상대적 사망 위험과 관련하여 1993년 네팔 살라히 지역을 휩쓴 홍수가 초래한 사망의 양상을 분석한 연구(Pradhan et al., 2007, p. 64, 66)에 의하면 남녀 모두 아동(2~9세)의 사망률이 성인(15~70세)의 2배를 넘어서는 것으로 나타난다. 더욱이 사회적 지위(토지 소유권 기준)가 낮은 가구의 아동 사망률은 사회적 지위가 높은 가구의 6배 이상으로 나타나고 있다. 2004년의 인도양 지진과 후속의 쓰나미를 분석한 연구(Nishikiori et al., 2006)에서도 준거 집단인 20대에 비해 5세 미만 아동은 자연재난으로 인해 사망할 개연성(오즈)이 5.87배, 5~9세 아동은 3.91배 높은 것으로 분석된 바 있다.

재난 상황과 더불어 기후변화가 아동-청소년에 미칠 수 있는 또 다른 위험으로 영양 결핍과 위생 문제 및 그 결과로 나타나는 건강상의 위험이 있다. 특히 저소득 가구에 속한 아동-청소년은 영양 결핍과 위생 문제를 경험할 개

55) 참고로 UN의 인구통계에서 사용하는 소득 기준은 세계은행(World Bank)의 1인당 GNI 지표이다.

연성이 높으며, 면역력이 낮은 상황에서 환경 변화와 관련된 질병에 노출될 개연성이 높은 것으로 알려진다(Bartlett, 2009, pp. 136-138). 기후변화로 말라리아, 뎅기열, 뇌염, 라임병 같은 매개체 전파 열대성 질환이 발생하는 지역이 확대될 수 있는데, 특히 면역력이 약한 아동이 이러한 질환이 초래하는 문제에 더욱 취약할 수 있다(Bunyavanich et al., 2003, p. 48). 더 나아가 이러한 열대성 질환은 전반적인 아동 발달에도 부정적인 영향을 미친다는 증거가 있다(Bartlett, 2009, p. 139). 예컨대, 말라리아는 뇌 손상, 빈혈, 영양 부족 등의 직간접적 경로를 통해 아동의 인지 및 행동 발달에도 부정적 영향을 미칠 수 있음이 보고된다(Holding & Snow, 2001, p. 68).

마지막으로 아동-청소년은 '열 스트레스'(heat stress)에도 취약한 것으로 알려진다. 브라질 상파울루에서 이루어진 연구(Gouveia et al., 2003, p. 392)는 20°C를 넘어서는 평균 온도에서 추가적인 1°C 상승이 사망률(all-cause mortality)에 미치는 영향에서 성인(15~64세; 1.5%)보다 아동(15세 미만; 2.6%)이 더 취약함을 보고한다. 사망뿐만 아니라 지구 온난화는 질환의 발생 위험도 높인다. 페루 리마에서 10세 미만 아동의 입원율을 분석한 연구(Checkley et al., 2000, pp. 447-448)는 1997~1998년에 발생한 엘리뇨와 주변(실외) 온도 상승으로 아동기 질환과 사망의 주요 원인인 설사병 입원율이 크게 증가하였음을 보고한다. 이 연구에서 엘리뇨 기간의 입원율은 이전 기간과 비교해 2배 수준까지 상승하였으며, 엘리뇨 발생 이전 기간에도 주변 온도가 1°C 상승하면 입원율이 8% 증가하는 것으로 분석되었다.

아동과 마찬가지로 노인도 자연재난이나 지구 온난화가 초래하는 문제에 취약함이 보고된다. 2004년의 인도양 지진과 후속의 쓰나미를 분석한 연구(Nishikiori et al., 2006)에서 50세 이상 고령층의 사망 위험은 20대(준거 집단)에 비해 2.27배 높은 것으로 분석되었다. Zagheni et al.(2015, p.

67)의 연구도 태풍과 홍수 같은 자연재난에 의한 사망 위험이 아동과 노인에서 높게 나타남을 보여 주는데, 특히 여성에서 이러한 패턴이 강하게 나타남을 지적한다. 또한 온도와 사망 위험의 관계를 분석한 선행 연구들은 아동과 마찬가지로 노인에서 사망 위험이 높게 나타나는 U-자형의 관계를 보고한다(Basu & Samet, 2002, p. 198; Gouveia et al., 2003, p. 396). 아동-청소년과 마찬가지로 노인이 기후변화 관련 위험에 취약한 집단으로 인식되지만, 두 집단의 공통점과 차이점에 대한 정확한 이해도 중요한 이슈로 부상하고 있다. 예컨대, 기후변화 관련 위험은 인구 고령화나 가구 변동과 맞물려 진행되기도 한다. 이러한 과정에서 부모와 동거할 개연성이 높은 아동-청소년과 달리 인구 고령화에 따른 1인 고령 가구의 구성비 증가는 폭염 같은 기후변화에 대한 노인층의 취약성을 가증시키는 측면이 있다. 반면에 아동-청소년은 생물학적으로 미성숙한 동시에 사회경제적으로 독립하지 못한 관계로 경제적 조건(특히 개발도상국의 저소득 가구)의 영향을 크게 받을 개연성이 있다.

기후변화 취약성과 관련하여 주목을 많이 받는 또 다른 사회인구학적 요인이 생물학적 성이나 사회문화적 성 역할 및 이에 기초한 성 불평등이다. 현재까지 기후변화 문제의 ‘완화’ 관련 연구에서 생물학적 성이나 사회문화적으로 구성된 성 역할이 어떠한 함의를 갖는지에 관한 심층적인 논의를 찾기는 매우 어렵다. 이와 대조적으로 기후변화가 인구에 미치는 영향과 이에 대응하는 ‘적응’ 논의에서는 성별, 특히 기후변화 위험에 대한 여성의 취약성이 지적된다.

성 불평등은 기후변화 문제의 ‘완화’와도 일부 관련될 수 있지만, 기후변화에 대한 ‘적응’ 전략 차원에서 특히 중요한 이슈이다. 다른 영역과 마찬가지로 기후변화에 대한 취약성과 성 불평등의 연관성은 노동의 성별 분업과 관련이 있다. 개발도상국과 선진국을 모두 아울러 여성들이 무급

노동에 종사하는 경향이 강하며, 남성들과 마찬가지로 유급 노동에 종사 하더라도 추가로 가사나 양육 관련 부담에 직면할 개연성이 높다. 특히 개발도상국에서는 여성이 연료나 식수 조달 등 자연환경과 직접 접촉하는 경향이 상대적으로 강하며, 기후변화로 인해 여성이 담당하는 이러한 자연 자원 의존적 생계 활동이 초래하는 위험이 커질 수 있다(Alber, 2009, p. 150). 또한 여성이 아동이나 노인 등 피부양 가족을 주로 보호하는 상황도 여성을 환경 변화에 따른 위험에 취약하게 하는 조건을 만들기도 한다. 2004년의 인도양 지진과 후속의 쓰나미를 분석한 연구(Nishikiori et al., 2006)는 아동을 양육하는 중년 여성도 ‘이동성’의 제약으로 인해 자연재난 발생 시 위험에 직면할 개연성이 높음을 시사한다. 자연재난 같은 극한 상황이 발생할 때 실내를 중심으로 이루어지는 양육 활동은 돌봄 제공자의 이동 가능성을 크게 제약하는 요인이 될 수 있다는 것이다. 한편 후속적으로 주된 돌봄 제공자(여성)의 상실은 남아 있는 아동과 노인 등 피부양자의 기후변화 취약성을 더욱 높일 수 있다.

기후변화 위험에 여성이 상대적으로 더욱 취약한 것은 남성과 여성의 경제적 자원과 권력에서의 격차와도 관계가 있다(Alber, 2009, pp. 150-151). 이러한 성별 격차는 여성이 기후변화의 위험을 회피하거나 기후변화 위험에 대응하는 역량을 축소시킬 수 있다. 1981~2002년 기간에 걸쳐 141개 국가에서 발생한 4,605건의 자연재난이 기대여명에 미친 영향을 분석한 Neumayer and Plümper(2007, p. 551, 556)의 연구는 생물학적 차이 대신에 남성과 여성의 사회경제적 격차가 여성의 높은 사망률의 주된 요인임을 지적한다. 또한 자연재난의 강도가 클수록 기대여명의 성별 격차에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타난다. 이들의 분석 결과는 또한 여성의 사회경제적 지위(SES)가 높을수록 자연재난에 따른 기대여명의 성별 격차가 줄어드는 패턴을 보고한다.

한편 남성과 여성의 생물학적 차이에 기인한 요인들도 기후변화에 대한 여성의 취약성에 영향을 미칠 수 있다. 예컨대, 임신-출산 전후에 경험하는 재생산 건강 문제나 이동성 제약은 기후변화에 대한 여성의 취약성을 높이는 원인이 될 수 있다(Alber, 2009, p. 152). 물론 남성과 비교할 때 여성이 항상 극한 기상이나 자연재난에 취약한 것은 아니라는 점도 지적된다. 예컨대, 수문기상학적 재난으로 인한 사망률의 성별 격차를 분석한 Zagheni et al.(2015, p. 64)의 분석에서는 거의 대부분의 국가에서 남성의 사망률이 여성에 비해 높은 수준임을 보고한다. 비록 홍수나 태풍 같은 특정 자연재난에 초점을 맞춘 분석이지만, 이들의 분석 결과는 위험 부담 행동(risk-taking behavior)에서 나타나는 성별 차이가 일정한 역할을 할 수 있음을 시사한다. 예컨대, 지진이나 쓰나미 같은 급작스럽게 발생하는 자연재난에서는 여성의 취약성이 높지만, 남성이 실외에서 작업을 하거나 여가 활동을 하는 경향이 강한 점은 태풍이나 홍수 같은 자연재난 발생 시 남성의 취약성을 높일 수 있다. 이러한 점은 기후변화를 포함한 환경 변화에 따른 취약성을 이해하기 위해서는 환경 변화의 특성과 함께 남성과 여성의 경제적 및 사회문화적 특성의 세부적 작동 기제를 이해할 필요가 있음을 시사한다.

취약성의 사회인구학적 분포와 관련하여 교육도 주목을 많이 받는 요인에 해당한다. 특히 취약성의 ‘사회인구학적’ 작동 기제 측면에서는 앞에서 살펴본 연령, 성별, 성 역할에 비해 상당히 세부적인 검토가 이루어지고 있다. 앞에서 기후변화에 대한 인구의 영향(완화) 측면에서 교육이 중요한 역할을 한다는 점을 지적하였지만, 교육은 기후변화에 대한 취약성을 줄이고 적응 역량을 높이는 측면에서도 중요한 요인으로 지적된다. 이론적으로 교육은 직접적으로 인지 능력, 문제 해결 능력, 지식 향상, 위험 인지에 기여하는 한편 간접적으로 빈곤 완화, 정보 접근, 사회자본 제공

등의 기제를 통해 기후변화에 대한 취약성을 줄일 수 있다(Muttarak & Lutz, 2014). 경험적 연구 또한 이러한 논의를 지지한다. O'Neill et al.(2020, p. 520)의 연구는 교육 수준의 상승이 인간개발지수(HDI)를 높여 기후변화에 대한 적응 역량을 강화하는 효과가 있음을 보고한다. 2012년 인도 해양 지진 후 쓰나미 경고 메시지를 받은 태국 안다만(Andaman) 해안 거주자를 대상으로 이루어진 연구(Muttarak & Pothisiri, 2013)는 교육 수준이 높을수록 재난에 대비한 예방적 조치를 취할 개연성이 높음을 보여 준다. 또한 과거에 재난을 경험하지 않은 대상자 집단에서도 교육은 재난 대비 조치와 정적(+)으로 연관됨을 보여 준다. 한편 교육 수준이 높을수록 재난 위험을 완화하는 데 핵심적인 역할을 하는 '재난 교육'의 효과성 또한 높은 모습을 보여 준다. 이러한 연구들은 교육이 이미 발생한 재난의 부정적 영향을 줄이는 동시에 사전적으로 재난에 대한 취약성을 감소시키는 측면에서도 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다.

2004년 인도 해양 쓰나미 전후 인도네시아 수마트라의 두 지역을 대상으로 이루어진 종단 연구(Frankenberget al., 2013)는 대규모 자연재난에 직면한 상황에서 교육의 보호 효과를 잘 보여 준다. 이들의 연구 결과는 쓰나미에 의해 심각한 피해를 본 지역에 거주하는 성인 중에서 교육 수준이 높은 남성일수록 생존할 개연성이 높음을 보여 준다.<sup>56)</sup> 비록 단기적인 효과는 없지만, 교육은 또한 장기적으로 쓰나미 생존자의 외상 후 스트레스 대응 측면에서도 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 교육이 장기적으로 재난 경험 후의 높은 회복력에도 연관될 수 있음을 시사한다.

한편 네팔의 촌락을 단위로 자연재해(홍수, 산사태)에 대한 취약성을 분석한 KC(2013)의 연구는 교육과 소득/부 등 사회경제적 지위의 다양한 지표들의 상대적 중요성에 초점을 맞추었다. 그의 분석에 의하면 효과

56) 다만 교육은 여성의 생존과는 유의하게 연관되지 않는 것으로 나타났다.

가 불분명한 소득/부에 비해 교육은 자연재난의 영향을 받는 가구의 규모 뿐만 아니라 인명 손실과 재산(가축) 피해의 규모를 줄이는 측면에서도 유의한 효과를 보이는 것으로 나타났다. 이들을 대상으로 한 심층 면접 결과는 소득/부에 비해 자연재난에 대한 교육의 광범위한 효과는 정보에 대한 접근, 아이디어 혁신, 효과적인 대응 조직의 구성과 함께 자연재난에 대응하는 능력(리더십)의 효과성에 기인함을 시사한다. 엘살바도르와 브라질의 저소득 지역을 대상으로 불리한 기후 조건에 대처하고 적응하는 능력에서 차이를 초래하는 요인들을 분석한 연구(Wamsler et al., 2012)도 교육의 효과가 다차원적으로 작동함을 보여 준다. 직접적으로 교육은 현존하는 위험에 대한 이해를 높이고, 잠재적으로 발생할 수 있는 위험에 대한 예방적 조치를 취하도록 하며, 자연재난이 반복적으로 발생할 위험이 높은 지역에서 벗어나도록 하는 효과가 있음을 보여 준다. 교육은 또한 간접적으로 건강 악화, 거주지 불안정 등 자연재난 위험을 높일 수 있는 다른 위험 요인들을 통제하는 잠재력을 보여 준다.

Wamsler et al.(2012)의 논의처럼 자연재난에 대응하는 또 다른 방법이 인구이동이다. 말리와 세네갈에서 환경이 초래한 인구이동에서 교육의 역할을 분석한 연구(van der Land & Hummel, 2013)는 교육 수준이 높을수록 환경 변화에 민감한 경제활동(예컨대, 농업)에 의존하지 않을 개연성이 높기에 교육은 환경 스트레스에 대한 취약성 완화 측면에서 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다. 비록 인구이동 경험에서 유의한 효과를 발견하지는 못했지만, 이들의 연구는 교육 수준에 따라 인구이동의 동기(목적)에서 큰 차이가 있음을 보고한다. 이들의 분석 결과는 교육 수준이 높을수록 교육과 직업훈련을 목적으로 이동하지만, 교육 수준이 낮은 인구 집단에서는 노동 이주가 환경 변화에 따른 취약성을 줄이는 전략일 수 있음을 시사한다.

앞에서는 기후변화 취약성과 관련된 사회인구학적 요인들에 초점을 맞추었지만, 이러한 요인들이 개인들을 기후변화 위험에 노출시키고 이들의 대처 및 적응 역량을 떨어뜨리는 기제를 이해하는 것도 중요하다. 이러한 측면에서 인구변동과 기후변화 취약성을 매개하는 기제로 특히 빈곤과 발전에 주목할 필요가 있다. 예컨대, 빈곤층은 기후변화 위험을 막거나 줄이는 기반 시설이나 서비스에 대한 접근성이 낮을 수 있다. 또한 기후변화에 대한 준비가 부족하며, 기후변화에 민감한 방식으로 생계를 유지할 개연성이 높다. 더욱이 공간적으로도, 특히 도시 지역에 거주하는 빈곤층은 기후변화 위험이 상대적으로 높은 지역에 집중적으로 분포할 개연성이 높다. 고소득층이 사회경제적 자원을 활용해 기후변화 위험을 줄이거나 기후변화 위험이 있는 지역에서 벗어날 수 있는 반면에 대부분의 빈곤층은 생계는 물론 자산, 사회 연결망, 문화가 그들이 거주하는 공간으로 제한됨으로 인해 안전한 지역으로의 이동이 쉽지 않고 보유하고 있는 자원을 통한 대응도 쉽지 않을 개연성이 높다. 더욱이 고소득층의 이동이 기후변화에 대한 위험을 줄이고 적응력 향상으로 이어질 개연성이 높지만, 자원과 정보가 부족한 빈곤층은 적응력을 높이는 목적으로 이동을 선택하기 어렵고 기후변화 위험 지역에 그대로 체류할 개연성이 높다. 기후변화와 인구 이동에 대해서는 다음 절에서 좀 더 세부적으로 논의한다.

여성과 아동이 기후변화 위험에 노출되고 대처 및 적응 역량이 상대적으로 낮은 문제는 발전과 연계될 수 있다. 물론 여기에서 의미하는 발전은 빈곤 완화 같은 경제적 발전에 국한되지 않으며, 인간 개발이나 건강 등을 모두 아우른다. 특히 발전 역량의 부족은 개발도상국에서 여성과 아동이 경험하는 기후변화 취약성의 중요한 기초가 될 수 있다. 참고로 개발도상국을 중심으로 재생산권 및 재생산 건강 보장이 여성의 역량을 높이고 발전의 기초가 될 수 있다는 점은 1994년의 카이로 국제인구개발회의(ICPD)가 제시한

핵심 메시지이다(UN, 1995, p. 22). 마찬가지로 발전 이슈는 신체적 및 인지적 미성숙과 맞물려 아동이 기후변화 위협에 구조적으로 노출되고 영향을 받는 문제의 기초가 될 수 있다.

발전은 기후변화 위협에 대응하는 제도의 역량에도 영향을 미칠 수 있다. 자연재난으로 인한 피해는 단순히 자연재난의 기상학적 특징이나 해당 지역의 지리적 조건을 넘어 제도적 대응 양상에 의해 큰 차이를 보일 수 있다. 예컨대, 선진국과 개발도상국이 태풍에 의한 사망 패턴에서 큰 차이를 보이는 점은 사회경제적 발전과 이에 따른 제도적 대응에서의 차이를 시사한다. 자연재난의 역학적 양상을 분석한 선행 연구는 발전과 자연재난으로 인한 사망률 간에 강한 음(-)의 관계가 존재하며, 개발도상국의 자연재난에 의한 사망의 상당 부분이 발전 과정을 통해 예방할 수 있음을 시사한다(Zagheni et al., 2015, p. 65). 예컨대, 개발도상국에서 발생한 태풍에 의한 사망이 주로 영향 단계(impact phase)의 태풍 해일에 의해 발생하는 반면에 선진국에서는 태풍에 의한 사망자 수가 절대적으로 적은 동시에 태풍의 영향이 지난 단계(post-impact phase)에서 주로 발생함이 보고된다(Shultz et al., 2005, p. 24). 일본과 필리핀에서 매년 태풍에 노출되는 인구가 비슷하지만, 필리핀의 사망 위험이 일본보다 17배 높은 것으로 보고되는데(ESCAP/ISDR, 2009; as cited in Nakasu, 2011), 이 또한 국가의 발전 수준과 제도적 대응의 차이를 반영하는 것으로 해석해 볼 수 있다. 일반적으로 선진국과 비교할 때 개발도상국의 피해가 큰 것은 열악한 기반 시설과 주택 구조, 고밀도 거주, 조기 경보 시스템의 부족, 비체계적인 대피 절차와 대피 시설 등에 기인하는 것으로 지적된다(Doocy et al., 2013). 이러한 점은 기후변화 및 이와 관련될 수 있는 자연재난에 대한 적응의 문제가 '발전'과 구분되는 별개의 문제가 아니며, 기후변화 대응 정책과 발전 정책의 연계가 매우 중요함을 시사한다.

## 제4절 기후변화와 인구동태

기후변화가 건강, 복지, 재난, 안전 등에 미치는 영향과 비교할 때 현재 까지 기후변화가 출산, 사망, 이동 같은 인구학적 과정에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 이론적 및 경험적 연구는 매우 제한적이다.<sup>57)</sup> 기후변화와 인구동태의 관계를 분석하기 어려운 것은 두 현상의 관계에 관한 논의에서 단순 결정론적 논리 구조(예컨대, 인구 증가 → 환경 훼손 → 인구 유출)를 적용하기가 쉽지 않은 것과도 관계가 있다(Hugo, 2011, p. S29). 예컨대, 농촌 지역의 급격한 인구 증가는 농업이 수용할 수 있는 능력(carrying capacity)을 제한하여 직접적으로 인구 유출을 초래할 수 있다. 또한 인구 증가로 인한 토지의 이용 증가는 환경 훼손을 초래하며, 이는 후속적으로 환경이 해당 지역 인구에 제공할 수 있는 수용력을 추가로 줄일 수 있다. 물론 인구이동 없이 농업 혁신 등 증가하는 인구를 환경이 수용할 수 있도록 조정하는 방식도 가능할 수 있다.

현재까지 기후변화가 인구학적 과정에 어떠한 영향을 미치는가에 관해서는 체계적인 평가나 합의가 부재한 상황이다. 향후 인구변동에 대한 기후변화의 영향을 체계적으로 이해하기 위해서는 현재 및 미래에 전개될 기후변화가 인구변동 요인(출생, 사망, 이동) 및 인구의 규모와 구조에 미치는 영향의 여부와 수준, 그리고 세부적인 작동 기제를 이해할 필요가 있다(Muttarak, 2021, p. S91). 기후변화가 인구동태에 미치는 영향을 살펴보는 이 절에서는 통상적인 인구변동 요인(출산력, 사망력, 이동력)에 초점을 맞추되 필요시 이들 인구변동 요인에 영향을 미치는 근접 요인을

57) 이 절의 분석 초점은 기후변화가 인구변동 요인들에 미치는 영향이다. 정책적 측면에서 본다면 주로 '적응' 전략과 관련이 있다. 물론 출산력, 사망력, 이동력 같은 인구변동 요인들은 앞에서 살펴본 인구의 규모(성장), 구성, 분포에서의 변화를 통해 기후변화에도 영향(완화)을 미칠 수 있다.

함께 살펴본다. 예컨대, 기후변화가 사망력에 미치는 영향에 관한 논의에서는 기후변화가 건강에 미치는 영향을 포함하여 관련 이슈를 통합적으로 살펴본다.

## 1. 출산력

기후변화가 출산력에 미치는 영향의 작동 기제가 잘 알려지지 않은 상황이지만, 현재까지의 논의는 뒤에서 검토하는 사망력이나 이동력에 비해 출산에 대한 기후변화의 영향이 상대적으로 크지 않을 것임을 시사한다. 기후변화가 출산에 미치는 영향에 관한 논의는 크게 임신 전 및 임신 중의 고온 노출 같은 기후변화의 직접적인 영향과 재생산 건강 서비스와의 접근성 등 기후변화가 다른 사회경제적 요인들과 연계하여 간접적으로 초래하는 영향으로 구분해 볼 수 있다. 우선 기후변화가 출산력에 직접적으로 미치는 영향은 대체로 임신 전후로 구분되어 진행되는 모습을 보인다. ‘임신 전 고온-저온 노출’의 영향에 관한 연구는 대체로 임신율(출생률)과의 관계에 초점을 맞춘다. 임신의 계절성(seasonality)과 기후(기온)와의 상관관계에 관한 논의가 있지만, 현재까지 기후변화가 임신-출산에 미치는 인과적 영향에 관한 연구는 상당히 제한적이다. 폭염이 임신율에 부정(-) 영향을 미친다는 Lam and Miron(1996, p. 291)의 연구가 있지만, 이들의 분석에서 폭한의 영향은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타난다. 또한 이들의 연구에서는 ‘평균(월) 기온이 사용됨으로써 ‘극한 기온’의 영향이 제대로 포착되지 못한 한계도 있다. 헝가리에서 1980~2015년에 걸쳐 축적된 680만 건의 임신 행정 데이터를 분석한 Hajdu and Hajdu(2022, pp. 1759-1760)의 연구도 임신 전에 노출된 온도가 임신율에 미치는 영향을 분석하였다. 이들의 분석 결과는 임신 전 고온(25℃ 초과) 노출의 영향은

고온 노출 후 5주까지 임신율을 낮춘 후 부분적으로 회복되는 모습을 보이는데, 인공임신중절과 자연유산이 임신율 감소를 주도하는 요인임을 보여준다. 비록 고온 노출이 임신율을 낮추는 주된 기제가 명확히 알려지지 않은 상황이지만, 남성과 여성의 재생산 건강에 부정적 영향을 미칠 개연성이 지적된다. 특히 임신 전 고온 노출이 임신의 초기 단계에 의학적으로도 확인하기 어려운 임신 소실(pregnancy loss)로 이어질 개연성이 지적된다(Hajdu & Hajdu, 2021a, p. 5).

다음으로 '임신 중'에 이루어진 고온-저온 노출의 영향에 관한 연구에서는 임신 소실과 출생아의 건강이 주요 이슈이지만, 작은 표본 규모나 관측 기간의 제한 등의 문제로 인해 임신 중에 경험한 고온-저온 노출이 태아 건강(사망)에 미치는 영향에 관한 정보는 제한적이다. 비록 명확한 인과 기제가 알려지지는 않지만, 최근에 이루어진 문헌 검토 연구는 임신 중, 특히 임신 후기에 이루어진 고온( $>23.4^{\circ}\text{C}$ )-저온( $<15^{\circ}\text{C}$ ) 노출이 사산 위험을 높일 수 있음을 보고한다(Sexton et al., 2021). 반면에 행정 데이터를 활용하여 고온-저온 노출이 임신 소실에 미치는 영향을 간접적으로 추정한 연구(Hajdu & Hajdu, 2021b)는 임신 초기에 경험한 고온 노출이 임상적으로 관측되지 않는 임신 소실률을 증가시킬 개연성을 보고한다. 한편 최근에 이루어진 문헌 검토 연구는 임신 중에 폭염, 초미세먼지( $\text{M}_{2.5}$ ;  $2.5\mu\text{m}$  미만), 오존 같은 대기오염물질에 노출되면 조산이나 저체중 위험이 높아질 수 있음을 지적한다(Bekkar et al., 2020; Dalugoda et al., 2022). 다만 상관관계를 넘어 현재까지 고온-저온 노출과 출산 결과 사이의 인과적 관계를 경험적으로 분석한 연구는 많지 않다. 임신 중의 기온(고온-저온) 및 강우 충격이 임신 기간(임신주수; gestational lengths)에 미치는 인과적 영향을 분석한 경험적 연구들은 일관된 결과를 보고하지 않는다(Andalón et al., 2014; Barreca & Schaller, 2020; Conte Keivabu & Cozzani,

2022; Ngo & Horton, 2016). 반면에 선행 연구에서 임신 중의 ‘고온 노출’이 저체중 위험을 유의하게 높인다는 점은 상당히 일관되게 나타난다. 다만, 임신 중의 ‘저온 노출’과 저체중 위험의 관계는 일관된 패턴을 보이지 않는다(Chen et al., 2020; Conte Keivabu & Cozzani, 2022; Deschênes et al., 2009; Ngo & Horton, 2016).

실제 출산 행위를 다루지는 않지만, 출산 의향(fertility intention)에 관한 일부 연구들이 진행된 바 있다. 기후변화를 포함하여 환경에 미치는 부정적 영향과 미래 세대의 복지 측면에서 일반적으로 기후변화를 둘러싼 부정적 미래 전망이 출산 의향에 부정적 함의를 가질 것으로 기대하지만, 경험적 연구들은 일관된 결과를 보고하지는 않는다. EU 국가를 대상으로 한 De Rose and Testa(2013)의 연구에서 기대 자녀 수는 기후변화에 관한 우려와 강하게 연관되지 않으며, 일부 통계적으로 유의한 분석 결과에서도 일반적인 기대와 달리 기후변화에 관한 우려가 클수록 기대 자녀 수가 많은 관계가 나타났다. 반면에 벨기에와 이탈리아의 대학생을 대상으로 한 연구(Bisi et al., 2024)는 기후변화에 관한 ‘비관적’ 시나리오(vignette)에 노출된 집단의 출산 의향이 기후변화 정보에 노출되지 않은 통제집단에 비해 낮은 패턴을 발견하였다. 그러나 기후변화에 관한 ‘낙관적’ 시나리오에 노출된 조건에서는 국가를 가로질러 일관된 패턴이 나타나지 않았다. O’Sullivan(2021, p. 329)은 기후변화가 개인(부부) 차원의 출산 결정에 유의미한 영향을 미칠 수 있지만, 환경(기후) 변화가 (다양한 요인들이 복잡하게 작용하는) 국가 차원의 출산율을 변화시킬 정도로 큰 영향을 미칠 개연성은 높지 않다는 점을 지적한다.

한편 기후변화가 출산에 미치는 영향은 개별 요인 차원에서 독립적으로 작동하기도 하지만, 다른 조건들과 연계하여 ‘간접적으로’ 나타날 개연성도 생각해 볼 수 있다. 환경 변화가 간접적으로 출산에 미치는 영향은 일종의

인구학적 ‘적응’ 행동으로 이해할 수 있다. 환경 변화가 간접적으로 출산에 미치는 영향을 분석하는 틀로 사용할 수 있는 대표적인 이론으로 위험 사회론이 있다. 예컨대, 독일 사회학자 Ulrich Beck의 ‘위험사회’(risk society) 분석 틀에 기초하여 인구변동을 분석하는 Winter and Teitelbaum(2013, p. 19, 62, 73)은 선진국을 가로질러 나타나는 저출산 현상을 위험사회의 인구학적 단면으로 이해한다.<sup>58)</sup> 이들은 정치적, 사회적, 경제적 위험과 함께 환경적 위험을 개인의 통제 밖에 존재하는 위험 요소로 인식하며, 선진국을 가로질러 나타나는 출산율 하락 현상을 이러한 통제 밖의 위험에 대응하는 위험 최소화 전략으로 이해한다. 그러나 이들의 분석에서 1986년의 우크라이나 체르노빌 원전 사고 같은 환경 위험 사례가 언급되지만, 경험적 검증이 가능한 방식으로 환경적 요인이 출산에 미치는 영향을 논의하지는 않는다.<sup>59)</sup>

최근 들어 특정 경제적 기제에 초점을 맞추어 기후변화와 출산의 관계를 간접적으로 설명하려는 시도가 이루어진 바 있다. 이 접근은 기후변화가 경제 부문 내부의 구조 변화를 통해 간접적으로 출산에 영향을 미치는 기제를 분석한다(Casey et al., 2019). 식량 생산이 기상 조건에 크게 의존하는 관계로 기후변화는 저위도 열대 지역에 상대적으로 부정적 영향을 미칠 개연성이 높으며, 이로 인해 농산물 가격의 상승과 농업 부문으로의 노동력 재배치에 대한 요구가 커진다. 그러나 다른 부문에 비해

58) Beck(1996)의 위험사회 인식에서 환경 문제는 중요한 부분을 차지한다. 다만 위험사회에 관한 그의 가족사회학적 분석(3~6장)에서는 환경 문제보다는 노동시장이 중심적인 위치를 차지한다.

59) 위험사회에서는 위험의 크기를 가늠할 수 없으며, 위험의 크기를 헤아릴 수 없다는 사실 자체가 위험사회가 제기하는 문제의 일부를 구성한다. 위험사회 분석 틀에서는 (확률과 구분하여) 불확실성이 매우 중요한 개념으로 등장한다. 확률 분포가 주어진(알려진) 조건하에서는 어떤 사건이 발생할 개연성을 계산할 수 있는 반면에 불확실성의 경우 이러한 계산이 훨씬 어려운 관계로 개인들은 불확실성과 관련된 위험을 최소화하는 행위 양식을 보인다(Winter & Teitelbaum, 2013, p. 3, 42).

상대적으로 숙련노동에 대한 수요가 낮은 농업 부문의 특성상 교육 같은 자녀의 질적 측면에 대한 투자 수요가 낮고 상대적으로 출산을 많이 할 유인이 높은 모습을 보인다. 교육에 대한 투자 감소가 여성의 출산에 대한 기회비용을 감소시키는 것도 출산을 선택할 유인으로 작용할 수 있다. 반대로 이들의 분석 결과는 기후변화의 부정적 영향이 상대적으로 작은 비농업 부문 중심의 중위도-고위도 지역에서는 교육에 대한 투자 수요가 커지고 출산율이 더욱 감소할 유인이 발생함을 보여 줌으로써 기후변화에 따라 공간적 불평등이 확대될 개연성을 제시한다. 이러한 분석 결과는 고출산 현상이 유지되는 저위도 개발도상국과 저출산 현상에 직면한 중위도-고위도 선진국의 인구학적 차이가 기후변화로 인해 더욱 확연히 나타날 개연성을 시사한다.

기후변화와 출산의 관계를 간접적으로 설명할 수 있는 또 다른 기제로 재생산 건강 서비스에 대한 접근성이 있다. 열악한 사회경제적 조건에도 불구하고 높은 출산율을 유지하는 사하라 이남 아프리카 지역의 사례가 보여 주듯이 가족 규모에 관한 가치관에서 근본적인 변화가 나타나지 않는 한 출산율 감소를 기대하기는 쉽지 않다. 그러나 다른 한편으로 현재 개발도상국의 높은 출산율은 출산 욕구와 함께 원하지 않는 임신-출산의 영향을 강하게 받는 것으로 알려진다(Bongaarts, 1994, p. 774). 이러한 상황은 가족계획 같은 재생산 건강 서비스가 기후변화와 출산의 관계를 매개하는 다른 중요한 기제가 될 수 있음을 시사한다. 예컨대, 경제 상황 악화 등 기후변화의 부정적 영향으로 가족계획 서비스에 대한 접근성이 떨어지면 원하지 않는 임신-출산의 증가로 출산율이 상승할 개연성을 생각해 볼 수 있다.

참고로 1990년대 중반 이후 개발도상국 대상 가족계획 프로그램에 대한 재정적 지원이 크게 줄어든 상황에서 COVID19의 확산은 개발도상국의

재생산 건강 서비스에 대한 접근성을 크게 떨어뜨린 것으로 보고된다 (Makins & Arulkumaran, 2020, p. 141; Pilecco et al., 2021, p. 1). 이러한 재생산 건강 서비스에 대한 접근성 감소는 원하지 않고 안전하지 않은 임신-출산과 모성 사망으로 이어질 수 있다. 예컨대, AP 통신에 의하면 전 세계적으로 COVID19가 크게 확산한 2020년 5월 중순에서 7월 초까지 WHO가 조사한 103개 국가의 2/3가 가족계획 프로그램 제공 과정에서 문제를 경험했으며(Associated Press, 2020), UNFPA(유엔인구 기금)는 재생산 건강 서비스에 대한 접근이 제한되면 중저소득 국가 여성의 피임 접근성 제한으로 대략 7백만 건의 의도하지 않는 임신의 문제가 발생할 수 있음을 경고한 바 있다(UN, 2020). 비록 이러한 사례가 COVID19라는 극한 상황에 기초한 것이지만, 점점 열악해지는 재생산 건강 서비스 제공 여건을 기후변화가 악화시키면 현존하는 위험을 가중시킬 개연성은 충분히 있다. 실제로 기후변화의 영향을 받은 26개국을 대상으로 이루어진 MSI Reproductive Choices(2021)의 조사에 의하면 2011년 이후 대략 1,150만 명의 여성이 기후변화로 인한 거주지 이동으로 피임을 실천하지 못한 것으로 추정된다.

## 2. 사망력

학술적으로 이환력(morbidity)과 사망력(mortality)을 독립적으로 다루는 경향이 있지만, 사고나 자살 같은 외인사(外因死)를 제외하면 대부분 이환을 경험한 후에 최종적으로 사망에 이르게 되며, 사회경제적 지위(사회계층) 같은 공통의 요인이 이환과 사망에 영향을 미친다는 점에서 기본적으로 이들 두 현상은 생물학적으로 밀접하게 연관된 과정이다 (Hoffmann, 2008, p. 67). 다만, 이환과 사망이 밀접하게 연관되어 있지만,

이들 두 현상이 완전히 일치하지는 않기에 출생에서 사망으로 이어지는 전체 과정을 하나의 단일 사건(생존 → 사망)으로 이해하면 이환과 장애 등 건강 상태에서 나타나는 복잡한 변화를 정확히 파악하지 못할 수 있다 (Hoffmann, 2008, p. 68). 이러한 논의를 따라 기후변화가 사망력에 미치는 영향을 살펴보는 본 연구에서도 사망과 건강(이환)을 함께 살펴본다.

기후변화, 특히 인간 활동에 의한 기후변화가 주요 이슈로 등장하기 이전에는 환경(기후변화)과 이환-사망의 관계에 대한 사회과학적 관심이 그렇게 높지 않았다. 그러나 기후변화로 폭염, 홍수, 태풍 등 극한 기상 현상의 빈도와 강도가 높아지고 경제적 손실과 인명 피해가 커질 개연성이 높아짐에 따라 기후변화와 이환-사망의 관계에 대한 관심도 높아지고 있다. 비록 장기적인 차원에서 전개되는 기후변화의 특징으로 인해 특정 시점에서 관측되는 극한 기상이나 자연재난이 자연적 변동성이 아닌 기후변화에 기인하는지를 판단하기가 쉽지 않지만, 극한 기상이나 자연재난이 이환-사망에 미치는 영향은 기후변화가 사망력에 미치는 직접적인 영향의 주요 작동 기제가 될 것으로 전망되고 있다.

기후변화에 따른 극한 기상이나 자연재난으로 발생하는 인명 피해와 함께 감염병 또한 기후변화와 이환-사망을 연계하는 주요 기제에 해당한다. 역학변천, 특히 만성질환이 주된 사망 원인으로 등장한 이후에는 감염성 질환에 대한 관심은 상당히 제한적이였다. 그러나 기후변화가 전 세계적 이슈로 등장하면서 감염병에 대한 관심도 크게 높아졌다. 예컨대, 기후변화로 인해 모기 등 곤충 매개체를 통해 전파되는 감염병(vector-borne diseases)의 공간적 활동 영역이 넓어질 수 있다. 다른 한편으로 기후변화가 극한 기상이나 자연재난을 통해 직접적으로 이환-사망에 영향을 미칠 수 있지만, 홍수나 태풍 같은 자연재난으로 사회 기반 시설이나 거주지에 피해가 발생하면 감염 매개체의 서식 환경이 변하거나 위생 환경이 취약해져 감염병 발생의 위험이 높아질 수 있다.

기본적으로 기후변화는 어떤 별개의 분리된 위험 요인으로 존재하고 작동하는 대신에 건강에 유의미한 영향을 미치는 다양한 위험 요인들의 일부를 구성하며, 이들 다른 요인과 상호작용하여 이환과 사망에 영향을 미칠 개연성이 높다. 이에 따라 기후변화는 건강에 영향을 미치는 기존 위험 요인들의 영향을 강화하거나 조절하는 방식으로 나타날 개연성이 높다. 물론 폭염, 홍수, 태풍 등이 건강에 미치는 영향처럼 일부 기후 및 기상 요인들의 영향은 건강에 직접적으로 영향을 미칠 수도 있다. 특히 폭염이 건강에 미치는 영향은 기후변화가 건강에 미치는 영향 중 가장 직접적이고도 명확한 영향에 속한다. 반면에 감염성 질환의 전파나 농업 생산성 및 식량 안전이 건강에 미치는 영향은 대체로 간접적으로 나타난다. 간접적 영향 중 생태계를 통해 매개되는 기후변화의 영향은 대체로 질병 매개체의 분포와 생애 주기 변화, 수인성 및 식품 매개 질환, 대기질이나 대기 오염 등의 형태를 취한다. 한편 사회 체계를 통해 매개되는 기후변화의 영향으로는 보건의료 서비스의 질과 접근성, 인구의 연령 구조 변화(고령화), 경제적 파급 효과 등을 포함한다(Banwell et al., 2018). 예컨대, 인구 고령화는 만성질환은 물론이고 감염성 질환에 취약한 고령 인구의 절대적 및 전체 인구 대비 상대적 비중을 증가시킨다. 마찬가지로 기후변화로 보건의료 서비스에 대한 수요가 급증하면 보건의료 체계의 대응 역량이 감소하여 필요한 서비스를 적절히 받지 못하는 사례가 증가할 수 있다. 특히 보건의료 체계 등의 각종 사회제도는 기후변화가 초래하는 위해가 재난적 상황으로 이어질지 아니면 관리 가능한 수준으로 통제될지를 결정하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 이렇듯 기후변화의 간접적 영향이 상당히 클 수 있지만, 현재까지 경험적 연구에서 기후변화의 간접적 영향의 세부적 내용과 양상에 대해서는 잘 보고되지 않는 상황이다.

기후변화가 직간접적으로 이환과 사망에 다양한 영향을 미칠 것으로 전망되지만, 그 파급 효과를 평가하기는 쉽지 않다. 특히 기후변화의

영향이 사회 체계나 자연 생태계를 통해 간접적으로 전개되는 상황에서는 다양한 사회적, 경제적, 정치적, 인구학적 요인들이 개입되기에 이환과 사망에 대한 기후변화의 영향을 정확히 가늠하기가 매우 어렵다(Kovats & Lloyd, 2009, p. 164). 극한 기상이나 자연재난 등의 경로를 통해 기후변화가 이환-사망에 직접적으로 영향을 미칠 때도 다양한 위험 요인들이 상호작용하는 상황에서는 기후변화의 영향을 정확히 식별하기가 쉽지 않다. 앞에서 언급한 보건의로 체계 같은 제도적 대응이 실패할 때 원인 규명은 더욱 어려워진다. 이에 따라 이환과 사망에 미치는 기후변화의 영향을 정확히 평가하기 위해서는 특정 질환과 기후변화의 관계에 관한 체계적인 건강 영향 평가 모형의 개발이 필요하다. 다만 기후변화가 이환-사망에 미치는 영향을 평가하는 모형은 환경적 요인뿐만 아니라 사회적 요인을 고려하는 동시에 평가 대상 질환(사망)에 그치지 않고 빈곤이나 식량-식수 같은 다양한 근접 요인들도 모두 아우를 필요가 있음이 지적된다(Kovats & Lloyd, 2009, pp. 165-166).

기후변화로 극한 기상이나 자연재난이 발생할 개연성이 높아지는 상황에서 극한 기상이나 자연재난으로 인한 사망력 위험이 어떻게 형성되고 분포하는지를 이해하는 것이 중요함에도 대부분의 경험적 연구는 선진국(특히 미국)을 중심으로 이루어지고 있다. 현재까지 사망 통계가 완전하지 않거나 자료에 대한 접근성이 낮은 개발도상국을 대상으로 한 연구가 많지 않으며, 선진국과 개발도상국을 모두 아울러 극한 기상과 자연재난에서 관측되는 인구학적 차별 사망력에 관한 연구는 더욱 제한적이다(Zaghenei et al., 2015, p. 49). 기후변화에 대한 취약성이 생리학적 민감성, 위험 노출, 적응력, 회복력 등 다양한 요인에 의존한다는 점도 기후변화로 인한 사망력 위험의 양상과 분포 파악을 어렵게 하는 요인이 된다. 예컨대, 다양한 기후변화 취약 집단이 기후변화와 관련된 '모든' 위험에 동일한

수준으로 취약한 모습을 보이는 것은 아니다. 한편 기후변화가 이환이나 사망에 미치는 영향에 관한 현재까지의 논의는 종합적인 분석 대신에 대체로 단일의 기후(기상) 요인(특히 폭염)이나 특정 자연재난 위험에 초점을 맞추는 경향이 있다. 건강과 이환에 미치는 기후변화의 영향이 다양한 관계로 일관되게 사용되는 건강 혹은 이환 지표를 찾기도 어려운 상황이다. 단기적 차원의 자연적 변동성과 구분하여 장기적으로 전개되는 기후변화로 인한 이환과 사망의 발생 양상과 복잡한 인과 기제를 파악하기 어렵다는 문제도 제기된다(McMichael et al., 2006, p. 863). 한편 장기적으로 전개되는 기후변화의 특성상 미래의 추세나 영향에 관한 논의에서는 상당한 수준의 불확실성이 수반되어 있다는 점도 염두에 둘 필요가 있다(McMichael et al., 2006, p. 859).

기후변화의 직접적인 영향으로 볼 수 있는 극한 기온과 사망의 관계에 관한 선행 연구는 매우 복잡한 양상을 보고한다. 예컨대, 여름과 겨울의 이례적으로 높거나 낮은 온도가 높은 사망률과 연관되지만, 온도와 사망의 관계는 위도(latitude)와 해당 지역의 온도(평균)에 따라 다양한 양상을 보임이 보고된다(Curriero et al., 2002, p. 80). 예컨대, 사망 위험이 최저 수준에 도달하는 ‘최적 온도’는 위도에 따라 다르며, 상대적으로 따뜻한 지역에서는 혹한의 영향이, 상대적으로 추운 지역에서는 폭염의 영향이 더 클 수 있음이 지적된다. 기존 연구는 또한 사망에 대한 폭염의 영향이 상대적으로 즉각 나타나지만, 혹한의 영향은 누적되어 일정한 시간이 지난 후에 관측되는 경향이 있음을 보고한다(Deschenes, 2012, p. 16). 이러한 온도와 사망률 간의 일반적인 관계에 더하여 선행 연구는 폭염의 ‘지속 기간’이 길어질수록 그 파급 효과가 비례적으로 증가한다는 점도 보고한다(Rocklöv et al., 2011, p. 531). 한편 기후변화의 영향은 질환별-사망 원인별로 차이를 보이기도 한다. 심혈관계나 호흡기계처럼 온도와 사망 위험 간의 관계가 상대적으로 명확히 확인되기도 하

지만(Basu & Samet, 2002, p. 198; Åström et al., 2011, p. 99), 온도와 악성신생물(암) 사망 위험의 관계처럼 상대적으로 연관성을 확인하기 어려운 경우도 있다.

기후변화가 사망력에 미치는 파급 효과와 관련하여 IPCC(2022b, p. 1074)의 제6차 평가보고서(AR6)는 1998년에서 2017년까지 11,500건의 극한 기상으로 전 세계적으로 526천 건의 사망 사고가 발생한 것으로 보고하고 있다.<sup>60)</sup> 현시점에서 관측되는 파급 효과를 넘어 기후변화가 중장기적으로 사망에 미치는 영향도 관심의 대상이다. 기후변화의 미래 파급 효과를 전망한 Mora et al.(2017, p. 501)은 세계 인구의 대략 30%는 이미 사망으로 이어질 수 있는 치명적인 수준(연간 20일 이상)의 폭염 위험에 직면하고 있으며, 향후 치명적인 수준의 폭염 위험에 노출되는 세계 인구의 구성비는 온실가스 배출이 크게 증가하는 시나리오(IPCC 제5차 평가보고서 기준 RCP8.5)에서는 대략 74%, 온실가스 배출이 크게 감소하는 시나리오(RCP2.6)에서도 대략 48%까지 상승할 것으로 전망하고 있다.

그럼에도 직접적으로 기후변화에 기인하는 사망률이 전체 및 지역 수준의 인구변동에 유의미한 영향을 미칠 것인지는 상당히 불확실하다. World Health Organization(WHO, 2023)은 2030~2050년의 기간에 기후변화로 인한 영양실조, 말라리아, 설사병, 열 스트레스 등을 통해 매년 25만 명 정도의 사망자가 발생할 것으로 전망하고 있다. 그러나 WHO의 이러한 전망이 실제로 실현되더라도 이는 UN(2022a)이 추정

60) 사망 원인 통계에서 자연재난이 사망에 미치는 영향은 상대적으로 명확히 확인할 수 있다. 그러나 폭염의 경우처럼 기후변화의 영향이 다른 사망 위험(예컨대, 만성질환)과 중첩되는 상황에서는 사망 원인의 식별이 쉽지 않다. 우리나라는 기본적으로 원사인(underlying cause of death)에 기초하여 사망 원인별 사망 통계를 작성하기에 복합사인(multiple cause of death)의 분류에서 한계가 있다. 이러한 문제는 특히 초고령기 사망에서 많이 발생하는데, 고령층이 기후변화의 영향에 더욱 취약하다는 점에서 사망 원인 통계에 대한 보완이 필요하다.

하는 2021년 기준 전 세계 사망자(6,317만 명)의 대략 0.4%에 불과하다. 또한 앞에서 언급했듯이 기후변화가 건강이나 이환-사망에 초래하는 위험은 사회 기반 시설이나 보건의로 체계, 생활 양식의 변화를 통해 조절될 수 있기에 미래 기후변화와 관련된 사망률 전망에 수반된 불확실성은 매우 크다고 볼 수 있다. 그럼에도 극한 기온 등 기후변화의 위험이 가장 크게 나타날 것으로 전망되는 지역(저위도 개발도상국)이 높은 수준의 빈곤율-인구 밀도-인구성장률을 보이는 지역과 겹친다는 점은 상황 전개에 따라 향후 기후변화가 초래하는 부정적 파급 효과가 상당히 클 수도 있음을 시사하는 측면이 있다.

### 3. 이동력

출산력이나 사망력과 비교할 때 기후변화가 인구이동 및 이로 인한 인구의 분포에 미치는 영향은 상대적으로 많은 관심을 받은 인구학적 주제이다. 환경 변화가 인구이동을 촉발하는 요인이라는 점은 오래전부터 인식되었다. 그러나 환경 변화는 인구이동을 추동하는 수많은 요인 중의 하나이며, 다른 요인과 비교한 상대적 중요성 또한 명확하지 않다(Tacoli, 2013, p. 41). 최근 들어 기후변화의 영향에 대한 관심이 커짐에 따라 환경 변화(기후변화)가 인구이동과 분포에 미치는 영향을 둘러싼 논란이 재점화되는 양상을 보인다. 비록 개발도상국을 중심으로 급격한 인구 증가가 인구이동의 압력을 높이는 상황에서 기후변화가 추가적인 문제를 일으킬 가능성이 커지고 있지만, 현재까지도 기후변화로 인한 인구이동의 속성을 둘러싼 의견 불일치 정도가 작지 않은 상황이다.

기후변화와 인구이동을 둘러싼 논란과 관련하여 한편에서는 기후변화로 인해 대규모의 비자발적 인구이동(예, 기후 난민)이 발생할 수 있다는

우려가 제기된다. 과거에 IPCC(1992, p. 103)도 기후변화가 초래하는 가장 심각한 문제가 해안 침수나 심각한 가뭄 등으로 인한 대규모의 비자발적 인구이동의 문제일 수 있음을 지적한 바 있다. 더 나아가 Myers(2005)는 정치적 억압, 종교적 박해, 인종 갈등 같은 전통적 난민이 2,700만 명에 이르렀던 1995년에 이미 환경 난민이 최소 2,500만 명에 이르렀으며, 향후 지구 온난화의 효과가 본격적으로 나타나면 환경 난민은 2억 명 수준까지 증가할 것으로 전망하였다. 상대적으로 최근에 사하라 이남 아프리카, 남아시아, 라틴 아메리카를 대상으로 이루어진 World Bank의 전망에서도 기후변화로 인해 2050년까지 143백만 명 이상이 이동(국내)할 것으로 추정된 바 있다(기준 시나리오). 다만, World Bank는 기후 친화적 조치가 이루어지면 기후변화로 인한 인구이동이 31백만 명 수준까지 감소할 것으로 전망하였다(Kumari Rigaud et al., 2018, p. xxi). 이렇게 인구이동을 기후변화로 인한 부정적 현상으로 전제하는 시각은 기본적으로 기후변화에 대한 취약성을 공간적(지리적) 위치(자연환경)로 이해하는 시각과 밀접히 관련된다. 이 시각에서 기후변화에 직면한 개인들의 인구이동은 이들이 거주하는 공간에 가해지는 기후변화의 영향(수준)으로 설명된다(Schensul & Dodman, 2013, p. 13).

한편 상대적으로 최근의 현상이지만, 인구이동을 기후변화에 적극적으로 적응하는 전략의 하나인 동시에 정책적인 지원이 필요한 현상으로 이해함으로써 인구이동을 긍정적으로 바라보기도 한다(Tacoli, 2009, p. 104; Tacoli, 2013, p. 41). 이러한 시각에서는 기후변화에 직면하여 인구 집단이 다양한 적응적 행동을 보이며, 기후변화에 대한 취약성을 줄이는 방안으로 인구이동을 사용하는 점에 주목한다. 인구이동이 적응 실패가 아니라 효과적인 적응 전략일 수 있다는 것이다. 오히려 환경 변화에 직면하여 이동할 수 없거나 이동하지 않으려는 집단이 기후변화가 초래

하는 위험에 직면할 개연성이 높으며, 인구이동의 억제에 초점을 맞춘 잘못된 정책이 이들의 기후변화 위험을 더욱 악화시킬 수 있다는 입장을 취한다(Black et al., 2011, p. 447). 이러한 시각은 단순히 지리적(공간적) 조건이 아니라 이동자의 사회인구학적 특성과 인구이동을 촉발한 사회경제적 맥락을 고려해서 기후변화에 대한 취약성과 기후변화 관련 위험에의 노출을 이해해야 함을 강조하는 시각으로 볼 수 있다.

기후변화로 인한 인구이동을 둘러싼 이러한 상충적인 시각은 기후변화와 인구이동의 관계가 매우 복잡하고 예측하기 어려움을 시사한다. 이러한 문제는 신뢰할 만한 자료의 부족과도 관련된다. 예컨대, 1970년대부터 공식적으로 사용되기 시작한 ‘환경 난민’(environmental refugee) 같은 용어는 경험적 논거 없이 인구 증가가 자원 부족을 초래하여 인구이동과 사회갈등으로 이어질 것임을 가정하는 신멜서스주의적 시각의 영향을 크게 받았다(Tacoli, 2009, p. 107). 위에서 언급한 Myers(2005)의 환경 난민 전망치 또한 엄밀한 논거에 기초한 것은 아님에 유의할 필요가 있다. 이러한 측면에서 출발지나 도착지의 조건, 이동자의 사회인구학적 특성 등 인구이동의 세부적 양상에 관한 체계적인 정보 수집은 환경 변화로 인한 인구이동이 출발지와 도착지에 미치는 영향을 이해하고 대응하는 정책을 수립하기 위한 핵심적인 정보가 될 수 있다(Tacoli, 2009, p. 104). 다른 한편으로 인구이동에서 환경(기후변화) 외적인 요인들의 중요성, 기후변화의 정도와 양상을 둘러싼 불확실성 및 장기 예측의 어려움, 기후변화에 대응하기 위해 개인이나 가구가 사용하는 다양한 전략의 존재도 기후변화와 인구이동의 관계를 이해하기 어렵게 하는 원인이 될 수 있다.

그럼에도 기후변화와 인구이동의 복잡한 관계, 그리고 미래 예측에 수반된 불확실성에 대한 이해 수준이 높아짐에 따라 기후변화와 인구이동의 관계에 관한 국제적 논의에서도 새로운 변화가 나타나고 있다. 비록

가장 최근의 IPCC(2022b, pp. 1044-1045) 제6차 평가보고서(AR6)도 직접적(예컨대, 태풍에 의한 거주지 상실) 혹은 간접적(예컨대, 장기간 지속된 가뭄으로 인한 소득 상실) 경로를 통해 기후변화가 ‘비자발적’ 인구 이동의 중요한 요인이 되고 있음을 지적하지만, IPCC는 ‘환경 난민’에 관한 모호한 진술과 추측을 지양하는 모습을 보인다.<sup>61)</sup> 이에 따라 기후변화의 부정적 영향에 대한 기계적(자동적) 반응으로서 인구이동을 이해하는 초기의 시각에서 벗어나는 한편 현재와 같이 기후변화에 대한 취약성과 적응력 문제를 상대적으로 균형 잡힌 시각에서 바라보게 된다. 이는 기후변화에 대한 ‘공간적’ 취약성이 경제적, 정치적, 사회적 취약성을 모두 아우른 전체 취약성의 일부에 불과하다는 점을 인식하게 된 것과도 맞물려 있다(Raleigh et al., 2008, p. 2).

기후변화와 인구이동의 관계를 정확히 이해하기 위해서는 기후변화의 부정적 영향을 받을 개연성이 높은 지역에 거주하는 인구와 기후변화로 인해 ‘실제’ 이동할 개연성이 높은 인구를 개념적으로 구분할 필요가 있다. 통상적으로 전자의 접근을 통해 기후변화로 인한 인구이동의 규모를 추정하지만, 이는 과도하게 단순화된 가정으로서 환경 변화와 인구이동 간에 존재하는 복잡한 관계를 고려하지 않은 것이다(Tacoli, 2009, p. 107). 예컨대, 기후변화의 부정적 영향을 받을 개연성이 높은 지역에 거주하더라도 인구이동 대신에 다른 형태의 적응 방식을 선택할 수 있으며, 다른 지역으로 이동을 희망하더라도 이동을 저해하는 다른 요인들의 영향으로 이동이 불가능할 수도 있다. 또한 인구이동을 위해서는 자원(자원)과 사회적 지원이 필요하지만, 기후변화가 이러한 자원을 감소시킴으로써 인구이동을 저지할 수도 있다.

61) ‘환경 난민’ 개념이 지닌 핵심 문제는 충분한 경험적 논거 없이 암묵적으로 환경 변화와 인구이동 사이에 직접적인 인과관계가 있음을 가정한다는 점이다(Tacoli, 2009, p. 107).

다른 한편으로 환경 관련 인구이동에 초점을 맞춘 경험적 연구가 증가하는 추세이지만, 기후변화가 인구이동에 미치는 영향에 관한 경험적 증거도 일관되지 않은 모습을 보인다. 현재까지의 증거는 환경 관련 위험에 노출된 인구가 전통적인 ‘환경 난민’ 모델이 예측하는 방식으로 이동한다는 경험적 증거는 부족하다(Tacoli, 2009, p. 107). 특히 환경 관련 위험에 노출된 지역에서 발생한 인구이동이 실제로 환경 변화가 초래한 이동인지, 아니면 고용 기회나 가구의 소득원 분산 등 다른 목적에서 발생한 이동인지를 구분하기가 쉽지 않다. 기후변화로 인한 위험이 존재하는 지역에서 인구이동이 발생했더라도 이러한 이동이 실제로 기후변화 때문에 발생했는지를 파악하기 위해서는 이동 목적 등 추가적인 정보가 필요하다. 또한 환경 관련 이동에서는 지역사회나 정부의 역할이 중요하다. 환경 변화로 인해 인구이동이 발생했더라도 지역사회나 정부의 대응 역량에 따라 상당히 다른 결과를 초래할 수 있다. 예컨대, 환경 변화로 인해 비자발적인 이동이 이루어졌더라도 지역사회와 정부가 적극적으로 대응하면 원래의 거주 공간으로 회귀하는 이동자의 비율이 높아질 수 있다. 물론 기반 시설 확충 등 지역사회나 정부의 사전적 예방 조치도 환경 변화로 인한 이동의 가능성과 규모에 영향을 미칠 수 있다.

최근에는 기후변화와 인구이동 간에 존재하는 세부적이고도 인과적인 관계를 분석하고, 이에 기초하여 기후변화가 인구이동에 미치는 영향을 유형화하고 설명하는 분석 틀을 발전시키는 연구가 이루어지고 있다. 아래에서는 최근까지의 경험적 연구를 통해 도출된 주요 이슈를 살펴본다. 첫째, 가구의 특성과 인구이동의 관계이다. 전통적인 시각은 경제적으로 어려운 가구가 기후변화에 더욱 취약한 관계로 이동할 개연성이 높다는 관점을 취한다. 그러나 가구가 직면한 경제적 어려움이 기후변화에 대응하기 위한 인구이동을 제지할 개연성도 있다. 이들 두 기제의 작동이 논리

적으로 모두 가능하지만, 선행 연구는 반드시 사회경제적 자원(예컨대, 소득, 자산, 지출)이 부족한 집단(가구)에서 기후변화에 따른 인구이동이 빈번하게 발생하는 것은 아님을 시사한다. 다만 토지 소유는 기후변화에 따른 인구이동을 억제하는 경향이 강하다는 점을 지적한다(Gray & Mueller, 2012; Kaczan & Orgill-Meyer, 2020, pp. 291-293). 다른 사회경제적 자원과 비교할 때 교육의 영향에 관한 선행 연구는 교육 수준이 높을수록 기후변화에 따른 인구이동의 개연성이 높음을 보여 준다(Bohra-Mishra et al., 2017, p. 304). 선행 연구는 또한 교육 수준이 높고 경제적 자원이 많을수록 농업 지역에 체류하거나 다른 농업 지역 혹은 지역 중소도시로 이동하는 대신에 도시 지역으로 영구 이주할 개연성이 높음을 시사한다(Tacoli, 2013, p. 49). 이러한 논의들은 인구이동이 단순히 환경(기후변화) 및 사회경제적 변화에 대한 적응 실패가 아니라 적응 전략의 요소로 이해될 수 있음을 보여 준다.

둘째, 기후변화와 인구이동의 목적지(도착지)이다. 기후변화를 포함한 환경 변화가 인구이동 패턴에 영향을 미칠 것임이 거의 확실한 것으로 논의되지만(Black et al., 2011, p. 447), 최근까지의 자료는 환경 변화가 국경을 가로지른 대규모의 국제이동으로 이어질 개연성은 높지 않음을 시사한다(Tacoli, 2013, p. 43). 또한 기후변화로 인한 국제이동이 이루어지더라도 대체로 청년층이나 사회경제적 지위가 높은 개인들에게 국한될 개연성이 높다(Kaczan & Orgill-Meyer, 2020, p. 293). 극한 기상이나 자연재난에서는 인구이동이 발생하더라도 대체로 ‘한시적 이동’에 그칠 개연성이 높으며, 가뭄과 토지 황폐화 같은 유형의 환경 변화에서는 인구이동이 발생하더라도 ‘근거리 이동’에 그칠 개연성이 높음이 지적된다(Tacoli, 2009, p. 111). 반면에 도시 지역으로의 영구 이동은 상대적으로 환경 조건의 영향을 적게 받는 것으로 알려진다. 이는 도시 지역으

로 영구 이동하는 이동자의 사회경제적 지위(예컨대, 교육 수준)가 상대적으로 높고, 이들은 생계유지를 위해 자연환경에 의존할 개연성이 상대적으로 낮기 때문에 추정된다(Tacoli, 2013, p. 44).

현재까지의 자료는 임시 및 계절이동을 통한 소득원 다원화가 토지의 황폐화나 사막화 같은 점진적인 기후변화에 대응하는 중요한 적응 전략이 될 수 있음을 시사한다. 계절이동의 경우 대체로 거주지의 생계 방식과 유사한 업종에 종사할 개연성이 높지만, 임시 이동은 특정 시기나 분야와의 연계성이 낮기에 도시를 향해 이동할 개연성이 상대적으로 높음이 지적된다. 한편 도시 지역으로의 이동은 거주지의 환경 변화뿐만 아니라 목적지인 도시의 사회경제적 특성에 영향을 받을 수 있다(Tacoli, 2013, p. 48). 비록 가구 소득원 다원화의 목적에 기초하지만, 임시 및 계절이동은 가구의 영구 이동으로 이어질 수도 있다. 그러나 도시 지역의 고용 불안정, 높은 생활비, 불안정한 거주 환경이 영구적 이주를 제한하는 원인으로 작용할 수 있음이 지적된다(Tacoli, 2009, p. 113).

셋째, 기후변화의 유형(특성)과 인구이동의 관계이다. 선행 연구는 대체로 홍수처럼 급격하게 진행되는 사건에 비해 가뭄이나 기온 상승처럼 점진적으로 진행되는 환경 변화가 인구이동을 초래할 개연성이 높음을 지적한다(Kaczan & Orgill-Meyer, 2020, p. 294). 다양한 자연재난 유형을 포함한 분석에서 홍수는 인구이동과 유의미한 관계가 없거나 제한적인 수준의 영향을 미치는 것으로 분석되고 있다(Bohra-Mishra et al., 2014, p. 9784; Gray & Mueller, 2012; Mueller et al., 2014). 이러한 분석 결과는 '자연재난'의 영향은 영구적 이동보다는 한시적 혹은 단거리 이동에 국한되는 경향이 강함을 시사한다. 한편 기온 상승처럼 점진적으로 진행되는 환경 변화에서는 개인(가구)이 이동에 필요한 자원을 사전에 축적할 시간을 가질 수 있다. 반면에 급격히 전개되는 자연재난은

준비나 대응 기간을 가질 수 없어 개인(가구)의 이동 잠재력을 소진시킬 개연성이 지적된다(Kaczan & Orgill-Meyer, 2020, p. 294).

마지막으로 기후변화의 강도와 인구이동의 관계이다. 기후변화의 강도가 클수록 인구이동의 개연성이 높아질 것으로 기대할 수 있지만, 경험적 분석 결과는 상당히 복잡한 관계를 보여 준다. 기후변화의 강도와 인구이동의 관계는 위에서 언급한 환경 변화의 ‘유형’과도 관련된다. 선행 연구는 강우의 강도와 인구이동 간에 유의한 관계를 확인하지 못하지만, 기온의 강도는 인구이동과 유의하게 연관됨을 보고한다(Mueller et al., 2014). 반면에 강우 부족이 멕시코에서 미국으로의 이동에 미치는 영향을 분석한 연구는 건조 지역(농업)에서 강우 부족 현상이 심각할수록 국제이동을 할 개연성이 높음을 지적한다(Nawrotzki et al., 2013). 동일하게 멕시코 농업 지역에서 미국으로의 국제이동을 분석한 Hunter et al.(2013, p. 874)의 연구는 상대적으로 최근에 가뭄을 경험한 가구가 가구원을 보낼 개연성이 낮지만, 2년 전에 심각한 가뭄을 경험하고 국제이동 경험이 있는 가구의 경우에는 가구원을 이동시킬 개연성이 유의하게 높음을 보여 준다. 이와 관련하여 Kaczan and Orgill-Meyer(2020, p. 296)는 기후변화의 충격이 강할수록 초기 단계에서는 가구의 이동 잠재력(역량)이 떨어지지만, 기후변화 취약성에 대한 인식이 커지고 경제적 자원 등 이동의 여력이 마련되면 장기적으로 이동할 개연성이 있음을 제시한다.

종합적으로 현시점에서 기후변화가 인구이동에 미치는 영향을 정확히 예측하기는 현실적으로 불가능하다고 할 수 있다. 현재까지의 논의는 인구이동이 기후변화에 따른 도전이자 기회일 수 있음을 시사한다. 비록 인구이동이 기후변화에 대한 취약성을 의미하기도 하지만, 발전 정책 속에서 체계적으로 기획되고 포용적 방식으로 운영되면 인구이동이 기후변화에 적응하는 효과적인 전략이 될 수 있다는 것이다(Kumari

Rigaud et al., 2018, p. 183). 이러한 점에서 대안으로 기후변화가 인구이동에 미치는 영향 그 자체에 초점을 맞추는 방식 대신에 기후변화가 생계유지 같은 삶의 기회 구조에 미치는 영향에 초점을 맞출 필요성이 지적되기도 한다. 이 시각에서는 인구이동을 소득 원천의 다원화 방안으로 이해하며, 이렇게 접근해야 인구이동의 목적지나 기간, 이동 집단의 사회인구학적 구성을 이해하고 적절한 지원 정책을 마련할 수 있음을 주장한다. 정책적 논의도 어떤 조건에서 인구이동이 빈곤 탈출 같은 삶의 질 향상이나 적응력 강화로 이어지는지, 혹은 취약성 증가로 이어지는지를 이해하는 데 초점을 맞출 필요가 있다(McGranahan et al., 2013, pp. 27-28).

또한 기후변화와 인구이동 논의에서는 정책의 역할이 중요하다. 현재 까지도 정책 입안자들은 인구이동을 부정적으로 인식하는 경향이 강하다. 그러나 기후변화 위협에 취약한 집단일수록 이동하기 어려운 조건에 위치할 개연성이 높음을 이해할 필요가 있다. 예컨대, 취약 집단은 기후변화 및 이로 인한 자연적 및 사회적 재난에 직면하여 이동 조건을 갖추지 못할 개연성이 높다. 더욱이 기후변화가 경제적 조건(자원)을 악화시키는 상황에서는 취약 집단의 이동 여력이 추가로 감소할 수 있다. 이러한 상황에서 인구이동을 억제하거나 방관하는 정책적 대응 방식은 기후변화의 위협을 더욱 악화시킬 수 있다. 정책 입안자들도 인구이동과 그 결과로 나타나는 인구의 분포가 기후변화에 적극적으로 대응하는 수단이 될 수 있음을 이해해야 한다. 특히 인구이동의 복잡성을 고려할 때 기후변화 대응 전략으로 인구이동의 잠재력을 최대한 활용하기 위해서는 기후변화가 진행되는 상황에서 다양한 인구이동이 이루어지는 사회경제적 맥락을 정확히 파악할 수 있는 지역사회(정부)의 대응 역량이 중요하다.





# 제5장

## 인구와 기후변화: 대응 과제

제1절 기후변화 대응 정책의 기본 방향

제2절 기후변화 대응 정책의 주요 과제

제3절 기후변화 대응 정책의 기반 강화



## 제 5 장    인구와 기후변화: 대응 과제

### 제1절 기후변화 대응 정책의 기본 방향

인구가 기후변화 문제의 일부분을 구성하는 만큼 그 해결에서도 중요한 역할을 할 수 있다. 그러나 Cohen(2010, p. 158)이 지적하는 것처럼 기후변화에 대한 인간의 영향과 이를 해결하는 방안을 구체화하는 작업은 현재 까지도 현대 사회가 직면한 핵심적인 도전 중의 하나이다. 기후변화의 중요성이 커짐에 따라 인구학계에서도 인구와 기후변화의 관계에 대한 논의에 적극적으로 참여하는 모습이 관측된다(Bongaarts, 1992; Lutz, 2017; O'Neill et al., 2001). 또한 급격한 인구 증가가 온실가스 배출과 기후변화 취약성에 영향을 미치는 핵심 요인 중의 하나라는 점에서 인구 증가의 역할을 기후정책의 잠재적 수단으로 고려할 필요가 있으며, 가족 계획은 이를 위한 효과적인 기제임을 주장하기도 한다(Bongaarts & O'Neill, 2018, p. 652). 비록 기후변화가 즉각적인 대응이 필요한 이슈임을 받아들이지만, 현재까지도 인구정책이 온실가스 배출량을 줄이는데 유의미하게 기여할 수 있는지에 대해서는 인구학계 내부의 견해차가 매우 큰 상황이다(van Dalen & Henkens, 2021, p. 551).

다양한 환경 이슈 중에서 기후변화는 독특한 특징을 지닌다. 대기 오염이나 수질 오염 같은 환경 문제는 상대적으로 지역적 차원에서 문제가 형성되는 동시에 일상생활에서 그 파급 효과를 경험할 개연성이 상대적으로 높다. 반면에 빈번한 이상 기후-기상 현상에도 불구하고 기후변화는 전 지구적 차원에서 작동하는 동시에 현재적 파급 효과가 상대적으로 제한적인 이슈이다. 환경 이슈 중에서 기후변화가 지닌 이러한 특징은 전 지구적

차원으로 분산된 다양한 이해관계와 상대적으로 낮은 체감도로 인해 문제 해결에 더욱 큰 어려움이 수반될 것임을 시사한다.

더욱이 1960~1980년대와 비교할 때 인구정책이 국제적으로 핵심 의제의 지위를 상실한 현 상황에서 인구와 기후변화에 관한 논의에서 인구정책의 역할을 정립하는 것은 쉽지 않은 과제이다. 그럼에도 기후변화에 대응하는 정책 틀을 형성하는 과정에서 인구변동에 대한 체계적 고려는 미래 온실가스 배출을 전망하는 한편 적응 계획을 수립하고 실행하여 국제적 및 국가적 위협을 줄이는 데 핵심적인 역할을 할 수 있다(Guzmán et al., 2009, p. 1). 최근까지의 모습에서 볼 수 있듯이 사회과학의 다양한 분야 중에서 인구학은 기후변화에 대한 전 지구적 논의에서 독특하고도 중요한 기여를 할 잠재력을 가지고 있다. 무엇보다도 인구학은 인구 규모와 함께 인구 구성의 변화 등 기후변화에 중요한 함의를 갖는 인구학적 현상을 전망하고 분석하는 이론과 방법론을 가지고 있다. 또한 영아/성인 사망률, 이환, 장애 등 인구 집단 내부에 존재하는 다양한 이질성 및 이와 관련된 개인, 가구, 지역사회의 대응 역량에 영향을 미치는 다양한 요인(예, 교육)에 관한 연구에서도 오랜 전통을 가지고 있다. 이렇게 인구학은 미래 사회에서 전개될 모습을 전망하고 평가함으로써 기후변화에 대응하여 온실가스의 배출량을 줄이고 취약성을 완화하는 정책에 도움을 제공할 수 있다(Lutz & Striessnig, 2015, p. S74). 이러한 배경에 기초하여 이 절에서는 인구 부문에 초점을 맞추어 주요 이슈별로 기후변화에 대응하는 정책의 기본 방향을 살펴본다. 기후변화 대응 정책의 기본 방향과 관련하여 이 절에서 검토하는 주요 이슈는 ① 기후변화에 대응하는 인구정책의 기본 방향, ② 선진국과 개발도상국의 인구정책 방향, ③ 기후변화에 대응한 국가-지역 정책의 역할이다.

첫 번째 이슈로 기후변화에 대응하는 인구정책의 기본 방향을 정립할 필요가 있다. ‘인구변동’과 ‘기후변화’가 21세기에 인류가 직면할 가장

중요한 도전이 될 것으로 전망되지만(Lutz & Striessnig, 2015, p. S69), 이들 두 이슈의 결합은 수많은 논쟁과 연결된다. 인구변동은 그 자체로 개인적 권리(재생산권)와 국가적 차원의 발전 목표가 잠재적으로 긴장 관계를 형성하는 지점이다. 기후변화 또한 단기적인 차원의 개인적 소비나 국가적 발전 목표와 장기적 차원의 환경 보호 목표 간 갈등이 첨예하게 대립하는 주제이다. 더 나아가 인구변동과 기후변화 이슈의 결합은 기후변화 대응을 둘러싼 논란을 확대 재생산할 수 있다. 인구변동과 기후변화의 상호작용이 더 큰 사회적 논란을 초래하는 것은 '공정성' 문제와도 관련이 있다. 선진국의 소비 패턴과 함께 개발도상국의 인구 증가가 기후변화의 주요 동인으로 논의됨으로써 공정한 방식의 문제 해결을 둘러싼 결론 도출이 쉽지 않은 상황이다. 기존의 온실가스 배출에 대한 책임이 상대적으로 적은 동시에 기후변화가 초래하는 잠재적 위험에는 더욱 취약한 개발도상국이 경제성장이나 발전 잠재력을 저해할 수 있는 기후변화 '완화' 정책을 적극적으로 실행하는 것이 공정한 부담인지를 둘러싼 문제가 제기된다. 앞에서 언급했듯이 기후변화 문제에 대응하는 방식을 둘러싼 인구학계 내부의 견해차도 매우 큰 상황이다.

그러면 기후변화에 대응한 인구정책의 우선순위는 어디에 두어야 하는가? 원론적인 수준에서 볼 때 인구와 기후변화 대응 정책에서는 공감대가 높고 논란이 적은 지점에 우선순위가 부여될 필요가 있다. 이러한 점에서 기후변화에 대응한 인구정책에서도 1994년 카이로 국제인구개발회의(ICPD)에서 정립된 인간 개발과 역량 강화(특히 여성), 재생산권 보장에 최우선 순위가 부여될 필요가 있다. 재생산 건강 서비스에 대한 접근성 향상은 새천년발전목표(MDGs)와 지속가능발전목표(SDGs)에서도 강조되는 사항이다. 재생산권 보장이나 인간 개발 대신에 경제발전이나 기후변화 문제의 '완화'를 최우선 목표로 한 인구정책은 문제의 해결보다는 갈등을 악화시킬

개연성이 높다. 비록 인구의 규모와 성장률이 기후변화에 유의미한 영향을 미치더라도 기후변화 문제에 대한 '인구학적 해결 방식'은 바람직하지 않다. 기후변화의 더욱 근본적인 원인이라고 할 수 있는 '성장-소비 지향적 발전'의 문제를 상대하는 대신에 인구 증가를 억제하는 것과 같은 인구학적 접근이 수월해 보이지만, 인구학적 접근은 수많은 논란을 초래하는 동시에 생산-소비 패턴 등 수많은 요인이 개입하는 관계로 기후변화 문제의 완화 효과도 명확하지 않을 수 있음을 이해해야 한다. 인구학적 안정성이 사회의 지속 가능한 발전 측면에서 도움이 될 수 있지만, 기후변화를 포함한 환경 문제의 해결을 보장하지는 못한다.

비록 인구정책 일반에서와 마찬가지로 기후변화에 대응하는 인구정책에서도 인간 개발과 재생산권 보장이 핵심이지만, 다른 한편으로 인구정책을 다른 이슈들과 구분하여 별개로 추진하는 접근은 바람직하지 않다. 이 연구는 인구와 기후변화의 문제를 '발전'과 연계하여 다룰 필요가 있음을 강조한다. 이는 개발도상국은 물론이고 선진국도 예외가 아니다. 인구변동과 기후변화 문제의 근저에 발전이라는 이슈가 자리 잡고 있음을 고려할 때 개인(국가)의 발전 열망(필요)을 고려하지 않는 인구와 기후변화 논의는 한계에 직면할 개연성이 높다. 이러한 시각에서 볼 때 발전에 대한 고려 없이 가족계획을 통한 인구 증가의 억제 같은 인구학적 접근으로 기후변화 문제를 해결할 가능성은 극히 희박하다. 물론 기후변화가 초래하는 위협을 근본적으로 줄이기 위해서는 지속적인 경제성장과 소비를 추구하는 현재의 발전 양식에 대한 재검토도 필요할 것이다. 다만 개발도상국이 선진국의 생산-소비 패턴을 필사적으로 따라가는 현 상황을 고려할 때 이러한 시도가 성공적일 수 있는지는 상당히 불확실하다.

인구와 기후변화 논의에서 '발전'이 중요한 이슈인 것은 기후변화에 대한 '적응'에서 발전이 갖는 함의와도 관련이 있다. 기후변화에 대한 적응

이 인구변동이나 세계화 같은 다른 사회경제적 변동에 대한 적응과 동시적으로 진행되어야 한다는 점에서 발전의 문제는 기후변화에 대한 적응 측면에서도 매우 중요하다. 현재 우리나라의 기후변화 대응 정책을 주도하는 ‘탄소중립 녹색성장 국가전략 및 국가 기본계획’(대한민국 정부, 2023)은 기후변화에 대한 ‘적응’ 논의에서 기후변화 관련 이슈들을 제시할 뿐 ‘발전 정책’과의 연계를 고려하지 못하는 한계가 있다. 물론 다음 절에서 살펴보듯이 이러한 상황은 경제, 사회, 인구, 환경 관련 이슈들을 모두 아우르는 ‘지속 가능한 발전’ 논의(지속가능발전 기본계획)가 제대로 작동하지 못하는 상황과도 관계가 있다. 이 문제에 대해서는 다음 절의 정책 과제에서 좀 더 심층적으로 검토하기로 한다.

한편 기후변화 대응에서 완화 정책과 적응 정책의 균형적 조화가 필요하지만, 인구 부문의 기후변화 대응에서는 특히 ‘적응’ 정책이 중요하다. 과거 인구와 기후변화 논의에서의 핵심은 온실가스 배출에서 인구변동이 갖는 함의였으며(완화), 상대적으로 기후변화에 대한 ‘적응’에는 관심이 부족했다. 그러나 개발도상국, 특히 최빈국의 관심은 기후변화 문제의 완화가 아니라 기후변화에 대한 적응일 수 있다(Bryant et al., 2009, p. 852). 이러한 측면에서 개발도상국의 기후변화 대응 정책에서는 기후변화에 대한 ‘적응’에 초점을 맞추되 잠재적으로 기후변화의 완화에도 기여할 수 있는 정책 조합을 모색하는 것이 중요하다. 선진국 내에서도 기후변화 문제의 완화를 둘러싼 견해차가 크며, 개발도상국과 마찬가지로 선진국에서도 기후변화에 대한 적응의 문제는 매우 중요한 이슈이다. 기후변화의 완화와 비교할 때 적응 논의에서는 기후변화의 원인(인위적 원인, 자연적 원인)을 둘러싼 논란도 큰 문제가 되지 않는다.

다만 ‘완화’와 비교할 때 ‘적응’ 개념은 명확히 정의하기가 쉽지 않을 수 있다. 기후변화에서 ‘적응’ 개념의 불명확성은 적응 조치의 모니터링

과 평가를 어렵게 하는 요인이 되기도 한다. 발생 빈도가 낮은 극한 사건이나 기후변화가 초래할 수 있는 ‘장기적’ 영향에 관한 적응 정책의 효과성 평가는 어려울 수밖에 없다. 또한 기후변화 문제의 완화에서는 법적으로 구속력 있는 조치가 존재하지만, 현재까지 기후변화에 대한 적응 조치의 법적 기반은 상대적으로 취약한 상황이다. 이는 UNFCCC 등 기후변화에 관한 국제적 논의에서 기후변화가 사회에 미칠 수 있는 심각한 파급효과가 먼 미래의 일이기 때문에 기후변화에 대한 적응 문제에 큰 관심을 두지 않은 것과는 관계가 있다. 또한 ‘적응’ 이슈가 기후변화 문제를 ‘완화’하는 데 필요한 관심과 추진 동력을 떨어뜨릴 수 있다는 우려와도 관련된다 (Jerneck & Olsson, 2008, pp. 171-172). 그러나 최근의 상황이 보여 주듯이 이러한 오해는 교정될 필요가 있다.

기후변화에 대한 ‘적응’ 논의에서는 기후변화 및 이와 관련된 극한 기상의 전망과 공간적 분포를 넘어 기후변화 위험에 직면한 혹은 직면할 개연성이 높은 ‘인구 집단’을 체계적으로 확인하는 작업이 중요하다. 기후변화에 대한 ‘적응’ 논의에서는 ‘어떤’ 인구 집단이 ‘어떤’ 기후변화 위해(hazard)에 ‘어떤’ 과정을 거쳐 노출되고 취약해지는지에 대한 이해가 핵심이다. 인간의 복지(안녕)에 미치는 영향이 기후변화에 대한 적응 논의에서 핵심이어야 한다. 기후변화에 대한 취약성을 이해할 때 ‘제도’ 자체의 취약성에 국한된 논의는 타당하지 않다. 기후변화에 대한 적응 논의에서는 제도 자체의 취약성이 아니라 제도 속에 존재하는 인간과 인간에 미치는 영향이 우선적인 관심의 대상이 되어야 한다. 또한 기후변화 위험에 대한 노출과 취약성은 다양한 인구 집단을 가로질러 다양한 양상을 보이기에 기후변화 위험에의 노출과 취약성에서 나타나는 이질성을 체계적으로 파악해야 기후변화에 대한 효과적인 적응이 가능할 것이다.

현재 우리나라의 기후변화 대응 정책에서 중심적인 역할을 담당하는 탄소중립 녹색성장 국가전략 및 국가 기본계획(대한민국 정부, 2023,

pp. 96-115)은 기후변화 위험 정보의 제공과 대응 기반-체계 구축 등 기후변화 적응에 관한 다양한 정책 과제들을 제안하고 있다. 그러나 기후변화에 대한 적응 과제에서 기후변화가 초래하는 위험과 이러한 위험에 취약한 ‘사람’에 관한 논의는 극히 제한적이다. 비록 아동, 노인, 저소득층 같은 취약계층에 대한 언급이 있지만, 추상적인 수준에서 기후변화 적응 정책의 ‘대상’으로만 언급할 뿐 이들이 구체적으로 누구이며, 어떠한 과정을 거쳐 어떠한 기후변화 관련 위험에 직면하는지에 대한 분석이 없다. 물론 기후변화 적응 정책이 기후변화가 초래할 수 있는 부정적 영향에 취약한 집단을 구체적으로 확인하지 못하는 문제는 일정 부분 현재까지 기후변화 위험에의 노출과 취약성에 관한 인구통계가 구축되지 못한 상황과도 관련이 있다. 이를 위해서는 공간적으로 세분화된 인구 통계 정보의 구축과 함께 인구와 다양한 기후변화 위험 관련 정보의 연계가 필요하다. 기후변화 대응 정책의 기반 강화에 대해서는 뒤에서 별도로 논의하기로 한다(제3절).

앞에서는 기후변화 문제에 대응하는 인구정책의 기본 방향을 살펴보았는데, 구체적으로 개발도상국과 선진국의 인구정책은 어떠해야 하는가? 아래에서는 기후변화 대응 정책의 기본 방향과 관련된 두 번째 이슈로 개발도상국과 선진국의 인구정책 방향을 좀 더 세부적으로 살펴본다. 먼저 기후변화에 대응하는 개발도상국의 인구정책이다. 선진국에 비해 기후변화 문제에 대한 책임이 상대적으로 제한적이지만, 최근 들어 개발도상국의 생산과 소비도 전 세계적으로 온실가스 배출을 가속화하는 데 상당한 역할을 하고 있다. 지난 수십 년에 걸쳐 선진국과 개발도상국의 에너지 집약도(energy intensity), 즉 재화와 용역의 생산 단위당 투입되는 에너지 소비량이 비슷하게 감소하는 추세를 보이지만, 개발도상국의 상대적으로 높은 경제성장률은 전 세계적으로 온실가스 배출 증가의 주요 동인이 되고 있다(IPCC, 2022a, p. 247).

과거에 예상한 것과 비교할 때 세계 인구의 증가세가 완만해지는 패턴을 보이지만, 인구 증감에서 관측되는 지역적 변이는 여전히 크다. 특히 감소세에도 불구하고 인구 밀도가 높은 개발도상국의 출산율이 여전히 높다는 점에서,<sup>62)</sup> 그리고 기후변화의 부정적 영향이 개발도상국에 거주하는 인구에서 더욱 크게 나타날 개연성이 높다는 점에서 개발도상국의 기후변화 대응 인구정책은 여전히 중요한 함의를 가질 것으로 전망된다. 기후변화에 대응하는 개발도상국의 인구정책에서 주된 이슈 중의 하나가 가족계획의 역할이다. Bongaarts(1994, p. 774)의 분석은 1995~2100년 기간에 걸쳐 개발도상국에서 이루어지는 인구 증가(World Bank 추계)의 49.12%가 인구 모멘텀(population momentum), 33.33%가 원하지 않은 임신-출산(unwanted fertility), 17.54%가 고출산 욕구(high desired family size)에 기초함을 보여 준다. Alan Guttmacher Institute(1999, p. 42)도 전 세계적으로 매년 2억 1천만 건의 임신 중에서 대략 38%가 계획하지 않은 임신이며, 22%는 인공임신중절로 종결됨을 보고한다. 이러한 분석 결과들은 현시점에서 세계 인구 증가를 주도하는 개발도상국 인구 증가의 상당 부분이 고출산에 대한 욕구가 아니라 원하지 않은 임신에 기초함을 시사한다.

개발도상국이 기후변화 및 이에 따른 환경 재난에 직면할 개연성이 높다는 점에서 인구 압력이 높은 개발도상국의 인구증가율을 낮출 필요성은 과거부터 지속해서 제기되었다. 가족계획이 출산율 감소에 큰 영향을 미치며(Liu & Raftery, 2020, p. 409), 개발도상국의 고출산 상황이 상당한 정도로 원하지 않은 임신에 기초함(Sedgh et al., 2014, p. 301)을 고려할 때 개발도상국에서 가족계획 프로그램을 통한 출산율 감소는

62) 참고로 UN(2022a)의 세계인구전망(World Population Prospects 2022)에 의하면 사하라 이남 아프리카(Sub-Saharan Africa) 지역의 합계출산율(TFR; 추정치)은 1950년의 6.5에서 지속해서 감소하고 있지만, 2021년의 합계출산율은 4.59 수준으로 여전히 높다.

기후변화 문제에 대응하여 상당한 효과를 거둘 수 있는 정책일 수 있다. 더욱이 출산율 감소와 관계없이 개발도상국의 현 인구 구조가 이미 성장 잠재력(인구 모멘텀)을 보유하고 있음을 고려할 때 출산율 감소가 조기에 이루어질수록 급격한 인구 증가로 인해 초래될 수 있는 파급 효과를 효과적으로 완화할 수 있다.

그러나 재생산권과 재생산 건강 등 개발도상국의 인구 증가 억제 정책을 둘러싼 문제 제기는 잘 알려진 사실이다. 물론 과거와 달리 현대적 의미의 가족계획은 재생산 건강과 재생산권 보장 같은 인권에 기초한 접근(rights-based approach)을 강조한다(United Nations Population Fund[UNFPA], 2011, p. 2). 비록 인구가 급격히 증가하는 개발도상국을 대상으로 한 가족계획 프로그램이 경제발전과 환경의 지속 가능성에 긍정적인 역할을 할 수 있지만, 이러한 기제가 성공적으로 작동할 수 있는 세부적인 조건에 대한 논의가 필요하다. 그렇지 않게 추진되는 가족계획 프로그램은 경제발전과 환경의 지속 가능성에 긍정적인 역할을 하지 못할 수 있음은 물론이고 재생산권 보장과 재생산 건강에도 위협이 될 수 있다.

더욱이 가족계획의 중요성을 강조하는 접근이 개발도상국이 직면한 지속 가능한 발전의 구조적 걸림돌(예컨대, 자원에 대한 접근과 분배의 불평등, 불공정한 국제관계, 내전 같은 정치 불안정)을 정확히 이해하고 이를 해결하기 위한 노력을 충분히 기울이는지는 분명하지 않다. Egerö(2013, p. 91)가 지적하는 것처럼 개발도상국을 대상으로 한 기존 가족계획 프로그램은 '잠재적으로 부모가 될 개인들'을 대상으로 한 우회적이고 분절적인 방편일 뿐 과거의 선진국처럼 사회경제적 발전에 기초한 인구변천을 가능하게 한 구조적 조건에서의 변화를 지향하지 않는다는 근본적인 한계가 있다. 이러한 점에서 가족계획을 포함한 개발도상국의 인구정책은 '사회경제적 발전'과 연계하여 추진되어야 하며, 그러한 맥락에서 추진

되어야 효과적인 인구변천과 함께 기후변화 같은 환경 문제에도 긍정적으로 기능하는 방안이 될 개연성이 높다.

한편 개발도상국의 인구 증가 속도를 늦추는 것이 기후변화에 대응하는 측면에서 일정한 역할을 할 수 있더라도 실제로 개발도상국이 온실가스 배출량 감축 같은 기후변화 문제의 완화를 ‘직접적인’ 목표로 인구 증가를 적극적으로 억제할 개연성도 높지 않다. 기후변화 문제에 대한 개발도상국의 적극적인 참여는 개발도상국이 직면한 현실적인 조건에 기초해야 실제적인 효과를 기대할 개연성이 높다. 이러한 측면에서 기후변화에 대응하는 정책은 국제적 공통 이슈와 함께 개별 국가(지역)가 직면한 주요 이슈들을 동시적으로 지향해야 한다. 개인들이 생활하는 ‘지역사회’와 밀접한 정책일수록 기후변화에 대응한 개발도상국의 적극적인 참여와 성과를 높일 개연성이 높다. 특히 기후변화에 대응하는 정책 목표가 생활 수준 향상, 지역사회 발전 등 개인들의 열망을 체계적으로 흡수할 수 있는 방식으로 설계되어야 한다.

이러한 점을 종합적으로 고려하면 기후변화에 대응하는 개발도상국의 ‘인구정책’은 온실가스 배출량 축소 같은 ‘완화’ 전략 대신에 ‘적응’을 강조할 필요가 있다. 기후변화의 부정적 영향을 받을 개연성이 상대적으로 높다는 점에서 기후변화에 대한 성공적인 ‘적응’은 개발도상국에서도 당면 과제이기에 문제 해결에 적극적으로 참여할 개연성이 높다. 고출산 같은 인구학적 현상도 개발도상국의 기후변화 적응(위해 노출, 취약성 등)과 관련된 함의 측면에서 검토되어야 적극적인 참여를 유도할 개연성이 높다. 한편 가족계획은 기후변화의 완화보다는 재생산권의 보장 측면에 초점을 맞출 필요가 있다. 잠재적으로 기후변화 문제를 완화하는 기능을 수행하더라도 가족계획이 지향하는 기본 목표는 재생산권의 보장이다 (UN, 1995, p. 40, 43). 기후변화와 관련된 가족계획의 역할은 기후변화가

재생산권 보장에 대해 갖는 합의에 기초하여 정립되어야 한다.<sup>63)</sup> ‘발전’을 둘러싼 과거의 논란과 마찬가지로 가족계획이 환경 문제의 해결을 궁극적인 목표로 하지는 않는다. 가족계획을 환경 문제 해결의 수단으로 이해하면 과거처럼 가족계획이 인구통제 목적으로 이용될 개연성을 높일 수 있다.

개발도상국의 가족계획이 재생산권 보장에 초점을 맞추면 극한 기온, 식량 안전성, 물 부족(스트레스) 같은 다른 기후변화 대응 분야에 비해 정책적 우선순위가 낮게 설정될 수 있다는 우려가 제기될 수 있다. 이러한 상황에서 가족계획이 직접적으로 재생산권을 보장하는 한편 간접적으로 기후변화에 대한 성공적인 대응에 기여하기 위해서는 국가의 ‘발전’ 전략 속에 주요 의제로 통합될 필요가 있다. 특히 인적 역량 강화와 성평등 및 재생산권 보장은 기후변화에 대한 취약성을 줄이고 적응력을 높이는 기초가 될 수 있다는 점에서 그 의미가 크다.

기후변화 문제가 전 세계적 차원의 문제임을 고려할 때 개발도상국의 기후변화 대응 역량을 강화하기 위해서는 선진국과 개발도상국을 아우르는 정책 연계도 필요하다. 개발도상국의 인구 문제에 체계적으로 대응하기 위해서는 개발도상국의 인구변천과 지속 가능한 발전에 장애가 되는 구조적 요인들을 확인하고, 이를 재구조화하기 위한 국제적 노력이 필요하다. 특히 개발도상국이 주도하는 노력이 성과를 거두기 위해서는 현재의 최빈국 대상 NAPAs(National Adaptation Programmes of Action) 같은 재정 지원을 확대하는 것과 함께 인력-시설이나 정보 제공 등에서의 국제적 지원도 중요하다(UNFCCC, 2024). 현재까지 개발도상국의 기후변화 적응을 위한 재정적 지원은 NAPAs처럼 직접적으로 기후변화 대응을 위한 지원과 개발도상국의 발전 관련 의제, 특히 경제발전과

63) 앞의 ‘기후변화와 인구동태’ 부분(제4장 제4절)에서 언급했듯이 기후변화는 피임실천 같은 재생산권 보장 및 재생산 건강 서비스에 대한 접근성 측면에서 큰 의미를 가질 수 있다.

복지를 증진하기 위한 ODA(Official Development Assistance)에 기초하고 있다. 발전 이슈를 지향하는 ODA도 기후변화에 대한 취약성을 줄이고 적응 역량을 강화하는 활동을 포함할 필요가 있다.

개발도상국과 큰 차이를 보이지만, 선진국의 인구정책에서도 기후변화에 대한 대응은 중요한 이슈이다. 선진국을 중심으로 저출산과 이로 인한 인구 고령화가 진행 중이며, 일부 국가에서는 인구가 본격적인 감소 국면에 진입하는 모습을 보인다. Egerö(2013, p. 94)가 지적하듯이 순수하게 논리적인 측면에서 볼 때 현 상황에서 기후변화 문제를 해결하기 위해 인구 감소가 바람직하다면 개발도상국보다는 선진국의 인구를 줄이는 것이 더 효과적이다. 선진국과 비교할 때 소비 수준과 온실가스 배출량이 낮은 개발도상국의 출산율 감소와 이에 따른 인구 증가 억제가 기후변화 문제의 완화에 미치는 영향은 상대적으로 제한적이기 때문이다.

그러나 현재 대부분의 선진국에서는 저출산이 주요 인구학적 문제로 등장하고 있다. UN(2022a)의 세계인구전망에 의하면 2021년 기준으로 OECD 38개 회원국 중에서 합계출산율(TFR; 추정치)이 대체출산율(replacement-level fertility) 수준을 넘어서는 국가는 이스라엘이 유일하다. 저출산 문제를 완화하기 위한 다양한 노력이 진행 중인 상황을 고려할 때 기후변화 문제를 해결하기 위해 선진국에게 추가적인 출산율 감소를 권고할 수는 없다. 현실적으로도 인구의 고령화와 감소 및 노동력 감소를 국가의 이해관계에 배치되는 중대한 문제로 이해하는 선진국이 추가적인 출산율 감소 및 이로 인한 인구 증가 억제 혹은 인구 감소에 관심을 보일 개연성은 매우 낮다. 특히 장기간에 걸친 초저출산 현상과 함께 인구가 본격적인 감소 국면에 진입한 것으로 추정되는 우리나라에서는 기후변화를 완화하기 위하여 추가적인 출산율 감소와 이에 기초한 인구 감소를 정책 목표로 설정하기 어렵고 바람직하지도 않다. 기후변화 문

제 못지않게 심각한 저출산 및 이로 인한 급격한 인구변동이 초래하는 부정적 파급 효과도 매우 클 수 있음을 이해해야 한다. 결론적으로 개발도상국과 마찬가지로 선진국에서도 기후변화 문제를 인구학적 접근으로 해결하려는 시도는 바람직하지 않다.

개발도상국에 비해 기후변화에 대응하는 역량이 높은 선진국에서는 다양한 국가적 차원의 의제 가운데 기후변화 이슈를 ‘주류화하는’ 노력이 무엇보다 중요하다. 기후변화에 대응할 수 있는 충분한 발전 관련 기초를 다지지 못한 개발도상국에서는 기후변화 대응이 중요하다더라도 정책의 실현 가능성을 둘러싼 불확실성과 다양한 분야를 가로질러 분출되는 경쟁적 욕구(특히 경제발전)로 인해 기후변화 이슈의 주류화는 매우 어려울 수 있다. 특히 대부분의 개발도상국이 심혈을 기울이는 발전 목표인 ‘빈곤 완화’는 정책 시계상 단기적 목표의 성격이 강하기에 장기적인 차원에서 작동하는 기후변화 대응 정책과 통합하기가 쉽지 않다. 반면에 개발도상국과 비교할 때 충분한 발전 역량을 이미 갖춘 선진국에서는 다양한 국가 의제를 계획하고 실행하는 과정에서 기후변화 문제를 통합적으로 고려하기가 상대적으로 수월할 수 있다. 더욱이 선진국에서도 대부분의 기후변화 대응(특히 적응) 조치들이 독립적으로 작동하는 대신에 다른 발전 관련 맥락 속에서 작동한다는 점을 고려할 때 기후변화 이슈의 주류화는 중요한 과제이다. 특히 발전 관련 맥락 속에서 기후변화 이슈를 효과적으로 주류화하기 위해서는 사회 구성원들의 ‘발전 가치’ 속에 환경(기후변화)의 중요성을 내면화하는 노력이 필요할 것이다.

서구 선진국에 비해 압축적인 경제성장을 경험한 우리나라는 온실가스 배출량을 줄이고 기후변화에 적응해야 하는 문제를 동시적으로 해결해야 하기에 발전 정책에서 기후변화를 통합적으로 고려해야 할 필요성은 더욱 크다. 우리나라는 2023년 기준으로 세계 10위의 에너지 소비 국가

이지만(에너지데이터, 2024),<sup>64)</sup> 총발전량 중에서 석탄 화력 발전량의 비율이 높고 재생에너지의 활용도가 낮은 상황이다.<sup>65)</sup> 또한 전체 산업 중에서 제조업의 비중이 높고, 철강, 정유, 화학, 시멘트 등 탄소를 많이 배출하는 산업 구조로 인해 탄소 무역장벽의 영향을 크게 받을 것으로 전망되고 있다(대한민국 정부, 2023, p. 4). 이에 따라 기후 친화적 경제-사회 체제로 신속히 이행해야 할 필요성은 다른 어떤 국가에 비해서도 높은 상황이다. 한편 괄목할 만한 경제성장에도 불구하고 상대적으로 자연적 및 사회적 재난 관리 체계나 복지 체계가 견고하지 못한 상황이기 때문에 기후 변화가 초래할 수 있는 부정적 영향에 효과적으로 대응하는 체계의 구축과 제도의 정비도 요구된다. 기후변화의 완화와 적응 문제를 모두 아울러 적기 대응이 필요하다는 점에서 인구, 발전, 기후변화 정책을 체계적으로 연계하는 접근이 더욱 중요한 상황이다. 기후변화와 발전 정책의 연계 및 주류화에 대해서는 다음 절의 주요 정책 과제에서 좀 더 세부적으로 검토하기로 한다.

기후변화 대응 정책의 기본 방향과 관련된 세 번째 이슈로 아래에서는 국가-지역 정책의 역할에 대해 간략히 언급한다. 인구정책 일반과 마찬가지로 기후변화 대응에서도 국가-지역 정책의 역할 분담과 연계는 중요하다. 기후변화 관련 정책은 인구와 환경의 상호적 관계와 이러한 관

64) 에너지데이터(Enerdata) 통계에 의하면 2023년 기준으로 우리나라의 총 에너지 소비량은 291Mtoe로 세계 10위로 나타난다(에너지데이터, 2024). 참고로 1toe는 석유환산톤(ton of oil equivalent)으로 원유 1톤을 연소할 때 발생하는 에너지원의 발열량을 의미한다(1toe = 1,000만kcal; 1Mtoe = 100만toe).

65) 2022년 기준으로 우리나라 에너지원별 발전 비율에서 석탄의 구성비는 39.7%에 이른다(통계청, 2024c). 한편 국제에너지기구(IEA)의 재생에너지(정의) 기준으로 2022년(잠정치) 우리나라의 전체 발전량(46,888GWh) 가운데 재생에너지가 차지하는 비중은 7.4%에 불과하다. 주요 OECD 국가의 재생에너지 비중은 미국 21.6%, 일본 22.6%, 독일 43.0%, 영국 41.9%, 프랑스 24.5%로 우리나라와 큰 차이가 있다(산업통상자원부-한국에너지공단, 2023, pp. 262-263). 참고로 재생에너지에 대하여 국제적으로 통일된 정의는 없다. 산업통상자원부-한국에너지공단(2023, p. 19)이 발표하는 우리나라 재생에너지 발전량은 50,406GWh로 전체 발전량의 8.05%를 차지한다.

계를 조정하는 다양한 기제의 역할을 종합적으로 고려할 필요가 있으며, 국제적 협력과 함께 국가 및 지역사회의 정책 연계가 중요하다. 기후변화의 공간적 전개 양상을 고려할 때 기후변화에 효과적으로 대응하기 위해 국제적 차원의 대응과 협력이 요구됨은 재론의 여지가 없다. 그러나 국제적 차원에서 기후변화의 중요성을 환기하고 문제를 개선하기 위해 노력하더라도 국가 및 지역 정책과의 연계가 부족하면 그 효과가 제한적일 수밖에 없다. 국제적 협력 없이 기후변화 문제를 해결할 수 없음은 분명하지만, 여기에서는 기후변화 관련 국제적 차원의 논의를 주어진 조건으로 간주하고 국가 및 지역 정책의 방향에 초점을 맞춘다. 비록 국가 및 지역 정책이 기후변화와 관련하여 개별 국가 내에서 이루어지는 모든 의사결정의 맥락을 포괄하지는 못하지만, 기후변화 대응 정책의 방향 설정 측면에서는 국가-지역 단위 정책이 핵심을 이룬다고 볼 수 있다.

우선 국가 정책은 법령이나 계획을 제정 및 수립하고 실행하여 기후변화에 적응하는 기본 방향을 제시하고 다양한 이해관계를 조정한다는 점에서 기후변화와 관련된 국제 및 국내 정책의 기초를 이룬다. 기후변화에 대응하는 '적응' 조치의 중요성을 인식함에 따라 최근 들어 소규모 공간 단위의 상향식 접근이 점점 강조되는 경향이 있지만, 지역사회 단위에 초점을 맞춘 기후변화 대응 전략은 기후변화의 국제적 및 국가적 차원의 함의를 간과할 위험이 있다. 다양한 이해관계자와 복잡한 요인들이 개입되는 기후변화의 국지적 양상을 고려할 때 지역사회에 초점을 맞춘 대응은 기후변화의 장기적 전개 양상을 염두에 두는 계획을 수립하는 데 적절하지 않을 수 있다. 또한 기후변화에 적절히 대응하기 위해서는 지역사회의 적극적인 참여가 필요하지만, 사회 기반 시설 구축 등 지역사회 차원에서 해결하기 쉽지 않은 문제에 대해서는 국가적 차원의 개입이 필요하다. 무엇보다도 기후변화를 주류화하기 위해서는 국가적 차원의 논의가 필수적

이다. 기후변화 대응 정책이 국가의 발전 이슈와 밀접히 연계되어 있다는 점에서 국가 차원의 발전 전략에 통합될 때 그 효과가 배가될 수 있다. 기본적으로 국가 차원에서 수립되는 발전 계획이나 전략이 국제 및 지역 차원에서 이루어지는 모든 정책의 기본 틀이 되기 때문이다.

쉬운 과제는 아니지만, 기후변화 대응 정책과 국가 발전 전략의 연계는 단순한 구호에 그치지 않고 국가의 발전 의제 속에 기후변화 대응 전략이 구체적으로 나타나야 한다. 비록 기후변화 대응에서 재난 관리, 식량 안전성, 수자원 확보 같은 ‘특정 분야’를 대상으로 시급한 개입에 초점을 맞춘 단기적 프로젝트가 강조되지만(Mutungu & Hardee, 2009, p. 188), 기후변화 대응 정책은 장기적 전략에 대한 고려도 필요하며, 이를 통해 지속 가능한 발전 목표(SDGs) 같은 장기적 차원의 발전 전략과도 연계될 필요가 있다. 또한 단일 분야에 초점을 맞춘 접근 대신에 기후변화 취약성을 둘러싼 다양한 분야를 연계하여 시너지 효과를 높이는 것도 중요하다. 기후변화 대응 정책과 국가의 발전 전략을 추진하는 정부 부처가 다른 경우가 일반적임을 고려할 때 부처 간 협력도 중요한 과제이다.

기후변화에 대응한 국가 차원의 논의는 국가 정책의 다양한 단계에 걸쳐 이루어질 필요가 있다. 첫째, 지속 가능한 발전 전략 등 국가적 차원의 중장기 정책을 ‘수립’하는 단계에서 기후변화에 대한 고려가 필요하다. 특히 부문별 및 하위 계획을 수립하는 과정에서 기후변화에 취약한 집단과 지역을 확인하고 이들의 대응 역량을 높일 수 있는 조치를 마련해야 한다. 둘째, 국가 정책의 재원을 배분하는 단계에서도 기후변화에 취약한 집단이나 지역의 적응력을 높일 수 있는 조치에 재원이 적절히 배분될 수 있도록 해야 한다. 마지막으로, 기후변화 대응 정책이 성공하기 위해서는 기후변화에 관한 포괄적인 모니터링과 양질의 데이터베이스 구축, 기후변화의 영향에 대한 체계적인 평가도 국가적 차원에서 추진되어야 한다.

한편 국가 정책 못지않게 지역 정책도 기후변화 대응에서 중요하다. 물론 현재까지 기후변화 문제의 '완화' 논의에서는 국가 및 전체 국가를 아우른 국제적 접근이 지배적이다. 기후변화 문제의 완화에 관한 논의가 전체 지구 시스템을 포괄하는 기후 모델에 크게 의존하는 것도 이와 관련이 있다. 그러나 인구변동과 마찬가지로 폭염, 홍수 등 극한 기상과 자연재난, 건강, 생계 등 기후변화의 영향은 '지역' 수준에서 명확히 가시화되고 체감된다. 이렇게 기후변화의 영향이 기본적으로 특정 '장소'에서 그 모습을 구체적으로 드러내고 체감된다는 점에서 기후변화의 영향과 적응 논의에서는 '지역' 단위의 접근이 매우 중요하다. 중요성에도 불구하고 국제 및 국가 차원의 접근은 기후변화에 대한 개인과 지역사회의 취약성이 형성되는 구체적인 맥락을 포괄하지 못할 수 있다. 특히 기후변화에 대한 취약성이나 적응력이 국가적 차원의 지표를 통해서 잘 파악되지 않는 '지역적 조건'의 영향을 받을 수 있다는 점에서 기후변화의 주류화를 위해서는 지역적 차원의 논의가 추가될 필요가 있다.

또한 기후변화에 성공적으로 대응하기 위해서는 기후변화의 영향을 직접적으로 접하는 지역사회 이해관계자의 적극적인 참여가 필요하다. 이러한 점에서 개인들이 생활하는 '지역사회'와 밀접한 정책일수록 적극적인 참여와 성과를 높일 수 있다. 예컨대, 선진국과 개발도상국을 모두 아울러 온실가스 배출 감소 같은 기후변화 '완화'에 대한 관심이 부족하더라도 기후변화 '적응' 전략에 대한 관심은 높다. 또한 정책의 수립과 실행 과정에서도 일방적인 하향식 접근 대신에 지역사회 주민들의 적극적인 참여와 이들의 욕구에 기초한 상향식 접근을 고려하는 것도 지역사회 차원에서 기후변화 대응 정책을 성공적으로 추진하는 데 중요할 수 있다. 지역사회 이해관계자의 적극적인 참여를 촉진하기 위해서는 기후변화 및 기후변화 위험에 관한 정보의 전달과 공유가 중요하다. 특히 여성, 아동,

노인, 장애인, 빈곤층 등 사회적 취약계층이 기후변화 위험에 관한 정보에 접근할 수 있는 조치를 마련해야 한다. 국가 정책과 마찬가지로 이러한 논의들은 지역사회의 발전 정책에 적절히 반영될 필요가 있다. 물론 지역사회의 기후변화 대응 역량을 강화하기 위해서는 지역사회에 대한 국가 차원의 인적, 재정적, 기술적 지원과 협력도 필요하다.

## 제2절 기후변화 대응 정책의 주요 과제

과거 기후변화 논의에서는 ‘완화’가 주된 정책 방향이었으며, 최근 들어 중요성이 커지는 ‘적응’ 전략 논의에서도 분야별 논의를 넘어 적응 전략의 전반적인 틀을 구축하는 작업은 쉽지 않은 과제로 남아 있다. 이는 기후변화 자체와 비교할 때 ‘적응’ 논의의 기초가 되는 기후변화의 사회경제적 파급 효과를 정확히 전망하기가 매우 어려운 것과도 관련이 있다. 그럼에도 앞에서 언급했듯이 이 연구가 검토하는 인구 부문에서는 ‘적응’에 초점을 맞추어 기후변화 대응 정책을 추진하는 것이 바람직하다. 인구와 기후변화 문제를 둘러싼 사회적 공감대를 확보하고 구성원들의 적극적인 참여를 통해 인구-기후변화 대응 정책의 성과를 높이기 위해서는 ‘적응’에 초점을 맞춘 접근이 필요하다는 것이다. 기후변화 문제의 ‘완화’ 전략에서는 자연적 원인과 인위적 원인을 구분한 원인 규명이 중요하지만, ‘적응’ 전략은 사회적 논란 없이 인위적 원인은 물론이고 자연적 원인(내부 변동성, 자연적 강제력)을 모두 아우를 수 있다는 점에서도 비교우위에 있다.

기후변화에 대한 대응과 관련하여 이 연구는 기후변화에 ‘특화된’ 정책 방안보다는 한국 사회가 당면한 다양한 이슈들을 통합적으로 지향하는

접근의 중요성을 강조한다. 기후변화 대응이 인구변동은 물론이고 지속 가능한 발전, 재난 위험 대응, 환경(대기) 오염 등과 밀접히 연관된 이슈임을 고려할 때 특화된 방식보다는 ‘통합적’ 접근에 기초할 때 이들 문제에 성공적으로 대응할 개연성이 높다. 이슈의 다양성에도 불구하고 공통적으로 계층적 지위가 낮을수록 자연적-사회적 위험(빈곤, 재난, 오염 등)에 노출되어 부정적으로 영향을 받을 개연성이 높다. 계층적 지위가 낮을수록 적응 역량 또한 낮다는 점에서 적극적인 정책적 개입에 대한 요구도 크다. 이러한 측면에서 환경 관련 재난이나 오염의 문제도 인구학을 포함하여 다양한 분야 간 협력이 요구되는 분야임에는 의문이 없다. 비록 통합적 대응 정책과 관련하여 기후변화 문제를 지속 가능한 발전, 재난 위험 대응, 환경(대기) 오염과 연계하여 추진하는 방안을 검토하지만, 기후변화 문제에 대한 통합적 대응이 이들 사례에 국한하지 않음은 물론이다.

## 1. 발전 정책과 기후변화 대응 정책의 연계

앞에서 지속적으로 강조했듯이 기후변화가 규모, 시계, 강도에서 일반적인 위험과는 구분되는 광범위한 파급 효과를 초래한다는 점에서 기후변화 대응 정책은 ‘발전’의 맥락에서 추진될 필요가 있다. 현시점에서 발전에 관한 국제적 논의를 주도하는 UN의 지속가능발전목표(SDGs)에서도 기후변화의 부정적 영향을 줄이기 위해 온실가스 배출량을 줄이고 적응 역량을 강화하는 것을 주요 목표 중의 하나로 설정하고 있다(목표 13)(UN, 2024). 그럼에도 현재까지 발전에 관한 국내의 논의에서는 기후변화가 초래할 수 있는 위험에 대해 충분한 관심이 주어지지 못하는 상황이다. 더욱이 ‘지속 가능한 발전’의 문제를 ‘환경’ 문제로 축소시켜 이해하는 경향도 관측된다.

그러나 기후변화와 관련되는 동시에 아래에서 논의되는 인구정책, 재난 위험 대응 정책, 환경정책과도 밀접히 연계됨으로써 발전은 우리나라를 포함하여 오늘날 국제사회가 직면한 다중적 문제를 해결하기 위한 핵심 요소라고 할 수 있다. 기후변화 대응 정책과 발전 정책이 연계될 필요성은 기후변화 문제에 대한 대응의 시급성에도 불구하고 대부분의 국가에서 우선순위가 '발전'에 주어지는 것과는 관련이 있다. 예컨대, 기후변화가 초래하는 위험에 더욱 취약한 개발도상국조차 기후변화를 완화하기 위한 온실가스 배출 감소보다는 빈곤 감소와 경제적 발전이 더욱 시급한 국가적 과제로 추진되는 상황이다. 괄목할 만한 경제성장을 이룩한 우리나라 또한 예외라고 하기는 어렵다.

물론 인구-기후변화 연구의 분석 틀(제2장)에서 언급했듯이 여기에서 의미하는 발전은 경제적 발전에 국한하지 않는다. 소득, 교육, 건강 등 발전을 구성하는 사회경제적 요인들은 다양한 방식으로 기후변화에 성공적으로 대응하는 역량을 강화할 수 있다. 교육 수준이 높을수록 기후변화와 관련된 위험을 더 잘 이해하고 온실가스 배출을 줄이는 기술을 획득하고 적응력을 높이는 조치를 취할 수 있다. 소득 수준이 높을수록 기후변화에 취약한 지역에서 벗어나거나 기후변화의 부정적 영향을 줄일 다양한 자원을 보유하고 활용할 수 있다. 경제적 발전 수준이 높을수록 기후변화를 준비하고 다양한 제도적 대응과 정책적 개입을 추진할 수단을 보유한다. 건강 수준이 양호할수록 기후변화가 초래하는 부정적 영향을 적게 받는 동시에 부정적 영향을 받더라도 사망 위험을 낮추고 빠르게 회복할 개연성이 높다. 더욱 근본적으로 발전 수준이 높을수록 기후변화가 초래하는 다양한 위해에 대한 노출과 취약성을 줄이고 적응 역량을 높일 수 있다. 비록 발전을 구성하는 이러한 다양한 요인들이 기후변화 대응 역량을 높이는 인과적 기제가 항상 명확한 것은 아니지만, 기후변화가 초래할 수 있는 부정적 영향에 대응하는 수단으로 발전을 고려할 필요가 있는 것이다.

발전과 기후변화 문제를 통합적으로 지향하기 위해서는 ‘적응’ 차원에서 두 이슈를 바라볼 필요가 있다. 기후변화 문제의 ‘완화’와도 밀접히 연관되기는 하지만, 무엇보다도 발전은 기후변화에 대한 ‘적응’과 밀접히 관련된다. 기후변화가 인류가 적응해야 할 유일한 문제는 아니며, 현대 사회는 다양한 자연적 및 사회적 변동에 직면하여 동시에 적응할 것이 요구된다. 예컨대, 세계 각국은 기후변화에 대한 적응뿐만 아니라 세계화, 저성장, 빈곤-불평등, 고령화, 도시화, 최근의 COVID19 글로벌 팬데믹 같은 다양한 변화에 적응할 것이 요구되는 것이다. 그러나 O’Brien et al.(2008, p. 196)이 지적하듯이 현실적으로 기후변화에 대한 적응을 다른 사회 변동에 대한 적응과 명확히 구분하기는 쉽지 않다. 특정 문제에 적응하는 조치가 다른 사회변동에 대한 적응에도 영향을 미칠 개연성이 높다. 이렇듯 특정 적응 조치의 다차원적 파급 효과를 고려할 때 발전과 기후변화에 대한 적응을 엄밀히 구분하고자 하는 시도는 비생산적일 수 있다. 더욱이 기후변화에 특화된 적응 조치는 선택지가 많지 않은 동시에 기존의 적응 조치와 확연히 구분되는 접근을 요구하기에 사회적 수용성 또한 떨어질 개연성이 높다(McGray et al., 2007, p. 4, 22).<sup>66)</sup>

다른 한편으로 발전과 비교할 때 기후변화에 대한 적응이 상대적으로 최근에 주목을 받기 시작한 이슈이지만, 빈곤 완화, 영양 개선, 교육 확대, 건강 향상 등 통상적인 발전 전략과 기후변화 적응 방안 간에는 중첩되는 부분이 존재한다(Organisation for Economic Co-operation and Development[OECD], 2009, p. 53).<sup>67)</sup> 이러한 측면에서 발전은 기후

66) 해수면 상승으로 인한 주민의 이주나 병하의 해빙 위협에 대응하는 조치처럼 기후변화에 특화된 조치를 생각해 볼 수 있지만, 활용 가능한 선택지는 제한적일 개연성이 높다.

67) 비슷한 맥락에서 기후변화의 영향을 고려하지 않는 순수한 발전 전략과 기후변화를 명시적으로 지향하는 조치를 양극단으로 하는 연속체로 적응을 이해하기도 한다(McGray et al., 2007, p. 18). 적응에 대한 이러한 방식의 이해에 기초하여 이들은 연속체를 대략 4가지의 적응 유형으로 구분한다.

변화를 포함한 다양한 사회변동에 적응하는 과정에서 공통의 기초가 될 수 있다. 기후변화에 특화된 대응은 아니더라도 발전은 식량, 물, 주거지는 물론이고 사회 기반 시설의 확충, 인간 개발(교육), 영양 개선, 건강 향상 등을 통해 기후변화가 초래할 수 있는 위험을 줄이고 적응력을 높이는 잠재적 기능(latent function)을 발휘할 수 있다. 일반적으로 선진국과 비교할 때 개발도상국이 기후변화의 위험에 노출될 개연성이 높은 것은 개발도상국의 지리적 위치(예, 저위도)나 인구학적 조건(예, 높은 인구 성장률)과도 관련되지만, 개발도상국이 기후변화가 초래하는 위험을 줄이고 적응력을 높일 수 있는 사회경제적 발전 역량을 갖추지 못한 점이 기인하는 바가 더욱 크다. 더 나아가 개발도상국의 지리적 위치가 초래하는 문제나 높은 인구성장률도 사회경제적 발전과 무관하지 않다. 사회경제적 발전의 기초가 다져질수록 기후변화에 따른 지리적 위치의 부정적 파급 효과를 줄이는 동시에 고출산율 및 이로 인한 급격한 인구 성장의 문제도 완화될 개연성이 높아진다.

발전과 기후변화에 대한 적응의 문제는 개발도상국에만 국한되지 않고 선진국에서도 중요한 과제이다. 우리나라처럼 경제적으로 괄목할 만한 성장을 이룬 경우에도 발전의 문제는 기후변화에 대한 성공적인 대응과 관련하여 매우 중요한 이슈이다. 그러나 국제적으로 중요한 이슈인 지속 가능한 발전의 문제는 현재까지 한국 사회의 핵심 발전 목표로 자리 잡지 못한 상황이다. 경제 및 사회 분야의 적극적인 참여 없이 환경 분야의 주도로 지속 가능한 발전 논의가 이루어진 점은 이러한 문제를 잘 보여 준다. 최근 들어 기후변화가 더 큰 주목을 받고 있지만, 이 또한 환경 부문 중심의 이슈로 해석되는 동시에 지속 가능한 발전 논의와 체계적으로 연계 되지 못하는 상황이다.

발전과 기후변화 대응 간 시너지 효과를 극대화하기 위해서는 발전 정책 속에 기후변화 대응 정책의 주류화가 필요하며, 이를 통해 발전과 기

후변화 문제를 통합적으로 논의해야 한다. 특히 개발도상국에서는 빈곤 완화가 발전 욕구를 충족하는 동시에 기후변화에 대한 적응 차원에서도 중요한 역할을 할 수 있다. 자연환경에 생계를 의존하는 개발도상국일수록 빈곤 완화 기제가 제대로 작동하지 않으면 ‘인구-환경의 악순환 모델’처럼 생계 활동은 궁극적으로 환경을 훼손하고 기후변화에 대한 적응에도 부정적 영향을 미칠 수 있다. 이러한 측면에서 O'Brien et al.(2008, p. 199)은 어떠한 기후변화 협의에서도 전 지구적, 특히 개발도상국의 빈곤 완화가 논의의 출발점이 되어야 함을 주장한다.

그럼에도 발전 정책이 그 자체로 기후변화에 대한 성공적인 대응을 보장하지는 않는다. 기존의 모든 발전 전략이 기후변화 적응을 위한 조치로 정당화되어서도 안 될 것이다. 기후변화의 위험과 이에 대한 적응을 고려하지 않은 과거와 같은 방식의 발전 전략은 기후변화에 대한 적응을 돕는 커녕 기후변화 위험에 노출될 개연성과 취약성을 심화시킬 수도 있다. 이미 변화된 혹은 향후 변화될 기후 조건을 적절히 반영하지 못한 발전 전략은 기후변화에 대한 부적응으로 이어질 수 있고, 더 나아가 발전 전략 자체에도 부정적 영향을 미칠 수 있다. 이러한 측면에서 기존 및 현재 진행 중인 발전 전략이 기후변화 적응 측면에서 어떤 역할을 하는지에 대한 면밀한 검토가 필요하며, 기후변화에 대한 적응 기능이 효과적으로 작동하기 위한 추가적인 투자도 필요할 수 있다.

현재까지 기후변화 대응을 발전 정책의 핵심 가치로 만들어 내는 것은 쉽지 않은 과제이다. 발전 의제에서 기후변화를 주류화하는 데 다양한 걸림돌이 존재한다. 특히 발전과 관련하여 전 세계적으로 중대한 파급 효과를 초래하는 현상이 세계화(globalization)이다. 기후변화의 영향이 다양한 분야를 가로질러 전개됨에 따라 기후변화와 세계화의 영향은 서로 상승작용을 일으키기도 한다. 세계화로 인한 국제적 경쟁 심화는 국제무역

이 전파하는 시장 충격에 취약한 국가(특히 개발도상국)나 집단의 성공적인 발전을 저해하는 동시에 기후변화 문제에도 취약하게 되는 구조적 조건을 만들어 낸다. 개발도상국의 빈곤 문제가 기후변화와 무관한 문제가 아니며, 세계화 현상이 기후변화와 지속 가능한 발전을 성공적으로 연계하는 측면에서 중요한 걸림돌이 되고 있는 상황이다.

한편 발전의 문제는 개발도상국에 국한된 문제는 아니며, 선진국에서도 중요하다. 빈곤과 불평등이 개발도상국만의 문제는 아닌 것이다. 기후변화 논의에서 발전을 개발도상국에서 선진국으로의 '선형적'(linear) 발전으로 바라보는 시각은 바람직하지 않다. 기후변화를 초래하는 문제의 핵심에 선진국의 생산과 소비의 문제가 있다는 점은 기후변화 논의에서 발전의 문제를 개발도상국에 국한하거나 개발도상국에서 선진국으로의 단선적 발전에 기초한 접근이 적절하지 않음을 잘 보여 준다. 또한 발전과 기후변화 대응의 통합적 접근에서는 개발도상국과 선진국의 관계 및 이를 조정하는 선진국의 역할이 매우 중요하다.

발전과 관련하여 위에서는 소득, 소비, 빈곤 같은 경제적 측면에 초점을 맞추었지만, 인간 개발이나 성평등 같은 사회문화적 측면도 중요하다. 이 연구에서는 기후변화 문제를 해결하는 수단으로 인구 증가의 억제를 지향하는 인구정책이 적절하지 않음을 언급한 바 있다. 그럼에도 인구변동이 기후변화에 미치는 영향을 고려할 때 인간 개발이나 성평등 같은 발전 이슈는 매우 중요한 의미를 지닌다. 인적 역량의 강화와 성평등은 그 자체로 중요한 발전 과제이지만, 기후변화를 포함하여 '다양한' 유형의 위협에 대한 취약성을 줄이고 적응력을 높이는 기초를 형성한다는 점에서 그 의미가 매우 크다. 특히 기후변화의 영향을 둘러싼 불확실성이 클수록 기후변화에 특화된 방식보다는 인적 역량 강화처럼 다양한 방식으로 활용될 수 있는 기초 역량 강화에 우선순위가 주어질 필요가

있다. 이러한 범용 목적의 기초 역량 강화는 후속적으로 기후변화에 특화된 적응 조치의 효과성을 높이는 측면에서도 중요하다. 취약성을 줄이고 적응력을 높이는 기초 역량이 강화되지 않으면 기후변화에 특화된 조치의 효과성을 떨어뜨릴 수 있다는 것이다. 인구, 발전, 기후변화 정책이 연계하여 집중할 부분이 바로 이 지점이다.

발전과 기후변화 대응 정책의 연계는 정책의 모든 단계에서 이루어질 필요가 있다. 발전 정책의 최초 수립 단계에서부터 기후변화를 염두에 두는 시각을 견지할 필요가 있다. 물론 기후변화를 둘러싼 불확실성이 상당하기에 정책의 수립 단계에서 기후변화의 영향을 체계화하기는 쉽지 않을 수 있다. 그럼에도 발전 계획을 수립하고 추진하는 과정에서는 환경영향평가의 사례처럼 기후변화 위험에 대한 명시적인 고려가 필요하다. 발전 정책의 실행 과정에서도 기후변화를 염두에 둔 진행이 필요하다. 특히 기후변화 위험에 취약한 집단, 부문, 지역의 대응 역량을 높일 수 있도록 자원이 적절히 배분되어야 한다. 이를 위해서는 자원 분배 및 집행의 기준에 기후변화 대응이 포함될 필요가 있다. 마지막으로 발전 정책의 모니터링, 평가, 및 환류 과정에서도 발전 정책이 기후변화 대응에 적절히 기능하는지에 대한 검토가 필요하다.

지속 가능한 발전은 발전의 경제적, 사회적, 환경적 측면의 복잡한 관계에 대한 이해에 기초하여 통합적인 접근을 지향해야 한다. 이에 따라 지속 가능한 발전에서는 한 영역에서의 발전이 다른 영역의 발전 역량을 훼손하지 않아야 한다. 환경의 지속 가능성을 확보하기 위해 재생에너지의 비중을 높이는 등 경제발전에서도 순환경제(circular economy)나 효과적인 자원 관리의 중요성이 강조될 필요가 있다. 압축적인 경제성장을 경험한 한국 사회에서도 경제성장의 기초 전환은 쉽지 않은 과제이다. 다른 한편으로 경제적 발전과 비교할 때 사회적 발전 영역의 진척이 더디

며, 다양한 과제가 산적해 있다. 그럼에도 인권(성평등), 복지, 불평등, 인간 개발 등에서 이루어지는 사회적 발전은 경제적 발전의 지속 가능성에 긍정적인 기여를 하는 동시에 환경의 지속 가능성을 확보하고 환경 변화에 성공적으로 적응하는 기초가 될 수 있다.

우리나라에서는 2008년에 ‘지속가능발전 기본법’이 시행되지만, 2010년에 ‘저탄소 녹색성장 기본법’이 시행되면서 기본법 대신에 일반법인 ‘지속가능발전법’으로 지위가 전환되었다. 가장 최근인 2020년에 수립된 ‘제4차 지속가능발전 기본계획(2021~2040)’은 지속가능발전법이 아니라 저탄소 녹색성장 기본법(제50조)에 법적 근거를 두고 있다(다만, 2년마다 작성되는 지속가능성 보고서는 지속가능발전법(제14조)에 기초). 그러나 지속가능발전이 녹색성장의 상위 개념에 속한다는 문제 제기로 2021년에 ‘저탄소 녹색성장 기본법’이 폐지되고 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)’이 제정되었으며, ‘지속가능발전법’은 2022년에 다시 ‘지속가능발전 기본법’으로 기본법의 지위를 회복하였다. 그러나 기본법의 지위를 가진 ‘지속가능발전 기본법’과 ‘탄소중립기본법’의 관계와 역할 분담은 여전히 불분명한 상황이다.<sup>68)</sup>

과거 우리나라의 지속 가능한 발전과 기후변화 대응 논의에서는 환경 관련 부처-기관이 주도하는 모습을 보였다. 동일한 부처-기관이 주도함

68) 2022년에 제정된 지속가능발전 기본법은 기존의 ‘지속가능발전 기본계획’을 대신하여 지속가능발전 국가기본전략(제7조)과 지방기본전략(제8조)을 수립하도록 하고 있다. 다만 최초 국가기본전략이 수립될 때까지는 기존의 지속가능발전 기본계획을 국가기본전략으로 본다(부칙 제3조). 또한 기본전략을 추진하기 위하여 5년마다 중앙-지방 추진계획을 수립할 것을 규정하며(제9조), 지속가능발전 국가위원회-지방위원회는 2년마다 지속가능발전 국가보고서-지방보고서를 작성하도록 하고 있다. 한편 지속가능발전법에 기초한 지속가능발전위원회는 지속가능발전 국가위원회로 대체되었다. 과거 환경부가 주도한 지속가능발전 기본계획과 달리 국무조정실장이 지속가능발전 국가기본전략의 수립 및 변경과 관련된 업무를 총괄한다(지속가능발전 기본법 시행령 제2조). 본 보고서의 작성 시점에서 지속가능발전포털(<https://www.ncsd.go.kr/>; 2024. 8. 30. 접속)이 환경부에서 국무조정실·국무총리비서실로 이전되어 관리되고 있음이 확인되지만, 현재까지 제11기 지속가능발전 국가위원회 위원의 구성은 확인되지 않는 상황이다.

으로써 지속 가능한 발전 전략과 기후변화 대응 전략의 연계성을 높일 수 있는 장점도 있지만, 환경 관련 부처-기관 중심의 접근은 경제, 사회, 인구와의 연계성 측면에서 한계가 있을 수 있다. 특히 환경 관련 부처-기관이 환경 부문을 넘어 경제, 재정, 복지 등 지속 가능한 발전과 기후변화 대응에서 중요한 의미를 갖는 영역에 미치는 영향력이 제한적일수록 지속 가능한 발전과 기후변화 대응 이슈 모두 주변화될 위험성이 있다. 현재 우리나라가 바로 이러한 상황에 있는 것으로 보인다.

우리나라는 UN-SDGs와 관련된 국제적 합의를 이행하고 국가의 지속 가능한 발전을 촉진하기 위하여 5년마다 20년의 계획기간으로 '지속가능발전 기본계획'을 수립하고 있다. 2020년에 수립된 제4차 지속가능발전 기본계획(2021~2040)은 3차 기본계획이 '환경' 분야를 중심으로 수립된 점을 보완하여 UN-SDGs와 마찬가지로 17개 분야를 아우른 목표를 수립하였다(대한민국 정부, 2020a, 2020b). 제4차 기본계획은 기존 기본계획을 심층적으로 재검토하여 목표별로 중점 정책 과제를 선정하고 이를 측정하기 위한 지표를 보완하였다. 경제, 사회, 환경 관련 주요 이슈들을 포괄적으로 다루는 UN-SDGs와 마찬가지로 지속가능발전 기본계획(K-SDGs)의 주요 목표에는 이 연구가 초점을 맞추는 '인구'와 '기후변화' 대응 문제도 포함되어 있다. 그러나 지속 가능한 발전 전략이 지닌 중요성과 잠재력에 비해 현재의 지속가능발전 기본계획의 위상은 매우 낮은 것으로 보인다. K-SDGs는 선진국과 개발도상국을 모두 아울러 지속 가능한 발전의 기본 과제(방향)를 제시하는 UN-SDGs의 내용(목표-세부목표)을 부분적으로 조정하는 수준에 그침으로써 우리나라의 상황에서 지속 가능한 발전을 어떻게 체계적으로, 그리고 효과적으로 추진할 것인지에 관한 심층적인 검토가 부족하다. 기본계획에서 제시한 목표를 달성하기 위해 요구되는 재정 투입 계획이 없는 동시에 개별 이슈 또한 심층적으로 검토되지 못하는 모습을 보인다.

잘 알려져 있듯이 1960년대 이후 사하라 이남 아프리카 지역을 제외한 전 세계로 크게 확산한 가족계획과 사회경제적 발전 이슈는 1970년대부터 국제인구개발회의(ICPD)로 이어졌다. 1974년 부쿠레슈티(Bucharest), 1984년 멕시코시티(Mexico City), 1994년 카이로(Cairo)에서 10년 단위로 열린 국제인구개발회의(ICPD)가 바로 그것이다. 인구와 발전 문제에 초점을 맞춘 이들 회의는 2000년대에 들어 MDGs에 이어 SDGs 체계로 이어진다. 인구와 발전에 초점을 맞추었던 과거와 달리 국제적 논의의 이슈가 크게 확장된 것이다. 결과적으로 경제, 사회, 환경을 모두 아우르는 SDGs 같은 체계가 효과적으로 추진되기 위해서는 다양한 이슈 간의 관계에 대한 정확한 이해와 정책 연계가 중요하다.

근본적으로 MDGs나 SDGs의 문제이기도 하지만, K-SDGs(대한민국 정부, 2020a, 2020b)에서도 인구 문제가 언급되기는 하지만, 아래에서 논의하듯이 주요 이슈들이 유기적으로 연계되지 못한다. 우선, 인구와 관련하여 제4차 기본계획에서는 저출산 및 인구의 고령화와 감소로 인한 문제(세부 목표 3-8: 대한민국 저출생 극복과 인구 고령화 대비)와 재생산권과 재생산 건강 보장 문제(세부 목표 5-5: 성·재생산 건강과 재생산 권리에 대한 보편적 접근 보장)를 언급하지만(대한민국 정부, 2020b, pp. 50, 97-98), 형식적인 수준에 그친다. 특히 인구정책에서 핵심적인 이슈 중의 하나인 재생산권과 재생산 건강 보장 목표의 지표로 ① 성·재생산권과 건강 관련 정보 제공 및 교육을 보장하는 제도의 마련 여부, ② 초·중·고등학교에서 성교육을 수행한 비율, ③ 피임 실천율을 제시하는데(대한민국 정부, 2020b, p. 98), 과연 이들 지표를 통해 재생산권과 재생산 건강 보장을 적절히 측정할 수 있는지는 의문이다. 참고로 현재까지 앞의 두 지표(① & ②)는 통계조차 구축되지 못한 상황이다. 피임 실천율도 현 수치(2018년 기준 82.3%)만을 제시할 뿐 구체적인 추진 목표치나 추진 전략에 대한

언급 없이 2030년과 2040년의 목표를 단순히 ‘지속 증가’로만 언급하고 있다(대한민국 정부, 2020b, p. 98). 재생산권을 보장하기 위해서는 개인(부부)이 출산 여부를 포함한 자녀의 수, 출산 시기, 터울을 자유롭게 결정하고, 이를 달성하기 위한 정보와 실질적인 수단에 접근할 수 있어야 하지만, 현재의 K-SDGs 지표가 이를 적절히 측정한다고 보기는 쉽지 않다.

K-SDGs(대한민국 정부, 2020b, p. 50)의 세부 목표 3-8(대한민국 저출생 극복과 인구 고령화 대비)의 지표(① 영아사망률, ② OECD 더 나은 삶의 질 지수, ③ 치매안심센터의 치매환자등록·관리율, ④ 기능 제한 없는 노인인구 비율)도 ‘저출산·고령사회 기본계획’의 내용과 비교해 보면 저출산 및 인구의 고령화와 감소에 대한 체계적인 대응이라고 보기에는 한계가 분명하다. 5년 기간의 저출산·고령사회 기본계획과 비교할 때 지속가능발전 기본계획이 20년의 시계에 기초하고 있다는 점은 장기간에 걸쳐 진행되는 인구변동의 특성을 고려할 때 긍정적으로 평가할 수 있다. 그러나 20년에 걸친 목표가 어떤 의미를 지니며, 이러한 목표를 달성하면 저출생을 극복하고 인구 고령화에 적절히 대비할 수 있는지를 판단할 수가 없다. 인구 관련 논의의 전문성이 크게 떨어지는 상황에서 지속가능발전 기본계획에서 설정한 20년 기간에 걸친 목표의 설정 근거도 확인되지 않는다.

기후변화 대응(목표 13: 기후변화와 대응)에서도 국가 온실가스 배출량 축소 부문(세부 목표 13-4)을 제외하면 제4차 지속가능발전 기본계획에서 기후변화의 위험이나 적응 문제는 형식적인 수준의 언급에 그친다. ‘기후변화 위험 감소 및 적응 능력 강화를 위한 회복 탄력성 및 적응 능력 내재화’(세부 목표 13-1)라는 추진 전략에도 불구하고 목표를 측정하는 지표로 ‘방재시설 집행 비율’만이 설정되어 있다(현재 95.32%, 2030년 목표 97.0%, 2040년 목표 98.5%)(대한민국 정부, 2020b, pp. 257-259). 지속

가능발전 기본계획에서 기후변화에 따른 위험과 적응의 문제를 어떻게 이해하고 있는지를 파악하기 어려운 상황이다.

이러한 점을 종합적으로 고려할 때 지속가능발전 기본계획이 다른 기본 계획이나 하위 계획의 수립 과정에서 준거로 기능할 수 있는지에는 의문이 있다. 인구와 기후변화, 그리고 발전과 같은 다양하고도 복합적인 이슈들을 모두 아우르면서도 이슈 간의 연계에 관한 논의를 찾아보기 어려운 상황이다. 이러한 문제는 현재의 지속가능발전 기본계획이 목표와 세부 목표, 추진 전략, 추진 과제 및 이를 측정하는 지표를 ‘병렬적으로’ 나열할 뿐 이슈 간의 연계를 고려하지 않는 구조와도 관련이 있다. 전문성이 충분히 확보되지 못한 상황에서 수많은 목표를 연계 없이 병렬적으로 제시하는 현재의 체계하에서는 ‘지속가능발전 기본계획’이 특정 분야에 한정하여 심층적인 검토를 진행하는 ‘저출산·고령사회 기본계획’이나 ‘탄소중립 녹색성장 국가전략 및 국가 기본계획’ 대비 비교우위를 확보하기는 매우 어렵다. 2006년에 처음 발표되어 이미 제4차 기본계획이 수립되었다는 점에서 현재처럼 명확한 방향 설정이 부재하는 문제는 심각하게 인식해야 할 것이다. 비록 쉬운 과제는 아니지만, 수많은 기본계획과 다양한 하위 제도에 관한 계획이 수립되고 있는 우리나라의 상황을 고려할 때 ‘지속가능발전 기본계획’은 다른 계획에서 검토되지 못하는 다양한 부문(이슈) 간 ‘연계’를 통해 분야별 정책이 나아갈 방향을 제시하는 등 기본계획의 운영 방향에 대한 근본적인 성찰이 필요한 시점이다.

마지막으로 ‘저출산·고령사회 기본계획’에서 기후변화가 어떠한 함의를 갖는지, 혹은 ‘저출산·고령사회 기본계획’에서 기후변화와 관련된 사항을 명시적으로 고려할 필요가 있는지에 관한 질문이 제기될 수 있다. 기후변화를 명시적으로 언급하지 않더라도 현재의 저출산·고령사회 기본계획에서도 최소한 기후변화에 적응하기 위한 사회적 기초

를 다지는 방안에 대한 논의는 필요할 것으로 보인다. 특히 인간 개발이나 성평등 같은 이슈는 기후변화 위험에 대한 노출과 취약성을 줄이고 적응력을 높이는 기초가 되는 동시에 저출산·고령사회 기본계획이 추구하는 핵심 가치라는 점에서 그 중요성은 매우 크다.

## 2. 재난 위험 대응 정책과 기후변화 대응 정책의 연계

기후 시스템에서 기후변화와 재난 위험이 물리적으로 상호 연관되어 발생하는 동시에 기후변화와 재난 관련 위험에의 노출과 취약성 또한 다양한 인구 집단을 가로질러 체계적으로 연관되어 분포한다는 점도 인구-기후변화 논의에서 재난 위험 대응 문제를 통합적으로 검토할 필요성을 높인다. 한편 재난 위험 대응과 기후변화 대응 정책의 연계는 기후변화에 대한 '적응' 전략 차원에서도 밀접한 관계가 있기에 선진국과 개발도상국을 모두 아울러 사회적 공감대 형성이 수월한 이점이 있다고 할 수 있다.

우선 재난 위험 대응과 기후변화 대응 간에는 일련의 연계 고리가 존재한다. 물론 기후변화에 적절히 대응하기 위해서는 개인들의 사고방식이나 소비 등 행위 양식에서 근본적인 변화가 필요하며, 특정 재난에 초점을 맞추는 접근을 통해 광범위한 양상을 보이는 기후변화 문제에 적절히 대응하기에는 한계가 있다. 다른 한편으로 장기적으로 전개되는 기후변화의 영향과 달리 재난 위험 대응에는 상대적으로 즉각적인 조치가 필요하고, 파급 효과가 미치는 시간이나 장소 또한 일정한 범위 내로 국한되는 차이가 있다(Schipper & Pelling, 2006, p. 20). 그럼에도 기후변화가 재난 발생 위험을 높일 수 있으며, 재난 위험을 감소시키기 위한 제도나 정책이 기후변화로 인해 점점 빈번해지고 강해지는 폭염이나 홍수

등 극한 기상 사건으로부터 발생하는 인명 및 재산 피해를 줄일 수 있다. 물론 현재까지도 기후변화가 재난 위험의 발생을 높이는 세부적인 작동 기제를 둘러싼 불확실성이 매우 크다. 이에 따라 정책적으로도 재난 위험 대응 정책의 수립과 실행 과정에서 기후변화 문제를 크게 염두에 두지 않았다. 그러나 기후변화와 재난 위험 대응 정책 간의 연관성이 점점 커짐에 따라 재난 위험에 대응하는 제도-정책이 기후변화 대응 측면에서 어떠한 함의를 갖는지에 대한 검토가 요구되고 있다.

재난 위험과 기후변화 위험 사이의 직접적인 연관성 외에도 재난 발생이 간접적으로 빈곤 감소, 인적 역량(교육) 강화, 경제발전 등 발전 정책이 지향하는 목표의 달성을 어렵게 함으로써 후속적으로 기후변화 위험에 대한 대응을 더욱 어렵게 할 수 있다. 기후변화와 마찬가지로 재난도 '취약성'과 밀접히 연관되는데, 재난의 발생을 취약성이 누적된 결과로 이해할 수 있다. 이에 따라 취약성에 대한 적극적인 대응은 기후변화가 인구에 미치는 부정적인 영향을 줄이는 동시에 재난 위험의 감소 측면에서도 긍정적인 기능을 할 수 있다. 한편 앞에서 논의한 발전의 문제가 재난의 발생 및 대응과도 연관되기에 재난 위험 대응 정책이 국가 및 지역 사회의 발전 전략과 유기적으로 연계될 때 더욱 효과적일 수 있다.

기후변화와 비교할 때 현재까지 재난 위험 대응 분야에서는 국제적 차원의 대응이 일정한 한계를 보이고 있다. 재난 위험 대응에 관한 국제적 논의는 재난으로 인한 인적 및 경제적 손실과 발전에 미치는 부정적 함의에 대응하기 위하여 1989년 UN 총회에서 1990년대(1990~1999년)를 '자연재난 감소를 위한 10개년 기간'(International Decade for Natural Disaster Reduction: IDNDR)으로 지정하고, 이를 추진하기 위한 IDNDR 사무국을 설립함으로써 본격화되었다. 1999년에는 IDNDR이 '재난 감소를 위한 국제전략'(International Strategy for Disaster Reduction:

ISDR)으로 개편되고, 이를 추진하기 위한 조직으로 UNDRR(유엔 재난 위험경감사무국)이 설립되었다(United Nations Office for Disaster Risk Reduction[UNDRR], 2024). 명칭에서 볼 수 있듯이 IDNDR은 자연재난에 초점을 맞춘 관계로 취약성이 형성되는 ‘사회적 과정’에 주목하지 못한 문제가 있었다. 반면에 ISDR은 인간 활동과 인간의 취약성을 재난의 주요 원인으로 고려한다는 차이가 있다.

2015년의 센다이 프레임워크(Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015~2030) 이전에 UNDRR의 주된 역할은 재난에 대한 회복력을 구축하는 효고 프레임워크(Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters)의 이행을 지원하는 것이었다. 그러나 2015년 UN 총회(UN General Assembly Resolution 69/283)에서 UNDRR의 역할에 재난 위험의 경감을 위한 센다이 프레임워크의 이행을 지원하는 것과 함께 ‘2030 Agenda’와 여기에 포함된 SDGs는 물론 기후변화에 관한 파리협약 등과의 조응성을 높이는 활동도 포함하게 된다(UNDRR, 2024). 그러나 기존의 효고 프레임워크와 마찬가지로 센다이 프레임워크도 법적 구속력이 없는 관계로 UNFCCC 같은 법적 지위를 가진 체제의 출현으로 이어지지는 않고 있다. 참고로 재난 위험 대응 이슈는 기후변화에 비해 국제적 위상이 상당히 낮은 상황이다. UNFCCC조차도 기후변화에 취약한 국가에 관한 논의에서 재난을 제한적으로만 언급하고 있다(Article 4.8 (d) Countries with areas prone to natural disasters) (UN, 1992, p. 15). 기후변화가 국제적 협력을 요구하는 특화된 UN 협약에 기초하여 작동하지만, 현재까지 재난 위험 대응은 국제적 프레임워크가 존재하되 실제로는 국가 및 지역사회 수준에서 작동하는 상황이다.

위험 발생의 여부와 그 수준에 관한 불확실성이 큰 재난 위험 대응 정책은 선제적, 예방적 목적으로 안정적인 재원을 확보하기가 쉽지 않다. 자연재난의 발생에 대비하여 사회 기반 시설을 확충하거나 취약계층의 거주지를 이동하는 것과 같은 사전적 예방 조치를 취하는 것도 이론적으로는 가능하다. 그러나 자연재난과 사회재난의 발생 정보에 수반된 불확실성이 매우 크다는 점에서 이를 근거로 선제적으로 대응 조치를 취하기는 쉽지 않다. 이는 재난 위험 대응 관련 기반 시설이나 장비 등의 노후화가 심각함에도 개선 조치를 시행하기가 쉽지 않은 원인이 되기도 한다. 이러한 상황에서 재난 상황이 실제로 발생하면 대응 정책의 효과성이 떨어질 개연성이 높음은 물론이다. 반면에 기후변화는 장기적으로 진행되는 예측 가능한 변화라는 점에서 사전적인 대응 조치를 수립하는 것과 관련된 동력을 얻기가 상대적으로 수월하다. 이러한 측면에서 기후변화 대응 정책과 재난 위험 대응 정책의 연계는 재난 위험 대응 정책의 우선순위를 높이는 데도 긍정적인 역할을 할 수 있다.

우리나라에서는 2004년에 각종 재난으로부터 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위하여 ‘재난 및 안전관리 기본법’이 제정되었으며, 이에 기초하여 국가의 재난 및 안전관리의 기본 방향을 설정하는 ‘국가안전관리 기본계획’이 수립되기 시작했다. 현재 2020~2024년 기간에 걸친 제4차 국가안전관리 기본계획이 시행 중이다. 기존의 제1~3차 기본계획과 달리 제4차 국가안전관리 기본계획에서는 기후변화와 회복력 증진 등 국제사회의 요구를 반영한다는 차이가 있다. 여기에 포함되는 항목으로 1) 풍수해 예방 체계 구축, 2) 맞춤형 스마트 기상 정보 제공, 3) 기후변화 대응 역량 강화가 있다(중앙안전관리위원회, 2019, pp. 94-96). 그러나 주로 자연재난에 초점을 맞추고 함께 대응 역량 강화도 시스템 중심의 언급에 그친다. 기후변화 대응을 위한 ‘탄소중립 녹색성장 국가전략 및 국가

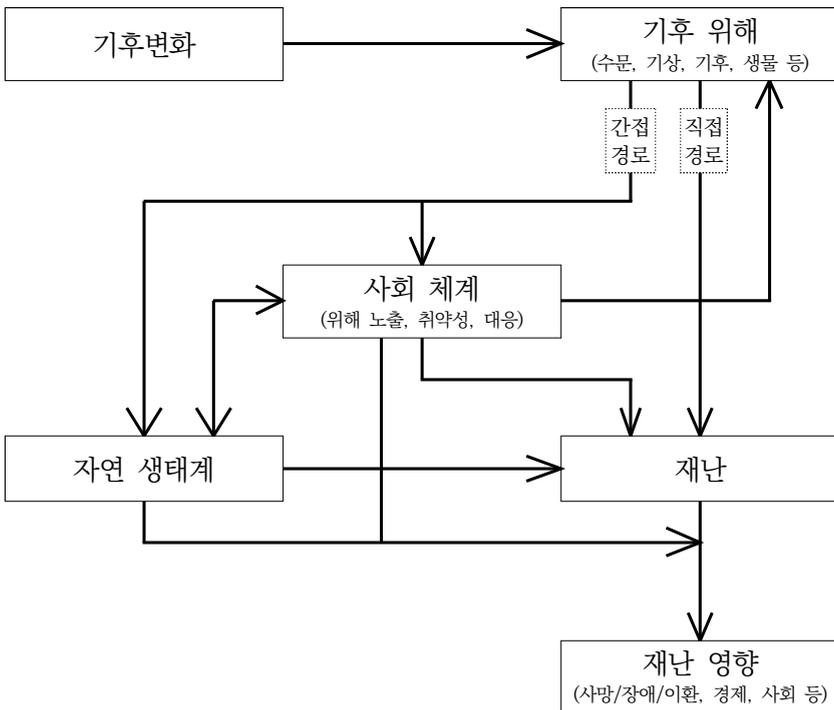
기본계획'과 비슷하게 국가안전관리 기본계획도 '시스템' 중심의 접근을 취함으로써 재난 위험에 직면할 개연성이 높은 집단이 구체적으로 누구이며, 이들이 어떠한 과정을 거쳐 어떠한 재난 위험에 직면하는지에 대한 분석이 없는 상황이다.

참고로 제4차 국가안전관리 기본계획도 기본적으로 기본계획이 지향하는 목표의 달성에 부정적인 영향을 줄 수 있는 기후변화 관련 정보를 안전관리 관련 의사결정 과정에서 추가로 반영하는 접근으로 분류할 수 있다(기후위험 관리 체계; Climate Risk Management Framework). 이러한 접근의 성공 가능성은 활용할 수 있는 기후변화 관련 정보(질)에 크게 의존하며, 기후변화와 그 파급 효과에 관한 전망(예측)이 구체적이고 정확할수록 효과적인 계획을 수립할 수 있다. 그러나 현재처럼 기본계획에서 활용되는 기후변화 정보가 구체적이지 않으면 형식적인 수준의 논의에 그칠 개연성이 높다. 제4차 국가안전관리 기본계획이 바로 이러한 상황으로 보인다. 물론 기후변화 및 그 파급 효과에 관한 전망 정보가 구체적일수록 기후변화 정보의 부정확성으로 인한 부적응이나 투자 실패의 문제에 직면할 개연성도 있음이 지적된다(McGray et al., 2007, p. 21).

기후변화와 재난 위험을 통합적으로 관리하기 위해서는 두 부문 간의 관계를 명확히 할 필요가 있다. 무엇보다도 기후변화와 재난 위험 대응 정책을 체계적으로 연계하기 위해서는 기후변화 관련 다양한 위해가 재난 상황으로 이어지는 세부적인 과정에 대한 이해가 필요하다. 이러한 측면에서 [그림 5-1]은 기후변화와 재난 위험의 관계를 도식적으로 보여준다. 기후변화와 재난 위험을 통합적으로 관리하기 위해서는 이러한 도식화된 관계를 구체화할 필요가 있다. 첫째, 기후변화는 다양한 기후변화 '위해'를 만들어냄으로써 재난 위험의 동인이 된다. 기후변화가 초래하는 다양한 위해는 재난 상황으로 이어질 수도 있지만, 그렇지 않은 방식

으로 전개될 수도 있다. 모든 재난이 기후변화에 기초하는 것도 아니다. 예컨대, 재난 상황을 초래하는 대표적인 '위해'로 분류되는 지진, 화산 같은 지구물리학적 위하는 기후변화와와의 관련성이 상대적으로 떨어지는 것으로 알려진다. 이렇듯 재난 현상의 다양성을 고려할 때 기후변화 위해가 재난 상황으로 이어지는 상황에 대비하기 위해서는 기후변화 위해를 수문학적, 기상학적, 기후학적, 생물학적 위해 등으로 세분화해서 그 세부적인 작동 기제를 파악할 필요가 있다.

[그림 5-1] 기후변화와 재난 위험 대응의 통합적 접근



출처: 저자 작성

둘째, 기후변화 ‘위해’와 재난의 관계는 직접적인 경로뿐만 아니라 사회 체계와 자연 생태계를 통해 복잡한 방식으로 매개되거나 조절될 수 있음을 이해할 필요가 있다([그림 5-1] 참고). 사회 체계는 다양한 제도적 및 정책적 대응을 통해 기후변화 위해가 재난으로 이어지는 상황을 조절하거나 재난의 파급 효과를 통제하는 데 핵심적인 역할을 할 수 있다. 자연 생태계 또한 토양, 산림, 대기질-수질, 생물종 등에서의 변화를 통해 기후변화 위해가 재난 상황으로 이어지거나 재난의 사후적 전개 양상과 피해 규모에 영향을 미칠 수 있다. 셋째, 기후변화 위해가 재난으로 이어질 수 있는 노출(exposure)과 취약성(vulnerability)의 형성 과정 및 다양한 전개 양상을 파악할 필요가 있다. 기후변화 위해가 재난으로 이어질지의 여부나 재난으로 인한 인명 피해와 경제적 손실의 규모는 기후변화 위해에의 노출과 취약성에 따라 다를 수 있기에 기후변화 위해에의 노출 기제와 취약한 인구 집단을 확인하는 작업이 중요하다. 넷째, 다양한 조건과 시나리오 검토에 기초하여 기후변화 위해가 재난 상황으로 이어지지 않도록 선제적 조치를 취하는 한편 실제 재난 상황 발생 시 재해를 최소화하는 대응 역량을 구축할 필요가 있다.

마지막으로 앞에서 논의한 발전 정책과 기후 정책의 연계와 마찬가지로 재난 위험 대응 정책도 발전 정책의 맥락에서 검토될 필요가 있다. 재난이 한 사회가 오랫동안 구축해 온 발전 성과를 단기간에 허물어뜨리고 재난에 대응한 응급 구호와 재건 과정을 요구함으로써 사회 전반의 발전 역량을 훼손할 수 있다는 점에서 재난은 발전 목표의 달성에 중대한 걸림돌이 될 수 있다. 이러한 점에서 재난 위험 대응 정책을 과거와 같은 인도적 지원의 문제로 단순하게 치부해서는 안 된다. 기후변화와 더불어 재난 위험 대응을 발전 정책의 핵심 이슈로 검토할 필요가 있는 것이다.

### 3. 환경(대기) 오염 정책과 기후변화 대응 정책의 연계

과거에 환경 오염과 기후변화의 문제를 별개의 이슈로 취급하는 경향이 있었지만, 두 이슈 간에도 밀접한 관계가 있다. 또한 앞에서 살펴본 재난 위험 대응과 마찬가지로 환경 오염의 영향이 인구 집단을 가로질러 무작위적으로 분포하지 않는다는 점도 인구-기후변화 논의에서 환경(대기) 오염 문제를 통합적으로 검토할 필요성을 높인다. 예컨대, 선행 연구(Forastiere et al., 2007, p. 208; Josey et al., 2023, p. 1396)가 지적하듯이 미세먼지 같은 환경(대기) 오염으로 인한 사망이나 질환 발생 위험은 소득 등 개인의 사회경제적 지위와 인구학적 특성에 따라 유의미한 차이를 보일 수 있다. 환경 오염 문제에 대한 적극적인 개입은 기후변화 문제는 물론이고 취약 인구 집단의 위해 환경 노출과 건강에 초래하는 위험을 줄이는 측면에서도 바람직하다. 특히 미세먼지 같은 환경(대기) 오염 문제는 기후변화 문제와 비교할 때 사회 구성원들의 체감도가 상대적으로 매우 높기에 정책적 개입을 통한 문제 해결의 요구가 크고, 중앙정부와 지방정부 또한 이에 대응하여 신속한 조치를 취할 개연성이 높은 장점이 있다.

우리나라를 포함하여 대기 오염은 전 세계의 거의 모든 도시가 관심을 기울이는 중요한 환경 이슈이다. 조리, 난방, 교통-운송, 폐기물 처리-관리 시설의 효율성이 떨어지고 비체계적으로 관리됨으로 인해 개발도상국 도시의 대기 오염 문제가 특히 심각하지만, 선진국도 예외는 아니다. 참고로 우리나라 대기환경보전법상 '대기오염물질'은 대기 중에 존재하는 물질 중에서 대기 오염의 원인으로 인정된 가스상 물질과 입자상 물질을 의미한다(제2조). 여기에는 이산화황(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 등의 가스상 물질과 미량 중금속, 먼지, 매연, 에어로졸 같은 입자상 물질이 포함된다. 대기환경보전법 시행규칙(제2조; 별표 1)은 총 64종

의 대기오염물질을 규정하며, 납, 벤젠, 카드뮴 등 35종을 '특정대기유해물질'로 관리하고 있다(제4조; 별표 2).

2022년(연간) 기준으로 환경 기준이 설정된 8개 대기오염물질의 농도는 이산화황(SO<sub>2</sub>) 0.003ppm, 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 0.014ppm, 오존(O<sub>3</sub>) 0.032ppm, 일산화탄소(CO) 0.4ppm, PM<sub>10</sub> 31 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub> 18 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 납(Pb) 0.0162 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 벤젠(Benzene) 0.20ppb 수준이다(국립환경과학원, 2023, p. 61). 이들 대기오염물질 가운데 이산화황(SO<sub>2</sub>)과 일산화탄소(CO)는 1989년부터 꾸준한 감소 추세를 보이며, 이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 증감을 반복하다 2014년 이후 감소세를 보이고 있다. 1995년부터 측정된 PM<sub>10</sub>도 일부 등락을 보이지만, 최근까지 대체로 감소 추세를 보인다. PM<sub>2.5</sub>도 2015년에 측정이 시작된 이래 점차 감소세를 보인다. 반대로 오존(O<sub>3</sub>)은 1989년 이후 꾸준히 증가하는 패턴을 보인다. 환경 기준이 설정된 8개 대기오염물질 중에서 오존(8시간 기준 0%, 1시간 기준 23.5%), 미세먼지(PM<sub>10</sub>; 연평균 기준 100%, 24시간 기준 82.1%), 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>; 연평균 기준 26.5%, 24시간 기준 3.8%)의 대기환경기준 충족률이 낮다(국립환경과학원, 2023, p. 21, 23; 환경부, 2024, p. 5).<sup>69)</sup> 참고로 세계보건기구(WHO)의 미세먼지(PM<sub>10</sub>)와 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)의 기준(연평균)이 각각 15 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 5 $\mu$ g/m<sup>3</sup>임을 고려할 때 국내의 미세먼지 문제는 상당히 심각한 수준으로 이해할 수 있다.

앞에서 살펴본 재난 위험 대응 정책과 기후변화 대응 정책의 관계처럼 환경 오염 대응 정책도 기후변화 대응 정책과 시간이나 공간 측면에서 차이를 보이는 것이 사실이다. 기후변화 정책과 비교할 때 환경 오염 정책은 상대적으로 단기간에 걸쳐 특정 공간(지역)을 대상으로 추진되는 경향

69) 참고로 미세먼지(PM<sub>10</sub>)는 입자 크기가 10 $\mu$ m 이하인 먼지를, 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)는 입자 크기가 2.5 $\mu$ m 이하인 먼지를 의미한다. 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 국내 환경 기준은 연 50 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 초미세먼지의 환경 기준은 연 15 $\mu$ g/m<sup>3</sup>이다(국립환경과학원, 2023, p. 7).

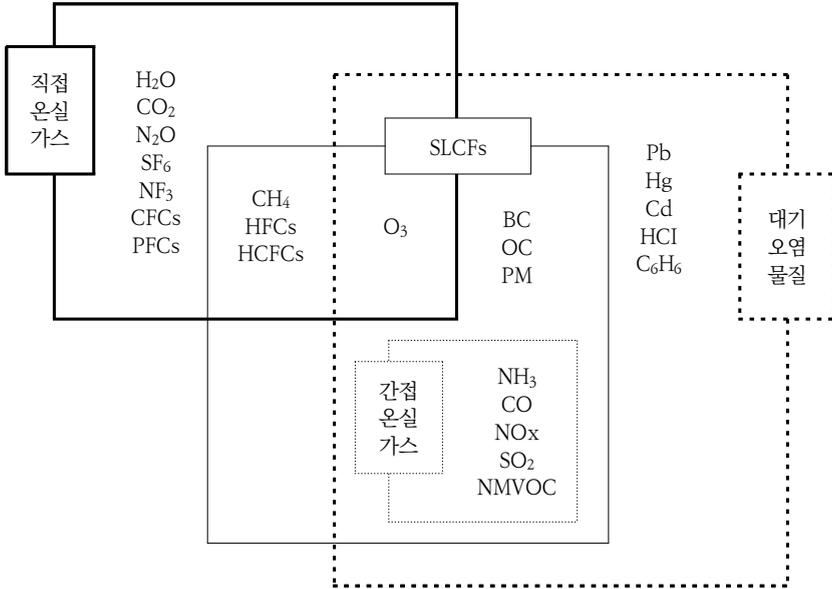
이 강하다. 그럼에도 대기오염물질과 온실가스는 상당한 정도로 연관성을 갖는 물질이다. 특히 화석연료의 사용은 기후변화를 초래하는 온실가스는 물론이고 대기오염물질을 동시에 배출할 수 있다. 이에 따라 기후변화를 유발하는 물질의 배출은 대기 오염에도 유의미한 영향을 미칠 수 있다. 예컨대, 탄소 원자와 수소 원자의 다양한 결합에 기초하여 만들어지는 탄화수소 중에서 가장 널리 알려진 메테인( $\text{CH}_4$ )은 대기오염물질인(대류권 체류) 오존의 전구물질로 알려진다. 서론에서 언급했듯이 대표적인 온실가스인 이산화탄소와 달리 대기 중에 상대적으로 단기간 체류하는 메테인 같은 온실가스의 배출 감소는 대기 오염 감소 측면에서도 긍정적으로 기능할 수 있다. 역으로 대기오염물질의 배출 감소는 기후변화 문제의 완화에도 기여할 수 있다.

물론 모든 대기오염물질이 반드시 기후변화를 초래하지는 않으며, 반대로 기후변화를 유발하는 온실가스가 반드시 대기 오염을 초래하는 것도 아니다. IPCC, UNFCCC 등 기존 논의에서 제기되는 주요 대기오염물질과 온실가스의 관계를 도식화하여 보여 주는 것이 [그림 5-2]이다. [그림 5-2]는 온실가스나 대기오염물질 등 특정 범주에 속한 물질을 명확히 분류하려는 목적이 아니라 인위적 및 자연적 과정에서 생성된 물질이 기후변화와 대기질에 다양한 직간접적인 파급 효과를 미침으로 인해 온실가스와 대기오염물질의 관계가 상당히 복잡하다는 점을 보여 주려는 것이다. [그림 5-2]에서 볼 수 있듯이 대기오염물질이면서 직접 온실가스에 해당하는 물질로는 대류권에 존재하는 오존( $\text{O}_3$ )이 있다.<sup>70)</sup> UNFCCC(2006, p. 7)가 규정한 간접 온실가스인 일산화탄소(CO), 질소산화물( $\text{NO}_x$ ), 이산화황( $\text{SO}_2$ ), NMVOC 같은 물질도 대기

70) 미세먼지(PM)의 주성분으로 화석연료 등이 불완전 연소할 때 발생하는 에어로졸인 블랙카본(BC)이나 메테인( $\text{CH}_4$ )을 온실가스인 동시에 대기오염물질로 분류하기도 한다(예컨대, 김승도, 2018, p. 17).

오염과 기후변화 문제의 밀접한 연관성을 보여 준다. 한편 이들 간접 온실가스와 함께 메테인(CH<sub>4</sub>), 오존(O<sub>3</sub>), 블랙카본(Black Carbon: BC) 등을 포함한 단기 체류 기후변화 유발 물질(Short-Lived Climate Forcers: SLCFs)은 대표적인 온실가스인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)에 비해 대기 중 체류 시간이 짧고(대체로 20년 이내), 직간접적으로 기후변화와 대기 오염을 동시에 유발할 수 있는 물질이다.<sup>71)</sup>

[그림 5-2] 주요 대기오염물질과 온실가스의 관계



주: SLCFs는 단기 체류 기후변화 유발 물질(Short-Lived Climate Forcers)을 의미함.  
출처: 저자 작성

71) SLCFs 중에서 에너지를 흡수하여 기후를 따뜻하게 하는 물질을 SLCPs(Short-Lived Climate Pollutants)라고 부르기도 한다(IPCC, 2021, p. 893). 참고로 [그림 5-2]의 분류에서 블랙카본(BC)과 유기카본(OC)이 미세먼지(PM: 검댕)의 주요 성분이지만, 이들 물질 외에 추가적인 요소를 미세먼지가 포함한다는 점에서 별도로 표시하였다. 참고로 IPCC(2021, p. 823)는 CH<sub>4</sub>, HFCs, O<sub>3</sub>, 및 에어로졸(BC 등)을 복사강제력을 통해 기후에 영향을 미치는 직접 SLCFs로 분류하며, 간접 온실가스(NH<sub>3</sub> 포함)를 직접적인 기후 강제력의 전구물질인 간접 SLCFs로 분류한다.

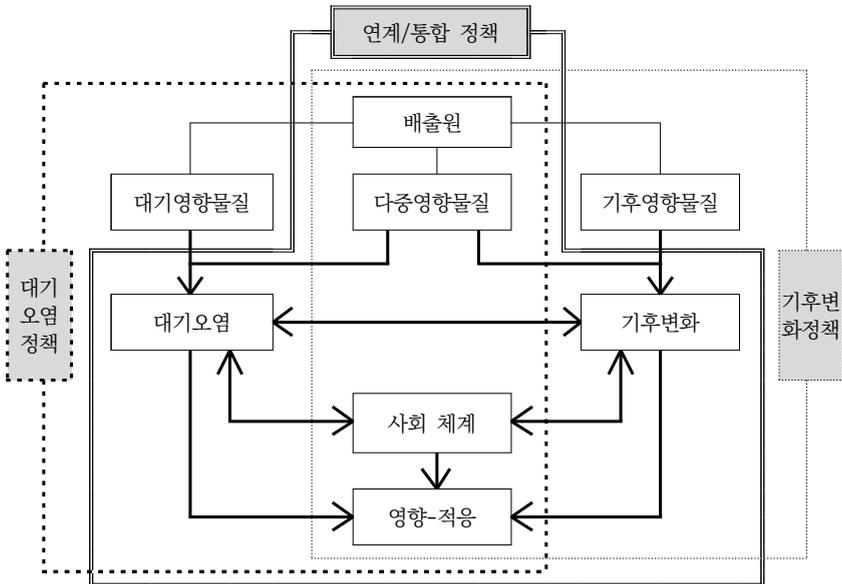
일반적으로 대기오염물질과 온실가스의 통합적인 관리 논의에서는 위에서 언급한 물질들을 중심으로 논의를 전개하지만, 환경 오염과 기후변화 정책의 연계가 갖는 장점이 여기에 그치는 것은 아니다. 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료의 연소 과정에서는 대기오염물질만을 배출하는 것은 아니며, 온실가스 또한 배출된다. 예컨대, 납(Pb), 수은(Hg), 카드뮴(Cd) 같은 중금속처럼 대기 오염에만 영향을 미치는 물질에 대한 규제와 관리도 온실가스 배출과 간접적으로 연계될 수 있다. 먼지나 화재 같은 자연적 원인에 의해 중금속이 대기 중으로 배출되기도 하지만, 온실가스 배출을 동반하는 산업 생산물의 공정이나 폐기물의 소각 등 다양한 인위적 원인에 의해 발생하기도 한다. 이러한 측면에서 대기오염물질에 대한 종합적이고도 체계적인 규제와 관리는 온실가스 배출 감소 측면에서도 상당한 수준의 직간접적인 파급 효과를 초래할 수 있다.

한편 현실에서 온실가스와 환경 오염 물질의 배출 축소가 반드시 시너지 효과만을 갖는 것은 아니다. 대기오염물질 중에서 입자상 물질은 냉각 효과를 통해 지구 온난화 현상을 완화하는 역할을 하기도 한다. 이에 따라 대기오염물질의 제거는 대기 온도 상승의 원인이 될 수도 있다. 예컨대, 화산 활동 같은 자연적 원인에 기인하기도 하지만, 화석연료 연소 등 인위적 원인에 의해 배출되는 대기오염물질인 황산염(sulphate)은 최근 들어 국민 건강과 관련하여 가장 많은 주목을 받는 미세먼지(Particulate Matter: PM)의 주요 성분 중의 하나로 조기 사망 등 다양한 건강상의 문제를 초래하는 독성 물질로 알려져 있다. 기후 모델을 활용한 최근의 시뮬레이션 연구(Takemura, 2020)는 황산염 에어로졸의 주된 전구물질인 이산화황(SO<sub>2</sub>) 배출량의 감소가 대기 온난화를 초래하며, 특히 대기 중의 이산화탄소 농도가 높을수록 온난화 효과가 크게 나타남을 보여 준다. 이러한 분석 결과는 잠재적으로 발생할 수 있는 대기 오염과 기후

변화 간 상충관계를 줄이기 위해서는 대기오염물질과 온실가스 배출을 동시에 감소시킬 필요가 있음을 시사한다.

환경 오염은 온실가스 배출뿐만 아니라 기후변화에 대한 ‘적응’과도 연관되며, 건강 등 일상생활과 밀접히 연관된 문제이기에 정책적 개입에 대한 체감도도 높다. 기후변화에 비용 효과적으로 대응하기 위해 환경 오염 물질과 온실가스 배출 문제를 통합적으로 관리할 방안이 제시된 바 있지만(예컨대, 김승도, 2018; Sánchez-Triana et al., 2023), 기존의 논의는 대체로 환경 오염 물질과 온실가스 배출량을 줄이는 ‘완화’ 전략에 초점을 맞추는 경향이 있다. 그러나 환경(대기) 오염과 기후변화에 대한 ‘적응’ 측면에서도 두 이슈 간에는 밀접한 관련이 있다([그림 5-3] 참고).

[그림 5-3] 환경 오염과 기후변화 정책의 연계/통합



출처: 저자 작성

여기에 해당하는 대표적인 영역이 이환이나 사망 같은 건강 문제이다. WHO(2022)에 의하면 매년 670만 명이 실내 대기 오염(household air pollution)과 실외 대기 오염(ambient air pollution)으로 조기 사망하는 것으로 보고된다. 2019년 기준으로는 실외 대기 오염이 전 세계적으로 420만 명의 조기 사망을 초래한 것으로 추정하고 있다. WHO는 이러한 조기 사망이 심혈관계, 호흡계, 악성 신생물(암) 질환을 야기하는 미세먼지 노출과 관련이 있는 것으로 추정하고 있다. O'Sullivan(2021, p. 328)도 실외 대기 오염, 실내 대기 오염(예컨대, 요리 시 발생하는 입자-가스 오염 물질), 미세먼지 등에 적극적으로 대응하는 조치가 기후변화 및 이로 인한 극한 기상 초래하는 사망 위험보다 예방 효과가 더 클 수 있음을 지적한다. 더욱이 기후변화와 마찬가지로 사회경제적(계층적) 지위가 낮은 인구 집단이나 지역사회가 대기 오염에 대한 노출 빈도가 높고 이환이나 사망 같은 부정적 영향에 더욱 취약할 개연성이 높다는 점(Hajat et al., 2015; Rentschler & Leonova, 2023)도 적응적 차원의 개입이 매우 중요함을 시사한다.

이에 따라 환경(대기) 오염과 기후변화 정책을 연계하여 통합적으로 관리할 필요성이 제기된다. 환경 오염과 기후변화 문제에 대응하기 위한 다양한 개인적 수준의 실천 방안이 제시되기도 한다. 환경 친화적이고 효율적인 에너지의 사용이나 대중교통 이용 등이 대표적인 사례이다. 그러나 환경(대기) 오염과 기후변화 문제에 통합적으로 대응하기 위해서는 공간, 기술(효율성), 추진 체계(거버넌스)를 모두 아우르는 좀 더 체계적인 접근이 요구된다. 공간적 및 기술적 측면과 관련해서는 전 세계를 아울러 인구가 집중되는 도시 공간을 중심으로 에너지 효율성과 저오염-저탄소 기술에 대한 투자와 혁신이 필요하다. 한편 환경 오염과 기후변화에 대응하기 위한 새로운 기술을 개발하여 활용할 수 있더라도

새로운 방향으로의 변화에 대한 사회적 공감대를 형성하지 않고는 환경 오염과 기후변화에 성공적으로 대응하기가 쉽지 않다. 이러한 측면에서 문제에 대한 인식과 정책에 대한 체감도가 상대적으로 높은 이슈를 중심으로 환경 오염과 온실가스를 통합적으로 관리하는 방안에 대한 검토와 함께 부정적 영향을 크게 받을 개연성이 높은 집단의 취약성을 줄이고 적응 역량을 높이는 데 초점을 맞출 필요가 있다.

비록 대기 오염과 기후변화 문제의 통합적 대응 측면에서 도시 공간을 중심으로 한 환경 친화적 기반 구축과 공감대에 기초한 정책 추진을 강조하였지만, 환경 오염의 문제 또한 앞에서 논의한 ‘발전’ 이슈와 분리해서 근본적인 해결책을 마련하기는 어려울 수 있다. 이는 앞에서 논의한 재난 위험 대응 문제도 마찬가지이다. 인구의 고령화와 감소, 기후변화, 자연적 및 사회적 재난, 환경의 지속 가능성 등 현재 한국 사회가 직면한 다중적 문제의 중심에 ‘발전’ 이슈가 자리 잡고 있음이 다시 한번 강조될 필요가 있다. 특히 사회적 공감대에 기초하여 기후변화 문제를 풀어나가기 위해서는 기후변화 이슈를 사회 구성원들이 발전을 통해 실현하고자 열망하는 ‘발전 가치’로 정립할 필요가 있다.

### 제3절 기후변화 대응 정책의 기반 강화

기후변화에 대한 대응, 특히 기후변화의 영향을 받는 집단의 취약성과 적응력을 분석하는 측면에서 중요한 역할을 하는 것이 미래 기후변화의 전개 양상과 영향에 관한 정보의 정확성과 불확실성이다. 기후변화의 전개 양상과 영향에 관한 전망이 정확할수록 기후변화에 대한 대응을 ‘직접적인’ 목표로 하여 정책적 역량을 모으기 수월해질 것이다

(McGray et al., 2007, p. 2). 그러나 본질적으로 장기적 속성을 띤 기후변화 대응 정책에서 불확실성은 불가피하다. 이에 따라 현재 및 미래 기후변화와 관련하여 활용할 수 있는 최고의 정보에 기초하여 기후변화에 대응하는 정책을 추진할 필요가 있다.

기후변화를 둘러싼 불확실성을 효과적으로 관리하기 위해서는 다양한 수준과 영역을 모두 아우른 정보의 효과적인 활용이 요구된다. 기후변화 대응 정보는 현재의 기후-기상 정보에 그치지 않고 기후변화의 미래 전망과 다양한 파급 효과를 모두 포함한다. 기후변화 위험과 직접적으로 관련된 정보뿐만 아니라 기후변화 위험 분석의 기초가 되는 다양한 간접 정보를 수집하여 연계하는 것도 대응 전략 수립 과정에서 중요한 역할을 할 수 있다. 또한 기후변화의 전개 양상과 영향에 관한 정보의 수집과 분석뿐만 아니라 이러한 정보의 수집과 분석의 기초가 되는 기반 시설의 구축과 전문 인력의 양성도 중요한 이슈이다. 다양한 기후변화 관련 정보를 기후변화 대응 정책의 수립과 추진 과정에서 체계적으로 활용하는 방안에 대한 고려도 필요하다. 현재까지도 기후변화의 영향과 위험 평가 논의에서는 기후변화가 초래할 수 있는 다양한 잠재적 파급 효과가 나열되어 있지만, 이러한 정보에 기초하여 구체적인 정책적 대응 방안을 마련하거나 다양한 대응 방안의 역할 분담을 논의하는 단계로 나아가지 못하는 경우가 많다. 정책적 활용을 염두에 둔 기후변화 관련 자료의 수집과 분석이 필요한 상황이다.

인구통계나 기후변화 자료가 별도로 존재하지만, 현재까지 단일 자료에서 인구 집단과 그들이 생활하는 지역사회나 환경에 관한 종합적인 정보를 제공하지는 못한다. 이에 따라 기후변화 관련 위험의 분포나 기후변화 위험에의 노출과 취약성을 평가하여 적응 정책의 기초 자료를 제공할 수 있도록 인구와 기후변화(취약성, 적응력) 관련 자료의 통합이 필요하다.

최근 들어 재난의 전개 양상과 영향을 분석할 수 있는 원격 탐사 기술이 급속히 발전함에 따라 기존부터 존재하던 인구 데이터와의 통합 필요성이 제기된다. 특히 기후변화 대응에서 기후변화를 실제로 접하는 ‘지역사회’ 중심의 접근이 중요해짐에 따라 소규모 지역 단위의 인구 데이터를 제공하는 인구주택총조사(센서스)의 중요성이 점점 커지고 있다.

인구주택총조사가 소규모 지역 단위의 통계를 생산할 수 있는 자료임에도 현재까지 기후변화 대응 정책의 수립 과정에서 그 활용도는 상당히 제한적인 상황이다. 그럼에도 인구주택총조사는 온실가스 배출 현황과 전망, 그리고 기후변화가 초래하는 문제에 취약한 인구 집단을 확인할 수 있는 (거의 유일한) 자료원이기에 기후변화의 완화 및 적응 정책을 마련할 때 중요한 기초가 될 수 있다. 사실, 활용 방식에 따라 인구주택총조사에서 수집되는 대부분의 정보가 기후변화에 대한 완화 및 적응 정책에서 활용될 수 있다. 특히 일부 정보는 기후변화에 대한 인간 활동의 영향 및 완화 정책과 관련된 좀 더 세부적인 정보를 제공하기도 한다. 여기에 해당하는 정보로 취사/조명/난방 에너지원, 생활 폐기물 처리 방식, 식수-위생 시설에 대한 접근성, 자동차 등 운송 수단의 보유 여부 등이 있다. 인구주택총조사는 기후변화에 대한 인간 활동의 영향이나 완화에 관한 정보보다는 기후변화에 대한 취약성이나 적응력과 관련된 정보를 상대적으로 더 많이 제공한다.

현재 우리나라 통계청의 인구주택총조사에서 수집하는 정보의 세부 사항은 <표 5-1>과 같다. 표에서 볼 수 있듯이 인구주택총조사에 기후변화에 대한 취약성과 적응력에 관한 정보가 많이 있지만, 정보의 한계 또한 있다. 가구 구조와 관련하여 여성/미혼/저학력 가구주 가구를 파악할 수 있지만, 장애인 가구를 확인하기는 어렵다. 다만, 활동 제약 및 돌봄 필요 가구원이 있는 가구를 확인하는 것은 가능하다. 자동차 보유 여부 및 교통 수단 이용 현황 정보는 파악되지만, 자동차 미보유자의 주요 공공시설(공

공기관/의료기관/대피시설 등) 접근성은 파악되지 않는다. 건물의 규모와 구조에 관한 기본적인 정보가 제공되지만, 건물(지붕/벽)의 재질과 안전성을 파악하기 힘든 상황이다. 난방시설의 현황은 파악되지만, 기후변화로 인해 더욱 중요해지는 ‘냉방시설’의 보유 여부와 현황에 대한 정보는 수집되지 않고 있다. 부엌, 화장실, 목욕시설 등의 형태와 사용 방식(단독/공동)은 조사되지만, 2020년 조사부터 표본조사에서 행정자료로 대체되었다. 비록 최근 건축물은 건축물대장 등을 통해 주거시설의 형태와 현황에 대한 파악이 상대적으로 정확하지만, 건축 연도가 오래된 주택의 주거시설 현황을 정확히 파악하기는 쉽지 않을 수 있다. 2010년 센서스(표본)에서 인터넷 등 정보통신기기 보유 및 이용 현황이 조사되었지만, 2015년 센서스부터 조사가 중단된 상황이다.

비록 인구주택총조사에 다양한 정보가 존재하지만, 앞에서 언급했듯이 이러한 정보가 기후변화 같은 환경 연구 목적으로 빈번히 사용되지는 않는다. 인구주택총조사 자료가 빈번히 활용되지 못하는 원인 중의 하나는 질문의 유형과 응답의 범주와도 관련이 있다. 특히 대규모 인구를 조사 대상으로 하는 관계로 세부적인 내용을 질문하기 어려운 동시에 응답 또한 제한적인 범주로만 구성되는 경향이 있다. 결과적으로 환경 분석 관련 정보가 수집되지만, 기후변화의 완화나 적응 측면에서 의미 있는 정보를 생산하기가 쉽지 않을 수 있다. 특히 취약 인구 집단의 확인 같은 기후변화에 대한 적응 목적과 비교할 때 기후변화 문제의 완화 목적에서는 활용도가 상대적으로 크게 떨어진다. 예컨대, 취사/조명/난방 에너지원에 관한 질문이 있지만, 개별 가구의 에너지 사용 수준이나 인구 집단별로 차이가 발생하는 원인을 파악하기 어려운 구조이다.

이렇게 전통적인 방식의 인구주택총조사 자료의 사용에 따른 효용이 크지 않다는 점에서 다양한 자료원을 결합하거나 보완적으로 사용하는

접근이 대안으로 지적되기도 한다. 예컨대, 소규모 지역을 대상으로 세부적인 정보를 제공하는 인구주택총조사와 기후변화와 관련하여 다양하고도 세부적인 정보를 제공하는 서베이 조사의 보완적인 사용이 유용할 수 있음이 지적된다(Guzmán, 2009, p. 197). 다만, 기존에 이미 존재하는 사회조사에서는 환경 관련 정보가 부족한 동시에 환경 관련 정보를 제공하는 다른 자료원과의 연계도 쉽지 않다. 또한 기존의 사회조사 자료에서는 기후변화 대응 논의에 필요한 수준의 공간 해상도를 제공하지 못하는 경우가 대부분이다(Sanchez Peña & Fuchs, 2013, p. 96). 인구와 환경에 관한 선행 연구(e.g. Pan et al., 2007)가 기존에 널리 활용되는 사회조사 자료 대신에 별도로 설계된 자료를 활용하는 이유도 여기에 있다. 그럼에도 사회조사 자료는 센서스 같은 국가 수준의 인구통계와 비교할 때 기후변화와 관련된 논의에서 분석 단위로 가구가 갖는 중요성을 잘 보여 줄 수 있는 장점이 있다(Sanchez Peña & Fuchs, 2013, p. 97).<sup>72)</sup> 패널조사처럼 주기적으로 반복되는 조사에서는 부가조사 등의 방식을 통해 기존 조사에서 수집되지 못한 기후변화의 위해나 영향에 관한 정보를 수집하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 후속적으로 기후변화 정보가 포함된 이러한 사회조사(패널조사)와 인구주택총조사 자료의 연계가 가능하다면 기후변화에 대한 취약성이나 적응력의 분석과 관련된 중요한 자료원이 될 수 있다.

다양한 자료원을 결합하는 또 다른 방안으로 인구주택총조사와 기후변화 관련 행정 자료의 연계도 주목을 받고 있다. 특히 위성 자료의 활용 가능성

72) 사회조사 자료가 통상적으로 기후변화에 대한 적응 논의에서 많이 활용되지만, 기후변화 문제의 완화 논의에서 일부 활용되기도 한다. 제3장의 기후 모델에서 살펴본 IAMs 중 미래 에너지 사용과 이산화탄소 배출을 전망하는 데 사용되는 PET(Population-Environment-Technology) 모델은 가구 부문의 모델 보정 과정에서 가구 서베이 자료를 활용한다(Zigova et al., 2009). 다른 IAMs와 비교할 때 이 모델은 가구 규모, 도시화, 연령 구조 등 다양한 인구학적 요소들의 영향을 고려하는 특징이 있다.

이 높아지는 동시에 공간 정보와 연계된(geo-referenced) 인구통계 자료가 생성됨에 따라 두 자료원의 연계가 주목을 받고 있다. 비록 위성 자료가 공간을 체계적으로 분석하는 가장 객관적인 수단으로 이해되지만, 결합 자료의 활용도를 높이기 위해서는 위성 자료의 생산자뿐만 아니라 사용자도 위성 자료의 판독과 해석에 관한 일정 수준의 지식을 갖출 것이 요구된다. 좀 더 근본적으로 기후변화 연구에서 인구주택총조사 자료의 활용도를 높이기 위해서는 현재 인구주택총조사에서 주기적으로 수집되는 정보가 기후변화의 완화 및 적응 정책 목적을 위해 적절한지, 현재 수집되는 정보를 적절히 활용하기 위해서는 어떠한 절차가 필요한지, 더 나아가 인구주택총조사에서 기후변화 대응 관련 정보가 적절히 수집되고 활용되기 위해서는 어떠한 조치가 필요한지를 아우르는 종합적인 검토가 필요하다. 전반적으로 환경 분석 목적으로 인구주택총조사가 활용되는 빈도가 높지 않기에 현재까지 그 가능성과 한계가 명확히 분석되지 못한 상황이다.

기후변화 대응을 위한 연구나 정책 수립을 위한 인구-기후변화 통계의 구축 및 연계 작업과 함께 지표 체계의 구축도 중요하다. 예컨대, 취약성에 대한 평가는 효과적인 재난 위험 대응 측면에서 점점 더 중요한 요소가 되고 있다. 특히 환경 변화와 이에 따른 재난의 빈도가 높아지는 상황에서 취약성에 관한 지표 체계의 구축은 지속 가능하고 회복력이 있는 사회를 구현하기 위해 적극적으로 추진될 필요가 있는 이슈이다. 최근 들어 점점 더 많은 취약성 관련 지표들이 개발되어 적용되고 있는데, 대표적인 사례가 Global Risk and Vulnerability Index Trends per Year(GRAVITY)이다. GRAVITY는 United Nations Environment Programme(UNEP, 2002)에 의해 개발된 지수로 8개 범주(경제, 환경, 인구, 건강/보건, 정치, 기반 시설/조기 경보/대응 역량, 교육, 발전)에 걸쳐 취약성을 정의한다. 이 지표에서 사용하는 인구학적 정보는 인구 성장, 도시 성장, 인구 밀도, 노년

부양비 정도이다. 또 다른 취약성 지수로 Environmental Vulnerability Index(EVI)가 있다. EVI는 SOPAC와 UNEP에 의해 개발된 지수로 기상과 기후, 지질, 지리, 자원-서비스, 인구를 아우르는 50개의 지표에 기초한다(South Pacific Applied Geosciences Commission[SOPAC] & United Nations Environment Programme[UNEP], 2004). GRAVITY와 비슷하게 이 지수에서 고려하는 인구학적 정보도 인구 밀도와 지난 5년의 연간 인구성장률 정도에 그친다.

개별 연구(자) 차원에서 취약성 지수가 구성되기도 한다. 여기에는 개발도상국은 물론 개발도상국과 선진국을 모두 아우른 취약성 지수의 적용 가능성이 검토되기도 한다(De Sherbinin & Bardy, 2015; Ignacio et al., 2015). 특히 공간상에 표시된 취약성 지수는 정책적으로 환경 변화에 취약한 지역을 시각적으로 확인할 수 있는 매우 효과적인 수단이다. 그럼에도 현재까지 취약성 지수를 산출하기 위해 활용할 수 있는 자료가 제한적인 동시에 지수의 타당성을 확보하기가 쉽지 않은 상황이다. 또한 취약성 지수가 복잡한 현실을 간결하게 표현하고 정책적 개입의 우선순위를 확인하는 측면에서 장점은 있지만, 취약성의 구조와 원인을 보여 주지 못하는 문제가 지적된다(Adger et al., 2004, p. 93). 다양한 지표들을 단순히 가중 평균하거나 주성분 분석(principal component analysis) 등을 통해 지수를 구성하지만, 자료의 이차적 활용 등으로 인해 명확한 이론적 기초가 없는 상황에서 자료의 활용 가능성에 기초하여 지수가 구성되는 경우가 많은 상황이다.

기후변화 취약성(지수)에 관한 최근까지의 논의에서는 인구의 분포와 동태에 관한 논의가 거의 이루어지지 못하고 있다. 그러나 기후변화를 이해하고 성공적으로 적응하기 위해서는 물리적 정보뿐만 아니라 인구동태 정보, 특히 기후변화에 취약한 지역의 인구 분포나 구성 같은 인구학적

조건과 그 변화에 대한 이해가 필요하다. 특히 기후변화의 영향에 대응하는 전략은 지역에 따라 차이를 보일 수 있기에 지역 차원의 세분화된 인구통계 자료가 제공되어야 한다(Balk et al., 2013, p. 74). 기후변화가 공간적 현상이라는 점에서 기후변화 대응 정책에서 활용도를 높이기 위해서는 이러한 인구통계 자료가 지리 정보와 연계하여 제공됨으로써 인구통계가 기후변화 위해의 공간적 분포와 연계되어 표시될 수 있도록 해야 한다. 현 수준에서 볼 때 인구주택총조사(센서스) 자료가 종합적인 동시에 기후변화와의 연계가 가능할 정도로 높은 해상도를 지닌 인구 및 사회경제적 정보를 제공하는 유일한 자료원으로 볼 수 있다. 그러나 현재까지 센서스를 활용하는 대부분의 논의는 센서스에서 제공되는 행정 구역 정보에 기초하여 정보를 제공함으로써 기후변화에 대한 취약성의 실제 분포에 관한 최적의 정보를 제공하지 못하는 상황이다.

인구통계 자료를 활용한 기후변화 취약성 및 적응력 지표를 체계적으로 산출하기 위해서는 전체 과정을 모두 아우르는 개념적 틀에 대한 고려도 중요하다. 여기에서는 기후변화 취약성-적응력 분석 틀에 관한 Guzmán et al.(2013, pp. 57-63)의 주요 논의를 소개하고, 센서스 자료를 활용한 기후변화 취약성-적응력 지표 구축 시의 고려 사항을 추가한다. 특히 Guzmán et al(2013, p. 57)은 기후변화 위험이 초래하는 위해성과 관련하여 모든 기후변화 위해를 가로질러 공유되는 공통의 기후변화 취약성(common climate change vulnerability)과 기후변화가 초래하는 위해의 유형에 따라 상이하게 나타나는 기후변화 위해별 취약성(climate change hazard-specific vulnerability)으로 구분할 필요가 있음을 지적한다. 이들의 기후변화 취약성 분석 틀은 ① 공통의 기후변화 취약성 지표 분석, ② 기후변화 위해별 취약성 지표 분석, ③ 취약성 지표의 심층 분석과 정교화, ④ 환경(기후변화) 정보와 인구(센서스) 자료의 연계, ⑤ 정책적 활용 방안의 모색 단계로 구성된다.

첫째, 공통의 기후변화 취약성 지표의 산출과 분석이다. 공간을 가로 지르는 취약성과 적응력에 대한 기초적 수준의 분석과 평가가 이루어지는 단계이다. 인구학적 요인으로는 인구 규모, 전체 및 연령계층별 인구 밀도, 성별-연령별 인구 구성 등의 공간적 양상을 통해 취약성과 적응력에 관한 기초적인 정보를 얻을 수 있다. 건조환경과 관련된 요인으로는 가구 및 가구가 필요로 하는 서비스와 관련된 사항들(식수 접근성, 주거의 안전성(자가/전세 등), 주거 관련 법령-규제의 준수 여부, 상하수관 연결, 전기 접근성)이 중요할 수 있다. 이들 중 일부는 센서스 자료의 수집 항목에 포함되지만, 다른 행정 자료와의 연계가 필요한 항목도 있다. 센서스를 통해 수집될 수 있는 인적/경제적 자원 관련 정보로는 경제활동/고용, 직업, 교육 수준 등이 있다. 경제활동/고용 정보는 기후변화 취약성에 관한 정보를, 교육 수준은 적응력에 관한 정보를 제공할 수 있다. 이동력(거주지) 정보도 지역사회 적응력 등 인적/경제적 자원과 관련된 정보를 제공할 수 있다.

둘째, 공통의 기후변화 취약성이 기후변화 취약성을 이해하는 기초적인 정보를 제공할 수 있지만, 기후변화에 대한 취약성을 체계적으로 이해하기 위해서는 기후변화가 초래하는 세부적인 위해와 연계하여 분석이 이루어질 필요가 있다. 우선 다양한 기후변화 위해의 공간적 분포(핫스팟)에 관한 정보가 기후변화 취약성을 이해하는 데 도움이 될 수 있다. 더 나아가 센서스 정보와 특정 기후변화 위해(예컨대, 홍수, 폭염)의 관계를 확인하는 작업이 유용할 수 있다. 예컨대, 호우나 태풍 등으로 홍수 위험에 노출된 지역이 공간적으로 확인되면 센서스 자료와 결합하여 홍수 위험이 높은 지역의 기본적인 인구학적 정보가 산출될 수 있다. 또한 홍수 위험이 높은 지역의 주거지 형태나 재질, 현대식 화장실의 설치 등에 관한 정보는 홍수 발생 시 건물의 안전이나 감염병 발생

등에 관한 정보를 제공할 수 있다. 한편 홍수 위험이 높은 지역에서는 홍수 발생 시 안전한 대피로와 대피처의 확보가 중요하다. 공용 공간의 부족, 산사태 위험이 높은 급경사 지역의 주택, 대피로 같은 기반 시설의 부족 등은 홍수 위험과 관련된 취약성을 살펴보는 중요한 정보가 될 수 있다. 물론 앞에서 언급했듯이 이러한 모든 정보를 센서스 자료에서 구하기가 쉽지 않을 수 있기에 증장기적으로 센서스 자료와 관련 정보를 포함하는 행정 정보의 연계를 검토할 필요가 있다.

셋째, 단일 정보에 기초한 취약성 분석을 넘어 기후변화 취약성에 관한 심층적인 분석과 정교화 단계로 나아갈 필요도 있다. 기후변화 취약성에 관한 좀 더 심층적인 정보를 추출하기 위해서는 다양한 준거(변수)에 기초하여 기후변화 취약성에 관한 정보를 연계하여 살펴볼 필요가 있다. 예컨대, 가구주의 성별이나 가구의 구성에 따른 취약성의 분포가 중요한 의미를 지닐 수 있다. 특히, 여성 가구주나 노인만으로 구성된 가구의 인구학적 및 인적/경제적 자본의 분석은 기후변화 취약성을 이해하는 데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

마지막으로, 기후변화 대응과 관련하여 센서스 정보의 정책적 활용도를 높이는 방안에 대한 검토가 필요하다. 센서스 정보의 정책적 활용도를 획기적으로 높이기 위해서는 기후변화 위해의 공간적 분포와 관련성이 떨어질 수 있는 센서스 행정 구역 정보를 그대로 활용하는 대신에 기후변화 위해에 실제로 노출되는 공간을 격자 단위로 구축하여 제시하는 것이 바람직하다. 특히 격자 단위로 구축된 공간 정보는 제공되는 정보의 구체성은 물론이거니와 사회경제적 조건에 따라 변화할 수 있는 행정 구역 정보에 비해 안정적인 시계열 정보를 구축할 수 있는 장점이 있다. 만일 불가피하게 센서스 행정 구역 정보를 통해 기후변화 위해에 대한 노출 여부와 정도에 관한 정보를 제공해야 한다면 기존의 표준적

인 행정 구역 단위(예컨대, 시도, 시군구) 대신에 좀 더 세분화된 단위를 사용할 필요도 있다. 예컨대, 현재 통계청이 일반에게 공개하는 센서스 자료의 표준적인 최하위 행정 구역은 시군구 단위인데, 정책적 활용도를 높이기 위해서는 개인 정보가 적절히 보호되는 상태에서 읍면동 단위로 세분화된 정보를 제공하는 것이 바람직하다. 읍면동은 행정 구역 상으로 시군구의 기초가 되지만, 기후변화 위해와 관련된 취약성의 실제적 분포를 파악하기 위한 기초가 될 수도 있다.

센서스 자료의 정책적 활용도를 높이기 위해서는 센서스에서 수집되는 정보가 기후변화에 대한 취약성과 적응력의 다양한 측면을 세부적으로 반영할 필요가 있다. 이러한 점에서 센서스 조사 항목의 적절성에 대한 검토가 필요할 수 있다. 특히 일반 사회조사를 통해 수집될 수 있는 정보를 센서스에서 수집할 필요는 없다. 예컨대, 2020년 센서스(표본)에서는 반려동물에 관한 정보가 새롭게 추가되었다. 그러나 이 정보는 일반 사회조사를 통해 충분히 수집될 수 있는 항목이며, 센서스(표본)에서는 반려동물의 유무와 종류(개/고양이/기타)만을 조사함으로써 정보의 심층성도 크게 떨어진다. 사회적인 주목을 많이 받는 이슈가 센서스 조사 항목에 반드시 포함되어야 하는 것은 아니다. 센서스는 센서스 외에 다른 방식으로 정보를 수집하기 어렵거나 국가 전체를 대상으로 세분화된 정보가 산출될 필요가 있는 항목들을 중심으로 설계되는 것이 바람직하다.

<표 5-1> 2010~2020년 센서스 조사 항목 및 기후변화 취약성/적응력 관련성

조사 항목	2010		2015		2020		비고
	전수	표본	전수	표본	전수	표본	
성명	●	●	●	●	●	●	
성별	●	●	●	●	●	●	성(여성)
연령	●	●	●	●	●	●	연령(아동, 노인)
가구주와의 관계	●	●	●	●	●	●	가구 구조(취약 가구)
국적	●	●	●	●	●	●	이민자(외국인, 귀화인)
입국 연월	●	●	●	●	●	●	이민자(적응력)
국적취득연도					●		이민자(적응력)
종교(10년 주기)				●			
교육 정도	●	●		●		●	교육(저학력 인구/여성)
교육 영역(대학 전공)				●		●	교육(인적자원)
출생지		●		●		●	이민자(적응력)
1년 전 거주지		●		●	●	○	인구이동
5년 전 거주지		●		●		○	인구이동
아동 보육		●		●		●	
활동 제약		●		●			
일상생활 및 사회활동 제약				●			● 사회적 의존성
활동제약 돌봄						●	● 사회적 의존성
통근·통학 여부		●		●		●	
통근·통학 장소		●		●		●	
이용 교통수단		●		●		●	
통근·통학 소요 시간		●		●		●	
경제활동 상태		●		●		●	● 위험 노출/취약성
종사상 지위		●		●		●	● 위험 노출/취약성
산업		●		●		●	● 위험 노출/취약성
직업		●		●		●	● 위험 노출/취약성
현 직업 근무연수		●		●		●	● 위험 노출/취약성
근로 장소		●		●		●	● 위험 노출/취약성
혼인 상태	●	●		●		●	● 취약성/적응력
혼인 연월		●		●		●	
출산 자녀 수		●		●		●	● 취약성/적응력
자녀 출산 시기				●		●	
추가 계획 자녀 수		●		●		●	
결혼 전 취업 여부				●		●	
경력 단절				●		●	
사회활동		●		●		●	
생활비 원천		●		●		●	
본관(15년 주기)			●				

인구

조사 항목	2010		2015		2020		비고
	전수	표본	전수	표본	전수	표본	
가구	가구 구분	●	●	●	●	●	●
	거주 기간		●		●		●
	주택용 소방시설						● 주거지 특성
	마시는 물		●				● 주거지 특성
	건물 및 거주층	●	●		●		● 주거지 특성
	사용 방 수	●	●		●		● 주거지 특성
	주거시설 형태	●	●		●	●	○ 주거지 특성
	난방시설		●		●		● 주거지 특성
	정보통신기기 보유·이용		●				주거지 특성
	1인 가구 사유						● 가구 구조(취약 가구)
	혼자 산 기간						● 가구 구조(취약 가구)
	반려동물						●
	자동차 보유·이용 현황		●		●		● 취약성/적응력
	자동차 주차 장소		●				
	주거전용 영업겸용 여부		●		●		●
	점유 형태	●	●		●		● 취약성/적응력
	임차료		●		●		●
	타지 주택 소유 여부	●	●		●		○
	주인(대표) 가구 여부				●		
주택	거처의 종류	●	●	●	●	●	○ 주거지 특성
	주거용 연면적	●	●	●	○	●	○ 주거지 특성
	대지면적		●	●	○	●	○ 주거지 특성
	총 방 수	●	●		●	●	○ 주거지 특성
	건축연도	●	●	●	○	●	○ 주거지 특성
	주거시설 수	●	●		●	●	○ 주거지 특성

주: 2015년부터 전수조사는 행정자료를 활용한 등록센서스 방식으로 전환되었으며, 표본조사는 5년 주기 조사방식으로 작성됨; ○는 표본조사에서 행정자료로 대체된 항목을 표시함; 동일한 조사 항목 내의 조사 대상이나 내용 변경은 표시하지 않음; 2010년 표본조사에서는 특별·광역시도별로 3개의 추가 문항이 조사됨.

출처: "2025 인구주택총조사 제3차 시험조사," 통계청, 2024b, <https://www.census.go.kr/main/ehpp/aa/ehppaa100m02>. 통계청 자료를 바탕으로 취약성/적응력 관련 내용을 추가함.





- 국립환경과학원. (2023). **2022 대기환경연보**. 세종: 환경부.
- 기상청. (2023. 11. 24). 기상자료개방포털. <https://data.kma.go.kr/climate/average30Years/selectAverage30YearsKoreaList.do?pgmNo=188>  
2024. 11. 11.
- 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법, 법률 제19208호 (2024).
- 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 시행령, 대통령령 제32557호 (2022).
- 김백조, 조형준, 강기룡, 이철규. (2023). 국립기상과학원 Argo 사업의 현황 및 추진 방향. **대기**, 33(5), 561-570.
- 김승도. (2018). **대기오염물질과 온실가스의 통합관리**. 기후변화법제연구사업 이슈페이퍼 2018년 제2호. 한국법제연구원. <https://www.klri.re.kr:9443/bitstream/2017.oak/5595/1/대기오염물질과%20온실가스의%20통합관리.pdf>
- 대기환경보전법, 법률 제18905호 (2024).
- 대기환경보전법 시행규칙, 환경부령 제1110호 (2024).
- 대한민국 정부. (2020a). **제4차 지속가능발전 기본계획 2021~2040** (제1부). <https://ncsd.go.kr/ksdgs?content=1>
- 대한민국 정부. (2020b). **제4차 지속가능발전 기본계획 2021~2040** (제2부). <https://ncsd.go.kr/ksdgs?content=1>
- 대한민국 정부. (2023). **탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획**. <https://www.gihoo.or.kr/menu.es?mid=a30201000000>
- 산업통상자원부·한국에너지공단. (2023). **2022년 신·재생에너지 보급통계**. 한국에너지공단.
- 에너지데이터(Enerdata). (2024. 10. 2.). 세계 에너지 및 기후 통계 - 2024년 연감. <https://yearbook.enerdata.co.kr/>
- 외교부. (2024. 10. 2.). 기후변화협상. <https://www.mofa.go.kr/www/wpg>

e/m\_20150/contents.do

이승호. (2022). **기후학**. 푸른길.

임희섭. (1995). **한국의 사회변동과 가치관**. 나남출판.

저탄소 녹색성장 기본법, 법률 제16646호 (2020).

중앙안전관리위원회. (2019). **제4차 국가안전관리기본계획**. [https://www.moi.s.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR\\_00000000012&nttId=75217](https://www.moi.s.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_00000000012&nttId=75217)

지속가능발전 기본법, 법률 제18708호 (2022).

지속가능발전 기본법 시행령, 대통령령 제34488호 (2024).

지속가능발전법, 법률 제13532호 (2015).

통계청. (2024a). **장래인구추계** [데이터 파일]. 국가통계포털. 2024. 10. 7. 검색, <https://kosis.kr/publication/publicationThema.do>

통계청. (2024b. 8. 8.). 2025 인구주택총조사 제3차 시험조사. <https://www.census.go.kr/main/ehpp/aa/ehppaa100m02>

통계청. (2024c). 지표누리: 석탄화력발전비율. <https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4292>

헌법재판소. (2024). 2020헌마389등. 저탄소 녹색성장 기본법 제42조 제1항 제1호 위헌확인. 2024. 9. 3. 검색, <https://www.ccourt.go.kr/site/ko/r/ex/bbs/List.do?cbIdx=1195>

환경부, 지속가능발전위원회. (2018). **2018 국가 지속가능성 보고서**. <http://ncsd.go.kr/api/2018%20국가%20지속가능성%20보고서.pdf>

환경부, 한국환경연구원. (2022). **2022 국가지속가능성 보고서: 국가지속가능발전목표(K-SDGs) 점검 및 지표평가 결과**. <https://ncsd.go.kr/research?page=1&post=2834>

환경부. (2024). **2023 환경통계연감**. 환경부.

Adger, W. N., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., & Eriksen, S. (2004). *New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity*. Tyndall Centre for Climate Change Research. <https://www.researchg>

- ate.net/publication/257343107\_New\_Indicators\_of\_Vulnerability\_and\_Adaptive\_Capacity
- Alan Guttmacher Institute. (1999). *Sharing Responsibility: Women, Society and Abortion Worldwide*. <https://www.guttmacher.org/sites/default/files/pdfs/pubs/archive/Sharing-Responsibility.pdf>
- Alber, G. (2009). Gender and climate change policy. In J. M. Guzmán et al. (Eds.), *Population Dynamics and Climate Change* (pp. 149-163). UNFPA·IIED.
- Andalón, M., Rodríguez-Castelan, C., Sanfelice, V., Azevedo, J. P., & Valderrama, D. (2014). Weather shocks and health at birth in Colombia. World Bank Policy Research Working Paper 7081. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2518828](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2518828)
- Angel, S., Parent, J., Civco, D. L., & Blei, A. (2010). The persistent decline in urban densities: Global and historical evidence of 'sprawl'. Lincoln Institute of Land Policy Working Paper. [https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/1834\\_1085\\_angel\\_final\\_1.pdf](https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/1834_1085_angel_final_1.pdf)
- Angel, S., Parent, J., Civco, D., Blei, A., & Potere, D. (2010). A planet of cities: Urban land cover estimates and projections for all countries, 2000-2050. Lincoln Institute of Land Policy Working Paper. [https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/1861\\_1171\\_angel\\_iii\\_final.pdf](https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/1861_1171_angel_iii_final.pdf)
- Associated Press (AP). (2020, August 19). Millions of women lose contraceptives, abortion services amid coronavirus outbreak. *Los Angeles Times*. <https://www.latimes.com/world-nation/story/2020-08-18/millions-of-women-lose-contraceptives-abortions-in-covid-19>
- Åström, D. O., Bertil, F., & Joacim, R. (2011). Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of rece

- nt studies. *Maturitas*, 69(2), 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2011.03.008>
- Baer, P., Kartha, S., Athanasiou, T., & Kemp-Benedict, E. (2009). The greenhouse development rights framework: Drawing attention to inequality within nations in the global climate policy debate. *Development and Change*, 40(6), 1121-1138. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2009.01614.x>
- Balk, D., Guzmán, J. M., & Schensul, D. (2013). Harnessing census data for environment and climate change analysis. In G. Martine, & D. Schensul (Eds.), *The Demography of Adaptation to Climate Change* (pp. 74-95). UNFPA, IIED and El Colegio de México.
- Banerjee, A. V., & Duflo, E. (2000). Inequality and growth: What can the data say?. National Bureau of Economic Research. Working Paper 7793. [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w7793/w7793.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w7793/w7793.pdf)
- Banwell, N., Rutherford, S., Mackey, B., Street, R., & Chu, C. (2018). Commonalities between disaster and climate change risks for health: A theoretical framework. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3), 538. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030538>
- Barreca, A., & Schaller, J. (2020). The impact of high ambient temperatures on delivery timing and gestational lengths [Abstract]. *Nature Climate Change*, 10(1), 77-82. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0632-4>
- Bartlett, S. (2009). Children in the context of climate change: A large and vulnerable population. In J. M. Guzmán et al. (Eds.), *Population Dynamics and Climate Change* (pp. 133-148). UNFPA-IIED. [https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop\\_dyna](https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop_dyna)

mics\_climate\_change\_0.pdf

- Basu, R., & Samet, J. M. (2002). Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews*, 24(2), 190-202. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxf007>
- Battisti, D. S., & Naylor, R. L. (2009). Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, 323(5911), 240-244. <https://doi.org/10.1126/science.1164363>
- Beck, U. (1996). **위협사회: 새로운 근대(성)를 향하여** (홍성태 역). 새물결. (Original work published 1986)
- Bekkar, B., Pacheco, S., Basu, R., & DeNicola, N. (2020). Association of air pollution and heat exposure with preterm birth, low birth weight, and stillbirth in the US: A systematic review. *JAMA Network Open*, 3(6): e208243. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.8243.
- Bisi, S., Sturm, N., & Van Bavel, J. (2024). Climate change and fertility desires: An experimental study among university students in Belgium and Italy. *Demographic Research*, 51(2), 17-48. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/climate-change-fertility-desires-experimental/docview/3098306535/se-2?accountid=32175>
- Black, R. E., Allen, L. H., Bhutta, Z. A., Caulfield, L. E., De Onis, M., Ezzati, M., Mathers, C., & Rivera, J. (2008). Maternal and child under nutrition: Global and regional exposures and health consequences. *The Lancet*, 371(9608), 243-260.
- Black, R., Bennett, S. R., Thomas, S. M., & Beddington, J. R. (2011). Migration as adaptation. *Nature*, 478(7370), 447-449.
- Bohra-Mishra, P., Oppenheimer, M., Cai, R., Feng, S., & Licker, R. (2017). Climate variability and migration in the Philippines. *Population and Environment*, 38, 286-308. <https://doi.org/10.1007/s111>

11-016-0263-x

- Bohra-Mishra, P., Oppenheimer, M., & Hsiang, S. M. (2014). Nonlinear permanent migration response to climatic variations but minimal response to disasters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(27), 9780-9785. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317166111>
- Bongaarts, J. (1992). Population growth and global warming. *Population and Development Review*, 18(2), 299-319. <https://doi.org/10.2307/1973681>
- Bongaarts, J. (1994). Population policy options in the developing world. *Science*, 263(5148), 771-776. <https://doi.org/10.1126/science.8303293>
- Bongaarts, J. (2017). Africa's unique fertility transition. *Population and Development Review*, 43, 39-58.
- Bongaarts, J., & O'Neill, B. C. (2018). Global warming policy: Is population left out in the cold?. *Science*, 361(6403), 650-652. <https://doi.org/10.1126/science.aat8680>
- Bradbury, M., Peterson, M. N., & Liu, J. (2014). Long-term dynamics of household size and their environmental implications. *Population and Environment*, 36, 73-84. <https://doi.org/10.1007/s11111-014-0203-6>
- Bryant, L., Carver, L., Butler, C. D., & Anage, A. (2009). Climate change and family planning: Least-developed countries define the agenda. *Bulletin of the World Health Organization*, 87(11), 852-857.
- Bryson, B. (2003). **거의 모든 것의 역사** (이덕환 역). 까치글방. (Original work published in 2003)
- Bunyavanich, S., Landrigan, C. P., McMichael, A. J., & Epstein, P. R. (2003). The impact of climate change on child health. *Ambulatory*

- Pediatrics*, 3(1), 44-52. [https://doi.org/10.1367/1539-4409\(2003\)003%3C0044:TIOCCO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1367/1539-4409(2003)003%3C0044:TIOCCO%3E2.0.CO;2)
- Casey, G., Shayegh, S., Moreno-Cruz, J., Bunzl, M., Galor, O., & Caldeira, K. (2019). The impact of climate change on fertility. *Environmental Research Letters*, 14(5), 054007. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab0843/pdf>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). (2024). Disaster Classification System: Historical and Current Classification System of Disasters. Retrieved July 24, 2024, from <https://doc.emdat.be/docs/data-structure-and-content/disaster-classification-system/>
- Checkley, W., Epstein, L. D., Gilman, R. H., Figueroa, D., Cama, R. I., Patz, J. A., & Black, R. E. (2000). Effects of El Niño and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in Peruvian children. *The Lancet*, 355(9202), 442-450.
- Chen, H., Jia, B., & Lau, S. S. Y. (2008). Sustainable urban form for Chinese compact cities: Challenges of a rapid urbanized economy. *Habitat international*, 32(1), 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2007.06.005>
- Chen, X., Tan, C. M., Zhang, X., & Zhang, X. (2020). The effects of prenatal exposure to temperature extremes on birth outcomes: The case of China. *Journal of Population Economics*, 33(4), 1263-1302. <https://doi.org/10.1007/s00148-020-00768-4>
- Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., & Mann, M. E. (2020). Record-setting ocean warmth continued in 2019. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37, 137-142. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

- Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Mann, M. E., Zhu, J., Wang, F., Locarnini, R., Li, Y., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Feng, L., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., ... Li, G. (2023). Another year of record heat for the oceans. *Advances in Atmospheric Sciences*, 40, 963-974. <https://doi.org/10.1007/s00376-023-2385-2>
- Cheng, L., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Abraham, J., & Zhu, J. (2017). Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advances*, 3(3), e1601545. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545>
- Cohen, J. E. (2010). Population and climate change. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 154(2), 158-182.
- Conte Keivabu, R., & Cozzani, M. (2022). Extreme heat, birth outcomes, and socioeconomic heterogeneity. *Demography*, 59(5), 1631-1654. <https://doi.org/10.1215/00703370-10174836>
- Corner, A., Markowitz, E., & Pidgeon, N. (2014). Public engagement with climate change: The role of human values. *WIREs Climate Change*, 5(3), 411-422. <https://doi.org/10.1002/wcc.269>
- Crist, E., Mora, C., & Engelman, R. (2017). The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science*, 356(6335), 260-264. <https://doi.org/10.1126/science.aal2011>
- Curriero, F. C., Heiner, K. S., Samet, J. M., Zeger, S. L., Strug, L., & Patz, J. A. (2002). Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *American Journal of Epidemiology*, 155(1), 80-87. <https://doi.org/10.1093/aje/155.1.80>
- Dalton, M., Jiang, L., Pachauri, S., & O'Neill, B. C. (2007, March 16). *Demographic change and future carbon emissions in China and India* [Paper presentation]. Annual Meeting of the Population Assoc

- iation of America, New York, NY, United States. <https://paa2007.populationassociation.org/papers/72123>
- Dalton, M., O'Neill, B., Prskawetz, A., Jiang, L., & Pitkin, J. (2005). Population aging and future carbon emissions in the United States. Interim Report IR-05-025. International Institute for Applied Systems Analysis. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/7810/1/IR-05-025.pdf>
- Dalugoda, Y., Kuppa, J., Phung, H., Rutherford, S., & Phung, D. (2012). Effect of elevated ambient temperature on maternal, foetal, and neonatal outcomes: A scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1771. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031771>.
- Davis, K. (1990). Population and resources: Fact and interpretation. *Population and Development Review*, 16(Suppl.), 1-21. <https://doi.org/10.2307/2808060>
- De Bono, A., Peduzzi, P., Kluser, S., & Giuliani, G. (2004). Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:32255>
- De Rose, A., & Testa, M. R. (2013). Climate change and reproductive intentions in Europe. Vienna Institute of Demography Working Papers No. 9/2013. [https://epub.oeaw.ac.at/0xc1aa5576\\_0x003d06d6.pdf](https://epub.oeaw.ac.at/0xc1aa5576_0x003d06d6.pdf).
- De Sherbinin, A., & Bardy, G. (2015). Social vulnerability to floods in two coastal megacities: New York City and Mumbai. *Vienna year book of population research*, 13, 131-165.
- Deschenes, O. (2012). Temperature, human health, and adaptation: A review of empirical literature. NBER Working Paper 18345. [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w18345/w18345.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w18345/w18345.pdf)

- Deschênes, O., Greenstone, M., & Guryan, J. (2009). Climate change and birth weight. *American Economic Review*, 99(2), 211-217. DOI: 10.1257/aer.99.2.211
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human Ecology Review*, 1(2), 277-300.
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1997). Effects of population and affluence on CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(1), 175-179. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>
- Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L., Arnold, M., Agwe, J., Buys, P., Kjekstad, O., Lyon, B., & Yetman, G. (2005). *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. World Bank.
- Dodman, D. (2009a). Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories. *Environment and Urbanization*, 21(1), 185-201. <https://doi.org/10.1177/0956247809103016>
- Dodman, D. (2009b). Urban form, greenhouse gas emissions and climate vulnerability. In J. M. Guzmán et al. (Eds.), *Population Dynamics and Climate Change* (pp. 64-79). UNFPA-IIED. [https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop\\_dynamics\\_climate\\_change\\_0.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop_dynamics_climate_change_0.pdf)
- Donat, M. G., & Alexander, L. V. (2012). The shifting probability distribution of global daytime and night-time temperatures. *Geophysical Research Letters*, 39. L14707. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1029/2012GL052459>
- Doocy, S., Daniels, A., Murray, S., & Kirsch, T. D. (2013). The human impact of floods: A historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. *PLoS Currents*, 5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3701111/>

- m.nih.gov/pmc/articles/PMC3644291/
- Egerö, B. (2013). Population policy: A valid answer to climate change? Old arguments aired again before COP15. *ACME: An International Journal for Critical Geographies*, 12(1), 88-101. <https://doi.org/10.14288/acme.v12i1.953>
- Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth: Complacency concerning this component of man's predicament is unjustified and counterproductive. *Science*, 171(3977), 1212-1217. <https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212>
- Estoque, R. C., Ishtiaque, A., Parajuli, J., Athukorala, D., Rabby, Y. W., & Ooba, M. (2023). Has the IPCC's revised vulnerability concept been well adopted?. *Ambio*, 52(2), 376-389. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01806-z>
- Evans, S., Gabbatiss, J., Hausfather, Z., McSweeney, R., Tandon, A., & Viglione, G. (2021). In-depth Q&A: The IPCC's sixth assessment report on climate science. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-the-ipccs-sixth-assessment-report-on-climate-science/>
- Evans, S., & Hausfather, Z. (2018). Q&A: How 'integrated assessment models' are used to study climate change. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/qa-how-integrated-assessment-models-are-used-to-study-climate-change/>
- Evans, S., Pidcock, R., & Yeo, S. (2017). Q&A: The social cost of carbon. *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/qa-social-cost-carbon/>
- Fan, Y., Liu, L. C., Wu, G., & Wei, Y. M. (2006). Analyzing impact factors of CO<sub>2</sub> emissions using the STIRPAT model. *Environmental Impact Assessment Review*, 26(4), 377-395. <https://doi.org/10.101>

6/j.eiar.2005.11.007

- Farsi, M., Filippini, M., & Pachauri, S. (2007). Fuel choices in urban Indian households. *Environment and Development Economics*, 12(6), 757-774. doi:10.1017/S1355770X07003932
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action*. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca9229en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023: Urbanization, Agrifood Systems Transformation and Healthy Diets across the Rural-Urban Continuum*. <https://www.fao.org/3/cc3017en/cc3017en.pdf>
- Forastiere, F., Stafoggia, M., Tasco, C., Picciotto, S., Agabiti, N., Cesaroni, G., & Perucci, C. A. (2007). Socioeconomic status, particulate air pollution, and daily mortality: Differential exposure or differential susceptibility. *American Journal of Industrial Medicine*, 50(3), 208-216. <https://doi.org/10.1002/ajim.20368>
- Frankenberg, E., Sikoki, B., Sumantri, C., Suriastini, W., & Thomas, D. (2013). Education, vulnerability, and resilience after a natural disaster. *Ecology and Society*, 18(2), 16. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05377-180216>
- Gerlagh, R., Lupi, V., & Galeotti, M. (2023). Fertility and climate change. *The Scandinavian Journal of Economics*, 125(1), 208-252. <https://doi.org/10.1111/sjoe.12520>
- Githeko, A. K., & Woodward, A. (2003). International consensus on the science of climate and health: The IPCC Third Assessment Report. In A. J. McMichael et al. (Eds.), *Climate Change and Human Health*

- lth: Risks and Responses* (pp. 43-60). World Health Organization.
- Götmark, F., & Andersson, M. (2023). Achieving sustainable population: Fertility decline in many developing countries follows modern contraception, not economic growth. *Sustainable Development*, 31(3), 1606-1617. <https://doi.org/10.1002/sd.2470>
- Gouveia, N., Hajat, S., & Armstrong, B. (2003). Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in São Paulo, Brazil. *International Journal of Epidemiology*, 32(3), 390-397. <https://doi.org/10.1093/ije/dyg077>
- Gray, C., & Mueller, V. (2012). Drought and population mobility in rural Ethiopia. *World Development*, 40(1), 134-145. doi:10.1016/j.worlddev.2011.05.023.
- Gu, D. (2019). Exposure and vulnerability to natural disasters for world's cities. Population Division Technical Report No. 2019/4. <https://digitalcommons.fiu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1179&context=srhreports>
- Guha-Sapir, D., Hoyois, P., Wallemacq, P., & Below, R. (2017). *Annual Disaster Statistical Review 2016: The Numbers and Trends*. Brussels: CRED.
- Guillebaud, J. (2016). Voluntary family planning to minimise and mitigate climate change. *BMJ*, 353. <https://doi.org/10.1136/bmj.i2102>
- Guzmán, J. M. (2009). The use of population census data for environmental and climate change analysis. In J. M. Guzmán et al. (Eds.), *Population Dynamics and Climate Change* (pp. 192-205). UNFPA·IIED. [https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop\\_dynamics\\_climate\\_change\\_0.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop_dynamics_climate_change_0.pdf)
- Guzmán, J. M., Martine, G., McGranahan, G., Schensul, D., & Tacoli, C. (Eds.). (2009). *Population Dynamics and Climate Change*. UN

- FPA·IIED. [https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop\\_dynamics\\_climate\\_change\\_0.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop_dynamics_climate_change_0.pdf)
- Guzmán, J. M., Schensul, D., & Zhang, S. (2013). Understanding vulnerability and adaptation using census data. In G. Martine, & D. Schensul (Eds.), *The Demography of Adaptation to Climate Change* (pp. 55-73). UNFPA, IIED and El Colegio de México.
- Hajat, A., Hsia, C., & O'Neill, M. S. (2015). Socioeconomic disparities and air pollution exposure: A global review. *Current Environmental Health Reports*, 2, 440-450. <https://doi.org/10.1007/s40572-015-0069-5>
- Hajdu, T., & Hajdu, G. (2021a). Temperature, climate change, and fertility. GLO Discussion Paper No. 896. Global Labor Organization. <https://glabor.org/temperature-climate-change-and-fertility-a-new-glo-discussion-paper-by-glo-fellows-gabor-hajdu-tamas-hajdu/>
- Hajdu, T., & Hajdu, G. (2021b). Post-conception heat exposure increases clinically unobserved pregnancy losses. *Scientific Reports*, 11(1), 1987. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81496-x>.
- Hajdu, T., & Hajdu, G. (2022). Temperature, climate change, and human conception rates: Evidence from Hungary. *Journal of Population Economics*, 35(4), 1751-1776. <https://doi.org/10.1007/s00148-020-00814-1>
- Harde, H. (2017). Radiation transfer calculations and assessment of global warming by CO<sub>2</sub>. *International Journal of Atmospheric Sciences*, 2017, 1-30. <https://doi.org/10.1155/2017/9251034>
- Hausfather, Z. (2018). Explainer: How 'Shared Socioeconomic Pathways' explore future climate change. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future>

e-climate-change/

- Hayes, A. C. (2015). Population dynamics and climate change: A challenging frontier for the intrepid demographer. *Vienna Yearbook of Population Research*, 13, 33-36.
- Headrick, D. R. (2019). Climate Change: Debate and reality. *International Review of Environmental History*, 5(1), 43-60.
- Himeidan, Y. E., & Kweka, E. J. (2012). Malaria in East African highlands during the past 30 years: Impact of environmental changes. *Frontiers in Physiology*, 3(315). <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00315>
- Hoffmann, R. (2008). *Socioeconomic Differences in Old Age Mortality*. Springer Science & Business Media.
- Holding, P. A., & Snow, R. W. (2001). Impact of Plasmodium falciparum malaria on performance and learning: Review of the evidence. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 64(1-2 Suppl), 68-75.
- Hugo, G. (2011). Future demographic change and its interactions with migration and climate change. *Global Environmental Change*, 21, S21-S33. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.09.008>
- Hummel, D., Lux, A., de Sherbinin, A., & Adamo, S. B. (2009). Theoretical and methodological issues in the analysis of population dynamics and supply systems. Background Paper for the Population - Environment Research Network (PERN) Cyber-seminar on "Theoretical and Methodological Issues of the Analysis of Population Dynamics and the Environment" [https://www.populationenvironmentresearch.org/pern\\_files/papers/PERN\\_P-E\\_theory-methods\\_paper\\_final.pdf](https://www.populationenvironmentresearch.org/pern_files/papers/PERN_P-E_theory-methods_paper_final.pdf)
- Hunter, L. M. (2000). *The Environmental Implications of Population D*

*ynamics*. Rand Corporation.

Hunter, L. M., Murray, S., & Riosmena, F. (2013). Rainfall patterns and US migration from rural Mexico. *International Migration Review*, 47(4), 874-909. <https://doi.org/10.1111/imre.12051>

Ignacio, J. A. F., Cruz, G. T., Nardi, F., & Henry, S. (2015). Assessing the effectiveness of a social vulnerability index in predicting heterogeneity in the impacts of natural hazards: Case study of the Tropical Storm Washi flood in the Philippines. *Vienna Yearbook of Population Research*, 13, 91-129.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1992). *Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc\\_90\\_92\\_assessments\\_far\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc_90_92_assessments_far_full_report.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2000). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001a). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI\\_TAR\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001b). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII\\_TAR\\_full\\_report-2.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007a). *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4\\_wg3\\_full\\_report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg3_full_report-1.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007b). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. <https://www>

- w.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4\_wg2\_full\_report.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007c). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4\\_wg1\\_full\\_report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_all\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014a). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014b). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022a). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf)

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022b). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_FullVolume.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2024). IPCC factsheet: What is the IPCC?. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/07/AR6\\_FS\\_What\\_is\\_IPCC.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/07/AR6_FS_What_is_IPCC.pdf)
- Jiang, L., & Hardee, K. (2011). How do recent population trends matter to climate change?. *Population Research and Policy Review*, 30, 287-312. <https://doi.org/10.1007/s11113-010-9189-7>
- Jerneck, A., & Olsson, L. (2008). Adaptation and the poor: Development, resilience and transition. *Climate Policy*, 8, 170-182.
- Jiang, L., & O'Neill, B. C. (2007). Impacts of demographic trends on U.S. household size and structure. *Population and Development Review*, 33(3), 567-591. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2007.00186.x>
- Jones, D. W. (1989). Urbanization and energy use in economic development. *The Energy Journal*, 10(4), 29-45. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol10-No4-3>
- Jonkman, S. N., Godfroy, M., Sebastian, A., & Kolen, B. (2018). Brief communication: Loss of life due to Hurricane Harvey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(4), 1073-1078. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1073-2018>

rg/10.5194/nhess-18-1073-2018

- Josey, K. P., Delaney, S. W., Wu, X., Nethery, R. C., DeSouza, P., Braun, D., & Dominici, F. (2023). Air pollution and mortality at the intersection of race and social class. *New England Journal of Medicine*, 388(15), 1396-1404. DOI: 10.1056/NEJMsa2300523
- Kaczan, D. J., & Orgill-Meyer, J. (2020). The impact of climate change on migration: A synthesis of recent empirical insights. *Climatic Change*, 158(3), 281-300. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02560-0>
- Karakosta, C. (2015). Household contribution to buildings' carbon footprint. Climate Policy Info Hub. <http://climatepolicyinfohub.eu/household-contribution-buildings-carbon-footprint-curtailment-progress>
- KC, S. (2013). Community vulnerability to floods and landslides in Nepal. *Ecology and Society*, 18(1), 8. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05095-180108>. 2024. 1. 28.
- KC, S., & Lutz, W. (2017). The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. *Global Environmental Change*, 42, 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004>
- Koonin, S. E. (2022). **지구를 구한다는 거짓말: 환경을 생각하는 당신이 들어보지 못한 기후과학 이야기** (박설영 역). 한국경제신문. (Original work published 2021)
- Kosek, M., Bern, C., & Guerrant, R. L. (2003). The global burden of diarrhoeal disease, as estimated from studies published between 1992 and 2000. *Bulletin of the World Health Organization*, 81(3), 197-204.
- Kovats, S., & Akhtar, R. (2008). Climate, climate change and human h

- health in Asian cities. *Environment and Urbanization*, 20(1), 165-175. <https://doi.org/10.1177/0956247808089154>
- Kovats, S., & Lloyd, S. (2009). Population, climate and health. In J. M. Guzmán et al. (Eds.), *Population Dynamics and Climate Change* (pp. 164-175). UNFPA-IIED. [https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop\\_dynamics\\_climate\\_change\\_0.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop_dynamics_climate_change_0.pdf)
- Kriegler, E., Edmonds, J., Hallegatte, S., Ebi, K. L., Kram, T., Riahi, K., Winkler, H., & Van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: The concept of shared climate policy assumptions. *Climatic Change*, 122, 401-414. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0971-5>
- Kugler, T. A., Van Riper, D. C., Manson, S. M., Haynes II, D. A., Donato, J., & Stinebaugh, K. (2015). Terra Populus: Workflows for integrating and harmonizing geospatial population and environmental data. *Journal of Map & Geography Libraries*, 11(2), 180-206. <https://doi.org/10.1080/15420353.2015.1036484>
- Kumari Rigaud, K., De Sherbinin, A., Jones, B., Bergmann, J., Clement, V., Ober, K., Schewe, J., Adamo, S., McCusker, B., Heuser, S., & Midgley, A. (2018). *Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration*. The World Bank.
- Lam, D. A., & Miron, J. A. (1996). The effects of temperature on human fertility. *Demography*, 33(3), 291-305. <https://doi.org/10.2307/2061762>
- Lewis, S. C., & King, A. D. (2017). Evolution of mean, variance and extremes in 21st century temperatures. *Weather and Climate Extremes*, 15, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2016.11.002>
- Liu, D. H., & Raftery, A. E. (2020). How do education and family planning accelerate fertility decline?. *Population and Development Review*

- view, 46(3), 409-441. <https://doi.org/10.1111/padr.12347>
- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., & Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607-610. <https://doi.org/10.1126/science.1152339>
- Lutz, W. (Ed.). (1994a). *Population, Development, Environment: Understanding Their Interactions in Mauritius*. Springer-Verlag.
- Lutz, W. (1994b). Philosophy of the PDE approach. In W. Lutz (Ed.), *Population, Development, Environment: Understanding Their Interactions in Mauritius* (pp. 209-220). Springer-Verlag.
- Lutz, W. (2017). How population growth relates to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(46), 12103-12105. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717178114>
- Lutz, W., Butz, W. P., & KC, S. (Eds.). (2014). *World Population & Human Capital in the Twenty-First Century: Executive Summary*. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11189/1/XO-14-031.pdf>
- Lutz, W., & Striessnig, E. (2015). Demographic aspects of climate change mitigation and adaptation. *Population Studies*, 69(sup1), S69-S76. <https://doi.org/10.1080/00324728.2014.969929>
- MacKellar, F. L., Lutz, W., McMichael, & Suhrke, A. (1998). Population and climate change. In S. Rayner, & E. L. Malone (Eds.), *Human Choice and Climate Change. Volume I: The Societal Framework* (pp. 89-193). Battelle Press.
- MacKellar, F. L., Lutz, W., Prinz, C., & Goujon, A. (1995). Population, households, and CO<sub>2</sub> emissions. *Population and Development Review*, 21(4), 849-865. <https://doi.org/10.2307/2137777>
- Makins, A., & Arulkumaran, S. (2020). The negative impact of COVID-19 on contraception and sexual and reproductive health: Could i

- mediate postpartum LARCs be the solution?. *International Journal of Gynaecology and Obstetrics*, 150(2), 141-143. <https://doi.org/10.1002%2Fijgo.13237>
- Martine, G. (2009). Population dynamics and policies in the Context of global climate change. In J. M. Guzmán et al. (Eds.), *Population Dynamics and Climate Change* (pp. 9-30). UNFPA·IIED. [https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop\\_dynamics\\_climate\\_change\\_0.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop_dynamics_climate_change_0.pdf)
- McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19(1), 17-37. <https://doi.org/10.1177/0956247807076960>
- McGranahan, G., Balk, D., Martine, G., & Tacoli, C. (2013). Fair and effective responses to urbanization and climate change: Tapping synergies and avoiding exclusionary policies. In G. Martine, & D. Schensul (Eds.), *The Demography of Adaptation to Climate Change* (pp. 24-40). UNFPA, IIED and El Colegio de México.
- McGray, H., Hammill, A., Bradley, R., Schipper, L., & Parry, J. E. (2007). *Weathering the Storm: Options for Framing Adaptation and Development*. World Resources Institute.
- McGuffie, K., & Henderson-Sellers, A. (2014). *The Climate Modelling Primer*. John Wiley & Sons.
- McKinnon, K. A., Rhines, A., Tingley, M. P., & Huybers, P. (2016). The changing shape of Northern Hemisphere summer temperature distributions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(15), 8849-8868. <https://doi.org/10.1002/2016JD025292>
- McMichael, A. J., Woodruff, R. E., & Hales, S. (2006). Climate change and human health: Present and future risks. *The Lancet*, 367(951

- 3), 859-869.
- McSweeney, R., & Hausfather, Z. (2018). Q&A: How do climate models work?. *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/qa-how-do-climate-models-work/>
- Mishra, V. (1995). A conceptual framework for population and environment research. WP-95-20. International Institute for Applied Systems Analysis. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/4572/1/WP-95-020.pdf>
- Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I. R., Powell, F. E., Geronimo, R. C., Bielecki, C. R., Counsell, C. W. W., Dietrich, B. S., Johnston, E. T., Louis, L. V., Lucas, M. P., McKenzie, M. M., Shea, A. G., Tseng, H., Giambelluca, T. W., Leon, L. R., Hawkins, E., & Trauernicht, C. (2017). Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7(7), 501-506. <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
- MSI Reproductive Choices. (2021). The impact of the climate crisis on reproductive choice. <https://www.msichoice.org/wp-content/uploads/2023/10/the-impact-of-the-climate-crisis-on-reproductive-choice-final.pdf>
- Mueller, V., Gray, C., & Kosec, K. (2014). Heat stress increases long-term human migration in rural Pakistan. *Nature Climate Change*, 4(3), 182-185. <https://doi.org/10.1038/nclimate2103>
- Muttarak, R. (2021). Demographic perspectives in research on global environmental change. *Population Studies*, 75(sup1), 77-104. <https://doi.org/10.1080/00324728.2021.1988684>
- Muttarak, R., & Chankrajang, T. (2015). Who is concerned about and takes action on climate change? Gender and education divides among Thais. *Vienna Yearbook of Population Research*, 13, 193-220.

- Muttarak, R., & Jiang, L. (Eds.). (2015). *Vienna Yearbook of Population Research 2015: Special Issue on Demographic Differential Vulnerability To Climate-Related Disasters*. Austrian Academy of Sciences Press.
- Muttarak, R., & Lutz, W. (2014). Is education a key to reducing vulnerability to natural disasters and hence unavoidable climate change?. *Ecology and Society*, 19(1), 42. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06476-190142>
- Muttarak, R., Lutz, W., & Jiang, L. (2015). What can demographers contribute to the study of vulnerability?. *Vienna Yearbook of Population Research*, 13, 1-13.
- Muttarak, R., & Pothisiri, W. (2013). The role of education on disaster preparedness: Case study of 2012 Indian Ocean earthquakes on Thailand's Andaman Coast. *Ecology and Society*, 18(4), 51. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06101-180451>
- Mutunga, C., & Hardee, K. (2009). Population and reproductive health in National Adaptation Programmes of Action (NAPAs) for climate change. In J. M. Guzmán et al. (Eds.), *Population Dynamics and Climate Change* (pp. 176-191). UNFPA·IIED. [https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop\\_dynamics\\_climate\\_change\\_0.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop_dynamics_climate_change_0.pdf)
- Myers, N. (2005, May 23-27). *Environmental refugees: An emergent security issue* [Paper presentation]. 13<sup>th</sup> Economic Forum, Prague, Czech Republic. <https://www.osce.org/files/f/documents/c/3/14851.pdf>
- Nakasu, T. (2011). The exacerbation of human suffering and disaster response caused by tropical storm Ondoy and typhoon Pepeng disasters: Cases of NCR and Baguio city. Natural Disaster Research Report of the National Research Institute for Earth Science and Disaster

- er Prevention, No. 45. [https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied\\_natural\\_disaster/pdf/45/45-06E.pdf](https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_natural_disaster/pdf/45/45-06E.pdf)
- Nash, J., Halewood, N., & Melhem, S. (2013). *Unlocking Africa's Agricultural Potential: An Action Agenda for Transformation*. World Bank.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2024). Planetary Fact Sheets: Earth Fact Sheet. <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2024). NOAA Global Monitoring Laboratory. <https://gml.noaa.gov/>
- Nawrotzki, R. J., Riosmena, F., & Hunter, L. M. (2013). Do rainfall deficits predict US-bound migration from rural Mexico? Evidence from the Mexican census. *Population Research and Policy Review*, 32(1), 129-158. <https://doi.org/10.1007/s11113-012-9251-8>
- Neumayer, E. (2004). Examining the impact of demographic factors on air pollution. LSE Research Online. [https://eprints.lse.ac.uk/621/1/Pop\\_and\\_Environment\\_04.pdf](https://eprints.lse.ac.uk/621/1/Pop_and_Environment_04.pdf)
- Neumayer, E., & Plümper, T. (2007). The gendered nature of natural disasters: The impact of catastrophic events on the gender gap in life expectancy, 1981-2002. *Annals of the Association of American Geographers*, 97(3), 551-566. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2007.00563.x>
- Ngo, N. S., & Horton, R. M. (2016). Climate change and fetal health: The impacts of exposure to extreme temperatures in New York City [Abstract]. *Environmental Research*, 144, 158-164. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.11.016>
- Nijse, F. J., Cox, P. M., & Williamson, M. S. (2020). Emergent constraints on transient climate response (TCR) and equilibrium climate

- sensitivity (ECS) from historical warming in CMIP5 and CMIP6 models. *Earth System Dynamics*, 11(3), 737-750. <https://doi.org/10.5194/esd-11-737-2020>
- Nishikiori, N., Abe, T., Costa, D. G., Dharmaratne, S. D., Kunii, O., & Moji, K. (2006). Who died as a result of the tsunami? Risk factors of mortality among internally displaced persons in Sri Lanka: A retrospective cohort analysis. *BMC Public Health*, 6(73). <https://doi.org/10.1186/1471-2458-6-73>
- Notestein, F. W. (1945). Population: The long view. In T. W. Schultz (Ed.), *Food for the World*. (pp. 36-57). University of Chicago Press.
- O'Brien, G., O'Keefe, P., Meena, H., Rose, J., & Wilson, L. (2008). Climate adaptation from a poverty perspective. *Climate Policy*, 8(2), 194-201.
- O'Brien, K. L., & Wolf, J. (2010). A values-based approach to vulnerability and adaptation to climate change. *WIREs Climate Change*, 1(2), 232-242. <https://doi.org/10.1002/wcc.30>
- Omran, A. R. (1971). The epidemiologic transition: A theory of the epidemiology of population change. *Milbank Memorial Fund Quarterly*, 49(4), 509-538.
- O'Neill, B. C., & Chen, B. S. (2002). Demographic determinants of household energy use in the United States. *Population and Development Review*, 28(Suppl), 53-88.
- O'Neill, B. C., Dalton, M., Fuchs, R., Jiang, L., Pachauri, S., & Zigova, K. (2010). Global demographic trends and future carbon emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(41), 17521-17526. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004581107>
- O'Neill, B. C., Jiang, L., KC, S., Fuchs, R., Pachauri, S., Laidlaw, E. K., Zhang, T., Zhou, W., & Ren, X. (2020). The effect of education on

- n determinants of climate change risks [Abstract]. *Nature Sustainability*, 3(7), 520-528. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0512-y>
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & Van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122, 387-400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- O'Neill, B. C., MacKellar, F. L., & Lutz, W. (2001). *Population and Climate Change*. Cambridge University Press.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2009). *Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation: Policy Guidance*. OECD Publishing.
- O'Sullivan, J. (2021). Climate change and world population. In The impacts of climate change. In T. Letcher (Ed.), *The Impacts of Climate Change: A Comprehensive Study of Physical, Biophysical, Social, and Political Issues* (pp. 313-350). Elsevier.
- Pan, W., Carr, D., Barbieri, A., Bilsborrow, R., & Suchindran, C. (2007). Forest clearing in the Ecuadorian Amazon: A study of patterns over space and time. *Population Research and Policy Review*, 26, 635-659. <https://doi.org/10.1007/s11113-007-9045-6>
- Pebbley, A. R. (1998). Demography and the environment. *Demography*, 35(4), 377-389. <https://doi.org/10.2307/3004008>
- Pendergrass, A. G., Knutti, R., Lehner, F., Deser, C., & Sanderson, B. M. (2017). Precipitation variability increases in a warmer climate. *Scientific Reports*, 7(1), 17966. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17966-y>
- Perrings, C. (1998). Income, consumption and human development: Environmental linkages. A Background Paper for the Human Deve

- lopment Report 1998. <https://core.ac.uk/download/pdf/6224376.pdf>
- Pickett, S. T. (1993). An ecological perspective on population change and land use. In C. L. Jolly, & B. B. Torrey (Eds.), *Population and Land Use in Developing Countries: Report of a Workshop* (pp. 37-41). National Academy Press.
- Pilecco, F. B., McCallum, C. A., Almeida, M. D. C. C. D., Alves, F. J. O., Rocha, A. D. S., Ortelan, N., & Menezes, G. M. D. S. (2021). Abortion and the COVID-19 pandemic: Insights for Latin America. *Cadernos de Saúde Pública*, 37(6), e00322320. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00322320>
- Pinstrup-Andersen, P. (2002). Food and agricultural policy for a globalizing world: Preparing for the future. *American Journal of Agricultural Economics*, 84(5), 1201-1214.
- Pradhan, E. K., West Jr, K. P., Katz, J., LeClerq, S. C., Khatry, S. K., & Shrestha, S. R. (2007). Risk of flood-related mortality in Nepal. *Disasters*, 31(1), 57-70. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2007.00340.x>
- Prskawetz, A., Leiwen, J., & O'Neill, B. C. (2004). Demographic composition and projections of car use in Austria. *Vienna Yearbook of Population Research*, 2, 175-201.
- Purkey, S. G., & Johnson, G. C. (2010). Warming of global abyssal and deep Southern Ocean waters between the 1990s and 2000s: Contributions to global heat and sea level rise budgets. *Journal of Climate*, 23(23), 6336-6351. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3682.1>
- Raleigh, C., Jordan, L., & Salehyan, I. (2008). Assessing the impact of climate change on migration and conflict. Paper commissioned by the World Bank Group for the Social Dimensions of Climate C

- change workshop. [https://www.researchgate.net/profile/Clionadh-Raleigh/publication/255519298\\_Assessing\\_the\\_Impact\\_of\\_Climate\\_Change\\_on\\_Migration\\_and\\_Conflict/links/58c6a15392851c0ccbff63fb/Assessing-the-Impact-of-Climate-Change-on-Migration-and-Conflict.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Clionadh-Raleigh/publication/255519298_Assessing_the_Impact_of_Climate_Change_on_Migration_and_Conflict/links/58c6a15392851c0ccbff63fb/Assessing-the-Impact-of-Climate-Change-on-Migration-and-Conflict.pdf)
- Rao, N. D., & Min, J. (2018). Is less global inequality good for climate change?. *Wiley Interdisciplinary Reviews*. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15078/1/RaoMin-GlobalInequalityandEmissionsWIRE-S2018-postacceptance.pdf>
- Rentschler, J., & Leonova, N. (2023). Global air pollution exposure and poverty. *Nature Communications*, 14(1), 4432. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39797-4>.
- Rhines, A., & Huybers, P. (2013). Frequent summer temperature extremes reflect changes in the mean, not the variance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(7), E546-E546. <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1218748110>
- Riahi, K., Van Vuuren, D., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Crespo Cuaresma, J., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M. I., Laurance, W. F., & 15,364 Scientist Signatories from 184 Countries. (2017). World scientists' warning to humanity: A second notice. *BioScience*, 67(12), 1026-1028. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix125>

- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Gregg, J. W., Lenton, T. M., Palomo, I., Eikelboom, J. A. J., Law, B. E., Huq, S., Duffy, P. B., & Rockström, J. (2021). World scientists' warning of a climate emergency 2021. *BioScience*, 71(9), 894-898. <https://doi.org/10.1093/biosci/biab079>
- Rocklöv, J., Ebi, K., & Forsberg, B. (2011). Mortality related to temperature and persistent extreme temperatures: A study of cause-specific and age stratified mortality. *Occupational and Environmental Medicine*, 68(7), 531-536.
- Rogers, A. (1988). Age patterns of elderly migration: An international comparison. *Demography*, 25(3), 355-370. <https://doi.org/10.2307/2061537>
- Rogers, A., & Castro, L. (1981). Model migration schedules. RR-81-30. International Institute for Applied System Analysis. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/1543/1/RR-81-030.pdf>
- Rosa, E. A., York, R., & Dietz, T. (2004). Tracking the anthropogenic drivers of ecological impacts. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 33(8), 509-512. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-33.8.509>
- Sanchez Peña, L., & Fuchs, R. (2013). Using household surveys in climate vulnerability and adaptation analysis. In G. Martine, & D. Schensul (Eds.), *The Demography of Adaptation to Climate Change* (pp. 96-114). UNFPA, IIED and El Colegio de México.
- Sánchez-Triana, E., Shindell, D., Mena, M., & Enriquez, S. (2023). Integrating air quality management and climate change mitigation: Achieving ambitious climate action by the cleaning the air we breathe. Working Bank Group & Korea Greengrowth Trust Fund. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099033123181574>

- 723/pdf/P17078405f2576003080b0095b8cda440ee.pdf
- Satterthwaite, D. (2009). The implications of population growth and urbanization for climate change. *Environment and Urbanization*, 21(2), 545-567. <https://doi.org/10.1177/0956247809344361>
- Schensul, D., & Dodman, D. (2013). Populating adaptation: Incorporating population dynamics in climate change adaptation policy and practice. In G. Martine, & D. Schensul (Eds.), *The Demography of Adaptation to Climate Change* (pp. 1-23). UNFPA, IIED and El Colegio de México.
- Schipper, L., & Pelling, M. (2006). Disaster risk, climate change and international development: Scope for, and challenges to, integration. *Disasters*, 30(1), 19-38. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00304.x>
- Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19703-19708. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701976104>
- Schoumaker, B. (2019). Stalls in fertility transitions in sub-Saharan Africa: Revisiting the evidence. *Studies in Family Planning*, 50(3), 257-278. <https://doi.org/10.1111/sifp.12098>
- Schwartz, J. (2005). Who is sensitive to extremes of temperature?: A case-only analysis. *Epidemiology*, 16(1), 67-72.
- Sedgh, G., Singh, S., & Hussain, R. (2014). Intended and unintended pregnancies worldwide in 2012 and recent trends. *Studies in Family Planning*, 45(3), 301-314. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4465.2014.00393.x>
- Sebastian, A., Gori, A., Blessing, R. B., van der Wiel, K., & Bass, B. (2019). Disentangling the impacts of human and environmental cha

- nge on catchment response during Hurricane Harvey. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124023. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab5234/pdf>
- Senderowicz, L., & Valley, T. (2023). Fertility has been framed: Why family planning Is not a silver bullet for sustainable development. *Studies in Comparative International Development*. <https://doi.org/10.1007/s12116-023-09410-2>
- Sexton, J., Andrews, C., Carruthers, S., Kumar, S., Flenady, V., & Lieske, S. (2021). Systematic review of ambient temperature exposure during pregnancy and stillbirth: Methods and evidence. *Environmental Research*, 197, 111037. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111037>
- Sharygin, E. J. (2013). The carbon cost of an educated future: A consumer lifestyle approach. Vienna Institute of Demography Working Papers (No. 4/2013). [https://www.oeaw.ac.at/fileadmin/subsites/Institute/VID/PDF/Publications/Working\\_Papers/WP2013\\_04.pdf](https://www.oeaw.ac.at/fileadmin/subsites/Institute/VID/PDF/Publications/Working_Papers/WP2013_04.pdf)
- Shaw, R. P. (1992). The impact of population growth on environment: The debate heats up. *Environmental Impact Assessment Review*, 12(1-2), 11-36.
- Shultz, J. M., Russell, J., & Espinel, Z. (2005). Epidemiology of tropical cyclones: The dynamics of disaster, disease, and development. *Epidemiologic Reviews*, 27(1), 21-35. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxi011>
- Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., & Speranza, A. (2010). Understanding climate change-induced variations in daily temperature distributions over Italy. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D22). <https://doi.org/10.1029/2010JD014088>

- Simpson, N. P., Mach, K. J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., Lawrence, J., Lempert, R. J., Muccione, V., Mackey, B., New, M. G., O'Neill, B., Otto, F., Pörtner, H.-O., Reisinger, A., Roberts, D., Schmidt, D. N., Seneviratne, S., Strongin, S., ... Trisos, C. H. (2021). A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth*, 4(4), 489-501.
- South Pacific Applied Geosciences Commission (SOPAC), & United Nations Environment Programme (UNEP). (2004). Manual: How to Use the Environmental Vulnerability Index (EVI). <https://gsd.spc.int/sopac/evi/index.htm>
- Speidel, J. J., Weiss, D. C., Ethelston, S. A., & Gilbert, S. M. (2009). Population policies, programmes and the environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1532), 3049-3065. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0162>
- Stafoggia, M., Forastiere, F., Agostini, D., Biggeri, A., Bisanti, L., Cadum, E., Caranci, N., de'Donato, F., De Lisio, S., De Maria, M., Michelozzi, P., Miglio, R., Pandolfi, P., Picciotto, S., Rognoni, M., Russo, A., Scarnato, C., & Perucci, C. A. (2006). Vulnerability to heat-related mortality: A multicity, population-based, case-cross over analysis. *Epidemiology*, 17(3), 315-323.
- Stern, P. C., Dietz, T., Ruttan, V. W., Socolow, R. H., & Sweeney, J. L. (Eds.). (1997). *Environmentally Significant Consumption: Research Directions*. National Academy Press.
- Stott, P. A., Stone, D. A., & Allen, M. R. (2004). Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 432(7017), 610-614. <https://doi.org/10.1038/nature03089>
- Tacoli, C. (2009). Crisis or adaptation? Migration and climate change in a context of high mobility. In J. M. Guzmán et al. (Eds.), *Popul*

- ation Dynamics and Climate Change* (pp. 104-118). UNFPA-IIED. [https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop\\_dynamics\\_climate\\_change\\_0.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/pop_dynamics_climate_change_0.pdf)
- Tacoli, C. (2013). Migration as a response to local and global transformations: A typology of mobility in the context of climate change. In G. Martine, & D. Schensul (Eds.), *The Demography of Adaptation to Climate Change* (pp. 41-54). UNFPA, IIED and El Colegio de México.
- Takemura, T. (2020). Return to different climate states by reducing sulphate aerosols under future CO<sub>2</sub> concentrations. *Scientific Reports*, 10(1), 21748. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78805-1>
- Thompson, W. P. (1929). Population. *American Journal of Sociology*, 34(6), 959-975.
- Thomson, M. C., Doblaz-Reyes, F. J., Mason, S. J., Hagedorn, R., Connor, S. J., Phindela, T., Morse, A. P., & Palmer, T. N. (2006). Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. *Nature*, 439(7076), 576-579. <https://doi.org/10.1038/nature04503>
- Tingley, M. P., & Huybers, P. (2013). Recent temperature extremes at high northern latitudes unprecedented in the past 600 years. *Nature*, 496(7444), 201-205. <https://doi.org/10.1038/nature11969>
- Tokarska, K. B., Stolpe, M. B., Sippel, S., Fischer, E. M., Smith, C. J., Lehner, F., & Knutti, R. (2020). Past warming trend constrains future warming in CMIP6 models. *Science Advances*, 6(12), 1-13(eaaz9549). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz9549>
- United Nations (UN). (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. [https://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf)

- United Nations (UN). (1995). *Report of the International Conference on Population and Development*. [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/a\\_conf.171\\_13\\_rev.1.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/a_conf.171_13_rev.1.pdf)
- United Nations (UN). (1997). Resolution adopted by the General Assembly: S/19-2. Programme for the further implementation of Agenda 21. <https://digitallibrary.un.org/record/244113?v=pdf#files>
- United Nations (UN). (2004). *World Population to 2300*. United Nations.
- United Nations (UN). (2012). International Decade for Action 'Water for Life' 2005-2015. <https://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- United Nations (UN). (2018). World Urbanization Prospects 2019[data file]. <https://population.un.org/wup/Download/>
- United Nations (UN). (2019). World Population Prospects 2019[map file]. <https://population.un.org/wpp2019/Maps/>
- United Nations (UN). (2020). COVID-19 could lead to millions of unintended pregnancies, new UN-backed data reveals. <https://news.un.org/en/story/2020/04/1062742>
- United Nations (UN). (2022a). World Population Prospects 2022(Most used)[data file]. <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/MostUsed/>. 2024. 1. 4.
- United Nations (UN). (2022b). World Population Prospects 2022: Methodology of the United Nations Population estimates and projections. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 4. [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2022\\_Methodology.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2022_Methodology.pdf)
- United Nations (UN). (2022c). World Population Prospects 2022(Population)[data file]. <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>. 2024. 4. 1.

- United Nations (UN). (2023). Hottest July ever signals 'era of global boiling has arrived' says UN chief. UN News. 13 April 2023. <https://news.un.org/en/story/2023/07/1139162>
- United Nations (UN). (2024). Goal 13: Take urgent action to combat climate change and its impacts. <https://sdgs.un.org/goals/goal13>
- United Nations Development Programme (UNDP). (2004). Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/Reducing%20Disaster%20risk%20a%20Challenge%20for%20development.pdf>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2002). Global Risk and Vulnerability Index Trends per Year (GRAVITY): Phase II: Development, Analysis and Results. <https://www.unep.org/resources/report/global-risk-and-vulnerability-index-trends-year-gravity-phase-ii-development>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2006). Updated UNFCCC reporting guidelines on annual inventories following incorporation of the provisions of decision 14/CP.11. Note by the secretariat. <https://unfccc.int/documents/4406>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2024). United Nations Climate Change. <https://unfccc.int/>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2024). International Decade for Natural Disaster Reduction. <https://www.undrr.org/organization/international-decade-natural-disaster-reduction>
- United Nations Population Fund (UNFPA). (2011). *Population Dynamics and Climate Change*. United Nations Population Fund. <https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/unfpa30.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2023a). Und

- erstanding Global Warming Potentials. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2023b). Climate Change Indicators: Ocean Heat. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-ocean-heat>
- United States Global Change Research Program (USGCRP). (2017). *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment* (Volume I). [https://science2017.globalchange.gov/downloads/CSSR2017\\_FullReport.pdf](https://science2017.globalchange.gov/downloads/CSSR2017_FullReport.pdf)
- UN Water. (2007). Coping with Water Scarcity: Challenge of the Twenty-First Century. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f1100f37-2a84-4abb-a661-90ff7aa0b648/content>
- van Dalen, H. P., & Henkens, K. (2021). Population and climate change: Consensus and dissensus among demographers. *European Journal of Population*, 37, 551-567. <https://doi.org/10.1007/s10680-021-09580-6>
- van der Land, V., & Hummel, D. (2013). Vulnerability and the role of education in environmentally induced migration in Mali and Senegal. *Ecology and Society*, 18(4), 14. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05830-180414>
- van der Wiel, K., & Bintanja, R. (2021). Contribution of climatic changes in mean and variability to monthly temperature and precipitation extremes. *Communications Earth & Environment*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00077-4>
- Vasseur, D. A., DeLong, J. P., Gilbert, B., Greig, H. S., Harley, C. D., McCann, K. S., Savage, V., Tunney, T. D., & O'Connor, M. I. (2014). Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(11), 20132707. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2707>

- ological Sciences*, 281(1779), 20132612. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2612>
- Voosen, P. (2016). Climate scientists open up their black boxes to scrutiny. *Science*, 354(6311), 401-402. <https://doi.org/10.1126/science.354.6311.401>
- Wamsler, C., Brink, E., & Rentala, O. (2012). Climate change, adaptation, and formal education: The role of schooling for increasing societies' adaptive capacities in El Salvador and Brazil. *Ecology and Society*, 17(2), 2. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04645-170202>
- Welch, I. (2024). The IPCC Shared Socioeconomic Pathways (SSPs): Explained, Critiqued, Replaced. Critiqued, Replaced. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4681042>
- Wikimedia Commons. (2024). File: Annual average temperature map.png. [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Annual\\_Average\\_Temperature\\_Map.png&oldid=883485383](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Annual_Average_Temperature_Map.png&oldid=883485383)
- Winter, J., & Teitelbaum, M. (2013). *The Global Spread of Fertility Decline: Population, Fear, and Uncertainty*. Yale University Press.
- World Bank. (1992). *World Development Report 1992: Development and the Environment*. Oxford University Press.
- World Health Organization (WHO). (2022). Ambient (outdoor) air pollution. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization (WHO). (2023). Climate change. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- World Meteorological Organization (WMO). (2022). *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022*. GAW Report No. 278. <https://ozone.unep.org/system/files/documents/Scientific-Assessment-of-Ozon>

e-Depletion-2022.pdf

- York, R., Rosa, E. A., & Dietz, T. (2003). Footprints on the earth: The environmental consequences of modernity. *American Sociological Review*, 68(2), 279-300. <https://doi.org/10.1177/000312240306800205>
- Zaghene, E. (2011). The leverage of demographic dynamics on carbon dioxide emissions: Does age structure matter?. *Demography*, 48(1), 371-399. <https://doi.org/10.1007/s13524-010-0004-1>
- Zaghene, E., Muttarak, R., & Striessnig, E. (2015). Differential mortality patterns from hydro-meteorological disasters: Evidence from cause-of-death data by age and sex. *Vienna Yearbook of Population Research*, 13, 47-70.
- Zeng, Y., Land, K. C., Gu, D., & Wang, Z. L. (2014). *Household and Living Arrangement Projections: The Extended Cohort-Component Method and Applications to the U.S. and China*. Springer.
- Zhao, Z., Zhu, Y., & Tu, E. J. C. (2015). Daily mortality changes in Taiwan in the 1970s: An examination of the relationship between temperature and mortality. *Vienna Yearbook of Population Research*, 13, 71-90.
- Zhu, J., Poulsen, C. J., & Otto-Bliesner, B. L. (2020). High climate sensitivity in CMIP6 model not supported by paleoclimate. *Nature Climate Change*, 10(5), 378-379. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0764-6>
- Zigova, K., Fuchs, R., Jiang, L., O'Neill, B. C., & Pachauri, S. (2009). Household survey data used in calibrating the Population-Environment-Technology model. Interim Report IR-09-046. International Institute for Applied Systems Analysis. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/9109/1/IR-09-046.pdf>

Zlotnik, H. (2009). Does population matter for climate change?. In J. M. Guzmán et al. (Eds.), *Population Dynamics and Climate Change* (pp. 31-44). UNFPA·IIED.

〈홈페이지〉

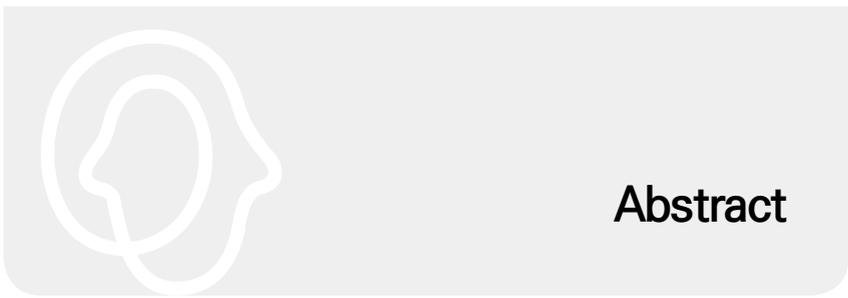
지속가능발전포털. <https://www.ncsd.go.kr/>.

IIASA Energy, Climate, and Environment (ECE) Program. <https://docs.messageix.org/en/latest/>.

MAGICC. <https://magicc.org/>.

Met Office. <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model>.

MIT Radiative-Convective Model. [http://12.340x.scripts.mit.edu/eaps-rc-model-12340x/RC\\_model/index.html](http://12.340x.scripts.mit.edu/eaps-rc-model-12340x/RC_model/index.html).



## Abstract

### Population and Climate Change: Critical Issues and Policy Directions

Project Head: Woo, Haebong

Population dynamics are at the center of climate change and its impact on human society. Population dynamics influence the climate system through greenhouse gas emissions resulting from growth/consumption-oriented developmental activities. On the other hand, climate change affects human societies in terms of well-being and economy. Understanding population dynamics is thus fundamental to future climate change prospects and vulnerability of human societies. This study explores critical issues in population and climate change and proposes future policy directions in times of global climate change. Population policies in response to climate change need to focus on policies with high consensus and little controversy. Human development and reproductive rights are key issues in population and climate change but instead of promoting these issues separately from others, it is desirable to respond to the issues in an integrated manner by linking them with development goals.

Key words: population, climate change, mitigation, adaptaion, population policy

---

Co-Researchers: Lim, Jiyoung