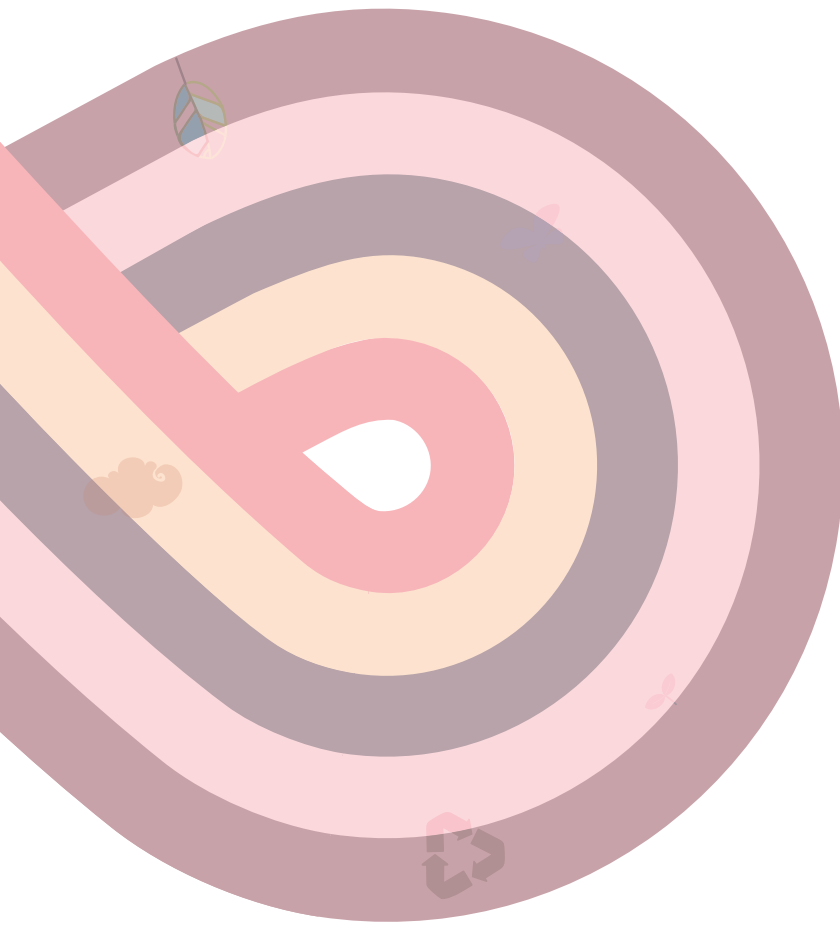


동아시아 환경변화 분석 및 대응연구 (I) - 기후대기 및 생물자원 중심으로

Environmental Changes over East Asia and the Response (I):
Atmospheric Change and Biodiversity

심창섭 외



연구진

연구책임자	심창섭 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)
참여연구원	오일찬 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)
참여연구원	노태호 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)
참여연구원	서지현 (한국환경정책·평가연구원 위촉연구원)
참여연구원	김영욱 (미국 몬타나 대학교 선임연구원)
참여연구원	박찬호 (국립 생물자원관 연구관)

산학연정 연구자문위원

이 근	(서울대학교 국제학과 교수)
박경진	(기상청 사무관)
이정호	(한국환경정책·평가연구원 연구위원)
이상운	(한국환경정책·평가연구원 부연구위원)

© 2014 한국환경정책·평가연구원

발행인 박광국

발행처 한국환경정책·평가연구원

세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지

B동(과학·인프라동) (우편번호) 339-007

전화 044)415-7777 팩스 044)415-7799

<http://www.kei.re.kr>

인쇄 2014년 12월 26일

발행 2014년 12월 31일

출판등록 제17-254호

ISBN 978-89-8464-916-3 93530

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.

심창섭 외, 2014, 「동아시아 환경변화 분석 및 대응연구(I) - 기후대기 및 생물
자원 중심으로」, 한국환경정책·평가연구원.

값 7,000원

서 언

국제사회에서 환경협력 이슈를 주도하기 위해서는 현재 그리고 미래의 환경변화에 대한 포괄적이고도 과학적인 자료의 분석이 선행되어야 한다. 이러한 다양한 환경변화와 그 요인에 대한 분석을 바탕으로 문제해결을 위한 핵심 의제를 찾아내고 그 해결책을 제안, 논의를 시작하는 것이 국제 환경협력의 실질적 성과를 위한 올바른 방향이라고 할 수 있다.

이를 위해 본 연구는 동아시아 차원의 환경변화 분석을 기후대기와 생물자원을 중심으로 수행하였다. 특히 기후변화 및 생물다양성에 대한 동아시아에서의 주요 영향과 취약성에 대한 다양한 자료의 분석과 검토를 통해 미래의 국제사회에서 해결을 위한 주요 이슈들을 도출하고 논의하였다. 이러한 분석은 미래 지속가능한 동아시아 협력체의 발전을 위해 기초적인 자료로 활용될 수 있으며, 국제 협력의 주요 이슈를 선점하기 위한 발판이 될 수 있다. 또한 이런 기초 자료들을 전략적 로드맵 차원에서의 관리, 활용하는 것 역시 매우 중요한 작업이라고 할 수 있다.

본 연구를 위해 수고하신 원내의 여러 연구진들과 원내외 자문위원들께 심심한 감사의 뜻을 전하는 바이다.

2014년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 박 광 국

국문 요약

환경부분 국제협력의 실효적 성과를 거두기 위해서는 과학적 자료의 분석에 근거한 핵심 이슈를 발굴하고 이를 토대로 문제해결 방안을 도출, 실천하는 것이 바람직하다. 본 연구는 기후대기 및 생물자원 분야에서 동아시아 차원의 환경변화를 분석하고 주요 핵심 협력이슈를 제안, 관련 협력분야의 활성화에 대하여 논의하였다. 최근에 공개된 IPCC 5차 보고서의 내용과 KEI 기후모델 결과를 근거로 동아시아 지역의 기후변화 영향을 분석한 결과, 중국 북동부 지역이 홍수와 폭염에 동시에 노출되어 있어 이에 대한 사전적 대응이 필요한 것으로 나타났다. 우리나라와 일본의 일부 지역에서도 폭염과 홍수에 취약할 수 있을 것으로 분석되었다. 몽골 및 중국 북부는 가뭄과 함께 물 수요 증가로 심각한 물 부족 현상을 겪을 수 있을 것으로 전망되었다. 또한 중국 동부의 경진기 및 인근 공업지역은 석유, 석탄을 주요 에너지원으로 동아시아에서 가장 높은 수준의 초미세먼지를 발생시켜 이 지역에 대한 대기오염물질 저감 이행이 시급한 것으로 나타났다. 이 밖에도 북한의 저급 에너지 사용으로 초미세먼지 발생량이 상당히 높은 것으로 추정되어 이에 대한 정부차원의 협력과 지원이 시급한 것으로 나타났다. 현재 동아시아 지역의 환경협력은 다양한 주제를 갖고 추진되는 국제 프로그램이 산재하고 있어, 보다 범정부 차원의 일원화되고 포괄적인 협의체 구성과 실질적이고 지속적인 사업 추진이 필요하다. 특히 국제사회를 통한 자원조달과 명확한 공유비전 및 목표설정, 프레임워크의 운영 활성화를 통한 협력체의 발전 및 과학적 자료를 구축하고 공유할 수 있는 네트워크의 역량강화를 위한 노력이 우선적으로 이행되어야 할 것이다.

주제어: 동아시아, 환경이슈, 환경변화 분석, 국제협력, 기후변화, 생물자원, 생물 다양성, 대기오염

| 차례 |

제1장 · 서론	1
제2장 · 동아시아 지역의 미래 기후변화 전망	3
1. IPCC 5차보고서(AR5)의 주요 기후변화 전망	3
가. IPCC 5차 보고서 주요 내용	3
나. 동북아시아 주요 기후변화 전망	4
다. 동북아시아 주요 기후변화 영향	11
2. KEI 기후모델 시스템의 기후변화 전망	16
가. 기후변화 전망을 위한 모델링 시스템	16
나. KEI 기후모델에 의한 동아시아 기후의 주요 변화 전망	27
3. 소결: 동아시아 미래 기후의 잠재적 위험성	31
제3장 · 동아시아 지역의 대기질 현황 및 추이	33
1. 동아시아 이산화탄소 배출 및 농도 증가 추이	33
2. 동아시아 주요 지역의 대기질 및 대기오염물질 배출량 변화	39
가. 중국	39
나. 일본	42
다. 한국	43
3. 동아시아의 주요 대기오염 배출량 현황 및 전망	45
4. 최근 중국의 대기오염 저감을 위한 동향	47
제4장 · 동아시아 지역의 생물다양성 영향과 전망	49
1. 서론	49

2. 기후변화에 의한 세계적 자연환경 변화 경향	51
3. 육상 및 담수 생태계에서의 기후변화 영향	57
4. 연안 시스템, 저지대 및 해양 시스템에서의 기후변화 영향	60
5. 식량 시스템과 생태계 서비스에서의 기후변화 영향	63
6. 취약성과 적응대책	66
7. 아시아 지역에서의 기후변화 영향과 전망	68
제5장 · 동아시아 기후대기, 생물다양성 분야의 정책 및 협력 이슈	71
1. 동아시아의 주요 환경협력 현황	71
가. EANET	71
나. TEMM	72
다. NEASPEC	73
라. ASEAN + 3(ASEAN Plus Three, APT)	75
마. 아태지역 기후변화 적응 네트워크(APAN)	76
바. ACB	78
사. 동아시아 지역 생물다양성 보전 네트워크(EABCN)	79
2. 향후 논의가 필요한 동아시아 환경협력 추가 이슈	79
제6장 · 요약 및 결론	81
참고 문헌	83
부록 1 · IPCC AR5 WG 1 SPM 중 정책결정자를 위한 전문	93
부록 2 · ASEAN+3 협력 계획 중 환경관련 조항	96
Abstract	101

| 표 차례 |

〈표 2-1〉 1986~2005년을 기준으로 한 21세기 중반 및 후반 전 지구 평균 지표온도와 평균 해수면 상승의 변화 전망	4
〈표 2-2〉 동북아시아 변화 전망과 주요 기후현상과의 관계	5
〈표 2-3〉 1986~2005년 대비 시나리오별 북아시아 온도 변화	7
〈표 2-4〉 아시아의 주요 기후변화 위험과 그 요인 및 위험 저감 잠재력 · 15	
〈표 2-5〉 기후 시나리오 RCP 종류의 설명	19
〈표 2-6〉 CESM 요소의 모델명 및 분해능 설명	22
〈표 2-7〉 IPCC AR5 및 본 연구를 통해 종합한 아시아 지역의 주요 기후 변화 및 영향	31
〈표 4-1〉 IPCC AR5 WG2 SPM에서 언급하는 아시아 지역의 주요 리스크 · 69	
〈표 5-1〉 APT 협력 Work Plan(2013~17) 중 환경 관련 조항	77

| 그림 차례 |

〈그림 2-1〉 아시아 51개국의 땅과 영토	5
〈그림 2-2〉 1986~2005년 대비 시나리오별 아시아 온도 및 강구 시계열 변화	8
〈그림 2-3〉 아시아 지역 연평균 온도와 강수량의 관측 및 전망 변화 ...	10
〈그림 2-4〉 IPCC AR5 전 지구 시나리오 개발을 위한 접근방법: (a) 이전의 순차적 접근법 (b) 제안된 평행적 접근법	18
〈그림 2-5〉 CESM 기후모델의 구성도	21
〈그림 2-6〉 CLM의 CN(탄소-질소) 흐름과 기능 모식도	23
〈그림 2-7〉 KEI 기후모형 시스템을 위한 연산 및 자료 저장 장치	25
〈그림 2-8〉 기후모형인 CESM의 대기모형인 CAM을 사용하여 모의한 2060년까지의 지표 월평균 온도와 월누적 강수량	26
〈그림 2-9〉 대기모형인 CAM의 결과를 경계조건으로 사용하여 WRF 지역규모 기상모델을 구동한 2020년 8월 평균 동아시아 지역과 한반도 지역을 대상으로 상세화 작업을 실시한 결과	27
〈그림 2-10〉 CESM 기반의 KEI 기후모형 시스템으로 산출한 동아시아의 RCP 4.5 기후 시나리오 전망	28
〈그림 2-11〉 〈그림 2-10〉과 같으나 RCP 8.5에 대한 기후전망 결과 ...	29
〈그림 3-1〉 Global Carbon Project에서 제시하는 1990년 이후 전 세계 인위적 이산화탄소 배출량 추이	34
〈그림 3-2〉 Global Carbon Project에서 제시하는 Top 4 탄소 배출국의 1990년 이후 이산화탄소 배출량 추이	35
〈그림 3-3〉 Global Carbon Project에서 제시하는 Top 10 탄소 배출국의 2013년 이후 이산화탄소 배출량	36

〈그림 3-4〉 주요 배출/흡수원별 동아시아 지역에서의 대기 중 이산화탄소에 대한 누적 기여도와 전 세계 평균 기여도	37
〈그림 3-5〉 이산화탄소정보센터(CDIAC) 자료를 기본으로 이산화탄소 관측 위성자료로부터 역추정한 동아시아지역의 2009년 겨울철 평균 이산화탄소의 인위적 배출량	38
〈그림 3-6〉 MICS-ASIA III 프로젝트로부터 추정된 2010년 한국 및 중국 각 성별 SO _x 배출량	40
〈그림 3-7〉 MICS-ASIA III 프로젝트로부터 추정된 2010년 한국 및 중국 각 성별 NO _x 배출량	41
〈그림 3-8〉 MICS-ASIA III 프로젝트로부터 추정된 2010년 한국 및 중국 각 성별 PM _{2.5} 배출량	41
〈그림 3-9〉 전국 측정소의 오존 농도 분포와 연평균 변화 추이	44
〈그림 3-10〉 전국 측정소의 PM ₁₀ 농도 분포와 연평균 변화 추이	44
〈그림 3-11〉 중국·일본·한국의 2010년 추정된 대기오염 배출량과 BAU 정책을 따를 경우 2020년 대기오염 배출 전망 및 새로운 저감정책과 기술개발을 이행하여 저감했을 경우(PC1) 2020년 대기오염 배출 전망	46
〈그림 4-1〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 1	51
〈그림 4-2〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 2 (A)	52
〈그림 4-3〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 2 (B)	54
〈그림 4-4〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 2 (C)	55
〈그림 4-5〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 2 (D), (E)	56
〈그림 4-6〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 5	59
〈그림 4-7〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 6	62
〈그림 4-8〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 7	65

| 제1장 · 서론 |

1. 연구의 배경 및 목적

본 연구는 한국환경정책·평가연구원 글로벌전략센터의 ‘동아시아 환경공동체 구축 전략’의 목표를 위한 동아시아 환경공동체 발전전략 개발 및 협력사업의 일환으로 동아시아 미래 환경변화의 분석과 역량강화를 도모하기 위한 연구로 수행되었다. 동아시아 환경공동체를 발전시키기 위해서는 동아시아 환경변화에 대한 과학적 자료의 수집과 분석을 기초로 주요 환경현안을 도출하고 이를 동아시아 환경협력의 주요 과제로 추진하는 것이 타당하다.

현재 동아시아는 정치안정, 경제발전과 함께 지속가능한 성장을 위한 환경관리라는 주요 현안을 동시에 해결해야 하는 상황이다. 그러나 환경관리를 위한 포괄적이고도 지속적인 관측과 연구 자료의 수집이 유럽 및 북미 선진국에 비해 크게 부족한 것이 현실이다. 따라서 현재의 동아시아 지역의 환경협력은 관련 자료의 부족으로 환경현안에 대한 정확한 도출과 문제해결이 상대적으로 쉽지 않은 상황이다. 이에 따라 가용한 최근의 환경자료를 종합적으로 분석하여 주요 현안을 도출, 이를 중심으로 중장기적인 지역 해결과제를 선정, 추진해야 할 필요가 있다. 이를 토대로 동아시아 환경관련 협력체의 주요 현안에 대한 공감대를 형성하고 다국적인 해결전략을 추진하는 것이 매우 중요할 것이다.

본 연구는 동아시아의 환경변화 중 특히 기후변화, 대기오염, 그리고 생물자원에 대한 주제를 중심으로 최근의 주요 이슈를 다양한 자료를 통해 분석하여 도출하고자 한다. 특히 최근 출간된 IPCC 5차 보고서를 검토하여, 다양한 연구에서 종합적으로 제시되고 있는 주요한 동아시아 지역 기후변화의 영향과 잠재적 위험에 대하여 검토하고 미래를 대비하기 위한 협력방안을 논의하는 것에 주안점을 두었으며, 중국 등 화석연료의 사용으로 인한 대규모 대기오염 발생과 장거리 이동에 의한 다국적 피해를 경감하기 위해 대기오염 배출원인에 대한 분석도 수행하였다. 특히 동아시아 지역은 온실가스(이산화탄

소)를 전 세계 인위적 총 배출량의 1/3 이상을 배출하는 대표적인 탄소배출 지역이다. 따라서 국가별·지역별 배출 현황과 원인을 파악하여 해결방안을 논의하기 위한 기초정보를 제공하고자 한다.

또한 관련된 국제협력 프로그램을 분석, 현황과 과제를 도출한 후, 향후 실효적 성과를 도출하기 위한 방안과 시사점에 대하여 간략하게 논의하였다. 이를 통해 현 시점에서의 가장 중요한 환경협력 현안을 파악하고, 이를 토대로 동아시아 지역의 환경관리를 위한 국제협력 발전의 기초적인 의견을 제시하고자 한다.

| 제2장 · 동아시아 지역의 미래 기후변화 전망 |

1. IPCC 5차 보고서(AR5)의 주요 기후변화 전망

가. IPCC 5차 보고서 주요 내용

UN 산하의 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 2013년 9월 27일 스웨덴 스톡홀름에서 WGI(기후변화 과학적 근거)에 관한 5차 평가보고서를 발표하였다. 본 보고서에서는 기후시스템의 변화, 기후변화의 원인, 기후시스템과 그 변화에 대한 원인 분석과 전 지구 및 지역 기후변화 전망 등이 포함되어 있다. 이 보고서는 미래 기후변화 전망을 위해 새롭게 제안된 RCP(Representative Concentration Pathways) 시나리오를 채택하였으며, 이 보고서의 가장 중요한 핵심은 장기적인 온난화의 주요 원인은 인위적인 CO₂의 배출량 증가이며, 온난화와 온실가스 배출량은 뚜렷한 비례관계를 갖고 있다는 것이다. 또한 현재와 같은 추세로 온실가스가 배출된다면(i.e., RCP 8.5) 21세기 말(2081~2100년) 지구 평균기온은 현재에 비해 3.7°C 오르고, 해수면은 63cm 상승할 것으로 전망하였다. 그러나 온실가스 저감 정책이 균형적으로 실현된다면(RCP 4.5) 평균기온 1.8°C, 해수면은 47cm 정도로 상승 추세가 약화될 것으로 전망되어 온실가스 감축이 미래 기후변화 완화에 매우 중요하다는 것을 반증하고 있다¹⁾(표 2-1 참조).

1) 권원태(2013), pp.1-2; 기상청(2013) 참조.

〈표 2-1〉 1986~2005년을 기준으로 한 21세기 중반 및 후반 전 지구 평균
지표온도와 평균 해수면 상승의 변화 전망

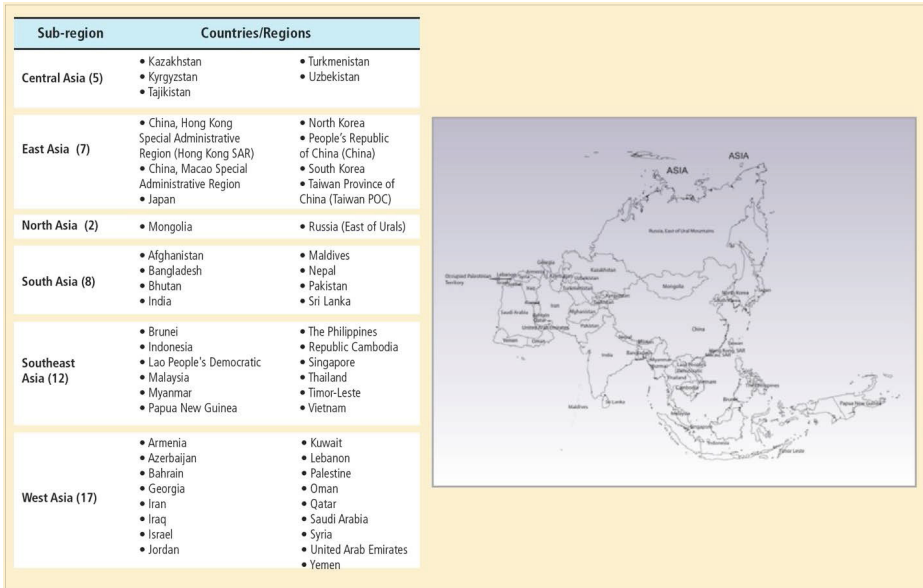
(단위: °C, m)

		2046-2065	2081-2100
변수	시나리오	평균	평균
전지구 평균 지표온도 변화(°C)	RCP 2.6	1.0	1.0
	RCP 4.5	1.4	1.8
	RCP 6.0	1.3	2.2
	RCP 8.5	2.0	3.7
	시나리오	평균	평균
전지구 평균 해수면 상승(m)	RCP 2.6	0.24	0.40
	RCP 4.5	0.26	0.47
	RCP 6.0	0.25	0.48
	RCP 8.5	0.3	0.63
	시나리오	평균	평균

자료: IPCC(2013), p.23 재구성.

나. 동북아시아 주요 기후변화 전망

IPCC 보고서에서는 아시아 지역을 중앙아시아, 북아시아, 동아시아, 서아시아, 남아시아, 동남아시아 지역으로 세부적으로 구분하고 있다(그림 2-1). 본 연구의 관심 지역인 인도차이나 반도, 중국, 몽골, 시베리아, 일본, 한국을 포함하는 북아시아, 동아시아, 동남아시아의 기후변화 전망을 요약하여 정리하면 〈표 2-2〉와 같다.



자료: IPCC(2014), p.65.

〈그림 2-1〉 아시아 51개국의 땅과 영토

〈표 2-2〉 동북아시아 변화 전망과 주요 기후현상과의 관계

지역	현상 관련 주요 변화 전망
중앙 및 북아시아	여름 강수량의 증가; 북아시아의 겨울 온난화 강화
동아시아	여름 몬순 강수의 증가; 해안 상륙 태풍으로 인한 극한 강수 증가; 중위도 저기압의 한겨울 억제(midwinter suppression) 현상의 약화(눈 폭풍 증가).
동남아시아	인도양 온난화 패턴으로 인한 7~10월 기간 인도네시아 강수량 감소; 남중국해, 태국만 그리고 안다만해 해안에서 육지로 상륙하는 저기압으로 인한 극한 강수 증가

자료: IPCC(2013), p.106 재구성.

WGI 종합보고서의 제14장 “기후현상과 미래 지역기후변화에 미치는 영향” 부분에서 상세하게 〈표 2-2〉의 내용을 설명하였다.

기후변화에 대한 영향 및 피해 평가는 주로 관측 결과와 예측 결과로 분석되는데,

지난 세기의 관측 결과에 따르면 아시아 지역의 연평균 기온은 일반적으로 상승하는 추세이다. 이뿐만 아니라 낮과 밤이 모두 추운 날의 수가 줄어들고, 낮과 밤이 모두 더운 날의 수는 아시아 대부분의 지역에서 상승하고 있으며, 폭염(heat wave)의 빈도 또한 증가하고 있음을 보고하고 있다.²⁾

보고서에 따르면 중앙 및 북아시아의 경우 모든 지역에 온난화가 심화될 것으로 예측되었다. 북아시아는 전 지구 평균보다 더 강하게 온난화가 나타날 것으로 전망 되었으며, 온난화 정도는 여름과 겨울이 비슷하게 나타나는 것으로 전망되었다. 기상이변에 의해 강수량의 추세가 매우 강하게 변동됨이 여러 연구에서 보고되고 있는데, 이는 지역 또는 계절마다 증감 추세에 많은 차이를 보이고 있다. 몬순시기에 중국 양자강 지역에서는 강수량 증가뿐만 아니라 집중호우도 증가하지만, 중국 북부지역에서는 오히려 연강수량의 감소를 보이고 있다.³⁾ 남아시아에서는 호우의 빈도는 증가하지만, 이에 반해 일반적인 강우는 감소하고 있다.⁴⁾ 북아시아의 강수량은 증가할 가능성이 매우 높으며, 중앙아시아의 강수량도 증가할 가능성이 높게 전망 되었다. 또한 극한 강수 현상은 두 지역에서 모두 높게 증가할 것으로 전망 되었다.⁵⁾ RCP 4.5 기준(중양값)으로 북아시아 지역의 21세기 말 평균기온은 3.2°C 증가하고, 강수량은 12% 증가할 것으로 전망되었다(표 2-3, 그림 2-2 참조).

동아시아의 경우 여름 강수량은 동아시아 여름 몬순의 강화로 인하여 전반적으로 증가할 것으로 전망되었고, RCP 4.5 시나리오에서는 5~7월 장마기간 동안 강수량이 증가할 가능성이 높은 것으로 전망되었다. 또한 극한 강수는 동아시아 대륙에서 모든 계절 그리고 일본에서는 여름에 증가할 가능성이 매우 높은 것으로 전망되었다.⁶⁾ RCP 4.5 기준으로 동아시아 지역의 21세기 말 평균기온은 2.4°C 증가하고, 강수량은 7% 증가할 것으로 전망되었다(표 2-3, 그림 2-2 참조).

2) Hyatt et al.(2010).

3) Xu et al.(2010).

4) Pattanaik and Rajeevan(2010); Goswami et al.(2006).

5) IPCC(2013), pp.1268-1269 참조.

6) IPCC(2013), pp.1269-1271 참조.

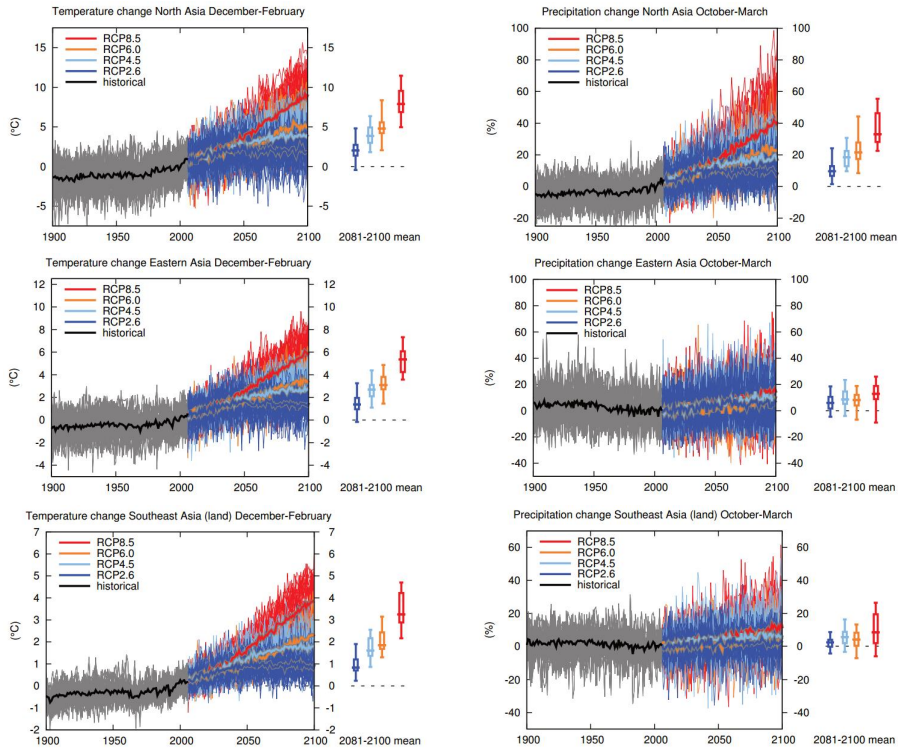
동남아시아의 경우 2081~2100년 기간까지 평균기온 증가가 RCP 2.6 기준 0.8°C에서부터 RCP 8.5 기준 3.2°C 범위에서 증가할 것으로 전망되었다. 그리고 강수량의 경우 RCP 2.6 기준 1%부터 RCP 8.5 기준 8% 범위로 소폭의 증가가 전망되었다(모든 전망치는 중간값 기준, 표 2-3, 그림 2-2 참조). 그리고 남동쪽 열대지역 인도양의 인근 섬 지역의 경우 7월부터 11월까지의 강수량의 감소가 전망되었다.

〈표 2-3〉 1986~2005년 대비 시나리오별 북아시아 온도 변화

(단위: °C)

Temperature(°C)		North Asia (Annual)			Eastern Asia (Annual)			Southeast Asia (Annual)		
		min	50%	max	min	50%	max	min	50%	max
RCP2.6	2035	0.3	1.3	2.9	0.4	1.0	1.7	0.3	0.6	1.2
	2065	-0.2	1.7	4.4	0.2	1.4	2.7	0.5	0.8	1.6
	2100	-1.7	1.6	4.3	-0.4	1.3	2.7	0.2	0.8	1.9
RCP4.5	2035	0.4	1.3	3.0	0.3	0.9	1.7	0.3	0.7	1.2
	2065	0.8	2.4	4.9	0.9	1.9	3.0	0.7	1.2	2.2
	2100	0.2	3.2	5.8	0.7	2.4	3.9	0.8	1.6	2.7
RCP6.0	2035	0.5	1.2	2.7	0.4	0.9	1.4	0.4	0.6	1.0
	2065	1.1	2.3	4.3	0.9	1.6	2.7	0.8	1.1	1.8
	2100	1.3	3.7	6.6	1.2	2.9	4.5	1.5	1.9	3.2
RCP8.5	2035	0.6	1.5	3.3	0.5	1.1	1.9	0.3	0.8	1.2
	2065	1.9	3.6	6.1	1.6	2.7	4.2	1.1	1.7	2.7
	2100	3.9	6.5	9.8	3.3	4.9	7.2	2.1	3.2	4.9

자료: IPCC(2013), pp.1278-1286; Christensen et al.(2013), pp.14SM-16-39 재구성.



자료: IPCC(2013), pp.1326-1380.

〈그림 2-2〉 1986~2005년 대비 시나리오별 아시아 온도 및 강수 시계열 변화

IPCC의 지난 2007년 보고서인 AR4에서는 21세기 온난화가 가능성 매우 높게 나타날 것으로 전망하였고, 지난 평가는 최근에 21세기 중후반 아시아 전 지역에서 여전히 유효할 것임을 국제사회의 제5차 접합대순환모델 프로젝트(Coupled-Model Intercomparison Project 5(CMIP5))에서 평가하였다.⁷⁾

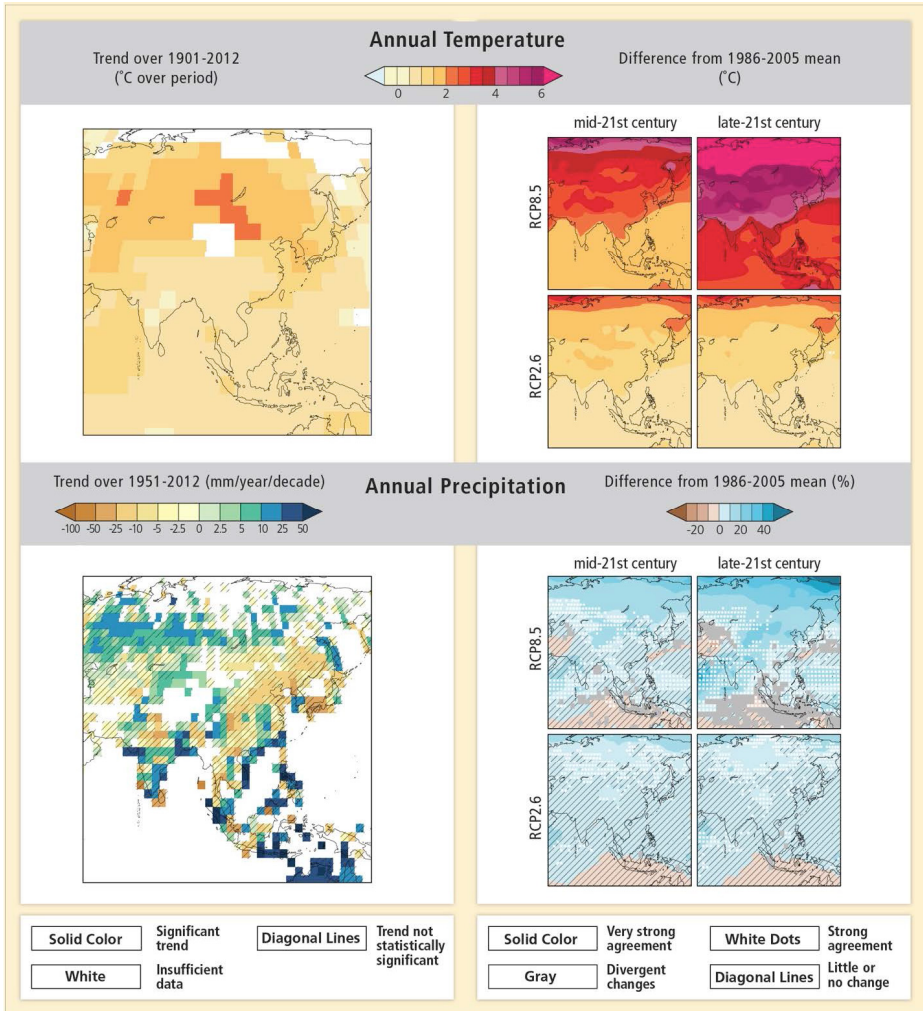
아시아 전 지역 연평균 온도와 강수량의 관측 및 변화를 〈그림 2-2〉를 통해 살펴보면, 연간 평균온도 상승분의 평균 변화는 RCP 8.5의 경우 21세기 중반에 20세기 말을 기준으로 2°C 이상 높게 나타나며, 21세기 후반에는 남아시아와 동남아시아에서 3°C 이상부

7) Christensen et al.(2007); IPCC(2014a), pp.6-7에서 재인용.

터 고위도 지역에서는 6°C 이상까지 증가하는 것으로 전망하였다. 그리고 RCP 2.6의 경우 연간 평균온도 상승분의 평균 변화는 21세기 중후반에 20세기 말 기준보다 2°C 이하로 증가하는 것으로 전망되었다.

AR5에서도 미래 연 강수량의 변화 또한 지난 AR4와 유사하게 나타났다.⁸⁾ RCP 8.5에서 강수량은 21세기 중반까지 고위도 지역에서 증가할 가능성이 매우 높게 전망되었고, 21세기 후반까지 동부, 남부 지역에 걸쳐 강수량이 증가하는 것으로 전망되었다. RCP 2.6에서는 21세기 중반까지 고위도에서 증가하는 것으로 전망되었으나, 저위도에서의 변화는 자연적 변동성을 따를 것으로 예측되었다.

8) Christensen(2007); IPCC(2014a), p.7에서 재인용.



자료: IPCC(2014a), p.66.

〈그림 2-3〉 아시아 지역 연평균 온도와 강수량의 관측 및 전망 변화

다. 동북아시아 주요 기후변화 영향

IPCC 5차 보고서에서는 동아시아 주요 기후변화 전망에 따른 영향을 크게 여섯 가지로 분류하여 분석하였다. 이 중 본 연구에서는 기상현상과 직접 관련이 있는 폭염, 가뭄 그리고 홍수와 직접적으로 관련된 영향에 대해 우선적으로 살펴보았다. <표 2-4>는 아시아의 주요 기후변화 위험과 그 요인 및 위험 저감 잠재력을 나타낸 것으로서, 현재와 가까운 미래 그리고 먼 미래의 기간으로 나누어 위험 수준 및 적응에 따른 위험 저감 잠재력을 나타내었다.

1) 식량안보와 식량생산 시스템

쌀은 아시아의 주요 작물이며, 전 세계 90% 이상의 쌀이 아시아에서 생산되고 있다. 기후변화 시나리오는 아시아의 넓은 지역에 걸쳐 쌀 생산량 감소를 예측하고 있다.⁹⁾ 가장 취약한 지역은 일본 서부, 중국 동부, 인도차이나 반도의 남부, 그리고 남한의 북부이다.

러시아에서는 기후변화로 인해 대부분 주요 작물의 생산량이 과거 1961~90년 평균의 50%까지 떨어질 것으로 전망하여 식량생산 부족을 초래할 것으로 전망되었다.¹⁰⁾ 이러한 식량생산 부족은 심각한 가뭄에서 기인하는 것으로 설명된다. 중국지역의 연구에 따르면 강수량의 감소가 쌀 생산량의 감소와 밀접한 연관을 갖는 것으로 보고되었다.¹¹⁾ 이와 같이 농작물 생산량의 감소는 식량안보를 약화시켜 건강유지에 필요한 영양이 충분히 공급되지 않고, 그에 따라 각종 질병에 노출될 가능성이 높은 것으로 강조하고 있다.¹²⁾ 일본에서는 지난 20세기에 1°C의 기온상승에 따라 쌀뿐만 아니라 밀, 보리, 유가공품의 생산량 감소에 관한 연구 결과를 보고하였다.¹³⁾

9) Masutomi et al.(2009); IPCC(2014a), p.18에서 재인용.

10) Alcamo et al.(2007); IPCC(2014a), p.18에서 재인용.

11) Zhang et al.(2010).

12) Kumar et al.(2005).

13) Sugiura et al.(2012).

2) 담수자원

기후변화로 인한 아시아 지역 미래 수자원의 영향은 강 유역과 계절마다 다르다. 대부분의 아시아 국가들의 물 수요는 인구증가, 관개농업 및 산업시설 증가로 인해 대부분 증가될 것으로 (높은 신뢰도로) 예측된다.

북부와 온대 아시아 지역과 관련하여 GLASS(Global Assessment of Security) 모델을 이용한 A2, B2 시나리오에서는 2070년 즈음에 러시아의 평균 물 수요가 증가할 것으로 전망되었다.¹⁴⁾ PRECISE(Providing Regional Climates for Impacts Studies) 지역 모델을 이용한 HadAM3H A2, B2 시나리오에서는 중국은 2020년대와 2040년대에 비농업용수의 이용증가로 인해 일부 지역에서의 강수량 증가에도 불구하고 농업분야에서 물 부족 현상을 겪을 것으로 전망하였다.¹⁵⁾ 21세기 말 즈음에는 일본 북부의 하천유량은 겨울 강수량 증가와 봄 해빙의 유량 감소로 인해 2월에는 유량이 증가하고, 5월에는 감소할 것으로 전망되었다.¹⁶⁾

최근 중국 북부 지역은 강수량의 감소와 인구증가에 의한 심각한 물 부족 현상을 겪고 있음이 보고되고 있다.¹⁷⁾ 또한 몽골에서 지난 반세기 동안 지하수 양의 급격한 감소¹⁸⁾를 보이고 있는데, 그 원인으로는 지하수 사용량의 증가와 기온증가에 따른 증발산량의 증가에 기인한다고 발표하고 있다.¹⁹⁾ 수자원과 관련하여 빙하도 담수 저장과 공급원으로 매우 중요한 역할을 하는데, 최근 아시아 여러 지역에서 봄철 기온증가에 의한 빙하량의 감소가 감지되고 있다.²⁰⁾

3) 인간의 주거, 산업, 인프라

세계에서 인구가 가장 많은 대도시 5곳 중 3곳인 도쿄(일본), 델리(인도), 상해(중국)는

14) Alcamo et al.(2007); IPCC(2014a), p.8에서 재인용.

15) Xiong et al.(2010); IPCC(2014a), p.8에서 재인용.

16) Sato et al.(2013); IPCC(2014a), p.8에서 재인용.

17) Xu et al.(2010).

18) Brutsaert and Sugita(2008).

19) Jian et al.(2009).

20) Gardner et al.(2013).

홍수의 위험이 높은 곳에 위치해 있다.²¹⁾ 홍수피해와 관련된 인구와 재산손실 가능성이 높게 밀집되어 있는 지역은 인도, 방글라데시, 중국 등이다. 동시에 동아시아 지역은 강수 부족, 높은 증발산, 수자원의 과잉개발과 같은 요인으로 인하여 물 부족과 연관된 사회경제적, 농업환경에 부정적인 영향을 미치고 있다.²²⁾ 대도시에서 발생하는 지반 침식은 경제적 손실은 물론, 막대한 인명피해가 우려되는 위험한 상황이다. 이로 인해 도시계획에서의 기후 변화에 대한 영향과 피해를 줄이기 위해 기후변화 적응을 고려해야 한다는 점이 매우 강조되고 있다.²³⁾

대부분의 남, 동, 남동 아시아는 누적된 기후 관련 피해에 상당히 노출되어 있으며,²⁴⁾ 전 세계 인구의 90% 이상이 열대성 저기압에 노출되어 있다.²⁵⁾ 한반도 역시 온난화에 의해 개화 시기가 빨라지고 아열대 식생의 한반도 유입 현상이 많이 관측되고 있다.

4) 인류 건강, 안보, 생계 및 빈곤

기후변화와 관련된 아시아의 환경보건 문제는 폭염으로 인한 사망률과 질병률의 증가이다. 기온증가에 대한 인간의 사망과 질환에 미치는 영향에 관한 연구가 인도, 태국, 동아시아 지역에 대해 그동안 많이 수행되었다.²⁶⁾ 기온의 증가와 더불어 집중호우가 함께 발생하면 병원균과 기생충의 증식이 빨라져 이로 인해 동아시아와 남아시아에서의 설사병 발생 증가를 일으켰다는 연구 결과도 있다.²⁷⁾ 특히 한반도에서도 해양온도의 증가에 따라 비브리오 패혈증의 증가가 보고된 바 있다.²⁸⁾ 인구의 고령화는 특히 심혈관 및 호흡기 장애 등의 건강위험에 노출된 인구의 수를 증가시킬 것이다. 도시 열섬효과가 증가하고 있으며,²⁹⁾ 야외 노동자의 열 스트레스 장애와 그로 인한 생산성 손실 등이

21) UN(2012); IPCC(2014a), p.19에서 재인용.

22) IPCC(2012); IPCC(2014a), p.19에서 재인용.

23) Tyler and Moench(2012).

24) UN-Habitat(2011); IPCC(2014a), p.19에서 재인용.

25) IPCC(2012); IPCC(2014a), p.19에서 재인용.

26) McMichael et al.(2008); Chung et al.(2009).

27) Chou et al.(2010).

28) Kim and Jang(2010).

29) Tan et al.(2010); IPCC(2014a), p.22에서 재인용.

보고되었다.³⁰⁾

홍수, 가뭄 및 계절적 강우 패턴 변화는 취약 지역에서의 식량생산과 식량안보 그리고 관련된 종사자의 생계에 부정적인 영향을 미친다.³¹⁾ 홍수와 태풍이 지나간 이후에는 수질 저하, 모기수 증가, 수인성 전염병의 증가를 가져왔다는 연구 결과도 있다.³²⁾ 아시아 지역에서는 쌀 작물 생산 감소와 식품가격 및 생활비의 증가로 인해 농촌 빈곤이 심화될 수 있다.³³⁾ 이와 같이 광범위하면서도 지역적으로 특징이 있는 기후변화 및 그 영향에 대한 다변적 사실을 조사하고 지역 당사자 및 정부, 전문가 그룹에서 효과적으로 공유, 그 대응능력을 향상시키는 것은 매우 중요한 사항이다.

30) Lin et al.(2009); Langkulsen, U., N. Vichit-Vadakan, and S. Taptagaporn(2010); IPCC(2014a), p.22에서 재인용.

31) Dawe, D., P. Moya, and S. Valencia(2008); Kelkar et al.(2008); Douglas(2009); IPCC(2014), p.23.에서 재인용.

32) Kazama et al.(2012).

33) Hertel, T. W., M. B. Burke, and D. B. Lobell(2010); Rosegrant(2010); IPCC(2014a), p.23에서 재인용.

〈표 2-4〉 아시아의 주요 기후변화 위험과 그 요인 및 위험 저감 잠재력

주요 위험	기후 추진 요인	기간	현재와 미래 적응 수준에 따른 위험			
			Very low	Medium	Very high	
아시아에서 식량불안의 원인이 되는 홍작과 낮은 작물생산의 위험 증가(중간 신뢰도)		Present	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Near-term (2030-2040)	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Long-term (2080-2100)	2°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
			4°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
아시아 건조 지역에서의 물 부족 (중간 신뢰도)		Present	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Near-term (2030-2040)	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Long-term (2080-2100)	2°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
			4°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
홍수 증가로 인한 아시아 인프라와 거주지의 광범위한 피해 (중간 신뢰도)		Present	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Near-term (2030-2040)	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Long-term (2080-2100)	2°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
			4°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
홍수 관련 사망, 부상, 감염질환 및 정신질환의 위험 증가 (중간 신뢰도)		Present	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Near-term (2030-2040)	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Long-term (2080-2100)	2°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
			4°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
더위 관련 사망의 위험 증가 (높은 신뢰도)		Present	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Near-term (2030-2040)	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Long-term (2080-2100)	2°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
			4°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
가뭄 관련 물과 식량 부족으로 인한 영양실조의 위험 증가 (높은 신뢰도)		Present	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Near-term (2030-2040)	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]			
		Long-term (2080-2100)	2°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		
			4°C	[Bar chart showing risk level from Very low to Medium]		

Climatic drivers of impacts								Risk & potential for adaptation	
								Potential for adaptation to reduce risk Risk level with high adaptation Risk level with current adaptation	

자료: IPCC(2014a), pp.62-63.

2. KEI 기후모델 시스템의 기후변화 전망

가. 기후변화 전망을 위한 모델링 시스템

국립기상연구소에서는 기후변화 대응을 위한 기후변화 시나리오를 개발을 위해 전 지구 기후변화 시나리오 및 지역 기후변화 시나리오를 산출하고 있다.³⁴⁾ 또한 전 지구 차원의 기후 모형 자료를 초기 및 경계조건으로 사용하여 역학적 상세화를 수행하여 지역차원의 상세한 기후 전망을 수행할 수 있다.³⁵⁾ 이렇듯 정책 활용을 위한 고해상도 기후자료의 생산과 활용을 위해 KEI에서도 자체적인 기후변화 전망을 위한 모델링 시스템을 구축하여 기후 시나리오를 생산하고 있다.

KEI에서는 기후 모델링 커뮤니티를 위한 대표적인 미국의 기후 모형 중 하나인 CESM(Community Earth System Model)을 직접 활용하여 RCP 시나리오에 대해 전 지구 기후 시나리오를 생산하였으며, 지역 규모 기상 연구에 널리 활용되는 WRF (Weather Research and Forecast) 모형을 사용하여 한반도뿐만 아니라 전 지구의 연구 관심지역의 수준에 맞는 자료를 위해 역학적 상세화를 수행하고 있다.

1) 전 지구 기후 시나리오 생산

IPCC는 기후변화의 문제를 해결하기 위하여 국제표준의 미래 기후변화 시나리오 개발 및 평가를 진행하고 있다. 2007년 4차 평가보고서에서는 SRES(A1B, A1F1, A2, B1, A1T, B2)를 활용하여 기후변화의 영향을 평가하였다. 이 시스템은 우선 지구차원의 사회경제적 미래 전망 시나리오를 바탕으로 온실가스 배출 등을 전망하고, 이를 기후모델에 적용하여 미래 지구 기후시스템 변화의 척도인 기후변화를 전망하였다. 이를 바탕으로 기후변화의 영향 및 취약성에 대하여 4차 보고서에서 논하였다. 그러나 이러한 순차적 방법으로는 사회경제 전망의 수정에 따른 기후 시나리오 전망과 영향에 대한 전반적 수정이 불가피하기 때문에 효율적이지 못하였다. 또한 지구차원의 자료를 생산

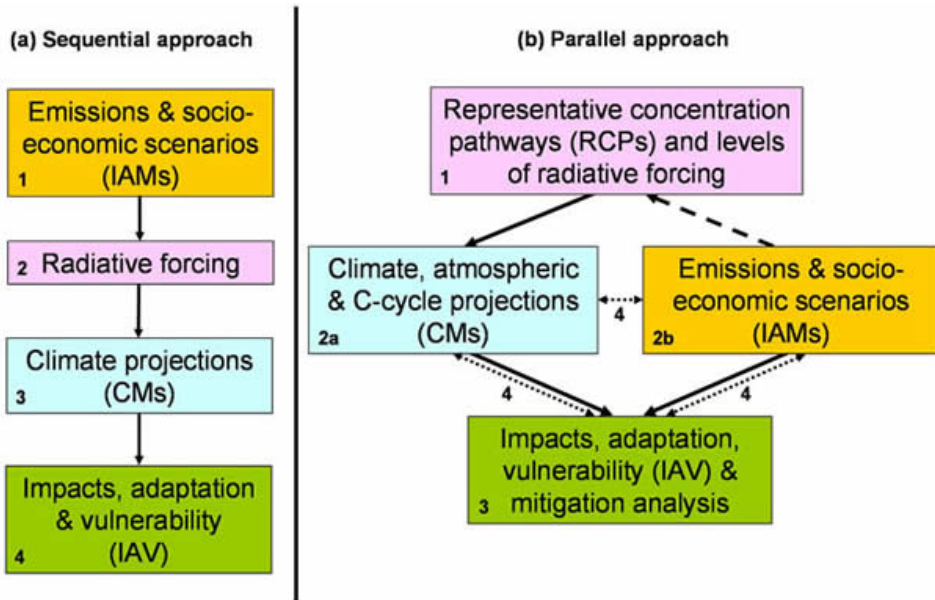
34) 국립기상연구소(2011).

35) Caldwell et al.(2009); Bukovsky et al.(2011); 권혁기 등(2011); 최석진 등(2011); 서명석 등(2012).

해야 하므로 지역차원의 상세한 정보의 업데이트가 사실상 어려웠다. 이에 따라 2013년 5차 보고서에는 온실가스 증가에 따라 미래의 단위면적당 복사 강제력의 정도(W/m^2)에 따라 대표 농도경로 RCP(RCP 8.5, RCP 6.0, RCP 4.5, RCP 2.6)를 미리 설정한 것을 바탕으로 미래 기후 전망자료를 산출하였다. 이 시스템의 특징은 기후 시나리오와 사회경제 시나리오가 순차적이 아닌 평행적으로 서로 정보를 주고받을 수 있게 한 것이다.

즉 기후변화에 가장 영향을 주는 이산화탄소 배출량을 전망하기 위해서는 사회경제 요소(예: 인구통계, GDP, 경제성장 등)가 필요하다. 이전의 순차적 접근방법은 먼저 사회경제적 시나리오에 따라 산정한 온실가스 배출량을 기후모델의 입력자료로 사용하여 미래 기후를 예측하게 된다(그림 2-4). 이러한 경우 사회경제적 시나리오가 바뀔 때마다 기후모델을 새로 실행시킬 뿐만 아니라 기후모델도 계속 발전하기 때문에 시간적으로도 오래 걸리며 비효율적인 단점이 있다. 반면에 평행 접근의 방법으로는 온실가스 농도를 고정시킴으로써 기후는 기후모델로 산출하고, 사회는 사회경제적 모델에 따라 독립적으로 미래를 전망하게 된다. 결과적으로 시간적으로도 절약할 수 있을 뿐만 아니라 기후모델과 사회경제적 모델의 발전이 다양해지기 때문에 5차 보고서 수준의 기후전망 방법론이 발전하게 되었다. 이런 발전된 모델 시스템에 CESM이 포함된다.

국제표준 RCP의 종류는 복사강제력을 기준으로 구분된다(표 2-5). <그림2-4>에서 숫자는 분석 단계(2a와 2b는 동시에 진행), 화살표의 방향은 정보와 전송(solid), RCP들의 선택(dashed)과 정보의 피드백(dotted)을 설명하고 있다.



자료: IPCC 홈페이지

(<http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-report-scenarios.pdf>).

〈그림 2-4〉 IPCC AR5 전 지구 시나리오 개발을 위한 접근방법:

(a) 이전의 순차적 접근법 (b) 제안된 평행적 접근법

〈표 2-5〉 기후 시나리오 RCP 종류의 설명

AR5	설명	IA Model	경향	2100년 CO ₂ 농도 (ppm)	SRES와 비교(ppm)
RCP 8.5	복사강제력이 2100년까지 8.5 W/m ² 도달 후 계속 증가	MESSAGE	증가	940	A2(830) ~ A1F1(970)
RCP 6.0	복사강제력이 2100년까지 6 W/m ² 도달 후 안정화	AIM	안정화	670	B2(600) ~ A1B(720)
RCP 4.5	복사강제력이 4.5 W/m ² 도달 후 안정화	GCAM (MiniCAM)	안정화	530	B1(550)
RCP 2.6	~ 3.0 W/m ² 까지 도달 후 2100년 전에 감소	IMAGE	감소	420	-

자료: http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html

앞서 소개한 지구 시스템 모델인 CESM은 지구 기후 시스템을 모사하기 위한 기후모델이다. CESM은 대기(CAM), 해양(OCN), 육지(CLM), 해빙(CICE), 육빙(GLC)의 세부 모델로 구성되어 있으며, 중앙에서 모델 간 연계장치인 CPL (coupler)을 통해 각 모델들이 서로 연동되어 상호 정보를 교환하는 시스템이다(그림 2-5). 〈표 2-6〉는 CESM 요소의 모델과 분해능에 관하여 설명하였고, CPL은 다섯 가지 모델을 시스템적으로 연결하는 역할을 하기 때문에 분해능이 존재하지 않는다. 이를 통해 지구의 과거, 현재 및 미래의 기후를 모사할 수 있어 기후변화를 진단하고 전망하는 데 활용되고 있다. CESM은 미국 국가과학재단(National Science Foundation, NSF)과 미국 에너지국(U.S. Department of Energy, DOE)의 후원을 받아 개발 및 운영되고 있으며, 미국 국립대기연구소(National Center for Atmospheric Research, NCAR)/(Climate

and Global Dynamics Division, CGD)에서 모델을 관리하고 관련연구를 수행하고 있다(<http://www.cesm.ucar.edu/>).

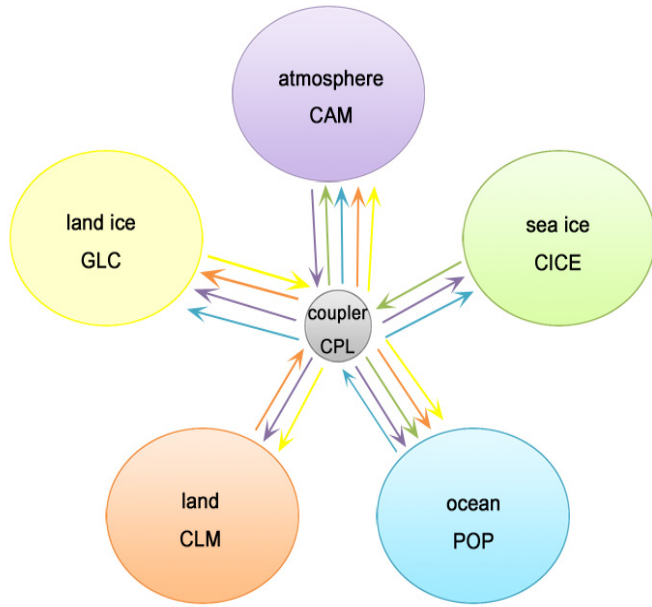
KEI 기후모델 시스템에서는 IPCC 5차 평가보고서 RCP 온실가스 시나리오(RCP 4.5, 6.0, 8.5)를 입력자료로 CESM 모델을 구동하였다. 공간 해상도는 $2.5^{\circ} \times 1.9^{\circ}$, 시간 해상도는 6시간으로 2005년부터 2100년까지 미래 기후변화를 예측하였다. 이 중 육지 모델(CLM)은 생태계에서 변화하는 산림에서의 탄소흡수/배출을 진단하고 예측하는 데 활용되고 있다.³⁶⁾ 육지모델은 계절변동에 따른 생태기후학의 개념을 정량화하기 위한 목적으로 개발되었다. 기후변화의 원인인 인간의 활동에 따라 지표(토지피복)는 지구 환경변화의 중요한 경계면(interface) 역할을 하게 된다. CLM은 CN(탄소-질소)의 생물학적 모델로 연계, 확장된다.³⁷⁾ CN으로 확장하는 방법은 자료입력 단계에서 다섯 가지 모델이 결합되어 육지모델이 CN(예: 식생)과 관련된 자료를 예측하여 모의할 수 있다. Hudiburg et al.(2012)에서 모델의 차이에 대한 영향을 분석하였다. CN은 지구 생물학적 모델 Biome-BGC³⁸⁾를 기반으로 탄소와 식생, 토양 유기물질과 관련된 변수(예, NPP, NEE, NEP)를 예측하는 시스템이다. 이러한 특징을 활용하여 토지피복 및 토지이용에 따른 기후변화의 연구가 가능하다. 이와 관련된 대표적인 예로는 LMWG(CESM Land Model Working Group)와 BGCWG(CESM Biogeochemistry Working Group)가 있다. <그림 2-6>은 생지화학적 순환을 설명하는데, 검은색 화살표는 탄소 흐름의 방향, 보라색 화살표는 질소의 유량을 나타내었다.³⁹⁾

36) Thornton and Zimmermann(2007); Bonan et al.(2012), Hudiburg et al.(2012).

37) Thornton et al.(2002); Randerson et al.(2007); Thornton et al.(2009).

38) Thornton et al.(2002).

39) Lawrence et al.(2011).

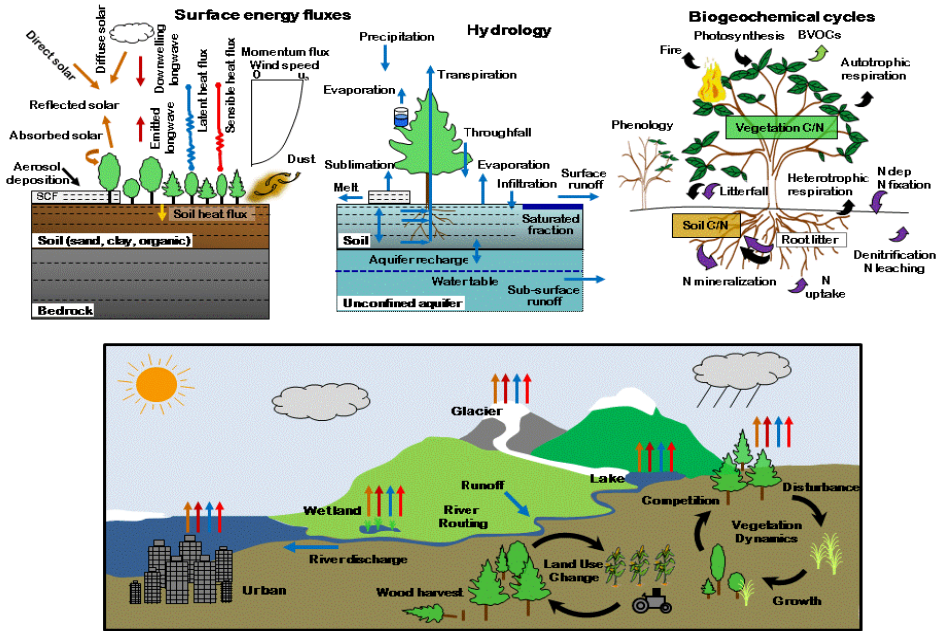


자료: NCAR 홈페이지.

〈그림 2-5〉 CESM 기후모델의 구성도

〈표 2-6〉 CESM 요소의 모델명 및 분해능 설명

구분	모델명	분해능	
대기(CAM)		atm	약 2.5°x1.9° xy) 144*96
육지(LND)		clm	약 2.5°x1.9° xy) 144*96
해빙(ICE)		cice	약 1.1°x0.5° xy) 320*384
육빙(GLC)		sglc	약 2.5°x1.9° xy) 144*96
해양(OCN)		pop2	약 1.1°x0.5° xy) 320*384
결합(CPL)		cpl	



자료: Lawrence et al (2011)에서 인용.

〈그림 2-6〉 CLM의 CN(탄소-질소) 흐름과 기능 모식도

2) 한국의 기후 시나리오 생산

지역 기상모델인 WRF는 예보 및 대기 연구를 지원하기 위해 고안된 차세대 중규모 수치 기상 예측모델로서 다양한 역학적 코어들과 3DVAR(Three-dimensional variational assimilation) 자료 동화 시스템 및 병렬 연산을 고려한 모듈을 제공하고 있다(<http://www.wrf-model.org/index.php>).

또한 수 미터에서 수천 킬로미터 규모 공간 범위에 적용이 가능하며, 최적화된 수치 모의, 지역 및 전 지구 적용, 모수화 연구, 자료 동화 연구, 예보 연구, 실시간 수치 예보, 허리케인 연구, 접합모델의 적용 등에 활용되고 있다(<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users>).

WRF는 주로 미국 국립대기연구소, 미국 국립기후자료센터(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), 미국 국립환경예측센터(National Centers for Environmental Prediction, NCEP), FSL(Forecast System Laboratory), 미국 공군 기상대(Air Force Weather Agency, AFWA), 미국 해군 연구소(the Naval Research Laboratory), the University of Oklahoma, 그리고 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA)의 협동 연구로 개발되고 있다.

KEI 기후모델 시스템에서는 CESM 의 전 지구 시나리오 생산으로 얻어진 6시간 간격의 미래 기후변화 예측자료를 WRF의 입력자료로 사용, WRF 모델을 구동하였다. 공간 해상도는 7.5km×7.5km, 시간해상도는 1시간으로 2006년부터 2100년까지 미래 한반도 기후변화를 예측하고 있다.

CESM을 구동하기 위하여 리눅스(Linux) 환경의 Generic Linux Intel Compiler를 세팅하여 연산 환경을 구축/활용하였다. 중앙연산장치의 모든 가용한 연산단위를 가동시키는 병렬연산(Parallel Computing)을 실시하였으며, 입출력 파일은 리눅스의 PIO LIBRARY를 활용하여 NetCDF 데이터 형식으로 산출하도록 하였다. 또한 기후변화 시나리오는 기술개발 및 감축의 노력이 반영된 RCP 4.5(복사강제력이 2100년까지 4.5W/m²까지 도달한 후 안정화되는 시나리오로 2100년 이산화탄소(NO₂) 평균 농도가 530ppm에 도달할 것으로 예상)를 기본으로 미래 기후예측을 실시하였다. <그림 2-7>에 KEI에서 기후모형을 구동, 기후 시나리오를 산출하기 위한 리눅스 연산장치를 보여주고 있다.

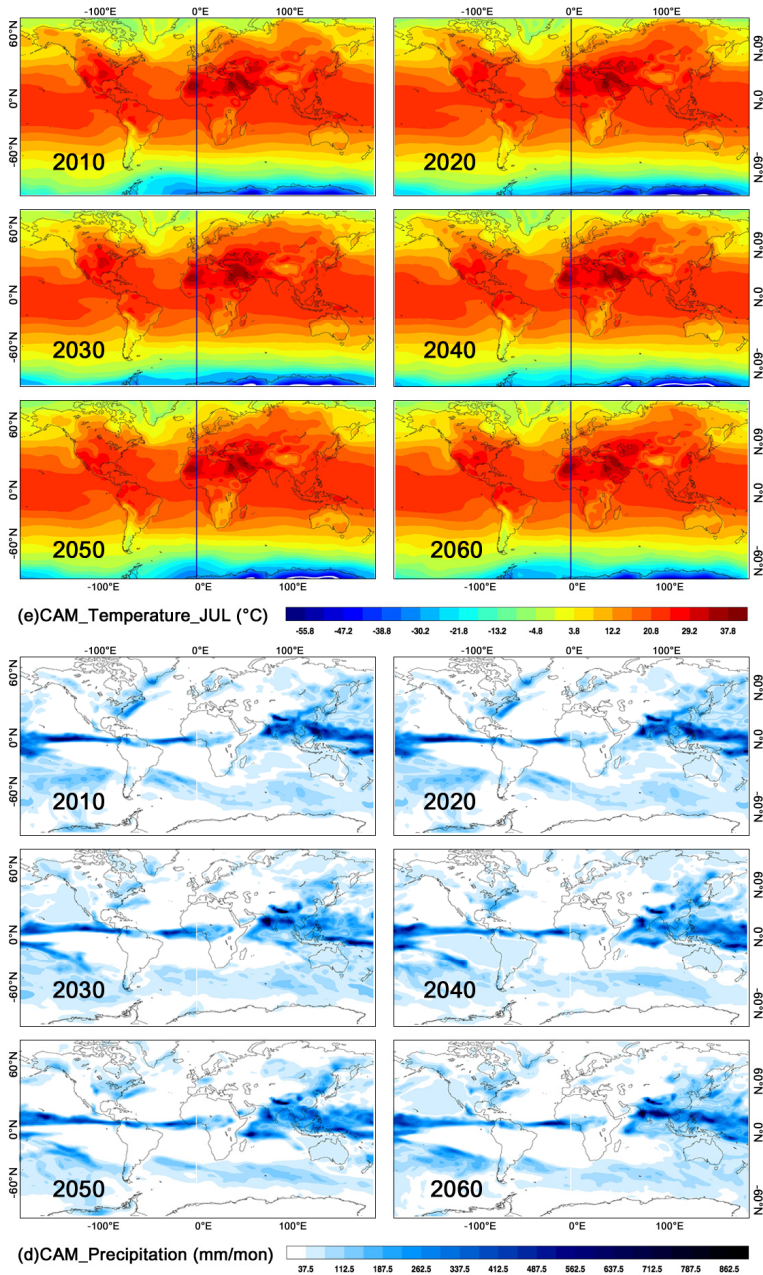
지역규모 기후변화 전망 자료를 산출하기 위하여 CESM의 결과물 중 대기모형인 (CAM, Community Atmosphere Model)의 결과를 <그림 2-8>에 표현하였다. CAM 대기모형에 의한 RCP 4.5 시나리오를 적용하여 계산한 2060년까지의 지구 7월 평균 지표기온과 강수량을 보여주고 있다. <그림 2-9>에서는 WRF 지역규모 기상모델을 활용, CAM 전 지구 스케일 저해상도 대기예측 자료를 경계조건으로 사용하여 동아시아(약 50km)와 한반도(5km)를 대상으로 기후자료의 상세화 작업을 실시한 결과를 보여주고 있다(2020년 8월 평균). 기후변화 시나리오의 현실성 있는 산출 및 고해상도화 작업

수행 기능은 향후 기후변화 영향 및 취약성 평가 수행에 널리 활용할 수 있다는 점에서 그 가치가 있다.



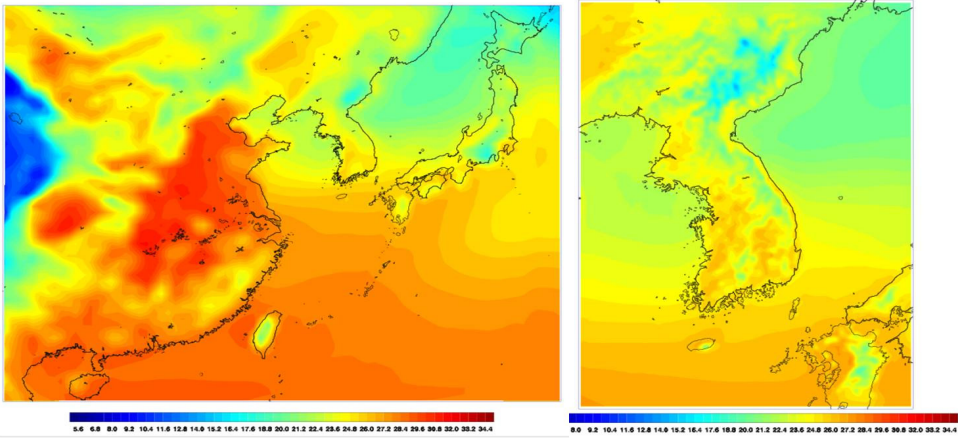
자료: 저자 작성.

〈그림 2-7〉 KEI 기후 모형 시스템을 위한 연산 및 자료 저장 장치 사진



자료: 저자 작성.

〈그림 2-8〉 기후모형인 CESM의 대기모형인 CAM을 사용하여 모의한 2060년까지의 지표 월평균 온도 (7월, 위)와 월누적 강수량 (8월, 아래) (복사강제력 기준 시나리오 중 RCP 4.5의 결과임)

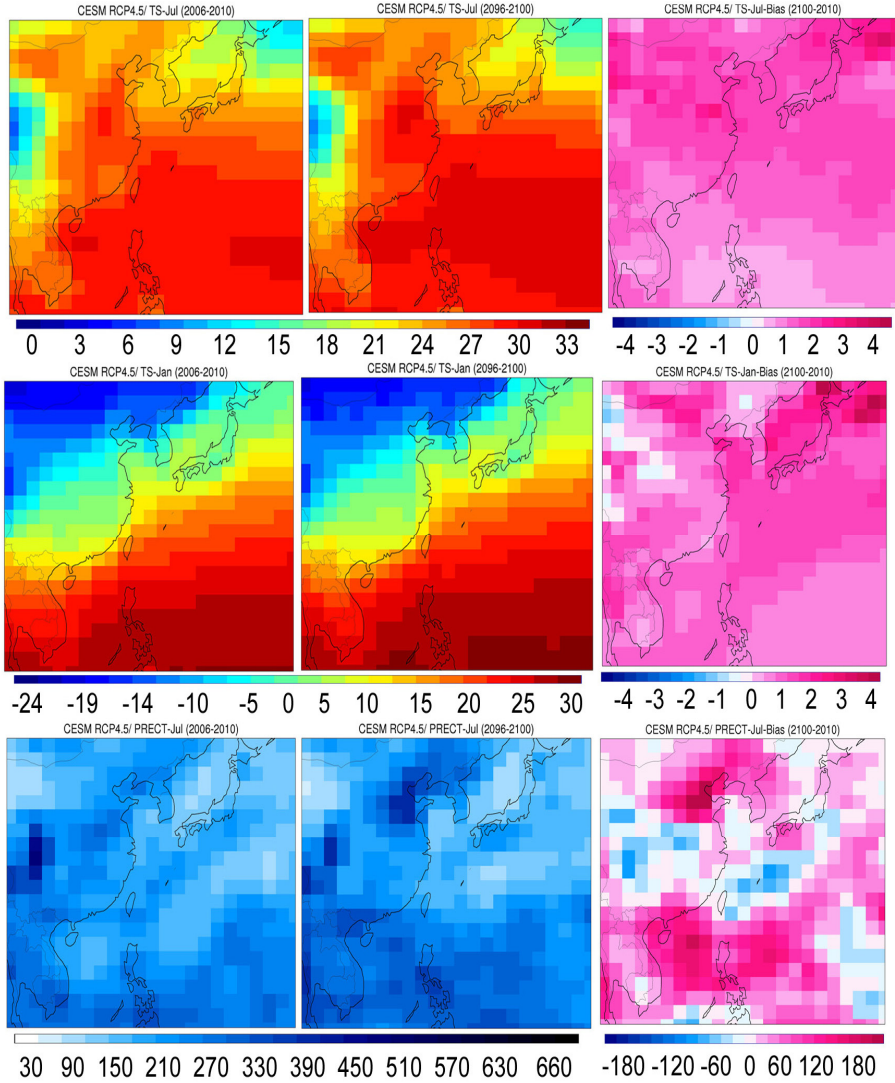


자료: 저자 작성.

〈그림 2-9〉 대기모형인 CAM의 결과를 경계조건으로 사용하여 WRF 지역규모 기상모형을 구동한 2020년 8월 평균 동아시아 지역(약 50km 해상도)과 한반도 지역(5km)을 대상으로 상세화 작업을 실시한 결과

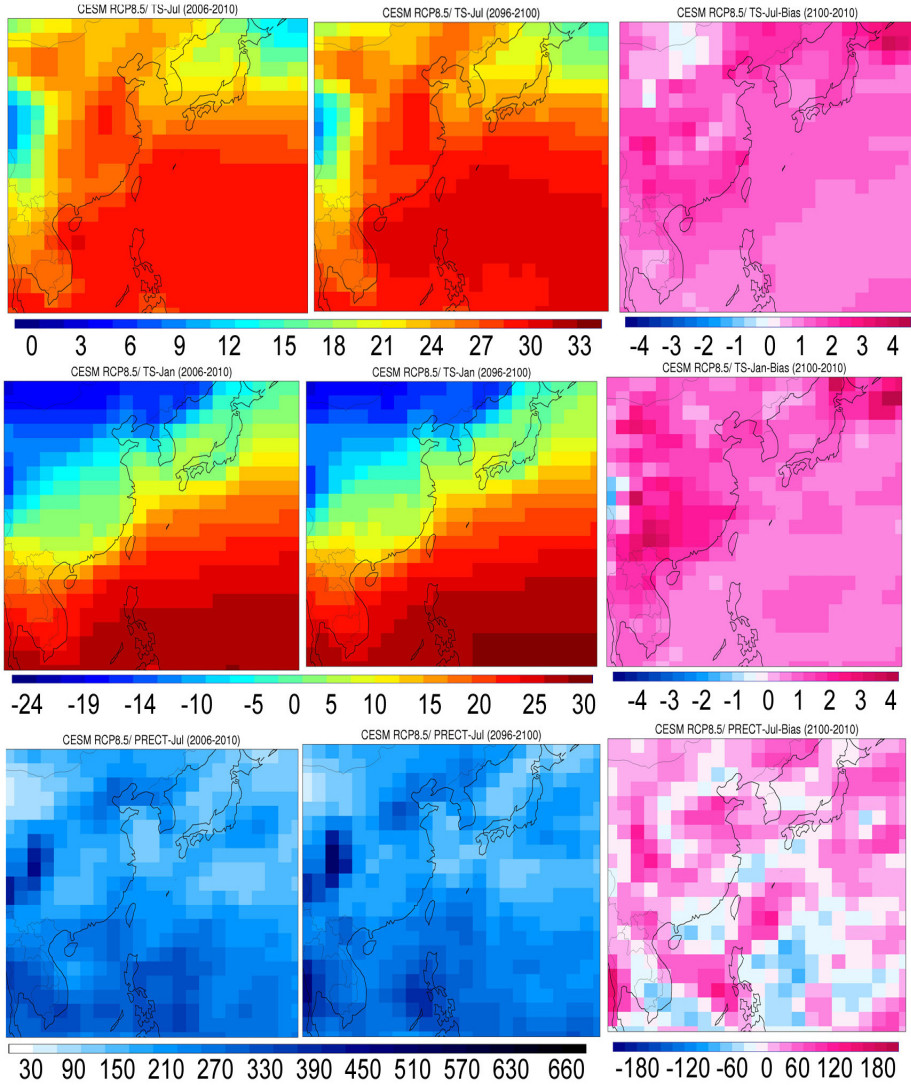
나. KEI 기후모델에 의한 동아시아 기후의 주요 변화 전망

미래 기후변화 및 식생의 탄소수지를 예측하기 위하여 CESM 기후모형을 계산하였으며, 입력 자료는 온실가스 농도 시나리오인 RCP 4.5, RCP 8.5를 사용하였다. 각각의 시나리오를 기준으로 전 지구 기후모델(CESM)을 계산하였으며, 기상변수(온도, 강수, 습도 등) 및 식생변수(GPP, NEP, NPP 등)가 동시에 산출되었다. RCP 시나리오 종류는 모든 인위적인 온실가스를 포함한 복사강제력을 기준으로 2100년에 이산화탄소 농도(CO₂-eq)로 구분한다. 가장 이상적인 시나리오인 RCP 4.5(~650 CO₂-eq)와 최고 농도를 도달하는 극단적인 시나리오인 RCP 8.5(1370 CO₂-eq)를 기반으로 미래 기후변화를 예측하였다(그림 2-10, 그림 2-11 참조).



자료: 저자 작성.

〈그림 2-10〉 CESM 기반의 KEI 기후 모델 시스템으로 산출한 동아시아의 RCP 4.5 기후 시나리오 전망(컬럼 순서대로 왼쪽은 2006~10년 평균, 가운데 2096~2100년 평균, 오른쪽은 두 자료의 차이를 나타냄. 행 기준으로 위는 7월 평균 온도, 가운데는 1월 평균 온도, 그리고 아래는 7월 평균 강수량임)



자료: 저자 작성.

〈그림 2-11〉 〈그림 2-10〉과 같으나 RCP 8.5에 대한 기후전망 결과

KEI 기후 시스템에서 연산한 RCP 4.5 시나리오에 따르면, 7월 평균 기온은 2100년에 2010년에 비해 동아시아 지역에서 대부분 0.5 ~ 2°C 수준에서 지면의 기온이 상승할 것으로 예측되었다. 지역별 편차가 상존하는데, 중국 동북부 내륙과 일본의 고위도 지역(홋카이도 부근)의 온도상승이 상대적으로 높게 나타났다(그림 2-10). 겨울철인 1월의 평균기온은 여름에 비해 지역적 편차가 조금 더 뚜렷하게 나타났는데, 중국 북부 내륙, 우리나라 연안, 일본의 고위도 지역과 인도차이나 반도 내륙지역의 온도상승이 상대적으로 뚜렷하게 보이는 것으로 나타났다. 온도는 여름철의 온도상승이 폭염으로 이어질 가능성이 높다. 이런 차원에서 볼 때, 중국 중부-북부 내륙의 일부 지역의 폭염 가능성이 상대적으로 높다고 평가할 수 있다.

강수량은 상대적으로 다른 변수보다 기후모델의 불확실성이 다소 큰 편이다. 기후모델의 전망에 따르면, 동아시아 지역에서 인도차이나 반도 일부 지역, 중국 남부 연안, 중국 북동부, 한반도, 일본 남부 지역에서 여름철 강수량(월평균 기준)이 증가할 것으로 전망되었다. 동아시아는 여름철 강도 높은 몬순의 영향이 있기 때문에 이 지역에서의 집중호우 등 홍수의 위험이 상대적으로 크다고 전망할 수 있다. 반대로 중국의 중서부 내륙지방에서는 상대적으로 강수량이 줄어드는데, 이 지역의 가뭄 발생의 가능성을 의미하고 있는 것이다. 최근 중국 운남성(중국 서부지역)의 가뭄 현상이 기후 모형의 예측 결과와 유사한 것을 증명하고 있다.⁴⁰⁾

KEI 기후 전망자료 중 RCP 8.5에서는 월평균 기온에서 좀 더 지역 편차가 크게 나타난다(그림 2-11 참조). 여름철은 평균 1.5 ~ 3°C 수준에서 기온증가가 예상되며, 겨울철은 온난화가 지역에 따라(중국 서부 및 남부), 일본 북부의 기온이 약 4°C 가까이 상승할 수 있을 것으로 전망되었다(그림 2-11 참조). 특히 여름철에 북아시아(북한 및 북중국) 및 중국 서남부 지역의 폭염이 전망된다(그림 2-11 참조). 여름철 강수량은 북경지방 부근 및 인도차이나 일부 지역을 제외하고는 많은 지역에서 강수량 증가가 예상되어, 몬순의 강도가 더욱 강해져 홍수 및 태풍 등의 피해 증가를 예상할 수 있다(그림 2-11 참조).

40) Wu(2013).

3. 소결: 동아시아 미래 기후의 잠재적 위험성

IPCC 제5차 보고서와 본 연구에서 직접 수행한 기후 시나리오 분석에 따라 동아시아 지역의 주요 기후변화 및 그 영향을 <표 2-7>에 정리하였다.

<표 2-7> IPCC AR5 및 본 연구를 통해 종합한 아시아 지역의 주요 기후변화 및 영향

기후변화 및 영향	지역 및 내용	비고
기온상승	중앙 및 북아시아	중국 북동부 중국 서남부 일본 북부 인도차이나 내륙
폭염	기온상승 지역 대부분(고위도 제외)	중국 중북부 내륙
강수 증가	중앙 및 북아시아(여름), 동아시아(여름몬순)	인도차이나 일부 중국 북동부 한반도 일본 남부
홍수	태국	
폭설	동아시아(겨울)	
가뭄	인도네시아(7~10월), 중국 북부, 러시아 일부	중국 중서부 내륙
식량	쌀 생산량 감소: 서일본, 동중국, 인도차이나 반도 남부, 남한(북부)	
담수자원	물 부족(중국 북부, 몽골) 빙하 감소(히말라야 산맥 등)	
인간 정주, 산업	연안 대도시의 침수(도쿄, 텔리, 상하이)	
건강	기온증가와 홍수로 인한 동(남)아시아의 수인성 전염병 및 설사병 증가 해양온도 증가에 의한 비브리오 패혈증(한국) 폭염 피해	
빈곤	농작물 영향을 받는 지역의 수입 감소	

자료: 저자 작성.

일반적으로 기후변화 중 온난화의 양상은 열용량이 상대적으로 적은 북위도 지역에서 더 뚜렷이 증가한다. 이에 따라 중국의 북부 및 동부 지역, 홋카이도 등에서의 기온상승은 뚜렷해질 것으로 예상되었다. 특히 중국 북동부 지역은 폭염과 홍수의 영향이 동시에 전망됨에 따라, 이에 따른 재난의 빈도가 높을 것으로 예상되어 가장 취약할 수 있는 지역 중 하나가 될 것으로 보인다.

온난화와 몬순에 의한 강수 증가는 기후변화에 따른 동아시아의 일반적인 패턴으로 분석되고 있지만, 특정 지역에서는 가뭄도 예상되고 있다. 중국 북부, 몽골 및 중서부 내륙지방은 강수량 감소로 인해 심각한 물 부족에 직면할 수 있을 것으로 보인다. 또한 히말라야 지방과 연계되는 티베트 지역은 만년설의 감소로 물 부족 현상을 이미 겪고 있다. 이러한 물 부족 현상은 농업 생산량에 직접적인 타격으로 줄 것이다. 또한 해수면 상승, 태풍의 강도 증가 등으로 인해 해안가에 위치한 주요 대도시(도쿄, 상하이, 델리, 홍콩) 등에서의 기후 노출이 상대적으로 클 것으로 예상된다. 동아시아 차원에서의 이러한 지역적인 기후 취약성은 향후 기후변화로 인한 영향을 최소화하고 지속가능한 발전을 위해 사전적인 대응이 매우 중요하다. 따라서 최근의 기후 영향과 노출과 관련한 취약성을 최소화하기 위한 아시아 차원의 실질적 협력과 대응이 매우 시급하다고 할 수 있다.

| 제3장 · 동아시아 지역의 대기질 현황 및 추이 |

1. 동아시아 이산화탄소 배출 및 농도 증가 추이

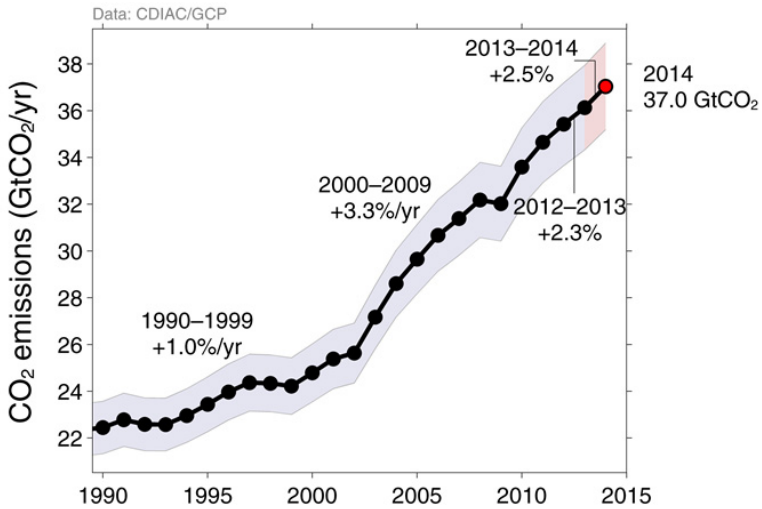
이산화탄소는 탄소를 포함한 가장 광범위하게 영향을 미치는 온실가스이다. 이미 과거 연구에서 극지방 만년설의 추출자료 분석을 통해 고기후학적으로도 지구 기후와 이산화탄소와의 높은 상관관계가 밝혀진 바 있다(Petit et al., 1999). 이산화탄소는 20세기 들어 인간의 화석연료 사용에 의해 산업혁명 이전의 약 280ppmv 수준을 넘어섰으며, 21세기에 들어서는 370ppmv를 넘었고, 최근에는 400ppmv를 넘어서기에 이르렀다. IPCC 제4차 보고서에서는 최근의 기후변화 양상은 바로 이런 지구의 인간이 배출한 이산화탄소 증가에 의한 것으로 추정되었다. 21세기 들어서 화석연료 등의 사용에 의한 이산화탄소 배출량은 평균 3.4% 정도이며, 이는 종전 IPCC의 시나리오 중 화석연료의 의존도가 가장 큰 최악의 CO₂ 배출 시나리오를 따르고 있는 것으로 알려지고 있다. 이는 1990년대부터 급성장하고 있는 중국 및 인도 등 아시아 신흥 공업국의 생산성 향상에 의한 급격한 배출량 증가와 관련이 있다.⁴¹⁾

〈그림 3-1〉은 전 세계 탄소순환에 대한 정량적 자료를 생산, 제공하고 있는 Global Carbon Project에서 제시하고 있는 화석연료 등 인위적인 CO₂ 배출에 대한 1990년부터의 배출 추이를 나타내고 있다. 1990년대에는 매년 약 1% 증가하던 인위적 배출량이 2000년대에서는 매년 약 3.3%로 급증하였다. 이것은 세계경제의 호황과 함께 중국, 인도 등 신흥국의 경제성장과 맞물린 결과이다(그림 3-1).

2008~09년 세계 경제위기 여파로 CO₂ 배출량이 소폭 감소를 기록했으나 이후 다시 증가하였으며, 2011년 이후로는 매년 약 2.3%의 증가세를 보이고 있다(그림 3-1). 따라서 전 세계의 저탄소 정책 이행을 위한 노력에도 불구하고 현재 1990년대의 화석연료

41) Le Quéré et al.(2009).

증가율을 훨씬 상회하고 있으며, 2014년 예상되는 전 세계 인위적 CO₂ 배출량은 약 370억 톤으로서 1990년 배출량에 비해 약 65% 증가한 수치이다. 이것은 현재 IPCC가 제시하고 있는 1990년 대비 약 30% 이상의 감축 목표와 동떨어진 추세를 알 수 있다 (그림 3-1).

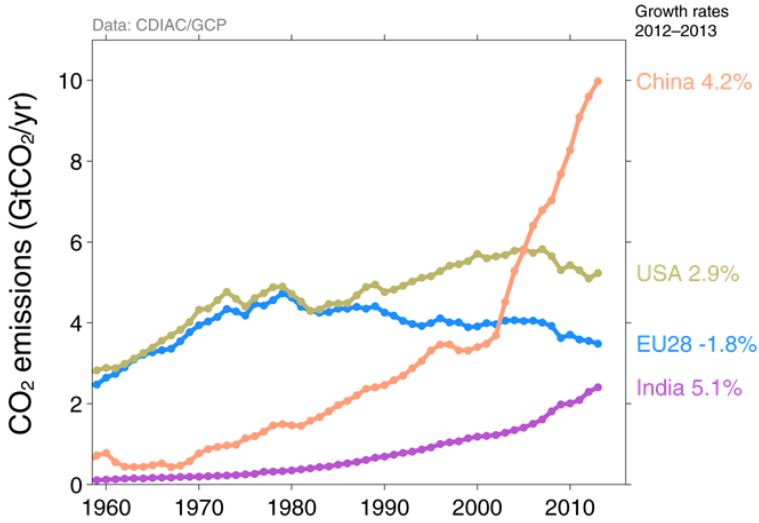


자료: Le Quéré et al.(2014), *Global Carbon Budget 2014*.

〈그림 3-1〉 Global Carbon Project에서 제시하는 1990년 이후 전 세계 인위적 이산화탄소 배출량 추이

전 세계에서 가장 많이 이산화탄소를 배출하고 있는 나라는 중국(28%), 미국(14%), 유럽연합(10%), 인도(7%) 순이며, 이 네 나라의 합은 전 세계 이산화탄소 배출량의 과반을 넘는 규모이다.⁴²⁾ 이 중 미국은 2000년대 후반부터, 유럽은 1990년대부터 배출량이 감소세로 돌아섰으나, 중국과 인도, 특히 중국의 2000년대 이후의 가파른 CO₂배출은 전 세계 CO₂배출 증가율에 가장 큰 기여를 하고 있다(그림 3-2).

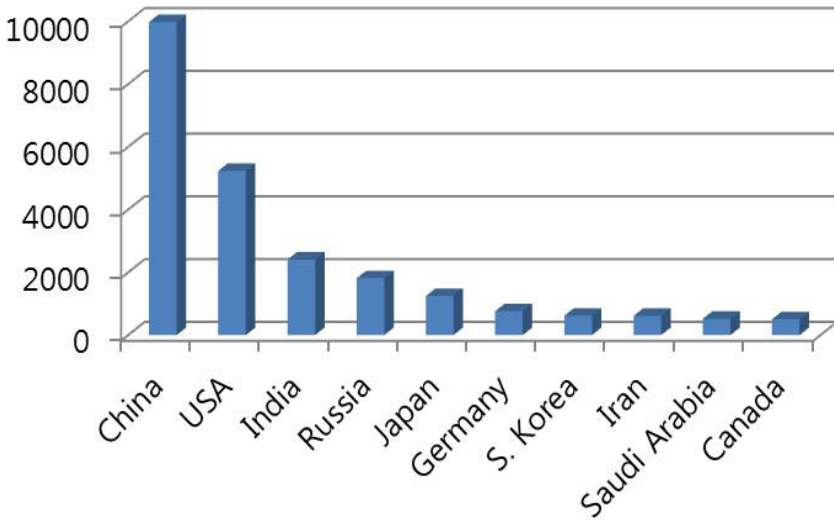
42) Le Quéré et al.(2014)



자료: Le Quéré et al.(2014), *Global Carbon Budget 2014*.

〈그림 3-2〉 Global Carbon Project에서 제시하는 Top 4 탄소 배출국의 1990년 이후 이산화탄소 배출량 추이

2013년 현재 Top 10 탄소배출국은 전 세계 배출량의 약 63%를 차지하고 있다. 이 중 중국(1위), 인도(3위), 일본(5위), 한국(7위), 이란(8위), 사우디아라비아(9위) 등 아시아 국가들이 6개국이나 포함되며, 2013년 현재 동아시아 주요국인 한-중-일 3개국의 비중은 전 세계 총 배출량의 약 1/3을 차지하고 있다(그림 3-3). 따라서 동아시아의 탄소 저감에 대한 책임은 절대적이라고 할 수 있다.



자료: Le Quéré et al.(2014), *Global Carbon Budget 2014*.

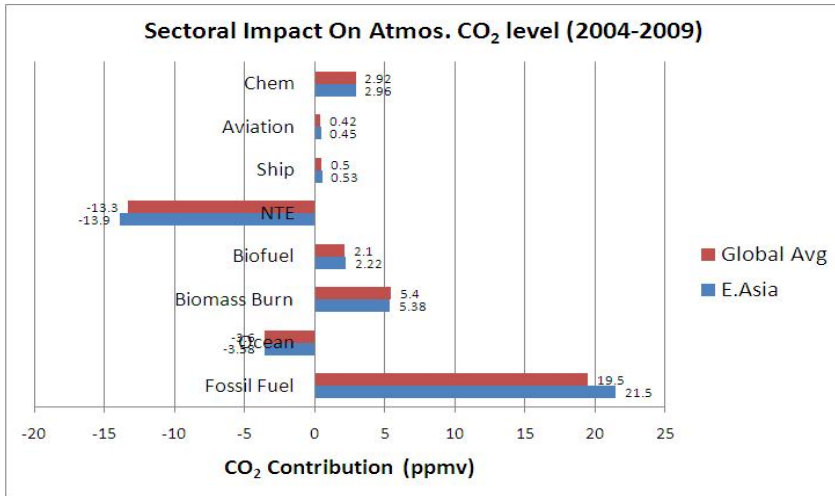
〈그림 3-3〉 Global Carbon Project에서 제시하는 Top 10 탄소 배출국의 2013년 이산화탄소 배출량 (단위 MtCO₂ /year)

Global Carbon Project에서 제공하는 Global Carbon Atlas의 자료에 따르면, 우리나라도 2013년 현재 전 세계 이산화탄소 인위적 배출량의 1.65%를 차지하여 세계 7위를 기록하고 있으며, 배출 증가율은 인도, 중국과 함께 세계 최고 수준이어서 한국은 UN의 의무 감축국이 아님에도 불구하고 향후 국제사회로부터 탄소 저감압력이 점점 가중될 것으로 예상된다.

화석연료별 기여율을 살펴보면, 2013년 석탄에 의한 전체 인위적 배출량의 비중이 약 43%로 가장 많은 것으로 나타났다. 석유(33%)와 천연가스(18%)가 그 뒤를 잇고 있으며, 석탄은 2000년대 중반 이후 최대의 이산화탄소 배출 연료가 되었는데, 이는 중국 등 신흥 공업국의 석탄사용량의 급격한 증가가 주된 원인으로 파악되었다.⁴³⁾

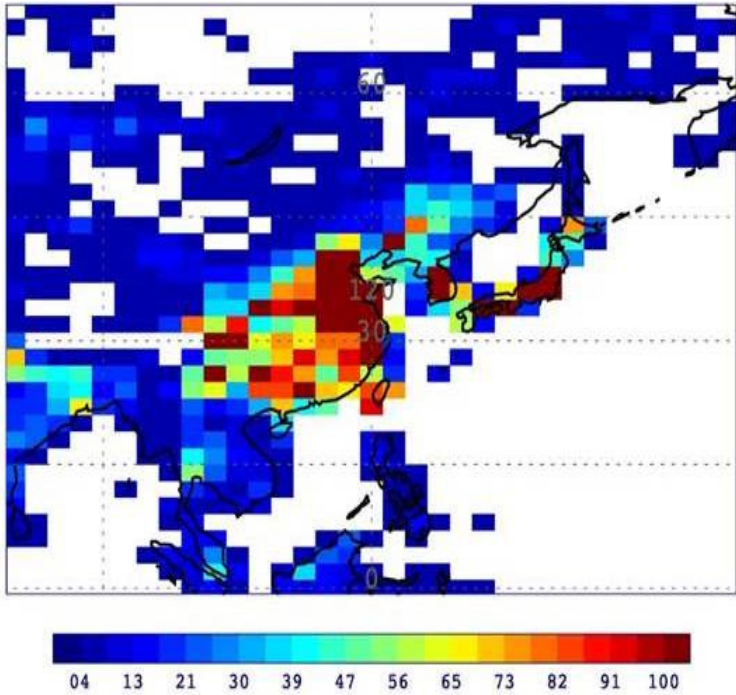
43) Le Quéré et al.(2014).

이러한 인위적 CO₂배출량의 증가로 인해 최근의 대기 중 이산화탄소 배출량의 증가는 연평균 약 2ppmv의 수준으로 증가하고 있어(심창섭 외, 2011), 이 추세가 지속된다면 2050년이 되기 전에 전 세계가 우려하는 이산화탄소 농도인 450ppmv에 도달할 가능성이 높다. 심창섭 외(2011)의 연구에 의하면, 2004년부터 2009년까지 인위적 배출에 의한 대기 중 이산화탄소 농도 증가에 대한 기여율의 동아시아 지역(21.5%)이 전 세계 평균(19.5%)보다 확연히 높음을 알 수 있다. 이는 중국 중심의 동아시아 국가의 가장 높은 이산화탄소 배출량과 밀접한 관계가 있음을 반증한다(그림 3-4).



자료: 심창섭 외 (2011).

〈그림 3-4〉 주요 배출/흡수원별 동아시아 지역(파란 부분)에서의 대기 중 이산화탄소 농도에 대한 누적 기여도와 전 세계 평균 기여도(빨간 부분)



자료: 저자 작성.

〈그림 3-5〉 이산화탄소정보센터(CDIAC) 자료를 기본으로 이산화탄소 관측 위성자료로부터 역추정한 동아시아 지역의 2009년 겨울철 평균 이산화탄소의 인위적 배출량(단위: 10^{12} molecules/m²/s)

〈그림 3-5〉는 2009년 겨울철의 동아시아의 이산화탄소 배출량 분포를 보여주고 있다. 그림의 공간 해상도는 약 200km 수준으로 도시 수준의 정밀한 분포를 보여주기에 한계가 있으나, 동아시아에서 중국 동부 및 남부와 서부 일부 지역(i.e., 쓰촨 성)에서 매우 높은 배출량 분포를 보이고 있으며, 우리나라와 일본 중남부 지역에서도 면적에 비해 높은 이산화탄소 배출 밀도를 보여주고 있음을 알 수 있다(그림 3-5). 이와 같이 기후변화 완화 이슈에서는 중국뿐 아니라 한국과 일본의 저감 또한 국제사회 차원의 책임으로 다가오고 있다. 특히 최근 배출량이 감소세로 돌아선 일본을 제외하고는 한국

과 중국은 여전히 높은 이산화탄소 배출 증가율을 보이고 있어, 최근 저탄소차 협력금 제도가 연기된 우리나라도 저감대책의 조속한 이행이 요구되고 있다.

2. 동아시아 주요 지역의 대기질 및 대기오염물질 배출량 변화

앞서 살펴본 바와 같이 동아시아 지역의 높은 에너지 사용에 의한 탄소 배출량과 전 세계에 차지하는 비중은 매우 크며, 그 증가 추세 또한 심각한 수준이다. 이러한 인위적 탄소배출 변화는 주요 탄소배출원인 에너지, 산업, 교통 등 다양한 분야에서의 대기오염물질 배출량과 밀접한 관계를 갖고 있다. 본 연구에서는 국제협력 이슈를 위한 동아시아 대기질 현황에 대해 간략하게 논의하도록 하겠다.

가. 중국

중국은 경진기, 창강 삼각주, 주강 삼각주 등 중국 동남부 대부분 지역과 내륙 일부 지역에서 매우 높은 대기오염물질을 배출하고 있다. 이는 비단 오존뿐만 아니라 심각한 건강 위해성을 갖고 있는 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도수준을 WHO 연 평균 기준치(37.5 μ g/m³)를 약 2 ~ 3배를 초과하는 심각한 농도를 보이고 있는 실정이다.⁴⁴⁾ 중국 정부도 5개년 단위의 국가규획에 의한 배출량 규제를 시작하여 최근 일부 오존 전구물질(NO_x 등)의 소폭 감소를 보이고 있으나, 이는 2008~09년의 일시적 세계 경제하락에 따른 생산량 감소에 따른 영향도 일부 포함하고 있어 그 실효성을 파악하기 위해서는 추가적 관찰이 필요하다.⁴⁵⁾ 오존 전구물질인 NO_x의 경우 중국은 한국, 일본에 비해 상대적으로 높은 발전 및 산업 부분 기여를 보이는데, 이는 석탄연료 중심의 산업구조와 밀접한 연관성을 보이고 있다.⁴⁶⁾

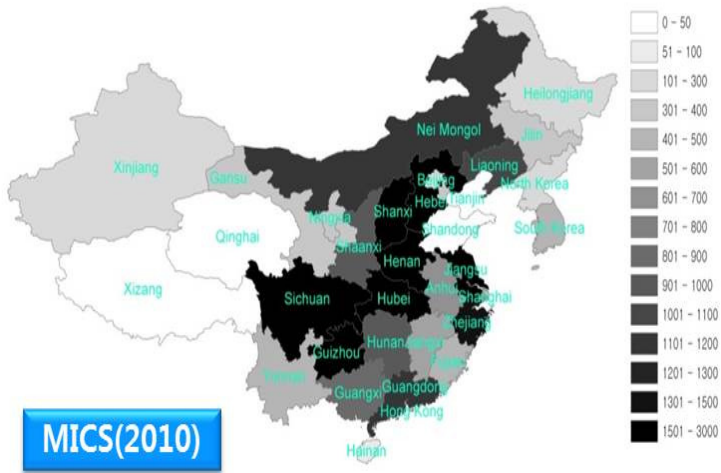
최근 대기질 평가를 위한 MICS-ASIA 프로젝트에서는 중국과 유럽의 IASA 기관간의 공동연구를 통해 동아시아 지역의 배출량을 정교하게 구축하고 있다.⁴⁷⁾ 이에 따라

44) Wang(2013).

45) 심창섭 외(2013).

46) Wang(2013).

구축된 2010년의 SO_x, NO_x, PM_{2.5}의 중국과 한국의 배출량 추이를 <그림 3-6>, <그림 3-7>, <그림 3-8>에 각각 나타내었다.

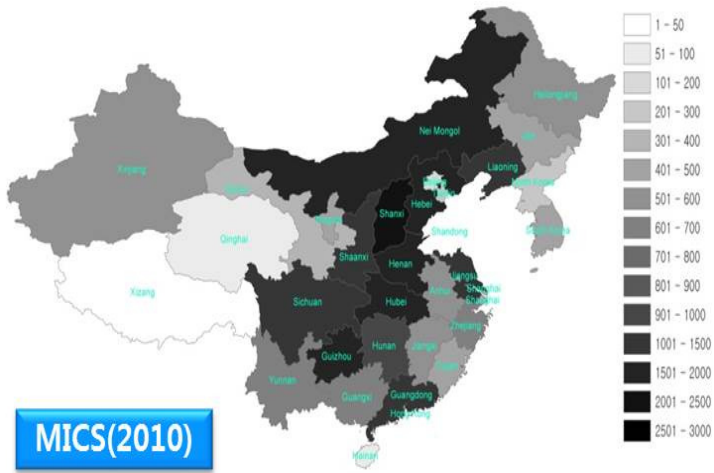


자료: MICS-ASIA III 자료로부터 재구성.

<그림 3-6> MICS-ASIA III 프로젝트로부터 추정된 2010년 한국 및 중국 각 성별 SO_x 배출량(단위: 천 톤)

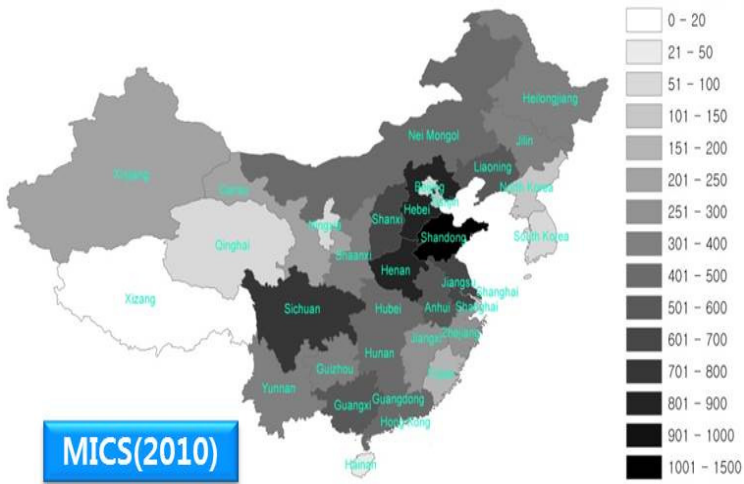
SO_x와 NO_x 모두 중국 내몽골 지역에서 높은 배출량을 보이고 있는 이유는 이 지역이 석탄원료 생산과 밀접한 관련이 있기 때문이다. 또한 북경 지역을 포함하는 허베이 성, 산시 성, 허난 성, 후베이 성에서 SO_x의 높은 배출량을 볼 수 있는데, 이것 또한 석탄중심의 에너지 사용과 산업 부분의 화석연료 연소 때문인 것으로 추정할 수 있다. NO_x도 정도의 차이는 존재하나 SO_x와 유사한 배출 패턴을 보이고 있는데, 이러한 높은 배출량에 의해 오존의 생성이 경우에 따라 증가할 가능성이 있다.

47) Wang et al.(2014).



자료: MICS-ASIA III 자료로부터 재구성.

〈그림 3-7〉 MICS-ASIA III 프로젝트로부터 추정된 2010년 한국 및 중국 각 성별 NO_x 배출량(단위: 천 톤)



자료: MICS-ASIA III 자료로부터 재구성.

〈그림 3-8〉 MICS-ASIA III 프로젝트로부터 추정된 2010년 한국 및 중국 각 성별 PM_{2.5} 배출량(단위: 천 톤)

오존 전구물질과는 조금 다르게 PM2.5는 허베이 성, 산둥 성, 허난 성의 중동부 지역과 서부 지역인 쓰촨 성에서 매우 높은 배출량을 기록하고 있다. 이와 같이 위해성이 매우 큰 초미세먼지의 배출량이 이 지역에서 높게 나타나는 이유는 허베이 성, 산둥 성, 허난 성의 높은 석유 및 석탄 채굴 및 에너지, 산업 연소와 밀접한 관계가 있는 것으로 추정된다. 석유 및 석탄 사용은 다른 에너지원에 비해 상대적으로 높은 (초)미세먼지를 발생시키는 요인이다. 이러한 상대적으로 높은 대기오염물질을 배출하는 석탄과 석유의 산업 의존도가 높은 지역의 대기오염물질 저감을 위한 새로운 정책과 기술개발이 시급하다고 할 수 있다. 쓰촨 성의 높은 초미세먼지 발생은 주로 석탄에너지를 활용하는 철강 등의 거대 중화학 공업단지에서의 배출 때문인 것으로 보인다. 이러한 고농도의 대기오염 배출원의 배출량 저감을 위해 동아시아 차원의 공동대응 노력이 시급하다 할 수 있다. 이런 배출지역의 대기오염 관리정책 지원과 대체에너지 및 에너지 효율 증대를 위한 동아시아 차원의 협력이 추진된다면, 이로 인한 편익은 배출원 지역뿐 아니라 한국, 일본 등 주변국에까지 미칠 수 있다.

나. 일본

일본은 이미 2000년 이후 오존의 주요 전구물질인 질산화물(NOx)의 감축에 성공하고 있으며,⁴⁸⁾ 최근은 온실가스의 감축에도 성과를 보여 CO₂배출량도 감소세에 접어들고 있는 상황이다.⁴⁹⁾ 일본은 이러한 자국의 노력이 성과를 거둬도 불구하고 오존 농도가 소폭이지만 지속적으로 증가하고 있으며, (초)미세먼지의 고농도 현상을 겪고 있는데, 이는 중국 등에서부터의 장거리 대기오염물질의 이동에 의한 것으로 파악되고 있다.⁵⁰⁾ 이에 따라 일본은 동아시아 국가 중 가장 적극적으로 동아시아 대기환경 협력을 추진해 왔다. 최근에 온실가스 배출 및 대기오염 문제가 점차 심각해지자 이러한 협력의 시급성은 점차 커지고 있으며, 동아시아 학계를 중심으로 동아시아 대기오염의 심각성과 원인

48) Ohara and Sakata(2003).

49) Le Quéré et al.(2014).

50) Nagashima et al.(2010).

에 대한 학술적 공동 리뷰를 통해 동아시아 대기오염의 과학적 사실에 대한 공감대를 형성하기 위한 Asian Science Panel in Air Quality(ASPAQ)를 제안하였으며,⁵¹⁾ 최근 일본 정부로부터 지원을 받기 시작하였다.⁵²⁾

다. 한국

우리나라는 2012년 기준으로 환경부의 대기환경 기준 항목(O₃, NO₂, O₃, CO, PM₁₀, Pb)을 측정한 결과, 전년 대비 대부분의 물질들은 비슷하거나 감소한 추세를 보였으며, 오존은 1 ppb, Pb(납)은 0.0024 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 로 약 5% 증가하였다.⁵³⁾ 대기오염 추세를 보면, SO₂는 1980년대부터 1990년대까지 농도가 크게 감소하였고, 2000년 이후에는 서서히 감소하거나 비슷한 추세를 보이고 있다.⁵⁴⁾ 오존 형성에 기여하는 NO₂의 농도는 1980년대부터 증감을 반복하며 연평균 25ppb 수준을 유지하고 있다. 정부의 청정연료 사용하는 그간의 정책에도 불구하고 수도권 중심으로 차량대수가 지속적으로 증가하였기 때문에 NO_x의 배출이 크게 감소하지 못한 것으로 여겨지고 있으나, 최근 들어 소폭 감소하는 추세를 보인다.⁵⁵⁾ 그러나 오존의 경우는 1980년대부터 정도의 차이는 있으나 꾸준히 증가하고 있다(그림 3-9). 이는 자동차 등의 증가에 따른 오존 전구물질의 증가와 함께, 중국 등에서 유입되는 오존 및 오존 전구물질의 장거리 이동과도 연관이 있을 것으로 사료되며,⁵⁶⁾ 이는 일본의 현상과 유사하다고 볼 수 있다. PM₁₀의 경우는 작업장 등의 배출원 관리 및 청정에너지 사용 추진 등으로 1990년대부터 꾸준히 감소추세를 보이고 있다⁵⁷⁾(그림 3-10). 그러나 PM₁₀ 역시 장거리 이동에 영향을 받고 있어 24시간 기준의 환경기준치(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 초과하는 측정소가 151개소에 달해 환경 기준 달성률이 40%를 밑돌고 있다.⁵⁸⁾ 이는 장거리 이동에 관련된 대책과 함께, 국내

51) Suzuki et al.(2013).

52) Elder(2014), 개인적 의견교환.

53) 환경부(2013).

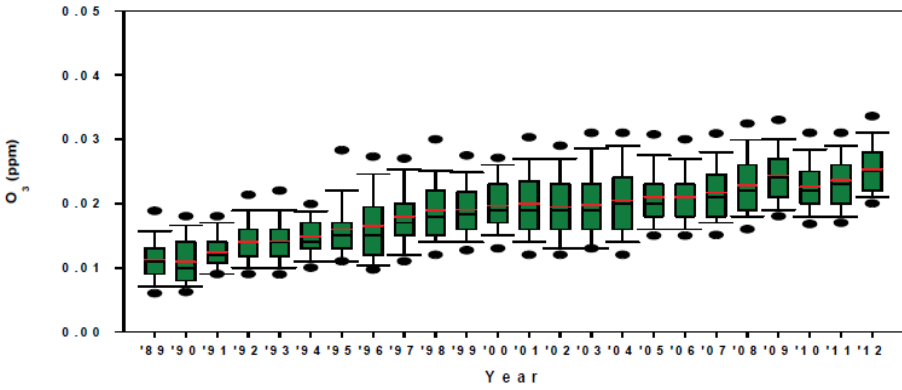
54) 환경부(2013).

55) 환경부(2013).

56) Nagashima et al.(2010).

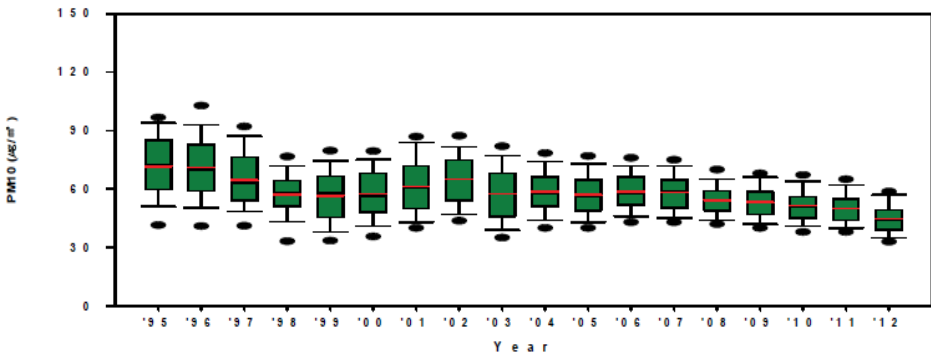
57) 환경부(2013).

산업 및 교통 부문에서 배출원 관리를 더욱 강화해야 하며, 2015년부터 관리대상인 PM_{2.5}의 대책을 함께 추진해야 하는 과제에 직면해 있다.



자료: 환경부(2013).

〈그림 3-9〉 전국 측정소의 오존 농도 분포와 연평균 변화 추이(단위: ppm)



자료: 환경부(2013).

〈그림 3-10〉 전국 측정소의 PM₁₀ 농도 분포와 연평균 변화 추이(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

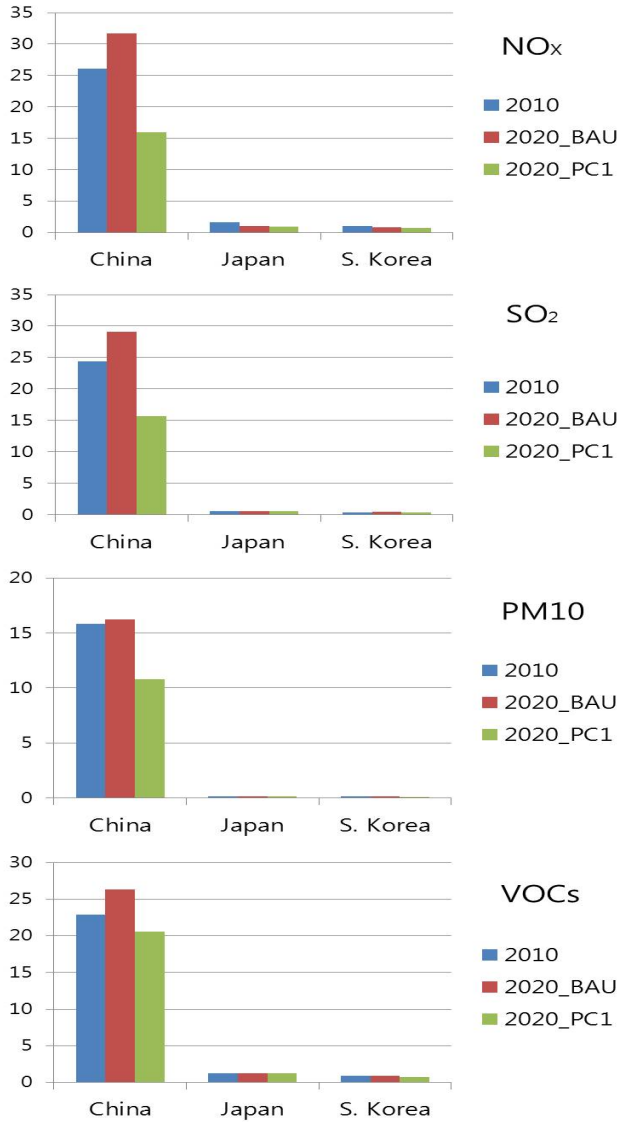
3. 동아시아의 주요 대기오염 배출량 현황 및 전망

현재의 동아시아의 대기오염 배출량의 정확한 추정치는 현재의 대기오염을 이해하고 관련 정책을 수립하기 위한 중요한 근거이다. 최근 중국과 IASA 등이 주도하는 다국적 프로젝트를 통해 2010년의 아시아의 대기오염 배출량을 산정하고, 현재 주요 국가들의 대기환경 정책과 미래의 혁신적인 저감 기술 및 정책이 가능할 것이라는 가정하에 미래 배출 시나리오를 작성하였다.⁵⁹⁾ Wang et al.(2014)의 연구에서는 2010년 각국의 현재 대기환경 정책과 방향, 그리고 관련 기술수준을 감안하여 향후 2030까지 2010년의 상황이 지속된다는 BAU(Business As Usual) 시나리오와, 새로운 개념의 더욱 강력한 저감 시나리오를 도입 및 이행하고 새로운 기술보급과 적용이 상당 수준으로 진행되었을 경우를 가정한 PC(Pollution Control) 시나리오 등을 가정하여 미래 배출량을 산정하였다. 본 연구에서는 Wang et al.(2014)의 결과 중 현재의 정책과 기술 등의 상황이 2020년까지 지속되는 경우(BAU)와 PC 중 상당한 수준의 이행이 이행되었을 경우(PC1)의 2020년 배출량을 현재(2010)의 배출량과 비교 분석하였다(그림 3-11).

NO_x의 경우 중국은 BAU의 경우 2010년에 비해 2020년에는 연 600만 톤 이상 크게 증가할 것으로 보인다. 이것은 석탄연료를 기반으로 한 산업 생산량이 증가하기 때문으로 판단된다. 그러나 PC 시나리오의 경우는 2010년에 비해 1,000만 톤 이상 크게 감소하는데, 이것은 향후에 중국의 산업 에너지원이 석탄이 아닌 다른 청정 및 대체 에너지로 전환되고 새로운 저감기술이 도입되는 것을 의미한다. 그러나 한국과 일본의 경우는 BAU, PC 시나리오 모두 2010년에 비해서 NO_x의 배출량이 감소할 것으로 전망되는데, 이것은 한국과 일본 모두 현재 NO_x를 지속적으로 감축하는 정책을 이미 이행 하고 있으며 저감기술을 보급하는 현실을 반영했기 때문이다.⁶⁰⁾

59) Wang et al.(2014).

60) Wang et al.(2014).



자료: Wang et al.(2014)에서 재구성.

〈그림 3-11〉 중국·일본·한국의 2010년 추정된 대기오염 배출량과 BAU 정책을 따른 경우 2020년 대기오염 배출 전망 및 새로운 저감정책과 기술개발을 이행하여 저감했을 경우(PC1) 2020년 대기오염 배출 전망(단위: 백만 톤/년)

SO₂도 NO_x와 비슷한 양상을 보이는데, 한국의 경우는 BAU 시나리오에서 현재보다 SO₂의 배출이 소폭 증가하는 것으로 전망된다. 그 이유 중 하나는 향후 발전용량 증 상당부분이 석탄화력에 의존하게 되는 것과 관련이 있다(심창섭 외, 2014). PM10의 경우 중국은 BAU 시나리오에서 2010년보다 소폭 증가에 그치고 있는데, 이는 현재의 중국이 PM10 저감을 위해 정책적인 노력을 기울이고 있음을 반증하는 것이다. 새로운 저감기술과 정책이 도입·적용된다면(PC1) 현재에 비해서 약 30%의 감축을 2020년께 달성할 수 있을 것으로 전망된다(그림 3-11). 한 가지 중요한 점은 북한의 (초)미세먼지의 배출량이 한국과 일본보다 많다는 것이다. 그 이유는 에너지 소비에 비해 저감시설이 미흡한 현 북한의 상황과 함께, 나무·땃감 등과 같은 생물연소(biofuel)와 석탄 등 저급 에너지원에 의존하기 때문인 것으로 추정된다. 따라서 북한과 접경하고 있는 우리나라는 (초)미세먼지 문제에 대응하기 위해 중국뿐 아니라 북한과의 대기질 개선을 위한 협력이 절실하다고 판단된다.

4. 최근 중국의 대기오염 저감을 위한 동향

중국 정부는 최근 GDP당 에너지 소비를 2015년까지 2010년 대비 16%까지 감소시킬 계획이다.⁶¹⁾ 또한 CO₂저감 목표를 설정하여 2005년 대비 2020년까지 GDP당 CO₂ 배출을 40~45%까지 감축하는 정책을 추진하고 있다.⁶²⁾ 중국 정부는 또한 2006년에 향후 GDP당 에너지 사용과 SO₂배출을 각각 20%와 10%로 감축하기로 하였으며, 2011년에는 추가로 에너지 사용과 NO_x 배출, 그리고 SO₂배출을 각각 16%, 10%, 8%로 감축하기로 목표를 정하였다.⁶³⁾ 이런 정책의 추진은 2005년부터 2010년 사이에 중국의 SO₂와 PM_{2.5}의 배출이 약 15%와 12%로 감소하는 성과로 나타났다.⁶⁴⁾ 현재 중국은 전례 없던 PM_{2.5} 등의 심각한 대기 오염 현상이 잦아짐에 따라 미국 EPA의 정책을

61) IEA(2012).

62) Wang and Hao(2012).

63) The State Council of the People's Republic of China(2006, 2011).

64) Wang et al.(2014).

벤치마킹 하려 하고 있다. 미국은 오바마 정부 이후 화석연료의 의존도를 지속적으로 낮추는 정책을 추진하고 있으며, 2014년에는 Clean Power Plan(CPP)를 공표, 향후 석탄 발전의 점진적인 퇴역과 당분간 천연가스 및 대체에너지를 중심으로 배출량을 향후 단계적으로 줄여나갈 정책을 마련하였다.⁶⁵⁾ 이에 따라 중국 또한 향후 현재의 높은 석탄 사용량을 대폭 줄이고 천연가스 및 원전 등의 의존도를 높여나갈 가능성이 있다.

향후 이러한 중국의 대기오염 저감을 위한 동향과 그 영향을 국내에서도 관측과 모델링을 통한 모니터링을 할 필요가 있으며, 추가적으로 중국의 경진기 지역 등 높은 (초)미세먼지 배출 지역에 대한 국제사회의 관심과 정책 및 기술적 지원을 병행해 나갈 필요가 있다. 또한 북한의 저급 에너지 사용과 저감기술 부재에 따른 높은 (초)미세먼지 및 유해물질 발생에 대한 동아시아 차원의 지원과 협력이 시급하다고 할 수 있다.

65) EPA(2014).

| 제4장 · 동아시아 지역의 생물다양성 영향과 전망 |

1. 서론

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC⁶⁶)에서는 1990년 이래 매 5~6년 간격으로 기후변화 평가보고서를 발간·공표하고 있다. 제38회 총회 및 실무그룹 II(WG2)⁶⁷ 제10차 회의(2014.3.25~29, 일본 요코하마)에서는 실무그룹 II (WG2)에 의하여 제5차 평가보고서(AR5)의 정책결정자를 위한 요약보고서(SPM)⁶⁸가 승인·공표되었고, 실무그룹 II(WG2) 보고서 전문도 승인이 되었다. 향후 보고서들은 「기후 변화에 관한 국제연합 기본 협약(The United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 UNFCCC)」을 비롯하여 지구온난화에 관한 국제적 활동에 대한 과학적 근거의 기본이 되는 중요한 자료로 활용될 것이다.

이전에 공개된 제5차 평가보고서(AR5) 실무그룹 I(WG I: 기후변화 과학적 근거) 보고서에서는 현재와 같은 온실가스가 지속적으로 방출되면 21세기 말에는 지구 온도가 최대 4.8도(2.6~4.8°C, 지구 평균기온 3.7°C), 해수면은 최대 82cm(45~82cm, 지구 평균해수면 63cm)가 상승할 것이라고 예측되었다. 5차 보고서부터는 인위적인 기후변화 요인과 열대우림 등 식생에 의한 토지이용 변화가 함께 분석되었고, 특히 지금까지의 보고서에서 사용되었던 ‘온실가스 배출량 시나리오(SRES, Special Report on

66) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change): 1988년 세계기상기구(WMO)와 국제연합 환경프로그램(UNEP)이 공동으로 기후변화 문제에 대처하고자 설립한 기구

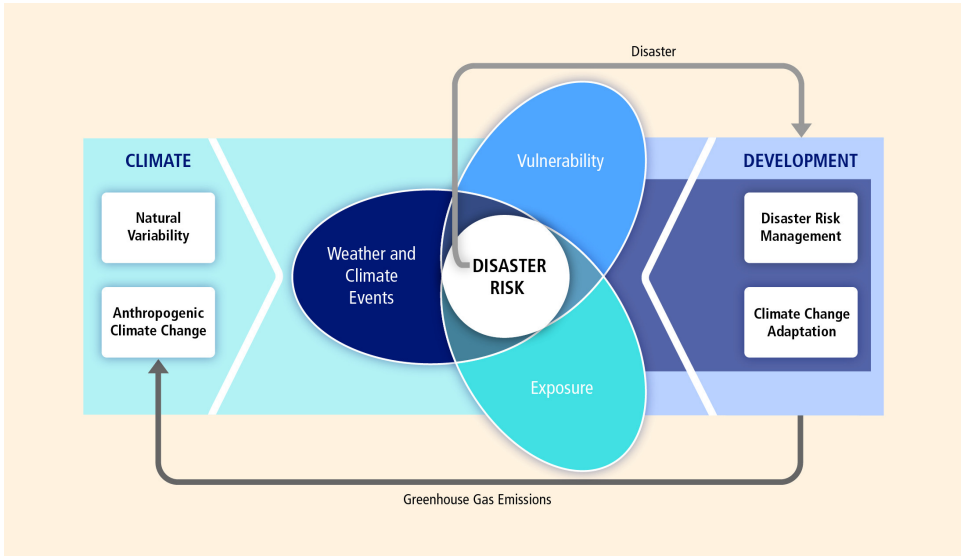
67) IPCC의 3개 실무그룹: WG-I(기후변화 과학적 근거), WG-II(기후변화 영향·적응 및 취약성), WG-III(기후변화 완화)

68) 제5차 평가보고서(AR5)는 3개 실무그룹(WG I, II, III) 보고서와 1개 종합평가보고서(Synthesis Report) 총 4개의 보고서로 구성되며, 각 실무그룹 보고서는 정책결정자를 위한 요약보고서(SPM, Summary for Policymakers)와 기술 요약보고서(TS, Technical Summary)를 포함한다. 또한 종합평가보고서 역시 정책결정자를 위한 요약보고서와 상세보고서로 구성된다.

Emission)’ 대신 ‘대표농도경로(RCP, Representative Concentration Path)’ 측정방식을 도입하여 예측 정확도를 높였다. 이 보고서에서 이산화탄소 농도는 2011년 391ppm으로 1950년 산업화 이후 인간활동에 의해 약 40%가 증가된 것으로 기술되었는데, 이것은 화석연료 사용 등의 인간활동이 대기온난화의 주요 원인이라는 것을 뒷받침하고 있다. 따라서 현재 지구온난화는 논란의 여지가 없을 정도로 명백하게 진행되고 있어, 이로 인한 자연재해를 유발시키는 요인인 지구 기온변화와 해수면의 상승이 더욱 심각화될 것으로 전망하고 있다(부록 1 참조).

실무그룹 II(WG2) 보고서에서는 과거의 보고서와 비교하여 관련되는 과학, 기술 그리고 사회경제 등을 포함한 광범위한 지식기반을 평가하고 있다. 예전보다 관련 문헌들에 대한 분석 평가가 이루어져 인간시스템, 적응, 해양 분야 등 확장된 분야에서 보다 광범위한 일련의 토픽과 분야에 관하여 포괄적 평가를 진행하였다. 본 보고서의 섹션 A는 관측된 영향, 취약성, 노출 및 현재까지의 대응의 특성을 평가하고 있으며, 섹션 B는 미래 리스크의 범위와 잠재적 편익을 조사하고, 섹션 C는 효과적 적응의 원칙과 함께 적응, 완화 및 지속가능 발전 간의 보다 광범위한 상호작용을 다루고 있다. Box SPM, 1은 중점 개념을 정의하고, Box SPM, 2는 주요 결과의 확실도를 나타내기 위한 용어를 소개하고 있다.

SPM Figure 1에서 WG II의 핵심을 개념도로 설명하고 있는데, 기후에 관련한 영향의 리스크는 인간과 자연 시스템의 취약성 및 기후에 관한 피해 등에 관한 상호작용의 결과를 표현하고 있다. 좌측의 기후 시스템과 적응 및 완화를 포함한 우측의 사회경제 프로세스 양쪽에서 일어나는 변화가 기후변화에 의한 피해, 취약성을 증가시키는 구동요인이 된다고 설명하고 있다.

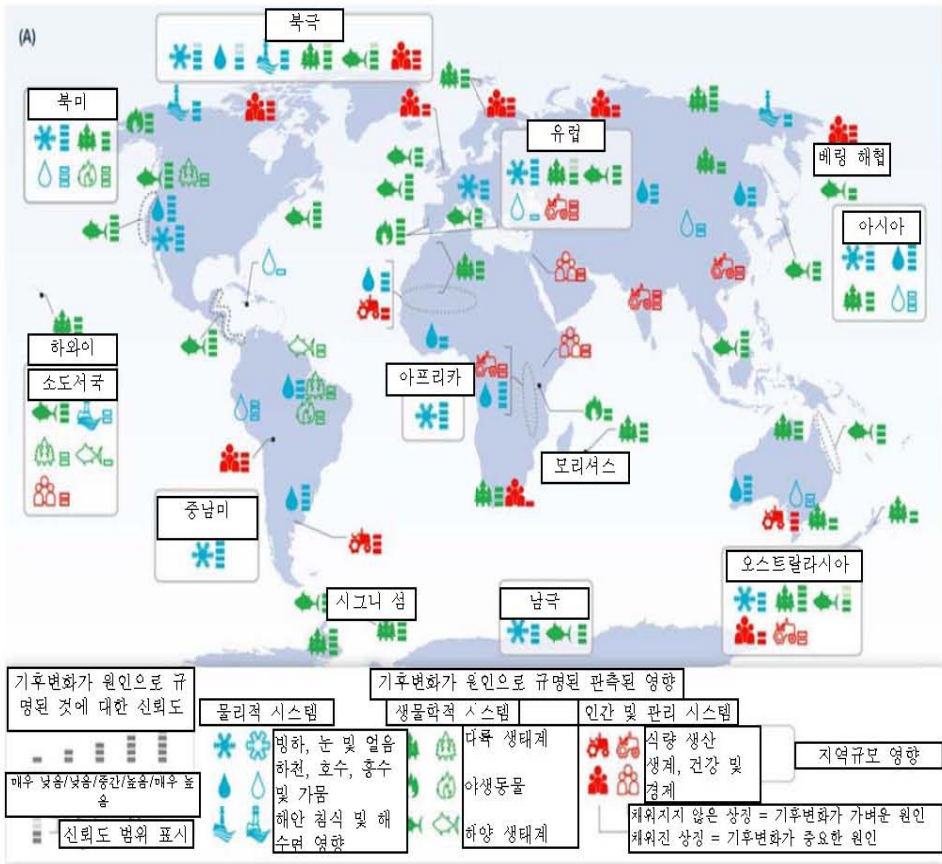


자료: IPCC 5차 보고서.

〈그림 4-1〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 1

2. 기후변화에 의한 세계적 자연환경 변화 경향

본 보고서에서는 기후변화의 관측된 영향은 광범위하고 필연적임을 강조하고 있다. 최근 기후의 변화는 모든 대륙과 대양에 걸쳐 자연과 인간시스템에 영향을 주었는데, 물론 인간시스템에 대한 영향도 일부 기후변화에 기인한 것이 있지만 기후변화 영향의 증거는 자연시스템의 경우 가장 강력하고 가장 포괄적이라고 설명하고 있다. Figure SPM. 2를 보면 기후변화의 관측된 영향과 지표에 대한 광범위한 경향이 도해되어 있다.



자료: IPCC(2014b), p.7.

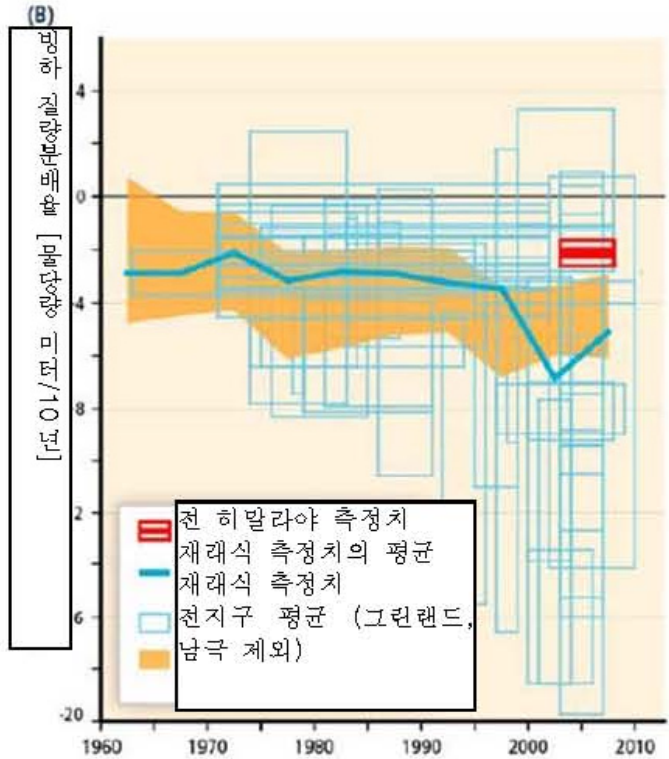
〈그림 4-2〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 2

(A) 최근 수년간 일어나고 있는 기후변화 영향에 의한 세계적 현상 : 지역, 소지역 및 지방 규모로 관측된 기후변화 영향의 전 지구적 형태. 기후변화가 원인으로 규명된 영향의 범주를 표시하는 상징에는 영향받은 시스템과 부문, 관측된 변화에 대한 기후변화의 상대적 기여도(중요한 또는 가벼운), 그리고 규명된 원인에 대한 신뢰도의 세 가지가 있다.

본 보고서에서는 지속되는 기후변화에 대응하여 육상과 해상의 생물종은 그들의 분포 범위, 계절별 활동, 이동형태 및 종의 개체수를 변화시켜 왔고, 생물종 간의 상호작용에도 변화를 보인다고 기술하고 있다(높은 신뢰도⁶⁹).

과거 수백만 년 동안 현재의 인위적 기후변화보다 훨씬 느리게 진행된 자연적 기후변화는 종의 생성과 멸종 등 상당한 생태계 변화를 가져왔다. 많은 지역에서 강수량 변화나 눈과 얼음의 용해는 물 자원과 수질에 영향을 미치며 수문학적 시스템을 변화시키고 있다(중간 신뢰도). 빙하는 많은 지역에서 기후변화 때문에 계속 줄어들고 있으며(높은 신뢰도), 기후변화는 고위도 지역과 고산지대에서 영구동토층의 온난화와 해동의 원인이 되었다.

69) IPCC AR5에서는 ‘가능성’에 대한 정의뿐 아니라 ‘신뢰도’에 대한 정의도 내리고 있다. 여기서 정의하고 있는 ‘신뢰도’는 모델, 해석 또는 제시된 여러 의견에 대하여 전문가의 판단에 근거하여 불확실성의 정도를 표현하고 있다. 예를 들어, ‘높은 신뢰도’는 전문가의 견해 일치도가 높으며 증거자료 또한 확실한 경우를 나타낸다(IPCC AR5 WG I TS BOX TS.1 Fig.1 참조). 본 자료에서도 AR5 보고서에서 표현하는 ‘신뢰도’에 대한 언급을 포함하여 설명하고자 한다.



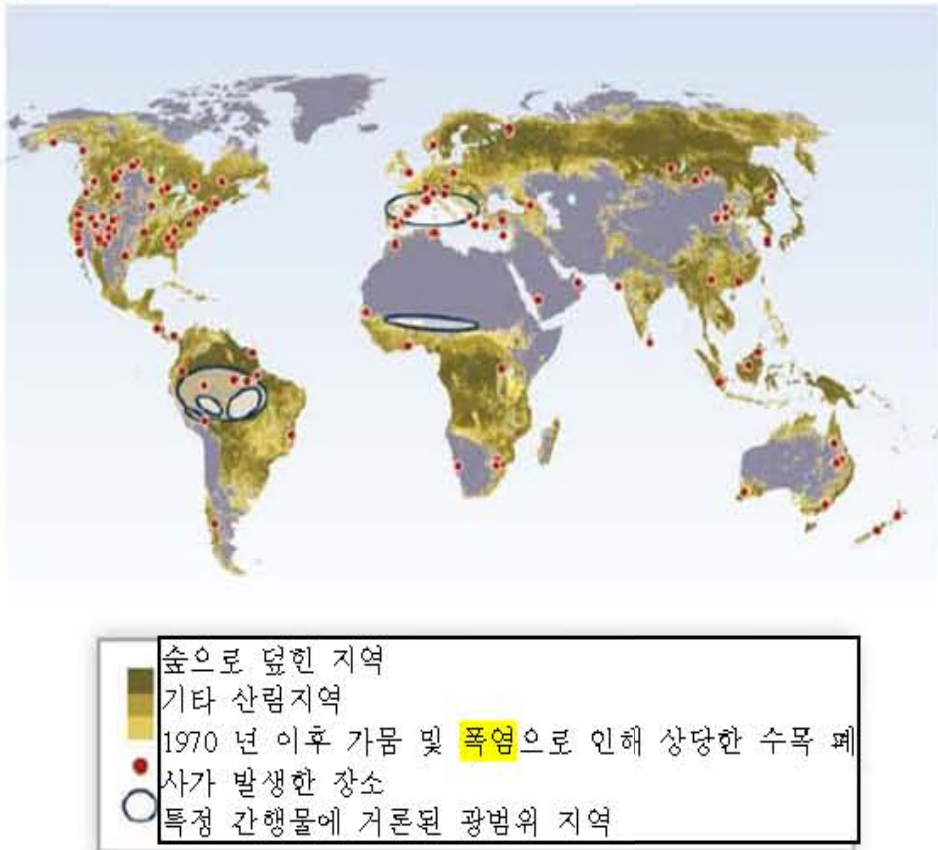
자료: IPCC(2014a).

〈그림 4-3〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 2

(B) 히말라야 빙하에 대하여 발행된 문헌 상의 모든 측정치로부터 얻은 빙하총량. 또한 WGI AR5 4.3에서 인용한 빙하총량의 전 지구 평균 예측치가 1 표준편차로 음영 부분으로 표시되어 있다. 각 히말라야 측정치를 표시하는 파란 상자는 높이가 1 표준편차 값을, 중앙이 평균값을 나타낸다. 히말라야 전체 측정치(빨간색)는 위성 레이저 고도측정기로 측정되었다.

또한 세계 여러 곳에서 관측된 수목 폐사율 증가는 일부 지역에서 기후변화가 원인으로 규명되었다. 최근의 온난화가 중미 양서류 다수 종들의 멸종 원인이었던 반면(중간 신뢰도), 최근 관측된 육상 종들의 멸종은 일부 추측에 근거한 노력에도 불구하고 기후변화의 영향이 아닌 것으로 규명되었다(높은 신뢰도).

(C)



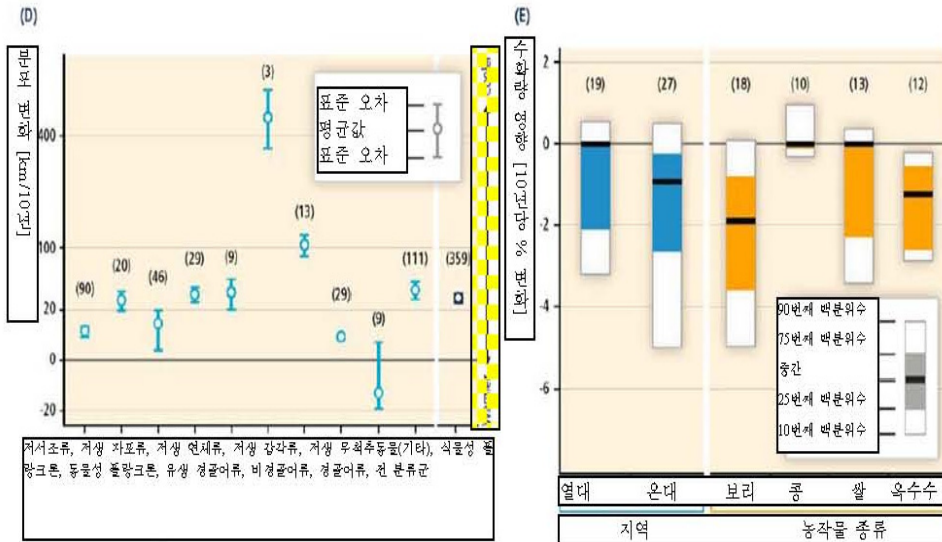
자료: IPCC(2014).

〈그림 4-4〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 2

(C) 1970 ~ 2011년 사이에 지구상에서 가뭄과 더위로 인하여 상당한 수목 폐사가 발생한 장소를 나타낸다.

농작물과 육상 식량 생산에 대한 기후변화의 영향은 긍정적 영향보다 부정적 영향이 더 두드러졌고, 이는 일부 고위도 지역에서 더욱 극명하게 나타난다고 주장하고 있다. 특히 중국에서의 농업생산량 변동 등에 대한 설명이 되었고, 최근 식량과 곡물 가격

급등은 주요 생산지의 현 시장이 기후 극한현상에 민감하다는 것을 나타낸다고 주장하고 있다.



자료: IPCC(2014b), p.7.

〈그림 4-5〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 2

(D) 1900 ~ 2010년에 걸친 관측에 기초한 해양 분류군 분포 변화의 평균속도 (km/10년). 플라스 값의 분포 변화는 온난화와 일치한다(이전에 더 한류였던 곳으로 일반적으로 극 방향으로 이동). 각 범주마다 분석된 자료의 수가 주어져 있다.

(E) 1960 ~ 2013년에 걸쳐 온대 및 열대 지방에서 네 가지 주요 농작물의 수확량에 미친 기후변화의 예상 영향이 각 범주마다 분석 지점의 수와 함께 요약되어 있다[IPCC AR5 WG2 SPM Fig. 3-3, 4-7, 7-2, 18-3, 및 MB-2 참조].

기후관련 위험은 직접적으로 농작물 생산량의 감소나 가정파괴와 같은 생계 위협을 통해 간접적으로 식품가격 인상과 식량 불안정으로 빈곤층의 삶에 영향을 미친다. 이러한 기후관련 위험은 흔히 생계에 대한 부정적 결과를 배가하는 위협으로 작용하여 빈곤층 인구에게 추가적 부담이 되며(높은 신뢰도), 비기후적 스트레스 요인과 다차원적 불평등으로 인해 취약성과 노출에 차이가 발생하고, 이는 다시 기후변화 리스크의 차이를 형성

하게 된다.⁷⁰⁾ 폭염, 가뭄, 홍수 및 산불과 같은 최근의 극한 기후현상으로부터 오는 영향은 일부 자연시스템과 다수의 인간시스템이 이러한 기후변동에 상당히 취약하고 또 심각하게 노출되어 있다는 것을 보여준다. 이러한 경험은 개도국과 선진국에서 일부 부문과 지역에서 적응역량이 상당히 부족한 것과 일치한다.

3. 육상 및 담수 생태계에서의 기후변화 영향

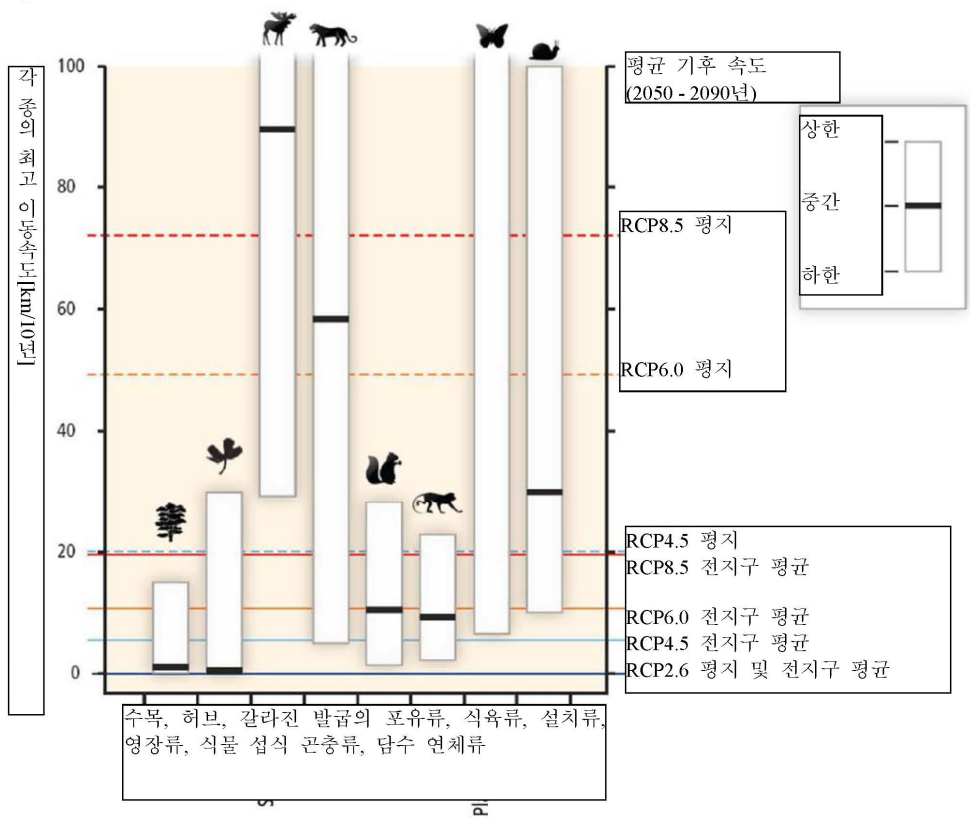
실무그룹 II(WG2) 보고서에서 더욱 강조되고 있는 부분은 대규모의 지구온난화 현상은 지구 전체 시스템에서든 지역적 레벨에서든 심각하고 만연된, 그리고 극복하기 힘든 영향이 발생할 가능성을 증가시킨다는 점이다. 산업시대 이전 수준 대비 4°C 이상의 지구온도 상승과 연관된 리스크에는 불균형적으로 거대한 지구시스템의 반응을 일으킬 한계점을 넘을 가능성뿐만 아니라 잠재적으로 거대한 생태계 영향 및 종의 멸종 리스크 증가가 있는 것으로 나타났으며, 전 세계 농업생산에 대한 잠재 악영향을 줄 가능성이 높다는 것이다(높은 신뢰도). 임계점에 도달하기 충분한 기후변화의 정확한 수준은 아직 불확실하지만, 온실가스 배출을 줄이면 지구시스템 또는 상호 연계된 인간과 자연시스템에서 임계점을 넘을 가능성은 감소할 것으로 나타났다.

21세기 및 이후 기후변화 전망을 볼 때, 육상 및 담수 생물종의 상당수가 멸종 위협에 직면해 있는 것으로 보고되었다. 특히 기후변화가 서식지 변경, 과잉 포획, 오염 및 침략종과 같은 다른 압박 요인과 상호작용할 때 더욱 리스크가 높은 것으로 나타났다(높은 신뢰도). 멸종 리스크는 전 RCP 시나리오 조건에서 증가하고 있고, 기후변화의 크기와 속도가 커질수록 따라서 증가한다. 중간에서 높은 범위의 기후변화 속도(RCP 4.5, 6.0 및 8.5를 의미)하에서 다수 종들이 21세기에 기후를 따라갈 수 있을 만큼 빠르게 이동할 수 없을 것이다(중간 신뢰도).

급세기 안에 RCP 4.5, 6.0 및 8.5와 연관된 기후변화의 크기와 속도는 육상과 담수 생태계의 구성, 구조 및 기능에 갑작스럽고 비가역적인 전 지역 규모의 변화를 일으킬

70) IPCC AR5 WG2 SPM Box SPM, 3 참조.

고위험을 제기할 것으로 예측되었다. 예를 들면, 북극의 보리알-툰드라 시스템과 아마존 열대우림에서의 현상이 두드러질 것으로 예상되었으며, 이는 다시 상당한 규모의 추가적 기후변화를 일으킬 것으로 예측되었다(중간 신뢰도). 육상 생물권에 저장된 탄소는 기후변화, 산림 황폐 및 생태계 저하의 결과로 대기 중으로 방출되기 쉽다(높은 신뢰도). 향후 10~30년 안에 많은 지역에서 수목의 폐사와 이와 연관된 수림의 잎마름병이 발생할 것이고(중간 신뢰도), 수림의 잎마름병은 탄소 저장, 생물다양성, 목재 생산, 수질, 생활 편의시설 및 경제활동에 리스크로 작용할 것으로 보고서는 평가하고 있다.



자료: IPCC(2014).

〈그림 4-6〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 5

인위적 개입이 없을 경우 기후의 온도 속도와 함께 나타낸 몇 가지 육상종 및 담수종 군집의 이동속도. 중간에 검은 바가 있는 흰 막대는 수목, 초목, 포유류, 조류, 식물 섭식 곤충류, 및 담수 연체류의 관측된 이동속도의 중간값과 범위를 나타낸다. 2050~2090년간의 RCP 2.6, 4.5, 6.0 및 8.5에서 가로선은 전 지구 토지면적 평균과 대평원 지대에 대한 기후속도를 가리킨다. 이동속도가 각 가로선 이하인 분류군은 인위적 개입이 없으면 기후 변화를 따라갈 수 없을 것으로 전망된다.

온실가스 배출이 증가함에 따라 기후변화의 담수 생태계 관련 리스크는 상당히 증가할 것으로 예측되었다(강력한 증거, 높은 동의 수준). 21세기 말까지 하천 홍수에 매년 노출될 인구의 수가 RCP 2.6 시나리오 경우보다 RCP 8.5의 경우 3배 정도 많을 전망이

다. 현재 건조지역에서 금세기 말까지 RCP 8.5 조건에서 가뭄 빈도수는 증가할 가능성이 높을 것이다(중간 신뢰도).

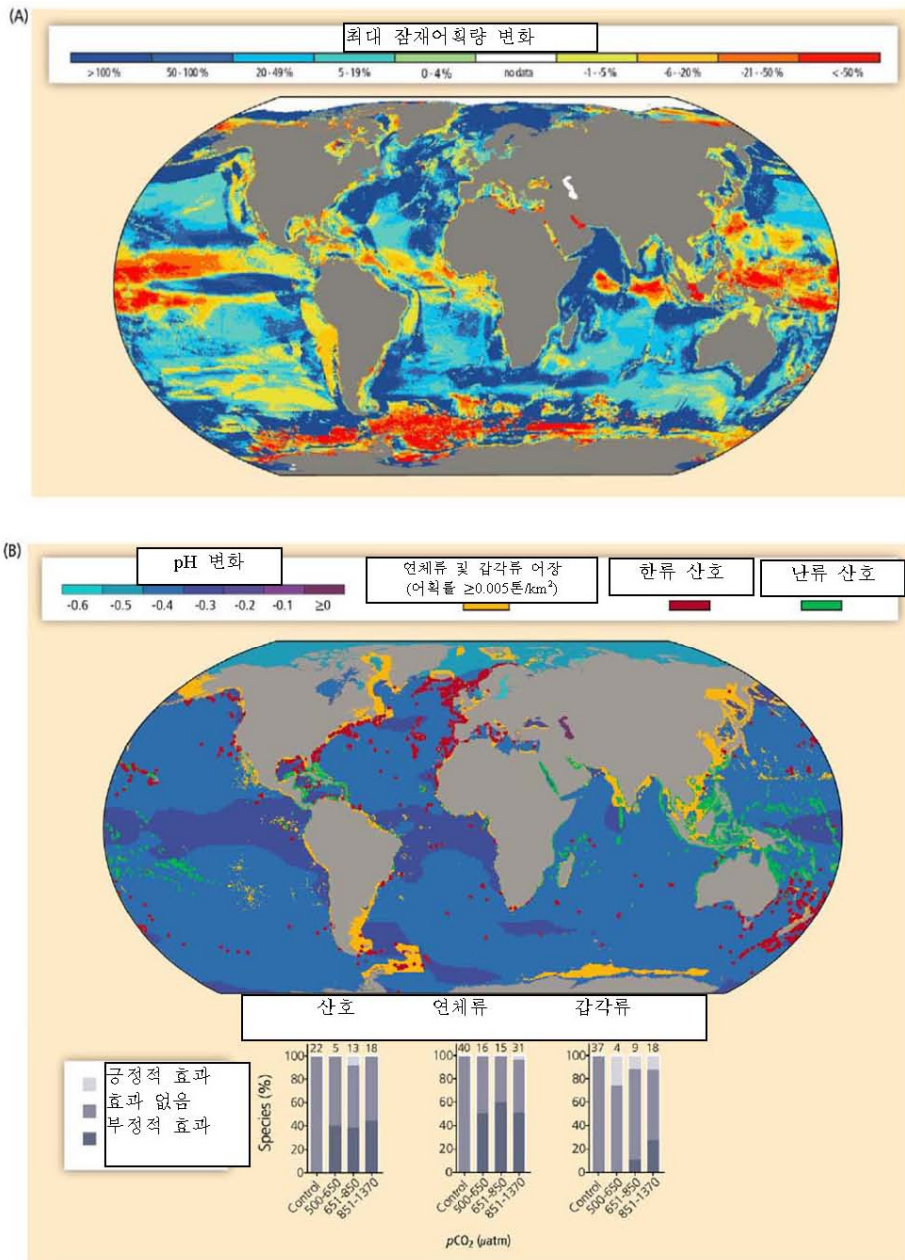
기후변화는 대부분의 건조 아열대 지역에서 재생 가능한 지표수와 지하수 자원을 상당히 고갈시켜 담수 수변지역의 생태계 변화를 초래할 뿐만 아니라, 수원을 고갈시켜 지역 간 물 경쟁을 악화시키게 될 것이다(강력한 증거, 높은 동의 수준). 반면에 고위도 지역에서 수자원은 증가할 것이다. 기후변화는 원수(原水)의 질을 저하시키고 식수의 질에도 위험을 줄 것으로 전망되는데, 이는 다음과 같은 요인들의 상호작용 때문이다. 즉 온도의 상승, 폭우로 인한 침전물, 영양소 및 오염물질 함유량의 증가, 가뭄 기간 동안의 오염물질 희석 감소 및 홍수기간 동안의 처리시설 파손이 그 요인이다(중간 증거, 높은 동의 수준). 시나리오 계획, 학습기반 접근법 및 유연한 저유감 해법 등의 적응형 물 관리가 기후변화로 인한 불확실성에 대처하는 방법이 될 수 있다(제한된 증거, 높은 동의 수준).

4. 연안 시스템, 저지대 및 해양 시스템에서의 기후변화 영향

21세기와 그 이후 걸쳐 발생할 해수면 상승으로 인해 연안 시스템 및 저지대는 침수, 연안 홍수 및 연안 부식과 같은 악영향을 점점 더 심하게 겪을 것이다(매우 높은 신뢰도). 연안 생태계에 대한 인간의 억압뿐만 아니라 연안 리스크에 노출된 인구와 자산은 인구증가, 경제발전 및 도시화로 인해 앞으로 다가올 수십 년 안에 상당히 증가할 것이다. 2100년까지 기후변화와 개발형태 그리고 적응행동의 부재로 인해 수억 명의 인구가 연안 홍수로 피해를 입고 토지유실로 이주하게 될 것이고(높은 신뢰도), 이에 대한 영향을 받는 지역과 인구는 동아시아, 동남아시아 및 남아시아일 가능성이 매우 높다. 21세기 동안 상대적 적응 비용은 지역 간과 국가 간, 그리고 동일 지역과 국가 내에서도 판이하게 차이가 날 것으로 판단되는데(높은 신뢰도), 일부 저지대 개도국과 군소 도서국은 매우 심각한 영향에 직면하게 되고, 이와 관련하여 피해와 적응 비용으로 증가할 것으로 예상된다.

기후변화는 남획 문제와 다른 비기후성 스트레스 요인의 위협에 또 다른 위협을 추가

하며 해양 생태계를 변화시킬 것이다(높은 신뢰도). 21세기 중간까지 해양종의 공간적 이동은 중·고위도 지역에서는 종의 수가 증가하고(높은 신뢰도), 열대 위도 지역에서는 감소하는(중간 신뢰도) 결과를 가져올 것이다. 이는 다시 어류와 무척추동물의 포획 잠재량에 대한 전 지구적 재편을 초래하고 식량안보에 새로운 시사점을 던지게 될 것이다(중간 신뢰도). Figure SPM 6A를 참고하면, 해양동물은 열대 지역과 반폐쇄성 해역에서 고위도로 이동하고 동 지역에서 멸종률이 높아질 전망으로 나타났다. RCP 8.5하에서 2100년까지 외양(外洋)의 일차 순생산량은 재분포되고 전 지구적으로 감소할 전망이다.



자료: IPCC(2014).

〈그림 4-7〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 6

수산업에 대한 기후변화 리스크.

(A) 2001~10년과 2051~60년의 10년 평균을 비교한 주요 포획 어류 및 무척추동물 1,000종에 대한 최대 잠재어획량의 전 지구적 재분포 전망(SRES A1B(RCP 6.0) 사용, 산업화 이전 대비 2° C 상승 기준, 남획의 잠재적 영향 분석 배제).

(B) RCP 8.5하에서 2100년의 해양 산성화 분포를 나타낸 세계지도상에 표시한 해양 연체류 및 갑각류 어장(예상 어획률 0.005톤/km²)과 난류 및 한류 산호의 알려진 서식지 [WGI AR5 Figure SPM. 8]. 아래 그래프는 사회경제적 연관성(예를 들면, 연안 보호와 어업)을 갖는 취약 동물족인 산호, 연체류 및 갑각류의 해양 산성화에 대한 민감성을 비교한다. 연구에 사용된 종의 수는 상승 CO₂ 의 각 범주 상단에 표시되어 있다. 각 pCO₂ 범주에 해당하는 RCP 시나리는 다음과 같다: RCP 4.5는 500~650 μ atm, RCP 6.0은 651~850 μ atm, 그리고 RCP 8.5는 851~1370 μ atm[6.1, 6.3, 30.5, Figure 6-10과 6-14; WGI AR5 Box SPM. 1].

해양 산성화는 개별 종의 생리현상, 행동양식 및 개체군 동태에 미치는 영향과 결합하여 생태계, 특히 극지 생태계와 산호초에 위협이 되고 있다(중간에서 높은 신뢰도). 매우 석회화된 연체동물, 극피동물 및 암초를 이루는 산호는 갑각류보다 민감하고(높은 신뢰도) 어류보다도 민감하다(낮은 신뢰도). 이는 어업과 생계에 잠재적 위협이 된다. Figure SPM. 6B를 참조하라. 해양 산성화는 때론 전 지구적으로(예: 온난화, 산소농도 저하), 때론 지역적으로(예: 오염, 부영양화) 다른 환경변화와 결합하여 발생한다(높은 신뢰도). 온난화와 해양 산성화 같이 환경 유발요인이 동시에 발생하면 종에 상호작용적이고 복잡하고 또 증폭된 영향을 미치게 된다.

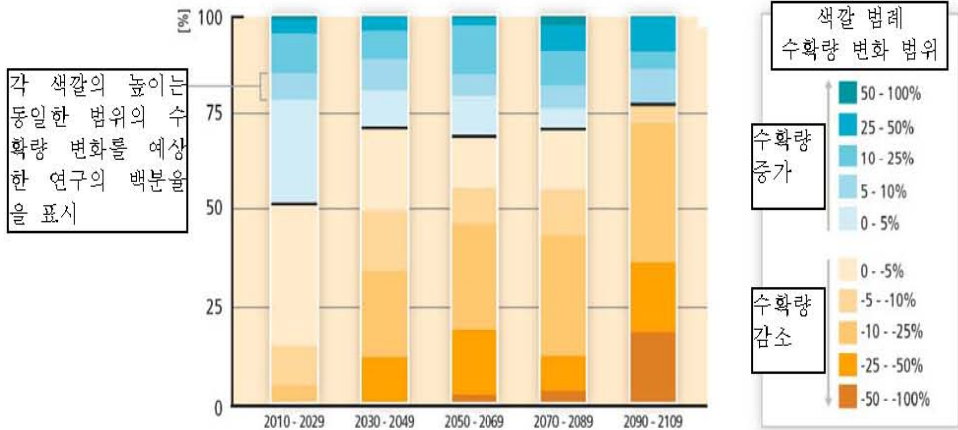
5. 식량 시스템과 생태계 서비스에서의 기후변화 영향

적응행동 없이 산업화 이전 수준보다 1°C 지역온도가 오르면 열대 및 온대 지역에서 주요 농작물(보리, 쌀 및 옥수수)의 수확량이 부정적인 영향을 받을 것으로 전망되지만, 혜택을 보는 개별 지역은 있을 수 있다(중간 신뢰도). 적응행동의 유무와 상관없이 기후변화는 21세기의 남은 기간 동안 기후변화가 전혀 없는 경우를 기준으로 하여 매 10년마다 0~2%씩 수확량의 중간값을 저하시킬 것이다. 이와 같이 전망된 영향은 2050년까지

매 10년마다 약 14%씩 농작물의 수요 상승 전망 하에서 발생할 것이다. Figure SPM. 7을 보면, 21세기의 농작물 수확량 변화 전망치가 요약되어 있다. 전망된 영향이 적응 역량을 초과하고 온대지역과 비교하여 빈곤율이 더 높다는 가정하에 열대지역 국가에서 리스크가 가장 높다. 기후변화는 많은 지역에서 농작물 수확량의 연간 사이 변동성을 점진적으로 증가시킬 것으로 예상된다.

평균적으로 적응은 현 수확량의 15~18%에 해당하는 양만큼 수확량을 증가시킨다. 그러나 적응의 효과는 매우 가변적이다(중간 신뢰도). 지역온도 상승이 산업화 이전 수준 대비 약 2°C인 가정하에 전망된 긍정적이고 부정적인 수확량 영향은 농작물 생산에 대해 적응이 효과적일 수 있다는 가능성을 유지하게 한다(높은 신뢰도). 지역 온난화가 약 4°C를 넘게 되면 많은 지역에서 농작물 생산과 인구 증가로 유발된 수요 간의 차이가 계속 벌어져 적응행동이 있더라도 식량안보에 심각한 위험을 초래하게 될 것이다.

Figure SPM. 7.



자료: IPCC(2014).

〈그림 4-8〉 IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM. 7

전 지역의 연구를 통해 얻은 적응 노력이 있을 경우와 없을 경우에 시간의 함수로 나타낸 농작물 수확량 변화 전망의 요약. 연구 결과(n=1090)는 각 미래 전망 기간을 표시하는 X 축상의 20년 기간 막대에 중심점과 함께 구분되어 있다.

농촌지역의 주요 미래 영향은 가까운 미래와 그 이후까지 물 공급, 식량안보 및 농촌소득에 대한 영향으로 느껴질 것이다. 여기에는 세계 도처에서 발생할 식량 및 비식량 농작물 생산에 대한 대변화도 포함되어 있다(높은 신뢰도). 기후충격과 기타 다른 요인들에 의해 유발된 가격 상승은, 여성가장 가구와 최신 농업기술, 인프라 및 교육에 접근이 제한된 이들과 같은 농촌지역 빈곤층의 복지에 과도한 영향을 미칠 것으로 예측되었다(중간 신뢰도). 특히 아시아 지역에서의 농업생산 리스크의 경우 홍수 등에 의한 경작지 침수피해 등의 증가로 인한 식량생산량 및 피해 지역의 지속적인 생태계 서비스 저감 효과를 유발할 수 있다고 논거하고 있다.

6. 취약성과 적응대책

IPCC AR5 WG2 SPM Figure SPM, 5:를 참고하면 기후변화에 대한 관리 행동은 생태계에 대한 리스크를 완전히 제거하지는 못하지만 줄일 수는 있고, 생태계의 적응력을 높일 수 있다. 예를 들면, 다른 스트레스 요인과 서식지 파편화의 방지, 유전적 다양성의 보존, 서식지 이동에 대한 지원, 및 방해 개체군의 처리를 통해서 가능하다. 폭염, 가뭄, 홍수 및 산불과 같은 최근의 극한 기후현상으로부터 오는 영향은 다수의 자연시스템과 인간시스템이 이러한 기후변동에 상당히 취약하고 또 심각하게 노출되어 있다는 것을 보여준다. 이러한 경험은 개도국과 선진국에서 일부 부문과 지역에서 적응역량이 상당히 부족한 것과 일치한다. 또한 상호연계된 인간과 자연시스템의 미래 취약성 및 노출을 이해하는 것은 지금까지 전혀 고려된 적이 없는 사회경제적으로 관련된 인자의 수가 많아 힘든 일이다. 이러한 인자에는 부와 사회 전반에 걸친 부의 분배, 고령화의 형태, 기술과 정보로의 접근, 노동 인구의 참여, 적응 반응의 질, 사회적 가치 및 갈등 해결을 위한 체제와 제도가 있다. 지역을 뛰어넘는 현상들도 또한 지역적 규모의 기후변화 영향을 이해하는 데 중요한 요소이다. 이러한 비기후적 스트레스 요인과 다차원적 불평등으로 인해 취약성과 노출에는 차이가 발생하고, 이는 다시 기후변화 리스크의 차이를 형성한다⁷¹⁾(매우 높은 신뢰도).

기후 관련 위험은 흔히 생물다양성 및 생태계 서비스에 대한 부정적 결과를 배가하는 위협으로 작용하여 이와 연관된 인간생활에 추가적 부담을 줄 수 있다(높은 신뢰도). 기후 관련 위험은 직접적으로 임업농작물, 수분매개 곤충에 영향을 받는 농작물 등의 생산량 감소나 경작지 파괴와 같은 생태계 위협을 통해, 간접적으로 식량불안정, 곡물가격 인상 등으로 빈곤층의 삶에 영향을 미칠 것이다.

전 지구 평균온도가 산업화 이전 수준 대비 2.5°C 상승하면 전 지구 경제 총 손실은 소득의 0.2%에서 2.0%에 달하게 될지도 모른다(중간 증거, 중간 동의 수준). 온난화가 진행되면 다양한 분야에서 손실은 늘어나겠지만, 3°C 이상일 경우의 경제 총 영향에

71) IPCC AR5 WG2 SPM Box SPM, 3 참조.

대해서는 밝혀진 것이 거의 없다. 이는 생물다양성 및 생태계 다양성에 대해서도 마찬가지이기 하다. 하지만 영향에 대한 추정치는 항상 불완전하며 논란의 여지가 많은 다수의 가정에 좌우될 수밖에 없다. 이러한 부분을 보다 정확히 하기 위한 과학적 근거자료를 확보하기 위한 장기적이며 지속적인 리스크 관리 및 평가가 필요하며, 이를 유지하기 위한 통합적인 국가 차원의 관리정책 마련이 필요하다. 또한 총 모든 영향 속에는 국가 간 그리고 동일 국가 내 많은 차이가 숨겨져 있다. 국가 내의 지역적 적응대책 마련도 필요하지만, 국가 간의 적응정책 교류 및 국가협력을 통한 아시아 지역의 협력 또한 필요하다.

대부분의 경제부문에서 인구변화, 연령구조, 소득, 기술, 상대적 가격, 생활양식, 규제 및 지배구조와 같은 유발요인에 의한 영향이 기후변화에 의한 영향보다 상대적으로 클 것이다(중간 증거, 높은 동의 수준). 기후변화는 가정 및 상업 부문에서 난방용 에너지 수요를 줄이고 냉방용 에너지 수요를 늘릴 것이다(강력한 증거, 높은 동의 수준). 기후변화는 관련 요인인 자원(유수량, 바람, 일사량), 기술공정(냉방) 또는 장소(연안 지역, 범람원)에 따라 에너지원과 기술에 미치는 영향이 다를 것이다. 일부 지역에서 점점 빈번해지고 또는 빈번하거나 강력해지는 기상재난과 또는 위협은 여러 지역에서 손실 및 손실 변동성을 증가시킬 것이고, 보험업계로 하여금, 특히 중저소득 국가에서 리스크 기반 자본을 늘리는 동시에 감당할 수 있는 배상범위를 제시하도록 강요할 것이다. 대규모 민관합동 리스크 방지계획 및 리스크의 다변화가 불가능한 부분을 맡아줄 정부 보험이 적응체제의 모범사례가 될 것이다.

7. 아시아 지역에서의 기후변화 영향과 전망

실무그룹 II(WG2) 보고서에서 아시아 지역의 기후변화로 인한 대표적 영향 사례를 살펴보면 다음과 같다.⁷²⁾

- 해양생태계: 북태평양 서부에서 어업에 의한 변동을 넘어선 정어리에서 멸치로의 이동
- 육상생태계: 아시아의 많은 지역에서의 식물 계절 및 성장변화 현상
- 하천, 호수, 홍수, 가뭄: 히말라야 중앙아시아의 빙하 축소에 의한 4개 하천의 유량 증가
- 빙하, 눈, 얼음: 시베리아, 중앙아시아, 티베트 고원 등 영구동토의 규모 축소
- 식량생산: 중국에서 밀과 옥수수 총 생산량의 기술 개량에 의한 수확량 증가 이상, 부정적인 영향 등이 보고되었다.

폭염, 가뭄, 홍수, 태풍, 산불 등의 기후요인에 관련하는 극단적 현상의 영향에 의하여 생태계 및 인간활동 시스템(생태계 서비스를 포함한)에 중대한 취약성과 노출에 대한 증거가 다수 나타나고 있다. 아시아에서의 지역적 기온변화 및 강수변화는 수인성 전염병과 매개동물의 분포변화 등과의 연관성으로 나타났으며, 기온상승은 폭염에 의한 생물계절 변화, 산림구조의 빈약성 증가, 이동성 동물에 대한 분포변화 감지 등이 보고되고 있다. 특히 기온 및 강우의 국지적 변화는 수인성 또는 야생생물 매개질병의 분포 변화를 야기시키고 있는 것으로 나타났다.

72) IPCC AR5 WG2 SPM Table SPM,A1 참조.

〈표 4-1〉 IPCC AR5 WG2 SPM에서 언급하는 아시아 지역의 주요 리스크

주요 리스크	적응의 과제와 전망	기후적 요인
아시아에서의 인프라, 생활, 거주지에 대한 광범위한 피해에 관련하는 하천, 해안, 도시의 홍수 증가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 구조적·비구조적 대책, 효과적인 토지이용 계획, 선택적 이주 등을 통한 리스크 감소 ■ 라이프라인 인프라 서비스(예: 물, 에너지, 폐기물관리, 식량, 바이오매스, 모빌리티, 지역적 생태계, 정보통신 등)의 취약성 저감 ■ 모니터링과 조기경보시스템 구축, 리스트 지역의 예측 및 관리, 취약지역의 지원을 통한 생활 다양화를 위한 경제활동 다양화 	극단적 강우 극단적 태풍 해수면 상승
열사병 등과 관련한 사망에의 리스크 증가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 폭염 등에 관한 건강관리 시스템 구축 ■ 도시열섬 현상을 저감하기 위한 건축환경 개선과 지속가능한 도시개발을 위한 도시계획 ■ 야외업무 종사자의 열 스트레스 저감을 위한 새로운 취업형태 개발 	온난화 경향 극단적 기온 가뭄 경향
영양실조를 유발하는 물부족, 식량부족, 생태계서비스 저하 등과 관련하는 가뭄 리스크 증가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 조기경보 시스템 및 지역 대응전략을 포함한 방재시스템 구축 ■ 적응적 통합 물자원 관리 ■ 수자원 인프라 개발 ■ 수자원의 재이용을 포함한 수원의 다양화 ■ 물의 효율적 이용(농작업 개선, 호소관리, 리질리언스한 농업 실행) 	극단적 기온

기후변화의 속도와 규모가 증가할수록 기후변화와 생물물리학적 및 사회경제학적 제약 사이의 상호작용으로 인해 발생하는 적응의 한계를 초과할 가능성이 증가한다(높은 신뢰도). 이러한 점은 생물다양성 및 생태계 서비스에 대한 의존도가 높고 농업생산에 기반을 두고 있는 많은 아시아 국가 및 다수의 섬을 소유하고 있는 동남아시아 지역의 국가 등에서 특히 두드러질 것이다. 이러한 점을 고려하여 국가 내의 적응정책 마련도 중요하지만, 기후변화에 의한 리스크 비율이 놓고 현저할 것으로 판단되는 동아시아 국가 간의 기후변화 적응정책 마련 등에 대한 국가 간 협력을 강화하지 않는다면 아시아 지역에서의 적응과 완화의 긍정적 시너지 효과를 이용할 기회는 시간이 감에 따라 줄어들 수도 모른다. 이는 특히 기후변화가 적응의 한계를 초과할 때 그러하다. 세계 일부 지역

에서 현재 발생하는 영향에 대한 대응 실패가 이미 지속가능 발전을 위한 기반을 잠식하고 있다.

완화와 적응 사이에, 그리고 적응의 서로 다른 대안 사이에 중요한 공동편익, 시너지 효과 및 트레이드오프가 존재하며, 상호작용은 지역 내와 지역 간 양쪽 모두에서 일어난다. 기후변화에 대한 완화와 적응 노력이 증가하고 있다는 사실은 상호작용의 복잡성이 커지고 있다는 것을 시사하며, 이는 특히 물, 에너지, 토지이용 및 생물다양성과의 접점에서 그러하다. 하지만 이러한 상호작용을 이해하고 관리할 도구는 아직 제한적이다. 예를 들면, 완화에 이용되는 바이오매스 에너지는 기후관련 리스크를 줄이는 데 기여하지만, 바이오에너지 농작물 경작의 증가는 생태계 및 생물다양성에 또 다른 리스크를 제기하게 된다. 적응에 공동편익을 주는 완화행동의 모범사례에는 ① 건강에 피해를 주고 기후를 변화시키는 대기오염물질의 지역 배출의 감축으로 연결되는 에너지효율 향상과 청정 에너지원, ② 도시 녹색화와 물의 재사용을 통한 도시 지역에서의 에너지와 물 소비 절약 등이 있다.

무엇보다 아시아 지역에서의 인식체계와 목표의 전환으로부터 오는 정치·경제 및 기술적 시스템의 변환이 시급하며, 이는 기후변화에 대한 효과적 적응과 완화를 효율적으로 가능케 하고 지속가능 발전을 촉진할 수 있다. 변환적 적응은 이행기간이나 준비기간이 긴 정책과 관련된 의사결정 시 중요한 고려사항이 되며, 적응 한계를 극복할 대안이 될 수 있다. 이에 더 거대한 규모나 크기의 적응, 신규 기술이나 모범사례의 도입, 새로운 지배구조나 시스템의 구성, 또는 적응활동 장소의 변화가 포함된다. 지속가능 사회로의 계획적 전환과는 반대로 강제적이고 수동적인 변환으로부터 오는 리스크에 대한 사회적 논의를 통해 미래에 상충하는 목표와 비전을 화합시킬 수 있는 지배구조에 대한 새로운 요구가 늘어날 수도 있다.

| 제5장 · 동아시아 기후대기, 생물다양성 분야의 정책 및 협력 이슈 |

1. 동아시아의 주요 환경협력 현황

본 절에서는 현재 기후대기 및 생물 다양성과 관련된 분야의 정책 및 협력에 대해 개략적인 소개를 하고, 중요한 국제협력 이슈에 대해 정리하고자 한다.

가. EANET

EANET(Acid Deposition Monitoring Network in East Asia)은 동아시아 지역의 산성 강하물에 대한 조사 및 연구와 국가 간 협력을 증진하기 위해 구축된 모니터링 네트워크⁷³⁾, 동아시아 13개 회원국(한국, 일본, 중국, 인도네시아, 말레이시아, 몽골, 필리핀, 러시아, 태국, 베트남, 캄보디아, 라오스, 미얀마)이 참가하고 있다.⁷⁴⁾ EANET의 목적은 동아시아 산성비 문제에 관한 공동의 이해를 구축하고, 산성비로 인한 환경에 미치는 부정적인 영향을 예방 혹은 완화하는 것을 목표로 지역적·국가적 수준에서의 의사결정에 유용한 자료를 제공하며, 참여 국가들이 서로 산성비와 관련된 문제를 해결하기 위해 협력하는 것이다.⁷⁵⁾

EANET은 ① 산성비 모니터링 지침서·매뉴얼 정립, ② 모니터링 계획 수립 및 실시, ③ 네트워크를 통한 모니터링 데이터 수집, 해석, 평가 및 제공, ④ 신뢰할 수 있는 관측자료 구축을 위한 보증, 관리 활동 추진, ⑤ 동아시아에 있어서 산성비 현황보고서의 정기적인 작성·공표, ⑥ 산성비문제에 관한 과학적 조사연구 및 교육 프로그램 개발·실행 등을 주요 사업의 내용으로 하고 있다.⁷⁶⁾

73) 추장민 외(2005); 심창섭, 서지현, 노태호(2013), p.27에서 재인용.

74) EANET 홈페이지(<http://www.eanet.asia/eanet/outline.html>) 참조.

75) EANET 홈페이지(<http://www.eanet.asia/eanet/outline.html>) 참조.

76) 추장민 외(2005); 심창섭, 서지현, 노태호(2013), pp.27-28에서 재인용.

최근 2013년 12월 태국 촌부리에서 개최된 15번째 정부 간 회의(IG15)에서는 제3차 정책결정자를 위한 보고서(RPM3, Report for Policy Makers) 최종안 및 동아시아 대기오염 현황의 리뷰(RSAP, The Review on the State of Air Pollution in East Asia)를 하였으며, EANET 대상 범위의 확대와 관련된 논의를 하였다. 특히 현재 동아시아에서 대기오염에 따른 건강영향과 기후변화와의 상관관계의 측면에서 O₃ 및 PM_{2.5} 등의 중요도가 높아지고 있기 때문에, 오존 전구물질 및 다양한 PM_{2.5} 구성물질들에 대한 측정 강화방안에 대해 논의하였다. 이와 같이 EANET는 대기측정과 관련된 기초자료 제공에 대한 중요한 역할을 수행하였으며, 향후 이러한 다국적 측정 네트워크의 기술적·기능적 역할을 충분히 활용할 필요가 있다고 판단된다. 특히 최근의 대기질 이슈가 당초의 산성비보다는 오존과 (초)미세먼지에 의한 피해가 우려되므로 이에 대한 네트워크의 초점변화가 기대된다.

나. TEMM

TEMM(Tripartite Environment Minister Meeting)은 동북아 지역 환경협력 분야 최고위급 정부 간 회의체로, 황사·산성비 등 동북아 지역의 환경 현안에 공동 대처하고 동북아 핵심 국가인 한·중·일 3국간 환경공동체 인식을 높이고자 설립되었으며,⁷⁷⁾ 주요 협력사업으로는 중국 서부지역 생태복원사업, 수질개선사업, 환경산업 라운드 테이블, 3국 공동 환경교육 등이 있다.

2013년 5월 일본에서 개최된 제15회 TEMM 회의에서는 초미세먼지와 광화학 산화물 등의 대기오염물질이 인체에 미치는 위해성에 대해 논의하였고, EANET를 통한 산성물질과 그와 관련된 화학물질들에 대한 모니터링을 강화하여 더 나은 대기질 관리가 가능하도록 하는 데 동의하였다.⁷⁸⁾ 기후변화와 문제와 관련하여 미세먼지와 광화학 산화물 등의 대기오염물질 저감이 단기적 기후변화 완화에 공동 이익 효과가 있으며, 기후변화와 대기오염 양쪽에 관한 노력을 계속할 것으로 합의하였다.⁷⁹⁾

77) 주장민 외(2005); 심창섭, 서지현, 노태호(2013), p.26에서 재인용.

78) TEMM(2013); 심창섭, 서지현, 노태호(2013), pp.26-27에서 재인용.

2014년 4월에는 제16회 TEMM이 대한민국 대구에서 개최되었다. 본 회의에서는 TEMM 10대 우선협력 분야(2015~19년)를 채택하여 대기질 개선, 생물 다양성, 기후변화 대응 등 총 9개 분야를 선정하였다.⁸⁰⁾ 또한 본 회의에서는 미세먼지, 오존, 휘발성 유기화합물 등에 의한 대기오염의 예방 및 저감의 필요성을 강조하였고, 이에 대한 협력을 강화하기로 합의하였다. 그리고 기후변화 관련 글로벌 환경 과제 대응을 위한 협력으로 각국의 기후변화 완화 및 적응정책 발전을 위해 각국의 정책 및 경험에 관한 정보, 지식, 우수 사례들을 교환하기로 합의하였으며, 기후변화 대응을 위한 GCF의 중요성을 공동으로 인식하고 2014년 9월 뉴욕에서 개최 예정인 기후변화 정상회의에서 GCF가 재원조달을 받을 수 있는 자리로 만들기 위해 서로 노력하기로 합의하였다.⁸¹⁾ 이러한 논의는 현재의 한·중·일 삼국의 환경 현황을 적절히 반영하였다고 평가할 수 있으며, 실무적 차원에서 시의적절한 성과를 거둘 수 있도록 성과를 측정, 환류할 수 있도록 발전시킬 필요가 있다고 판단된다.

다. NEASPEC

NEASPEC(North East Asian Subregional Programme of Environmental Cooperation)은 동북아 환경문제를 해결하기 위한 포괄적인 정부 간 협의체이다. NEASPEC은 1992년에 열린 UN 환경개발회의의 후속으로, 이 지역의 환경협력 증진을 위해 중국, 북한, 일본, 몽골, 한국 및 러시아에 의해 1993년에 설립되었다.⁸²⁾ NEASPEC은 경제성장과 환경보호 사이의 이분법을 해소하고, 지역의 경제 개발을 위한 환경적 지속가능성을 개선시키는 것을 목표로 하고 있다. 세부적으로 살펴보면, 합의,

79) TEMM(2013); 심창섭, 서지현, 노태호(2013), p. 27.에서 재인용.

80) 환경부(2014, <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=286&orgCd=&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&boardId=347428>) 참조.

81) 환경부(2014, <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=286&orgCd=&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&boardId=347428>) 참조.

82) NEASPEC 홈페이지(<http://www.neaspec.org/about-neaspec>) 참조.

역량강화, 정보공유, 기술이전 및 공동금융을 기반으로 동북아 지역 협력에 대한 단계별 및 실제적인 접근방식을 추진하며, 환경에 미치는 영향을 완화하기 위해 정부, 국가, 동북아 지역 및 국제기구, 민간부문 및 시민사회에 대한 다자간 협력체를 제공하는 것을 주요 내용으로 하고 있다. 또한 국가기관의 기술 및 경영능력을 강화하고, 동북아 지역과 글로벌 이니셔티브를 국가전략과 연결하고 협력을 위한 추가적인 우선순위 영역을 파악하기 위해 주기적으로 환경동향과 우선순위 프로젝트의 이행을 논의하였다.⁸³⁾

2012년 중국에서 개최된 아시아-태평양 경제사회위원회의 17번째 고위관리회의에서 러시아 정부가 월경성 대기오염평가 및 완화에 대한 기술적·정책적 체계 개발이 새로운 이슈로 제안되었다. 또한 미세먼지 및 모래폭풍의 예방과 제어에 관한 내용들도 논의되었다.⁸⁴⁾

2014년 5월에 한국에서 동북아 국가 간 대기오염평가 및 저감을 위한 기술 및 정책 프레임워크 개발 프로젝트와 관련된 전문가그룹회의가 열렸다. 본 회의에서 러시아 정부 주도로 국가 간 대기오염을 해결하기 위해 회원국들이 공동으로 과학적 평가 및 협의를 추진하는 것을 논의하였다.⁸⁵⁾ 본 회의에서는 동북아 지역 협력 프레임워크 개념의 수립 뿐만 아니라, 데이터 평가, 기술적 접근 그리고 월경성 대기오염의 모델링 방법 개발에 관한 전반적인 이행 계획에 대해 논의하였으며, 본 프로젝트에 대한 각 국가의 이행기관 및 전문가들의 역할을 논의하였다.⁸⁶⁾

83) NEASPEC 홈페이지(<http://www.neaspec.org/about-neaspec>) 참조.

84) UNESCAP(2012); 심창섭, 서지현, 노태호(2013), p. 25에서 재인용.

85) NEASPEC 홈페이지(<http://www.neaspec.org/article/expert-group-meeting-development-technical-and-policy-frameworks-transboundary-air-pollution>) 참조.

86) NEASPEC 홈페이지(<http://www.neaspec.org/article/expert-group-meeting-development-technical-and-policy-frameworks-transboundary-air-pollution>) 참조.

라. ASEAN + 3(ASEAN Plus Three, APT)

ASEAN+3는 1997년 12월 ASEAN(Association of southeast Asian Nations) 창설 30주년 기념 정상회의에 한·중·일 3개국 정상을 동시 초청하여 제1차 ASEAN+3 정상회의를 개최하여 그 체제가 시작되었다.⁸⁷⁾

회원국은 ASEAN 10개국(말레이시아, 필리핀, 싱가포르, 인도네시아, 태국, 브루나이, 베트남, 라오스, 미얀마, 캄보디아)과 한국, 중국, 일본 총 13개국으로, 주요 회의체로는 ASEAN+3 정상회의, 외교장관회의 고위관리회의 등이 운영되고 있다.⁸⁸⁾

APT 협력은 다양한 분야에서의 협력을 명시하고 있다. 즉 정치안보, 범죄, 경제, 여행, 농업과 임업, 에너지, 광물, 중소기업, 환경, 지역개발 및 빈곤타파, 사회복지, 청년 및 여성, 공공서비스, 노동, 문화예술, 정보미디어, 교육, 과학기술, 혁신, 그리고 공중보건을 포함하고 있다(ASEAN, 2014). ATP 중 환경과 관련된 협력 조항에 대하여 보고서의 부록에 따로 수록하였다.

제2차 동아시아 협력과 APT 협력 프로그램에 대한 공동성명서(2007~17)가 2007년 제11차 싱가포르 정상회의에서 채택되었고, 2009년 서울에서 개최된 APT 13차 장관급 회의에서 가이드라인을 포함한 제2차 성명서가 조인되었다(ASEAN, 2014). 가장 최근의 활동으로는 2013년 10월 제 16차 정상회의가 브루나이 반다르세리베가완서 개최되었다. 본 회의에서는 기후변화 문제해결을 위한 협력증진의 중요성이 강조되었고, 이와 관련하여 제19차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국회의(COP19) 및 제9차 교토의정서 당사국회의에서 성공적인 결과를 도출할 수 있도록 긴밀히 협조할 예정임을 분명히 하였다.⁸⁹⁾

이와 같은 맥락에서 2013년 10월 인도네시아 수라비아에서 개최된 ASEAN+3 (APT)

87) 외교부 홈페이지(http://www.mofa.go.kr/countries/regional/aseanplus3/outline/index.jsp?menu=m_40_70_60&tabmenu=t_1) 참조.

88) 외교부 홈페이지(http://www.mofa.go.kr/countries/regional/aseanplus3/outline/index.jsp?menu=m_40_70_60&tabmenu=t_1) 참조.

89) ASEAN(2013, http://www.asean.org/images/2013/external_relations/chairman%20statement%20of%20the%2016th%20apt%20summit%20-%20finalupl.pdf) 참조.

환경장관회의에서 일본은 TEMM에서 한국·중국·일본과 의견을 같이한 아시아 대기오염 물질 측정의 지역적 협력 강화의 필요성에 대해 논의하였고, 한국과 싱가포르는 대기오염에 관한 지역적 협력 촉진(UNEP과 같은 기존 프레임 워크의 활용)에 동의하였다.⁹⁰⁾

또한 ASEAN+3에서는 2013~17년 기간에 대한 APT Cooperation Work Plan을 추가 수립하여 종합적이고 상호 이익이 되는 형태의 협력을 강화하고자 하였다. 특히 환경, 기후변화 및 지속가능 발전 협력과 관련된 내용으로 월경성 연무 문제(atmospheric aerosol pollution)와 다자간 기후변화와 같은 환경문제의 협력에 동의하였고, 대기오염 관리 및 기후변화 영향 문제에 대한 보다 강력한 협력구축이 강조되었다.⁹¹⁾ <표 5-1>에 APT Cooperation Work Plan(2013~17)에서 환경관련 부분을 간추려 보았다.

마. 아태지역 기후변화 적응 네트워크(APAN)

APAN은 UNFCCC의 제28차 결의사항에 의거, 지역의 기후변화 적응 역량 강화를 위해 유엔환경계획(UNEP)의 주도로 설립된 아시아·태평양 지역의 적응네트워크로, 현재 글로벌 지역차원의 기후변화 적응 네트워크 중 가장 활발한 활동을 수행하고 있는 네트워크로 평가받고 있다. 현재 일본(일본 환경부 및 IGES 등)이 가장 큰 공여국으로서의 역할을 담당하고 있으며, 스웨덴과 한국에서의 기여가 있었다.

90) 일본 환경성 홈페이지(http://www.env.go.jp/earth/coop/coop/english/dialogue/asean_3.html) 참조.

91) ASEAN 홈페이지(<http://www.asean.org/asean/external-relations/asean-3>) 참조.

〈표 5-1〉 APT 협력 Work Plan(2013~17) 중 환경 관련 조항

조항	주요 내용
II, Economic and Financial Cooperation	ASEAN 국가의 환경관리 증진 및 지속가능 여행 보증제 도입 및 문화-환경 여행을 위한 협력 강화
2-5-1	
2-6-7	APT 비상식량 보존 동의(APTERR)의 이행 강화를 통한 지역의 지속가능한 식량안보 강화
2-6-9	지역 및 국제 이니셔티브 지원과 같은 협력을 통한 지역의 산림 관리 문제 지원
2-7-4	섹터별 에너지 효율 강화 및 에너지 보존 강화
2-7-12	청정 및 친환경 기술의 경험 교류와 역량 강화를 위한 협력
III, Environment, Climate Change, and Sustainable Development Cooperation	환경의 보호, 보존 및 자연 자원의 지속가능한 사용을 위한 협력 증진
3-1-1	
3-1-2	<ul style="list-style-type: none"> - 월경성 환경오염 저감(연무 오염 및 유해 폐기물) - 생물다양성과 자연 보존 및 지속가능 경영 - 발전되고 친환경적인 기술 및 경험의 응용 - 지속가능한 수자원 관리(지하수 포함) - 연안 및 해양환경의 지속가능한 관리 - 도시환경 관리 및 거버넌스(ASEAN Initiatives on Environmentally Sustainable Cities) - 환경교육을 포함한 지속가능 발전분야의 교육 홍보 - 기후변화, 화학물질 및 폐기물, 대기질 관리 분야의 다자간 협의 추진
3-1-3	역량강화를 위한 협력(아래 분야) <ul style="list-style-type: none"> - 정부기관, 전문가 간 정보 및 경험 교류 - 세미나, 워크숍, 콘퍼런스 개최를 통한 교육 및 정보공유 강화 - 연구 및 대학 등 연구자들 간 공동연구와 네트워킹 증진
3-2-1	기후변화 완화 및 적응을 위한 국가 간 협력 강화
3-2-2	기후변화 대응을 위한 관련 기술의 개발·확산을 위한 협력
3-2-3	취약계층을 포함한 기후변화의 사회경제적 영향의 경험 공유 증진
IV, Socio-Cultural and Development Cooperation	UN Millenium Development Goals(MDGs)의 현실화를 위한 협력 활동 강화
4-1	
4-12-1	홍수, 산사태, 지진 등의 사전경고 시스템 등과 같은 재난정보 교류 및 홍보를 위한 협력 강화
4-12-2	재난관리의 홍보 및 교육증진
4-12-3	ASEAN 재난관리 및 비상 대응을 위한 협력 증대

자료: ASEAN: <http://www.asean.org/asean/external-relations/asean-3>에서 재구성.

2009년 이후의 짧은 기간 동안 APAN 네트워크의 성장은 두드러졌으며, 현재는 미국의 USAID의 참여가 전망되고 있다. APAN은 아시아·태평양 지역의 소지역 분야로 추가 분과회가 조직되어 있으며, 주제에 따라서 노드를 마련하여 점차 분화하고 있는 추세이다. 그간 매년 국제포럼 및 글로벌 차원의 네트워크 및 콘퍼런스와 연계활동이 원활하였고, 2013년에는 대규모의 APAN 적응 국제 심포지엄이 개최되어 유럽·미국·호주 등의 자발적 참여를 유도하였다. 그러나 보다 체계적인 자료에 의거한 역량강화 사업과 함께, 전문 정보의 공유를 위한 체계적 시스템의 도입이 필요한 상황이며, 현재 한국에서도 네트워크의 지원에서 환경부의 일관적인 입장이 부재하는 등, 회원국들의 보다 적극적인 참여가 필요하며, 아시아 지역의 비중이 큰 중국 등의 참여를 이끌어 내는 것도 중요한 과제 중 하나라고 평가할 수 있다.

바. ACB⁹²⁾

ACB(Asean Centre for Biodiversity)는 1999년에 유럽위원회(EC)의 자금 지원으로 시작된 생물다양성 보전을 위한 아세안 지역 센터(ARCBC, ASEAN Regional Centre for Biodiversity Conservation) 프로젝트를 기반으로 시작되었다. 2004년까지 지속된 ARCBC의 활동을 통해 아세안 회원국과 유럽위원회의 파트너 기관과의 강한 협력을 육성하고, 지역 및 국제적 수준에서의 생물다양성과 관련된 정책, 전략 및 행동 등을 수행할 지역 센터의 필요성이 있는 데 동의했다. 이러한 필요성을 가지고 ACB는 2005년 9월 27일에 공식적으로 출범하였으며, 국가 간 협력 및 기후변화와 생물다양성에 대한 도시 생물다양성 지역 워크숍, 바이오 안전성 규정, 생물다양성 지표, 해양 보호지역 등의 내용을 주제로 활동해 왔다.

ACB는 필리핀의 Laguna 지역에 위치하고 있으며, 생물다양성 보전 및 지역 생물자원의 인벤토리를 포함하는 DB 구축 등의 작업을 통해 지역 및 글로벌 수준에서 생물다양성과 관련한 다양한 영역의 이해당사자들과의 협력을 주도하고 있다.

92) ACB 홈페이지(<http://www.aseanbiodiversity.org/>) 참조.

사. 동아시아 지역 생물다양성 보전 네트워크(EABCN)

EABCN(East Asia Biodiversity Conservation Network)은 최근 들어 공식적인 활동을 시작한 동아시아 지역의 생물다양성 보전 및 협력 강화를 위한 네트워크이다. 2012년 제주 WCC 총회에서 제안된 이후 약 3년의 준비기간을 거쳐 우리나라 평창에서 개최되었던 제12차 생물다양성 협약 당사국총회(CBD COP12)에서 우리나라의 국립수목원과 러시아, 중국, 일본, 몽골, 대만의 산림 및 식물원 등 관련 기관들과의 MOU 체결과 국제 심포지엄을 통해 공식적인 활동을 시작하였다.⁹³⁾

EABCN은 기후변화에 의한 종 분포의 변화에 대한 연구, 동아시아 지역의 통합된 식물상 구축, 타 지역의 식물과 데이터 공유 플랫폼에 대한 모니터링, 연구 역량과 인적 자원 훈련 강화 등의 주제들을 가지고 활동하고 있다.⁹⁴⁾ 최근에는 EABCN에 속하는 기관들이 공동으로 동아시아 지역의 중요 식물들에 대한 도감을 발간하는 등 생물다양성 보전과 관련된 다양한 활동들을 수행하고 있다.

2. 향후 논의가 필요한 동아시아 환경협력 추가 이슈

향후 위에서 소개했던 주요 국제협력 프로그램에서 본 연구에서 제안할 수 있는 추가적으로 논의되어야 할 의제는 다음과 같다.

- 북중국, 몽골 지역의 물 부족 현상 대응
- 중국 북동부 지역의 기후 취약성(폭염, 홍수)과 한국과 일본의 기후영향 대응
- 중국 동부 지역의 심각한 대기오염 배출 및 온실가스 배출 저감 방안
- ASEAN+3에서 MDG(Millennium Development Goal)를 SDG(Sustainable Development Goal)로 전환
- 해안 지역의 대도시의 기후변화 대응 협력체 추진(예: 상해, 홍콩, 도쿄, 텔리 등)

93) 국립수목원 홈페이지(www.kna.go.kr/servlet/down?attach_idx=1412147319102...) 참조.

94) 국립수목원 홈페이지(www.kna.go.kr/servlet/down?attach_idx...) 참조.

- 생물다양성 관련 범국가적 생물자원 분포자료 공유
- 기후변화에 의한 생물종 분포의 변화에 대한 정보 구축 및 관련 연구
- 생물다양성 및 생태계서비스 관련 지표개발
- 생물자원의 이용과 관련된 정보공유체계 구축
- 북한 지역의 산림복원 및 저급 에너지 사용에 의한 초미세먼지 배출 저감을 위한 지원방안
- 산재된 협력 프로그램의 통합 및 효율적 운영과 자원조달 등에 대한 해결방안

이러한 구체적인 동아시아 환경변화에 대한 이슈의 제안은 동아시아 환경협력의 시의 적 문제점을 반영함으로써 문제해결을 위한 협력 프로그램에 도움을 줄 것이다. 따라서 이러한 분석을 통해 제안된 현안들의 해결방안을 위한 거버넌스 및 자원조달, 운영전략 등에 관한 추가적 논의가 필요하다. 이러한 이슈는 동아시아 환경공동체 전략이란 모 과제의 틀 속에서 중장기적으로 그 방안에 대하여 구체적으로 논의할 것이다.

| 제6장 · 요약 및 결론 |

본 연구에서는 동아시아 차원의 환경협력의 이슈를 제안하기 위해서 과학적 자료를 근거로 하여 동아시아 환경변화에 대한 주요 현안을 찾고, 주요 의제를 제안하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 최근 공개된 IPCC 제5차 보고서의 내용을 분석하는 등 동아시아의 기후변화 영향을 면밀히 검토하였다. 또한 동아시아 지역은 전 세계적으로 온실가스 배출 및 대기오염물질을 가장 많이 배출하는 지역으로서, 이에 대한 주요 배출원을 지역별로 분석하여 저감이 시급한 지역을 파악하고, 이 지역의 오염물질 배출 저감을 위한 지원을 제안하였다. 또한 현존하는 환경관련 국가간 협력 프로그램을 조사하였으며, 동아시아 환경공동체의 향후 발전을 위한 의견을 제시하였다.

본 연구 결과 기후변화 대응과 관련하여 중국의 북동부 지역의 폭염과 홍수의 잠재적 위험성, 그리고 몽골 및 북중국 지역의 가뭄과 물 수요 증가에 따른 물 부족 현상에 대한 대응이 시급할 것으로 분석되었다. 또한 한국과 일본 일부 지역의 폭염과 홍수에 대한 대응이 필요하다고 판단된다. 동아시아에서는 일반적으로 여름철 몬순의 강도가 심화될 가능성이 크므로, 고위도 지역을 제외한 지역에서는 여름철 폭우 및 열대성 저기압에 대한 피해에 대응할 필요가 있다고 사료된다. 또한 히말라야 산맥과 티베트 고원 지역의 빙하가 감소함에 따라 이 지역의 수자원 고갈에 따른 지역차원의 대응이 필요하다.

중국은 경진기 지역과 인근 지역에서 환경 위해성이 가장 큰 오염물질 중 하나인 초미세먼지(PM2.5)의 배출이 동아시아에서 가장 심각한 것으로 분석되었다. 이 지역은 석탄뿐 아니라 석유의 채굴과 사용을 통한 중공업 중심의 산업이 발달한 지역이기 때문에, 이 지역의 배출저감 시설의 보급과 천연가스 등의 대체 에너지 사용을 위한 대한 국제사회의 관심과 관련 관리기술 보급과 관리에 대한 협력이 시급할 것으로 판단된다. 이들 지역은 이산화탄소의 배출 또한 세계 최고 수준이기 때문에 기후변화 완화를 위한 저탄소 정책의 이행이 가장 필요한 지역이다.

북한에 대한 대기오염 문제는 최근에 주목받고 있으며, 북한의 낙후된 경제사정에 기인한 저급 에너지의 사용으로 PM2.5 및 기타 환경유해물질의 배출량이 남한 및 일본을 앞서는 것으로 추정되었다. 이런 것은 중국뿐 아니라 북한의 대기 위해성 물질의 배출이 한반도와 동아시아 일부에 영향을 미칠 것이므로 국제사회의 지원이 시급하다고 판단된다.

이러한 환경분석을 통한 해결과제는 동아시아를 포함한 국제협력 프로그램에 주요 이슈로 활용되어야 하며, 현재 현존하는 기후변화 및 대기오염 관련 협력 프로그램에 강조되어야 한다. 이에 따라 EANET 등 기존의 관측 관련 프로그램은 비단 산성비뿐 아니라 PM2.5 및 기타 위해성 물질의 배출과 확산을 모니터링하기 위한 네트워크로 발전해야 할 필요가 있다. 또한 현재 TEMM, NEASPEC, ASEAN 등 주요 환경 현안을 논의할 플랫폼이 상존해 있지만, 이들을 하나로 묶고 큰 틀에서 통합할 형태의 추진이 더욱 효과적이라고 판단된다. 또한 논의된 의제를 공유하고 실무적으로 해결하기 위한 운영체제의 발전과 재원마련 등 실무적 발전을 위한 노력이 필요하다. 이를 위해 국제기구(예: GCF, UN, WB, ADB) 등과의 긴밀한 협력을 통한 지원도 추진해 볼 수 있을 것이다. 동아시아 지역은 상대적으로 관측 및 연구자료가 상대적으로 여전히 부족하기 때문에 지속적인 관측과 연구를 위한 공동 연구와 이와 관련된 자료의 효과적인 공유가 필수적이다. 따라서 이를 중장기적인 전략과 목표에 대한 동아시아 차원의 인식의 공유를 통해 중장기적인 공동 연구 및 연구자료 공유를 장기적으로 추진하는 것이 매우 중요할 것으로 판단된다. 이러한 복합적인 노력과 이행을 통해 문제해결에 대한 방법론적 합의를 통해 환경문제 해결을 위한 공동체의 실체가 구축될 것이며, 그 실효적인 성과를 기대할 수 있다고 판단된다.

| 참고 문헌 |

<국문 자료>

- 국립기상연구소. 2011. 「IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서, 2011」 .
- 국립환경과학원. 2013. 「06 국립환경과학원 소식지」 . YES 젊은 환경과학 2013-06, p.4.
- 권원태. 2013.11.28. “IPCC의 제5차 기후변화 과학 평가보고서의 주요결론”. 「IPCC 제5차 평가보고서 발간 대응 심포지엄」 . 한국교원대학교, pp.1-2.
- 권혁기, 이종범, 김재철. 2011. “지역예보 모델(UM)을 초기장으로 사용한 WRF 모델의 모사능력 평가”. 「한국대기환경학회 2011 추계학술대회 논문집」 298.
- 기상청. 2013.9.27. “21세기말 기온은 3.7도, 해수면은 63cm 높아져”. 기상청 보도자료.
- 서명석, 이동규, 홍성유, 김찬수. 2012. “RCP 시나리오와 지역기후모델을 활용한 미래 기후변화 상세 시나리오 생산 및 불확실성 분석”. 「2012년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집」 22.
- 심창섭, 서지현, 노태호. 2013. 「동북아 지역의 대기관리를 위한 국제협력 기획연구」 . 한국 환경정책·평가연구원.
- 심창섭 외. 2011. “동아시아 섹터별 인자들이 한반도 탄소순환에 미치는 영향: 기후-환경정책 방향”. 「환경부 차세대 핵심환경기술 개발사업 연구 보고서」 .
- 최석진, 이동규, 오석근. 2011. “HadGEM2-AO를 강제로 사용한 SNURCM 과 WRF의 동아시아 기후 모의”. 「한국지구과학회지」 32(7): 750-760.
- 추장민 외. 2005. 「동북아 환경협력체계 효율화 방안 연구」 . 한국환경정책·평가연구원. 외교부. “ASEAN+3”.
- http://www.mofa.go.kr/countries/regional/aseanplus3/outline/index.jsp?menu=m_40_7_0_60&tabmenu=t_1 [2014.9.11].
- 환경부. 2014. “TEMM16 공동합의문”.
- <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=286&orgCd=&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&boardId=347428> [2014.9.11].
- 환경부. 2013. 「대기환경연보 2012」 .

<해외 자료>

일본 환경성. “ASEAN+3 Environment Ministers Meeting”.

http://www.env.go.jp/earth/coop/coop/english/dialogue/asean_3.html [2014.9.11].

Alcamo, J., N. Dronin, M. Endejan, G. Golubev, A., and Kirilenko. 2007. “A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia”. *Global Environmental Change*, 17(3-4): 429-444.

ASEAN. 2013. *Chairman’s Statement of the 16th ASEAN Plus Three Summit*.
http://www.asean.org/images/2013/external_relations/chairman%20statement%20of%20the%2016th%20apt%20summit%20-%20finalupl.pdf [2014.9.11].

ASEAN. *ASEAN Plus Three Cooperation Work Plan 2013-2017*.
<http://www.asean.org/asean/external-relations/asean-3> [2014.9.11].

ASEAN. 2014. *Overview of ASEAN PLUS THREE COOPERATION*,
<http://www.asean.org/news/item/asean-plus-three-cooperation-2>.

Bonan, G. B., K. W. Oleson, R. A. Fisher, G. Lasslop, and M. Reichstein. 2012. Reconciling leaf physiological traits and canopy flux data: Use of the TRY and FLUXNET databases in the Community Land Model version 4, *J. Geophys. Res.*, 117, G02026, doi:10.1029/2011JG002+2.

Bukovsky, M.S. and J. K. David, 2011. A regional modeling study of climate change impacts on warm season precipitation in the Central United States. *Journal of Climate*, 24(7), 1985-2002.

Brutsaert, W. and M. Sugita. 2008. “Is Mongolia’s groundwater increasing or decreasing? The case of the Kherlen River basin”. *Hydrological Sciences Journal*, 53(6):, 1221-1229.

Caldwell, P., H.-M. S. Chin, D. C. Bader, G. Bala, 2009. Evaluation of a WRF dynamical downscaling simulation over California, *Climate Change*, 95, 499-521.

Chang, L-S. 2012.12.7. “LTP Project assessment and future activity”. *Better Air Quality 2012*. Hong Kong.

Chou, W.-C., J.-L. Wu, Y.-C. Wang, H. Huang, F.-C. Sung, and C.-Y. Chuang. 2010. “Modeling the impact of climate variability on diarrhea-associated diseases in Taiwan

- (1996-2007)". *Science of the Total Environment*, 409(1): 43-51.
- Christensen, J. H. et al. 2007. *Regional Climate Projections, Chapter 11. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basics. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 847-940.
- _____. 2013. *Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change Supplementary Material. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Chung, J.-Y., Y. Honda, Y.-C.Hong, X.-C. Pan, Y.-L. Guo, and H. Kim. 2009. "Ambient temperature and mortality: An international study in four capital cities of East Asia". *Science of the Total Environment*, 408(2): 390-396.
- Dawe, D., P. Moya, and S. Valencia. 2008. "Institutional, policy and farmer responses to drought: El Nino events and rice in the Philippines". *Disasters*, 33(2): 291-307.
- Douglas, I. 2009. "Climate change, flooding and food security in south Asia". *Food Security*, 1(2): 127-136.
- EANET. *Outline*. <http://www.eanet.asia/eanet/outline.html> [2014.9.11].
- EPA. 2014. *News Releases from Headquarters: EPA Progresses First Guidelines to Cut Carbon Pollution from Existing Power Plants*, EPA Press Office (06/02/2014).
- Gardner, A. S., G. Moholdt, J. G. Cogley, B. Wouters, A. A. Arendt, J. Wahr, E. Berthier, R. Hock, W. T. Pfeffer, G. Kaser, S. R. M. Ligtenberg, T. Bolch, M. J. Sharp, J. O. Hagen, M. R. van den Broeke, and F. Paul. 2013. "Areconciled estimate of glacier contributions to sea level rise: 2003 to 2009". *Science*, 340(6134): 852-857.
- Goswami et al. 2006. "Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment, *Science* 314, 1442.
- Hertel, T. W., M. B. Burke, and D. B. Lobell. 2010. "The poverty implications of

- climate-induced crop yield changes by 2030". *Global Environmental Change*, 20(4): 577-585.
- Hudiburg, T. W., B. E. Law, and P. E. Thornton. 2012. "Evaluation and improvement of the Community Land Model(CLM 4.0) in Oregon forests". *Biogeosciences Discuss*, 9, 12757-12802, doi:10.5194/bgd-9-12757-2012.
- Hyatt, O. M., B. Lemke, and T. Kjellstrom. 2010. Regional maps of occupational heat exposure: past, present, and potential future. *Global Health Action*, 3(0).
- IEA. 2012. *World Energy Outlook 2012*.
- IPCC. 2007. *IPCC expert meeting report: technical summary, towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies, Intergovernmental Panel in 15 Climate Change, Cambridge*.
- _____. 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- _____. 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*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- _____. 2014a. *Chapter 24. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*.
- _____. 2014b. *Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- Jian, J., P. L. Webster, and C. D. Hoyos. 2009. "Large-scale controls on Ganges and

- Brahmaputra river discharge on intraseasonal and seasonal time-scale". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 135(639): 353-370.
- Kazama, S., T. Aizawa, T. Watanabe, P. Ranjan, L. Gunawardhana, and A. Amano. 2012. "A quantitative risk assessment of waterborne infectious disease in the inundation area of a tropical monsoon region". *Sustainability Science*, 7(1): 45-54.
- Kelkar, U., K. K. Narula, V. P. Sharma, U. Chandna. 2008. "Vulnerability and adaptation to climate variability and water stress in Uttarakhand State, India". *Global Environmental Change*, 18(4): 564-574.
- Kim, S.-H. and J.-Y. Jang. 2010. "Correlations between climate change-related infectious diseases and meteorological factors in Korea". *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 43(5): 436-444.
- Kumar, R. H., K. Venkaiah, N. Arlappa, S. Kumar, G. Brahmam, and K. Vijayaraghavan. 2005. "Diet and Nutritional Situation of the Population in the Severely Drought Affected Areas of Gujarat". *Journal of Human Ecology*, 18(4): 319-326.
- Langkulsen, U., N. Vichit-Vadakan, and S. Taptagaporn. 2010. "Health impact of climate change on occupational health and productivity in Thailand". *Global Health Action*, 3.
- Lawrence, D. M., K. W. Oleson, M. G. Flanner, P. E. Thornton, S. C. Swenson, P. J. Lawrence, X. Zeng, Z. L. Yang, S. Levis, K. Sakaguchi, G. B. Bonan, and A. G. Slater. 2011. "Parameterization improvements and functional and structural advances in version 4 of the Community Land Model". *J. Adv. Model. Earth Sys.*, 3.
- Le Quéré, C., M. R. Raupach, J. G. Canadell, and G. Marland. 2009. "Trends in the sources and sinks of carbon dioxide, Nature Geoscience", 2: 831-836, doi,10.1038/ngeo689.
- Le Quéré, C., R. Moriarty, and R. M. Andrew et al. 2014. *Global Carbon Budget 2014*. Earth System Science Data Discussions, 6, 1-90.
www.earth-syst-sci-data-discuss.net/6/1/2014/dio:10.5194/essdd-6-1-2014
- Lin, H., B. Xu, Y. Chen, and W. Wang. 2009. "Legionella pollution in cooling tower water of air-conditioning systems in Shanghai, China". *Journal of applied Microbiology*, 106(2): 606-612.

- LTP. *Introduction by the Secretariat*. <https://ltp.nier.go.kr/about/overview.ltp> [2014.9.11].
- _____. *Major achievements*. <https://ltp.nier.go.kr/about/major.ltp> [2014.9.11].
- Masutomi, Y., K. Takahashi, H. Harasawa, and Y. Matsuoka, 2009. "Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models". *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 131(3-4): 281-291.
- McMichael, A. J., P. Wilkinson, R. S. Kovats, S. Pattenden, S. Hajat, B. Armstrong, N. Vajanapoom, E. M. Niciu, H. Mahomed, and C. Kingkeow. 2008. "International study if temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project". *International Journal of Epidemiology*, 37(5): 1121-1131.
- Nagashima, T. et al. 2010. "The relative importance of various source regions on East Asian surface ozone". *Atmos. Chem. Phys.*, 10: 11305-11322.
- NEASPEC. *About NEASPEC*. <http://www.neaspec.org/about-neaspec> [2014.9.11].
- _____. *Expert Group Meeting on Development of the Technical and Policy Frameworks for Transboundary Air Pollution Assessment and Abatement in North-East Asia*. <http://www.neaspec.org/article/expert-group-meeting-development-technical-and-policy-frameworks-transboundary-air-pollution> [2014.9.11].
- Ohara, T. and T. Sakata. 2003. "Long-term variation of photochemical oxidants over Japan". *Journal of Japan Society for Atmospheric Environment*, 38: 47-57.
- Pattanaik, D. R. and M. Rajeevan. 2010. Variability of extreme rainfall events over India during southwest monsoon season. *Meteorological Applications*, 17, 88-104.
- Petit, J. R., J. Jouzel, D. Raynaud, N. I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Benders, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delayque, M. Delmotte, V. M. Kotlyakov, M. Legrand, V. Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pépin, C. Ritz, E. Saltzman, and M. Stievenard. 1999. "Climate and atmospheric history of the past 420,000 yrs from the Vostok ice core". *Antarctica Nature*, 399: 429-436.
- Randerson, J. T., F. M. Hoffman, P.T. Thornton, N. M. Mahowald, K. Lindsay, P. E. Thornton, J. F. Lamarque, N. A. Rosenbloom, and N. M. Mahowald. 2007. "Influence

- of carbon-nitrogen cycle coupling on land model response to CO₂ fertilization and climate variability". *Global Biogeochem. Cy.*, 21. GB4018, doi:10.29/2006GB002868, 2007. 9712.
- Rosegrant, M. W. 2010.2.1-2. "Impacts of Climate Change on Food Security and Livelihoods". *Food Security and Climate Change in Dry Areas: Proceedings of an International Conference*. Amman, Jordan, pp. 24-26.
- Sato, Y., T. Kojiri, Y. Michihiro, Y. Suzuki, and E. Nakakita. 2013. "Assessment of climate change impacts on river discharge in Japan using the super-high-resolution MRI-AGCM". *Hydrological Processes*, 1-16.
- Sugiura, T., H. Sumida, S. Yokoyama, and H. Ono, 2012. "Overview of recent effects if global warming on agricultural production in Japan". *JARQ(Japan Agricultural Research Quarterly)*, 46(1): 7-13.
- Suzuki, K. et al. 2013.7.23. "Mitigating Air Pollution and Climate Change in Asia: Toward an Integrated Approach". *International Forum for Sustainable Asia and the Pacific: ISAP*. Yokohama, Japan.
- Tan, J., Y. Zheng, X. Tang, C. Guo, L. Li, G. Song, X. Zhen, D. Yuan, A. J. Kalkstein, F. Li, and H. Chen. 2010. "The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai". *International Journal of Biometeorology*, 54(1): 75-84.
- TEMM. 2013. *The 15th Tripartite Environment Minister Meeting Among Japan, Korea and China*. <http://www.temm.org/sub03/11.jsp?commid=TEMM15> [2014.9.11].
- The State Council of People's Republic of China. 2006.
- _____. 2011.
- Thornton, P. E., S. C. Doney, K. Lindsay, J. K. Moore, N. Mahowald, J. T. Randerson, I. 5 Fung, J.-F. Lamarque, J. J. Feddema, and Y. -H. Lee. 2009. "Carbon-nitrogen interactions regulate climate-carbon cycle feedbacks: results from an atmosphere-ocean general circulation model". *Biogeosciences*, 6: 2099-2120, doi:10.5194/bg-6-2099-2009, 2009, 9712.
- Thornton, P. E., B. E. Law, H. L. Gholz, K. L. Clark, E. Falge, D. S. Ellsworth, A. H. Goldstein, R. K. Monson, D. Hollinger, M. Falk, J. Chen, and J. P. Sparks. 2002.

- “Modeling and measuring the effects of disturbance history and climate on carbon and water budgets in evergreen needleleaf forests”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113(1-4): 185-222.
- Thornton, P. E. and N. E. Zimmermann. 2007. “An improved canopy integration scheme for a land 10 surface model with prognostic canopy structure”. *J. Climate*, 20: 3920-3923.
- Tyler, S. and M. Moench. 2012. “A framework for urban climate resilience”. *Climate and Development*, 4(4): 311-326.
- UN. 2012. *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*.
- UNESCAP. 2012. *Report of the seventeenth senior officials meeting of the North-East Asian subregional programme for environmental cooperation. 20-21 December 2012, Chengdu, China*. <http://www.neaspec.org/article/17th-senior-officials-meeting> [2014.9.11].
- UN-Habitat. 2011. *Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011*.
- Wang, H. 2013.10.11. “Air pollution in China”. The 5th Workshop on Korea-China Environment Cooperation. Seoul.
- Wang, S. X., B. Zhao, S. Y. Cai, Z. Klimont, C. Nielsen, M. B. McElroy, T. Morikawa, J. H. Woo, Y. Kim, X. Fu, J. Y. Xu, J. M. Hao, and K. B. He. 2014. “Emission trends and mitigation options for air pollutants in East Asia”. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14: 6751-6603.
- Wang, S. X. and Hao, J. M. 2012. “Air quality management in China: Issues, challenges, and options”. *J. Environ. Sci.-China*. 24: 2-13, doi:10.1016/S1001-0742(11)60724-9.
- Wu, Q. 2013.10.11. “Air Pollution Prevention Policies in China”. The 5th Workshop on Korea-China Environment Cooperation. Seoul.
- Xiong, W., L. Holman, E. Lin, D. Conway, J. Jiang, Y. Xu, Y. Li. 2010. “Climate change, water availability and future cereal production in China”. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 135(1-2): 58-69.

- Xu, K., J. D. Milliman, and H. Xu. 2010. "Temporal trend of precipitation and runoff in major Chinese Rivers since 1951". *Global and Planetary Change*, 73(3-4): 219-232.
- Zhang, T., J. Zhu, and R. Wassmann. 2010. "Responses of rice yields to recent climate change in China: An empirical assessment based on long-term observations at different spatial scales (1981-2005)". *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(7-8): 1128-1137.

| 부록 1 · IPCC AR5 WG 1 SPM 중 정책결정자를 위한 전문 |

(출처: CLIMATE CHANGE 2013: The Physical Science Basis Approved SPM
Headline Statements 27 September 2013 Headline Statements from the
Summary for Policymakers)

기후 시스템의 온난화는 명백하며, 1950년대 이후 관측된 변화의 대부분은 천 년
이내 수십 년간 전례가 없는 현상이다. 대기와 해양은 점점 더워지고 있고, 눈과 얼음의
양은 감소했으며, 해수면은 상승하고, 온실가스 농도는 증가하고 있다.

1850년 이후 10년 평균값을 기준으로 지구표면에 지속적으로 온난화가 진행되어 지난
30년간 유래가 없던 10년 평균값을 나타냈으며, 북반구는 1983년부터 2012년까지 지난
1,400년 동안에 가장 따뜻한 30년이였다(중간 정도 신뢰도).

해양 온난화는 기후 시스템 내에 저장된 에너지 증가의 대부분은 1971년부터 2010년
사이에 축적된 90% 이상의 에너지가 차지한다(높은 신뢰도). 1971년부터 2010년 동안
해양 상층(0~700m)이 1870년대부터 1971년도의 기간에 걸쳐 뜨거워진 것과 같은 수준
인 것은 명백한 사실이다.

지난 20년 동안 그린란드와 남극의 빙설량은 크게 손실되었고, 빙하들은 세계 곳곳에
서 가라앉고 있으며, 남극해의 얼음과 북반구 봄철 적설량은 광범위하게 줄어들고 있다
(높은 신뢰도).

19세기 중반부터 시작된 해수면 상승률은 지난 2천 년 동안의 평균보다 높아지고
있다(높은 신뢰도). 1901년부터 2010년 동안에 세계 평균 해수면은 0.19m(1.17~0.21)
가 상승했다.

대기 중 CO₂, CH₄, N₂O의 농도는 지난 80만 년에 미루어 보았을 때 전례 없이

증가하고 있다. CO₂ 농도는 산업화 이후 일차적으로는 화석연료 사용으로 인한 배출과, 2차적으로는 순토지 이용변화로 인한 배출로 40% 정도 증가하였다. 해양은 인위적으로 배출된 CO₂의 30%를 흡수했으며, 이는 해양 산성화의 주요 원인이 되었다.

총 복사강제력은 증가하고 있고, 기후 시스템으로부터 에너지 흡수를 이끈다. 총 복사강제력의 가장 큰 원인은 1750년 이후 대기 중 CO₂ 농도의 증가였다.

인간이 기후 시스템에 미치는 영향력은 명백하다. 이 사실은 대기 중 온실가스 농도 증가, 복사강제력 증가, 관측된 온난화, 그리고 기후 시스템의 이해를 고려했을 때 분명해진다.

제4차 평가보고서 이후로 기후 모델들은 개선되어 가고 있다. 모델들은 20세기 중반 이후의 급속한 온난화와 큰 화산분출 뒤에 오는 급속한 냉각화를 포함하여 지난 수십년간 대륙 규모에서 관측된 지표온도 패턴과 경향성을 잘 재현한다(매우 높은 신뢰도).

온도변화, 기후 피드백, 지구에너지 수지의 변화에 대한 관측 및 모델연구는 모두 과거 및 미래강제력에 따라 반응하는 지구온난화의 규모에 신뢰성을 제공한다.

인위적 영향이 대기와 해양의 온난화, 전 지구 물순환의 변화, 적설면적과 빙하의 축소, 전 지구 평균 해수면의 상승, 일부 극한기후의 변화가 탐지되었다. 이러한 인간 영향력에 의한 증거들은 제4차 보고서 이후로 증가되어왔다. 20세기 중반 이후 관측된 온난화의 절반 이상을 차지하는 주요 원인이 기후에 대한 인간의 영향이라는 것은 가능성이 대단히 높다.

온실가스의 지속적인 배출은 추가적인 온난화와 기후 시스템의 모든 구성요소의 변화의 원인이 될 것이다. 기후변화를 제한하기 위하여 온실가스 배출량의 대폭적이고 지속적인 감축이 필요할 것이다.

21세기 말 전 지구 표면온도는 RCP 2.6을 제외한 모든 시나리오에서 1850년부터 1900년 이전과 비교하여 1.5°C를 초과할 가능성이 높을 것으로 전망되었다. 전 지구 지표온도는 RCP 6.0과 RCP 8.5에서는 2°C를 초과할 가능성이 높을 것으로 전망되었으며, RCP 4.5에서도 2°C를 초과할 가능성이 있다(높은 신뢰도). 온난화는 RCP 2.6을 제외한 모든 시나리오에서 2100년을 넘어 계속될 것이다. 온난화는 경년 변화에서 10년

변화로 표출되는 것이 계속될 것이며, 지역적으로 균일하지 않게 변화될 것이다.

21세기 동안 지속된 온난화로 인해 지구 물 순환의 변화가 일정하지 않을 것이다. 지역적으로 예외가 있긴 하겠지만 건조하고 습한 지역과 계절 간 강수량의 차이는 크게 증가할 것이다.

전 지구 해양은 21세기 동안 지속적으로 온도상승이 있을 것이다. 열은 해수면에서 심해까지 침투할 것이고, 이것은 해양순환에 영향을 끼칠 것이다.

전 지구적으로 기온이 상승했기 때문에 21세기에는 북극의 해빙면적이 지속적으로 줄어들고 얇아질 것이며, 북반구 봄 적설량이 감소할 것이 분명하다. 전 지구의 빙하 부피는 더욱 감소될 것이다.

21세기 동안 세계 해수면 평균값은 계속 상승할 것이다. 모든 RCP 시나리오에서 해수면 상승률은 강화된 해양온난화와 빙하 및 빙상의 질량감소로 인해 1971년부터 2010년 동안 관측된 범위를 초과할 가능성이 매우 크다.

기후변화는 대기 중 CO₂의 증가를 가속화시키는 방식의 탄소순환 과정들에 영향을 줄 것이다(높은 신뢰도). 더 나아가 해양에 의한 탄소흡수는 해양 산성화를 악화시킬 것이다.

CO₂누적배출량은 주로 21세기 후반 이후로 지구 평균지표 온난화에 크게 영향을 미쳤다. 대부분의 기후변화 양상들은 CO₂의 배출이 멈춘 경우일지라도 몇 세기에 걸쳐 지속된다. 이것은 과거와 현재, 미래의 CO₂배출량에 의해서 발생하는 수세기간의 책임을 의미한다.

| 부록 2 · ASEAN+3 협력 계획 중 환경관련 조항 |

SECTION B: 경제적/재정적 협력

6 관광업(Tourism)

6.1 ASEAN의 환경관리 기준의 적절한 촉진을 통해 품질관광의 발전을 추진하고 문화 및 생태 관광, 크루즈 관광, 청년교류, 인력개발, 협력관광 마케팅과 홍보, 품질보증과 여행객의 안전장치 등의 구체적인 협력을 구축한다.

6.2 관광정보 교환, 인적자원 개발과 위기 커뮤니케이션과 같은 분야를 다루는 국가관광 조직과 훈련기관 사이의 협력 강화와 연결성을 증진하고, 이러한 협력에서 민간분야의 참여를 권장한다.

7 식품, 농업, 어업과 임업(Food, Agriculture, Fisheries and Forestry)

7.1 연구와 개발, 기술이전, 농작물 및 원예작물 재배, 생명공학 적용, 비료, 농업구조, 수확 후 기술, 가축, 어업, 수경재배, 유기농업과 농업협동조합을 포함하는 상호 관심의 핵심 영역에서 농업에 대한 긴밀한 협력을 구축한다.

7.2 정부 관계당국 사이뿐만 아니라 ASEAN+3 국가들의 농업과 식품에 관련된 연구기관 사이의 핵심 상호이익 분야에 대한 네트워크를 증진한다.

7.3 세계시장 속에서 ASEAN 농산품의 접근성 증가를 위해 농업 시장의 강화와 관련 농업당국 간의 연계와 협동을 촉진하는 것에 대해 협력한다.

7.4 농업 은행과 소규모-자금 마련과 같은 농촌 금융기관의 협력을 증진시킨다.

7.5 교육과 +3 국가들의 농부들 사이의 정보공유를 통한 더 효율적인 농사법과 관리기술을 배우고 개발하기 위해 젊은 농부와 기업식 농업에 종사하는 사람들을 포함하는 ASEAN 농부들을 위한 기회를 제공한다.

7.6 교육 과정, 세미나, 워크숍, 직무 애착과 장학금 제도를 통해 핵심 상호이익이 존재하는 농업 분야의 역량구축과 인력개발을 증진한다.

7.7 주요 식품 상품에 대한 정보교환, 식품취급 및 식품안전을 포함한 식품안전의 긴밀한 협력을 촉진한다.

7.8 지속가능한 산림관리에 대한 협력을 강화하고 공동의 노력, 특히 불법 벌목의 법 집행 메커니즘과 이와 관련된 무역, 산불예방, 기능이 저하된 토지의 재식림과 인증에 대한 단계적 접근법을 통하여 아시아에서 산림관리의 문제를 해결하기 위한 효과적인 방법으로 아시아 산림 협력(Asian Forest Partnership, AFP)에 협력을 심화시킨다.

7.9 어업과 임업 생산품 개발과 홍보 schemes.7.10에 대한 협력과 책임 있는 어업을 위한 행동강력의 지역화를 촉진한다.

SECTION C: 에너지, 환경, 기후변화와 지속가능한 개발협력

1 에너지 협력(Energy Cooperation)

1.1 구체적이고 다양한 국가적 상황을 고려한 통합적 접근에 따른 에너지 안보, 지속가능한 개발과 경제성장을 추구한다.

1.2 태양, 바람, 해류와 파도, 전기, 지열, 저공해 석탄 연소기술, 바이오 연료, 가스와

습지 가스와 같은 각 나라의 특정 국가적 상황을 고려한 대체가능하며 새롭고 재생가능한 에너지 개발에 대한 정보교환과 연구를 통한 에너지 다양성을 촉진한다. 가맹국들은 보안, 환경, 보건과 에너지원의 국제공인 안보 표준을 위해서 민간 핵에너지의 사용을 채택하였다.

1.3 에너지 보존과 에너지 효율뿐만 아니라 새로운 자동차 기술과 같은 청정하고 친환경적 기술의 사용을 촉진한다.

1.4 효율적인 에너지 시장, 지역 에너지 생산과 거래의 활성화, 에너지 공공 기반 시설과 기관에 대한 투자의 촉진의 형성을 목적으로 하는 유리한 시장환경을 만들기 위해 노력한다.

1.5 가능한 산업, 운송, 주거/상업, 에너지와 같은 모든 분야에서 독립적인 목표 설정과 행동계획 수립을 통해 에너지 효율성의 증대시킨다.

1.6 ASEAN+3 에너지 안보협력 시스템을 충분히 이용함으로써 비상 대비절차에 대한 협력을 향상시킨다.

1.7 공동 석유자료 계획을 통해 더 큰 협력과 시장 투명성, 에너지 자료의 교환을 촉진하고, 가능하다면 자유의사에 따라 국가 에너지 정책의 공유를 촉진시킨다.

1.8 관심 ASEAN 가입 국가들의 지역전화 프로그램을 지원할 방법을 탐색한다.

1.9 에너지에 관한 ASEAN 중심 업무를 지원한다.

1.10 EAS와 APEC과 같은 다양한 지역 프로세스에서 제기된 에너지 이슈에 대한

특정 프로젝트와 제안을 고려한다.

1.11 석유생산 국가들과 석유소비 국가들 사이의 상호이해와 협력을 강화하기 위해 중동 석유 및 가스 생산 국가들과의 대화를 촉진한다.

1.12 에너지 안보를 강화하기 위해 에너지 운송경로의 다양화를 위한 협력을 증진 시킨다.

2. 환경과 지속가능한 개발(Environment and Sustainable Development)

2.1 환경을 보호하고 자연자원의 지속가능한 이용을 증진하는 긴밀한 협력을 구축한다.

2.2 기후변화에 대한 완화 및 적응을 위해 ASEAN+3 국가 간의 긴밀한 협력을 구축한다.

2.3 기후변화에 대응하는 ASEAN+3 국가들의 능력을 높이기 위해 기술개발, 운송 및 확산에서 다른 국가들 간의 협력을 강화 한다.

2.4 다음과 같은 분야에서 긴밀한 협조를 구축한다.

- (a) 국가 간 환경오염 감소, 특히 국가간 안개 오염
- (b) 생물다양성과 자연유산 보존
- (c) 첨단 친환경 기술과 모범사례의 적용
- (d) 지속가능한 수자원 관리(지하수 포함)
- (e) 해안 및 해양 환경
- (f) 불법잡식과 산림자원의 파괴와 관련된 퇴치활동을 포함하는 지속가능한 산림관리
- (g) 도시환경 관리와 환경적으로 지속가능한 도시에 관한 ASEAN 계획 통치

- (h) 책임 있는 채광 및 광물 개발
- (i) 대중의 인식과 환경적 교육
- (j) 기후변화, 화학물질, 화학 폐기물과 관련된 규약과 협력에 관한 다국간의 환경적 협정
- (k) 대기질 관리

2.5 다음을 통해 환경 분야의 역량 강화 협력을 강화한다.

- (a) 정부기관, 기관, 전문가 간의 정보와 경험의 교환
- (b) 교육 과정 및 장학금 제공
- (c) 공동 연구개발 수행과 연구/학술기관들 사이의 네트워킹
- (d) 기술이전

2.6 3R(감량화(Reduce), 재사용(Reuse), 재활용(Recycle))과 폐기물의 환경적 건실한 관리 촉진

2.7 환경개발의 부정적인 측면을 감소시키는 수단으로써 지속가능한 개발을 촉진한다.

SECTION D: 사회-문화와 발전 협력

9 재난관리와 비상대응(Disaster Management and Emergency Response)

9.1 홍수, 산사태, 지진과 다른 재해 분야에 대해서 실시간 정보 공유 및 공공 인식 캠페인 등을 통해 지진 해일과 다른 재해에 대한 조기경보 시스템의 국가적/지역적 네트워크를 지원하기 위한 원조와 같은 협력을 강화한다.

9.2 재난관리와 비상대응과 관해 ASEAN 협정의 이행에 도움을 준다.

9.3 재해구호 민·군 협력을 강화한다.

Abstract

Environmental Changes over East Asia and the response (I): Atmospheric Change and Biodiversity

The East Asian Region is the world's largest emitter of carbon dioxide and a variety of air pollutants. East Asia is also vulnerable to climate change such as flood, drought, and heat waves, which impacts comprehensively on agriculture, water management, health etc. This study tried to identify the potential environmental risks over East Asia by reviewing the current IPCC 5th report (AR5) and climate scenarios generated by KEI's climate modeling system. The main environmental issues identified are climate risks (heat waves, flood, drought, and other natural disasters etc) over Northeastern China, Western China, and part of South Korea and Japan. In terms of air pollution issues, the Eastern China where the intense industrial region emitting highest level of Particular Matter (PM) and greenhouse gases. In addition, the hazardous air pollutants emitted from biofuels and low-quality energy source over North Korea can impact the near countries in East Asia. Thus these specific environmental issues ought to be suggested and discussed to enable the current cooperative program to make tangible progress for sustainable development in East Asia.

Keywords : Climate Change, Air Pollution, East Asia, International cooperation, biodiversity

| 저자 약력 |

심창섭

미국 Georgia Institute of Technology 이학박사

한국환경정책·평가연구원 부연구위원(현)

E-mail : cshim@kei.re.kr

주요 논문 및 보고서

「동북아 지역의 대기관리를 위한 국제협력 기획연구」(2013, 한국환경정책·평가연구원)

오일찬

스웨덴 옘살라대학교 식물계통분류학 박사

한국환경정책·평가연구원 부연구위원(현)

E-mail : icoh@kei.re.kr

주요 논문 및 보고서

「중장기 생물다양성전략 추진체계 연구」(2012, 한국환경정책·평가연구원) 외

노태호

미국 워싱턴주립대학교 생태학 박사

한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)

E-mail : thro@kei.re.kr

주요 논문 및 보고서

「물발자국 개념의 정책적 도입과 활용방안」(2012, 한국환경정책·평가연구원) 외

서지현

건국대학교 신기술융합학과 석사

한국환경정책·평가연구원 위촉연구원(현)

E-mail : jhseo@kei.re.kr

김영욱

미국 아리조나 대학교 환경학 박사
미국 몬타나 대학교 선임 연구원(현)
E-mail : ywkimm@gmail.com

박찬호

일본 도쿄대학교 생물학 박사
국립생물자원관 연구관(현)
E-mail : ddonyibr@gmail.com