한반도 기후변화 대응 정책 수립과 기후 감시·예측 및 적응에 필요한 과학정보 활용 전략에 관한 연구

최영은¹ · 권원태² · 윤원태² · 정해정² · 김정하² · 박인홍¹ · 이한수¹ · 편도의¹ · 권재일¹

¹건국대학교 지리학과 · ²기상청

(2013년 12월 26일 접수, 2014년 1월 22일 수정, 2014년 2월 3일 게재 확정)

Study on Application Strategies of Scientific Climate Change Information to build Adaptation Policies and Climate Monitoring- Prediction-Adaptation Planning over the Republic of Korea

Youngeun Choi¹ · Wontae Kwon² · Wontae Yun² · Haejung Jung² · Kyungha Kim² ·

Inhong Park¹ · Hansu Lee¹ · Doeui Pyeon¹ · Jaeil Kwon¹

¹Department of Geography, Konkuk University

²Korea Meteorological Administration

(Received 26 December 2013, Revised 22 January 2014, Accepted 3 February 2014)

Abstract : Climate change is not only abnormal condition of climate systems but also the perplexities of socio-economic system including agriculture, ocean, energy supply plans and ecosystem. As the frequency and magnitude of the extreme weather related natural disasters are increasing, the losses of lives and economic damages are getting huge. For the adequate response of climate change, more comprehensive reviews of research results about observation, projection and monitoring of climate change are essential. The purpose of this study is to frame, to structure and to prepare writing strategies the 2nd Korea Climate Change Assessment Report(the Physical Science Basis). 'Korea Climate Change Assessment Report 2010' was prepared using 1,003 references by 46 climate change scientists with seven chapters and 328 pages. Ten chapters and more detailed sections for the 2nd Korea Climate Change Assessment Report have been suggested based on IPCC 5th Climate Change Assessment Report. Chapters cannot be changed while sections can be combined, deleted, and altered with admissions from consultation committees. Committees consist of climate change experts from government organization, universities and institution.

Key Words : the Republic of Korea, climate change assessment report, observation, prediction and monitoring of climate change, scientific climate change information

주요어 : 한반도, 기후변화 평가보고서, 기후변화 관측과 예측 및 감시, 과학적 기후변화 정보 활용

1. 연구 배경과 목적

기후변화는 대기권에만 한정된 문제가 아니라 농업, 수자원, 해양, 보건, 에너지, 생태계 등 사회경제시스템 전반에 영향을 미친다. 특히, 급격한 기후변화로 인해 극한기후현상과 관련된 자연재해가 증가하면서 인명 및 재산피해가 급증하고 있다(IPCC, 2007). 이에 대한 적절한 대응을 위해서는 기후변화 관측과 예측 및 감시를 아우르는 종합적이고, 과학적인 정보가 필요하다. IPCC는 전세계 기후변화 관련 최신 연구결과를 집대성하여 주기적(5~6년)으로 보고서를 발간하고 있으며, 가장 최근에는 2013년 11월에 제5차 평가보고서 중 실무그룹 I(Working Group I)의 과학적 근거를 총회에서 인준하여 발표하였다. 또한 전체 평가보고서와 함께 정책결정자를 위한 요약서(Summary for Policy Makers)와 기술요약서(Technical Summary)를 동시에 발표하였다. 기상청과 환경부 등 우리나라 기후변화 관련 정부부처들은 IPCC 평가보고서(1차 보고서 제외)가 발간될 때마다 이를 번역하여 제공하고 있다. 하지만 한반도를 포함한 아시아 지역은 다른 지역에 비하여 기후변화에 더 취약하여 생물다양성 감소, 질병, 홍수 등의 문제가 빈번하게 발생할 것으로 예측되고 있기 때문에(IPCC, 2007) 이것만으로는 한반도와 관련된 상세한 기후변화 연구결과를 집대성한 과학적인 정보에 대한 접근성 및 편의성이 부족하다.

2007년 IPCC 제4차 평가보고서가 발간된 이후, 2011년에 최초로 한반도 및 동아시아 지역에 대한 기후변화 관측 및 예측에 대한 연구결과를 과학적 관점에서 정리한 「한국 기후변화 평가보고서 2010」이 발간되었다. 하지만 준비기간이 짧고, 기후변화 감시 및 예측 분야의 연구결과가 부족하여 작성에 한계가 있었다. 이에 대한민국 정

부는 “기후변화 시대에 적극 대처하고 지구환경 문제 해결을 선도”, 「정부 3.0」 과제 추진, ‘기상청 성과관리 전략계획(2013~2017년)’ 및 ‘2013년도 성과관리 시행계획’ 반영 추진을 위한 일환으로 2013년 IPCC 제5차 평가보고서의 발간과 시기를 같이하여, 최신 기후변화 정보를 추가하는 「제2차 한국 기후변화 평가보고서」 발간을 추진하고 있다. 이를 위해서는 한반도의 기후변화 감시 및 예측 분야에 대한 보다 상세하고 포괄적인 연구결과와 목록과 DB구축이 필수적이다. 본 연구의 목적은 보다 정확하고, 종합적인 기후변화 정보를 포함한 「제2차 한국 기후변화 평가보고서」의 작성을 위한 내용 구성 및 작성에 대한 전략을 제안하는 데 있다.

2. 기후변화 관측, 예측 및 감시 분야의 평가에 대한 국내·외 동향

기후변화 감시 및 예측에 대한 가장 종합적인 분석을 수행하는 곳은 IPCC이다. IPCC의 실무그룹(Working Group) I, II, III은 1990년에 제1차 평가보고서를 시작으로, 1995년, 2001년, 2007년에 각각 제2차 평가보고서, 제3차 평가보고서, 제4차 평가보고서를 발간하였고, 제5차 평가보고서는 2013년 11월에 실무그룹 I의 보고서가 완성되어 공개되었다. 2012년에는 제5차 평가보고서의 작성을 위한 기초자료로 「기후변화 적응을 위한 극한현상 및 재해 위험 관리(Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation)」 특별 보고서를 발간하였다(Field *et al.*, 2012). 여기에서는 기후변화와 극한기후현상 간의 관계, 영향, 관련된 위험의 관리전략 등을 상세하게 다루었다(Figure 1).

기상선진국들은 기후변화에 대한 다양한 과

Figure 1. IPCC Working Group I the Fourth Assessment Report 「Climate Change 2007: The Physical Science Basis」 (left) and 「Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation」(right)

학적 정보를 산출하여 제공하고자 노력한다. 미국은 2009년에 「미국기후변화연구프로그램(The United States Global Change Research Program, GCRP)」을 통해 기후변화의 과학적 측면뿐만 아니라 영향에 대한 최신의 종합 평가물인 「미국에 대한 전지구 기후변화의 영향(Global Climate Change Impacts in the United States)」의 제2차 보고서를 발간하였다(Figure 2). 기온과 강수량을 포함한 주요 기후요소의 변화와 전망, 극한기후현상의 발생현황, 지역별 및 분야별 영향 등을 분석한 종합보고서로 작성되었다. 2013년 제3차 보고서 발간을 위한 초안이 작성되었으며, 여기에는 제2차 보고서보다 기후변화로 인한 영향, 전망 및 적응과 완화와 같은 대응에 대한 내용이 더 자세히 추가되었고, 기후변화의 평가를 위하여 지역 및 부문별로 지수들을 개발하여 제공할 예정이다. 또한 미국 환경보호청(United States Environmental Protection Agency)에서는 2012년에 「2012년 미국의 기후변화지표(Climate Change Indica-

tors in the United States, 2012)」를 발간하였다. 온실가스, 기후 및 기상, 해양, 눈 및 빙하, 사회 및 생태계에 영향을 미치는 26개 지표를 선정하여 빈도 및 강도의 변화 경향을 상세하게 분석하였다(US EPA, 2012).

영국 기상청은 2009년에 「영국의 기후와 현재 경향(The Climate of UK and Recent Trends)」을 The UK Climate Projections의 일부분으로 발간하였으며, 상세한 기후지도와 관측된 다양한 변수들의 변화 경향 및 미래전망을 포함하고 있다(Figure 3). 오스트레일리아 기상청은 2012년에 「오스트레일리아의 기후변화(State of the Climate 2012)」를 발간하였다. 기온, 강수, 해수면 및 온도 상승, 온실가스의 변화와 지구온난화의 영향을 분석하고, 2030년과 2070년까지에 대한 전망을 포함하고 있다.

일본 기상청도 2008년에 기후변화의 현재 상태와 미래의 전지구적인 온난화 전망 및 기후감시에 대한 내용을 포함한 「기후변화 현재와 미래

Figure 2. 「Global Climate Change Impacts in the United States(Karl *et al*, 2012)」(left) and 「Climate Change Indicators in the United States」(right)

Figure 3. 「The Climate of the United Kingdom and Recent Trends(The UK Climate Projections, 2009)」(left) and 「State of the Climate 2012(CSIRO, 2012)」(right)

(Climate Change Present and Future, 2008)을 발간하였다(Figure 4). 유럽 환경청(European Environment Agency)은 2012년에 「2012년 유럽의 기

후변화, 영향 및 취약성(Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012)을 발간하였다(Figure 4). 주요 내용은 기후변화와 관련하여 유

Figure 4. 「Climate Change Present and Future(JMA, 2008)」(left) and 「Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012 (EEA, 2012a)」(right)

립의 과거 기후 및 미래전망에 대한 과학적 정보를 제공하고, 기후변화로 인한 사회, 보건, 생태계 등 각 부문의 취약성을 평가하며, 이에 따라 발생하는 위험을 포함한다. 뿐만 아니라 유럽 환경청은 2011년에 「기후변화에 따른 유럽도시의 적응(Urban Adaptation to Climate Change in Europe)」, 「삼림, 보건, 기후변화(Forests, Health and Climate Change)」, 2013년에 「기후변화에 대한 유럽의 적응사례-사회, 경제 측면에서 기후변화로 인한 위험 및 기회 평가(Adaptation in Europe-Addressing Risks and Opportunities from Climate Change in the Context of Socio-economic Developments)」, 「온실가스에 관한 2013년 유럽 연합보고서(Annual European Union Greenhouse Gas Inventory 1990-2011 and Inventory Report 2013)」 등 각 부문별로 기후변화와 관련하여 구체적인 내용을 담은 연구 보고서를 다수 발간하였다(EEA, 2011, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b).

중국 국무원(Information Office of the State

Council)은 2011년 11월에 「기후변화에 대응하기 위한 중국정부의 정책 및 이행(China's Policies and Actions for Addressing Climate Change)」 백서를 발간하였다(The People's Republic of China, 2012). 주요 내용으로는 중국에 부정적인 영향을 미치는 기후변화에 대응하고 완화하기 위한 정책 및 사회적 참여 방법 등에 대해 제시하였다.

우리나라의 기후변화에 대한 연구결과가 IPCC 평가보고서에 간략하게 포함되어 있지만, 기후변화 정책 수립을 위해 사용할 수 있을 정도로 상세하고 포괄적이지 않다. 그래서 환경부는 2011년 제1차 「한국 기후변화 평가보고서 2010」을 발간하여 한반도에서 나타나고 있는 기후변화의 현황과 원인, 향후 전망과 함께 수자원, 생태계, 산업, 보건 등 기후변화의 영향과 적응에 관한 내용을 발표하였다(Figure 5). 이에 대한 상세한 내용은 다음 절에서 제시할 것이다.

기상청은 2011년 일관성 있고, 과학적인 기후변화에 관한 정보를 생산하기 위해서 동일한 기간

Figure 5. 「Korean Climate Change Assessment Report 2010」(left) and 「White Paper for Climate Change in Korea」(right)

Figure 6. 「Report on the Projections of Climate Change in the Korean Peninsula(KMA, 2012c)」(left), 「Report on the Projections of climate Change in Seoul, Incheon and Gyeonggi-Do(KMA, 2012b)」(middle) and 「Summary of Korea Global Atmosphere Watch 2011 Report」(right)

의 자료와 분석방법을 적용하여 「한국기후변화백서」와 11권의 「지역기후변화보고서」를 발간하였다(Figure 5). 이를 통해 국가규모에서 지역단위까지 종합적이며 과학적인 기후변화 정보를 생산하여

공개하였다(KMA, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2011e, 2011f, 2011g, 2011h, 2011i, 2011j, 2011k, 2011l). 또한 기상청은 2012년 RCP시나리오를 이용하여 「한반도 기후변화 전망보고서」와 8개 광역

시·도를 대상으로 한 「지역별 기후변화 전망보고서」를 발간하였다(Figure 6). 이외에도 기상청은 다년도에 걸쳐서 지역별 「기후변화 이해하기 시리즈」를 발간하였다(NIMR, 2009). 기상청은 매년 「지구대기감시보고서」를 발간하여 온실가스, 반응가스, 대기복사, 에어로졸 등의 지구대기감시 관측 자료를 수집 및 분석하여 한반도 기후변화의 관측 결과를 공개하고 있다(KMA, 2012a).

3. 「한국 기후변화 평가보고서 2010」 구성 및 내용

환경부는 한반도 기후변화의 감시, 예측, 영향 및 적응에 대한 연구결과(주로 연구논문)를 종합적으로 분석하여 관련 과학적 내용을 집대성하고자, 2008년부터 추진하여 2011년에 「한국 기후변화 평가보고서 2010」을 발간하였다. 보고서는 총 623쪽으로 작성되었으며, '1부 기후변화 관측 및 예측'과 '2부 기후변화의 영향, 적응 및 취약성'으로 구성되어 있다. 하지만 제2차 기후변화 평가보고서는 두 분야 중 과학적 측면은 기상청이, 영향 평가는 환경부가 분담하여 작성하고 있으므로 본 연구에서는 기후변화의 과학적 측면에 해당하는 내용만 제시하였다.

기후변화 관측 및 예측은 총 46명의 집필진이 한반도에서 관측되는 기후변화의 현황과 원인, 미래 전망을 포함하여 총 7개장, 324쪽으로 작성하였으며, 상세 장·절 구성은 Table 1에 제시된 내용과 같다. 또한 연구결과 요약과 집대성에 사용된 참고문헌의 장별로 작성에 활용된 수는 국내·외에서 발간된 연구논문, 단행본, 정부 발간 보고서, 발표자료 등을 포함하여 2010년 초까지 발간된 총 1,003편이다. 3장 생지화학적 과정과 기후계의 결합, 7장 지역기후 전망 관련 참고문

헌 수가 약 12%(121편), 14%(137편)로 상대적으로 적었고, 4장 구름과 에어로졸, 6장 기후변화의 탐지와 원인 관련 참고문헌 수가 약 18%(178편), 21%(211편)로 많았다. 대부분의 참고문헌은 국외에서 발간된 학술지였고, 국내 참고문헌은 18%를 차지했다.

6개 세부 분야의 연구결과에 대한 종합적인 분석을 통하여 향후 기후변화과학 분야의 발전방향도 제시되었다(NIER, 2011). 가장 시급하게 연구가 이루어져야 할 부분은 한반도 주변의 복사강제력 변화를 정량적으로 추정하고, 불확실성을 체계적으로 평가하는 것이다. 특히 인위적 복사강제력과 자연적 복사강제력의 규모 파악이 필요하다. 또한 편서풍의 영향으로 중국에서 발원하는 황사나 오염물질의 피해가 최근 급증하고 있기 때문에 구름과 에어로졸에 관한 연구도 필요하다. 구름과 에어로졸에 관한 체계적인 연구를 수행하기 위해서는 정구 관측, 인공위성을 이용한 관측, 비행관측 등이 지속적이고 체계적으로 이루어져야 한다. 수십 년 규모의 기후변화를 예측할 수 있는 역량과 극한기후를 보다 정확하게 예측할 수 있는 기술의 확보도 중요하다. 마지막으로 미래 기후변화의 정확한 예측이다. 미래의 기후변화 전망은 전지구 기후모델의 개선을 통하여 불확실성을 줄일 수 있다.

4. 제2차 「한국 기후변화 평가 보고서」의 구성 및 내용

본 절에서는 제2차 「한국 기후변화 평가보고서」의 구성 및 내용에 대해서 제안하고자 한다. IPCC 제5차 평가보고서는 서론을 포함하여 총 14장으로 구성되어 있지만, 지역이 한반도에 한정된다는 것을 고려하여 제2차 「한국 기후변화 평

Table 1. Composition of Chapters and Detailed Sections of 「Korean Climate Change Assessment Report 2010」 Part1 Observations and Predictions of Climate Change

Chapter	Section	Page
Chapter 1: Overview of Climate Change	1.1 Introduction 1.2 Observation of Changes in the Climate System 1.3 Combined Biogeochemical Processes and Climate Systems 1.4 Clouds and Aerosols 1.5 Anthropogenic and Natural Radiative Forcing 1.6 Detection and Attribution of Climate Change 1.7 Projections of Regional Climate 1.8 Conclusion and Recommendations References	14
Chapter 2: Observed Changes in Climate	2.1 Summary 2.2 Paleoclimate 2.3 Observation of Changes in the Climate System References	54
Chapter 3: Combined Biogeochemical Processes and Climate Systems	3.1 Summary 3.2 Land Ecosystem and Climate 3.3 Ocean Ecosystem and Climate 3.4 Atmospheric Chemistry and Climate 3.5 Combined Biogeochemical Cycles and Climate Systems References	40
Chapter 4: Clouds and Aerosols	4.1 Summary 4.2 Cloud Observations and Models of Cloud Simulation 4.3 Combined Cloud, Water Vapour, Precipitation and Large Scale Cycle 4.4 Aerosol Observations and Models Simulation 4.5 Types of Aerosols including BC: Source, Sink, Distribution References	32
Chapter 5: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing	5.1 Summary 5.2 Radiative Energy of Atmosphere 5.3 Natural Sources and Anthropogenic Sources of Radiative Forcings 5.4 Effects of Atmospheric Chemistry and Components 5.5 Greenhouse Gases including GWP(Global Warming Potential)and GTP(Global Temperature change potentials) and other Matrices References	50
Chapter 6: Detection and Attribution of Climate Change	6.1 Summary 6.2 Evaluation of Climate Change Detection Methodologies 6.3 Change of Atmosphere and Land Surface 6.4 Monsoons and Madden Julian Oscillation 6.5 El Nino and Korean Peninsula Climate 6.6 Change of Extreme Weather Events 6.7 Effects of Urbanization References	58
Chapter 7: Regional Climate Projection	7.1 Summary 7.2 Current state of Climate Change Prediction Models 7.3 Near-term Climate Change Projections 7.4 Long-term Climate Change Projections 7.5 Connections Between Climate Phenomena and Future Regional Climate Change References	62
Total	7 Chapters 34 Sections	324

Table 2. The Fifth IPCC Assessment Report: Composition and Number of Pages(%) of Chapter of the Physical Science Basis

Chapter	Pages(%)
Chapter 1: Introduction	62 (3,2%)
Chapter 2: Observations: Atmosphere and Surface	163 (8,5%)
Chapter 3: Observations: Ocean	103 (5,4%)
Chapter 4: Observations: Cryosphere	102 (5,3%)
Chapter 5: Information from Paleoclimate Archives	138 (7,2%)
Chapter 6: Carbon and Other Biogeochemical Cycles	167 (8,7%)
Chapter 7: Clouds and Aerosols	147 (7,6%)
Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing	139 (7,2%)
Chapter 9: Evaluation of Climate Models	205 (10,7%)
Chapter 10: Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional	132 (6,9%)
Chapter 11: Near-term Climate Change: Projections and Predictability	123 (6,4%)
Chapter 12: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility	175 (9,1%)
Chapter 13: Sea Level Change	121 (6,3%)
Chapter 14: Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change	145 (7,5%)

가보고서」는 총 10장으로 재구성할 필요가 있다.

1) 구성

제2차 「한국 기후변화 평가보고서」의 구성은 기본적으로 IPCC 제5차 평가보고서(Table 2)를 충실하게 반영하는 것이 중요하지만, 우리나라 실정에 맞추어 재구성 작업이 필요하다. IPCC 제5차 평가보고서의 경우 ‘2장 관측: 대기와 지표’와 ‘9장 기후모델 평가’가 각각 8,5%와 10,7%로 차지하는 비율이 상대적으로 높고, ‘3장 관측: 해양’, ‘4장 관측: 빙권’이 각각 5,4%와 5,3%로 비율이 낮다. 연구지역을 한반도로 한정하면, 해양과 빙권 부분에 대한 연구는 극히 제한된다. 그러므로 ‘3장 관측: 해양’, ‘4장 관측: 빙권’에 대한 장을 통합하고, ‘11장 단기 기후변화: 전망과 예측성’, ‘12장 장기 기후변화: 전망, 이행, 가역성’, ‘13장 해수면 변화’를 통합하여 재구성하였다. ‘10장 기후변화의 탐지와 원인규명: 지역-전지구’와 ‘14장 기후현상과 미래 지역기후변화에 미치는 영향’을 통

합하여 1개장으로 재구성하였다. 그 결과를 정리하면 Table 3와 같다.

2) 주요 내용

「한국 기후변화 평가보고서 2010」에서 2010년 초반까지의 연구결과가 포함되어 있기 때문에 2010~2014년에 발간된 한반도 기후변화 관측 및 예측분야의 논문과 보고서가 수집되어 정리되어야 한다. 현재까지 2010~2013년에 발간된 국외 학술지는 약 1,000편의 논문이 수집되어 있다. 논문수집에 포함된 학술지는 「한국 기후변화 평가보고서 2010」에서 가장 많이 인용된 Journal of Geophysical Research, Journal of Climate, Geophysical Research Letters, Science, Nature 등 40종, 국내 학술지는 Asia-Pacific Journal of Atmospheric Science, 대기, 대한지리학회지 등 12종이다(Table 4). 2014년 전반기에 발간된 연구결과가 포함되어야 한다.

‘1장 서론」에서는 주요 개념의 정의와 연구방법

Table 3. The Second Korean Climate Change Assessment Report: Chapters and Detailed Sections of the Physical Science Basis

Chapter	Section
Chapter 1: Introduction	1.1 Forward 1.2 Key Concept 1.3 Indicators of Climate Change 1.4 Treatment of Uncertainties 1.5 Advances in Measurement and Modelling Capabilities
Chapter 2: Observations: Atmosphere and Surface	2.1 Introduction 2.2 Changes in Atmospheric Composition and Radiation Budgets 2.3 Changes in Temperature 2.4 Changes in Hydrological Cycle 2.5 Changes in Extreme Events 2.6 Changes in Atmospheric Circulation and Patterns of Variability Reference
Chapter 3: Observations: Ocean and Cryosphere	3.1 Introduction 3.2 Ocean 3.3 Cryosphere Reference
Chapter 4: Information from Paleoclimate Archives	4.1 Introduction 4.2 Pre-Industrial Perspective on Radiative Forcing Factors 4.3 Modes of Climate Variability 4.4 Climate During the Holocene 4.5 Climate During the Era of History Reference
Chapter 5: Carbon and Other Biogeochemical Cycles	5.1 Introduction 5.2 Variations in Carbon and Other Biogeochemical Cycles before the Fossil Fuel Era 5.3 Evolution of Biogeochemical Cycles Since the Industrial Revolution 5.4 Projections of Future Carbon and Other Biogeochemical Cycles 5.5 CDR and SRM Reference
Chapter 6: Clouds and Aerosols	6.1 Introduction 6.2 Cloud 6.3 Aerosols 6.4 Aerosol-Cloud Interactions 6.5 Radiative Forcing and Effective Radiative Forcing 6.6 Processes Underlying Precipitation Changes 6.7 SRM Reference
Chapter 7: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing	7.1 Introduction 7.2 Atmospheric Chemistry 7.3 Anthropogenic Radiative Forcing 7.4 Natural Radiative Forcing 7.5 Geographic Distribution of Radiative Forcing 7.6 Emission Metrics Reference
Chapter 8: Evaluation of Climate Models	8.1 Introduction 8.2 Climate Models and their Characteristics 8.3 Techniques for Assessing Model Performance 8.4 Simulation of Variability and Extremes 8.5 Downscaling and Simulation of Regional-Scale Climate 8.6 Climate Sensitivity and Climate Feedbacks 8.7 Relating Model Performance to Credibility of Model Applications Reference
Chapter 9: Detection and Attribution of Climate Change	9.1 Introduction 9.2 Evaluation of Detection and Attribution Methodologies 9.3 Temperature and Precipitation(Including Extreme Events) 9.4 Monsoon System 9.5 Tropical Cyclone 9.6 El Nino/Southern Oscillation 9.7 Arctic Oscillation 9.8 Other Phenomena Reference
Chapter 10: Projections of Long-term and Near-term Climate Change	10.1 Introduction 10.2 Atmosphere and Surface 10.3 Ocean and Cryosphere Reference

을 구체적으로 제시하여야 한다. 「한국 기후변화
평가보고서 2010」에서 포함되지 않았던 연구결과

의 불확실성을 아주 간략하게라도 정량적으로 평
가할 수 있는 기준이 필요하다.

Table 4. List of Academic Journals Collected from within and out of the Country to Prepare the Second Korean Climate Change Assessment Report

Category	Name of Journal
In the Korea	Asian Journal of Atmospheric Environment, Asia-Pacific Journal of Atmospheric Science, Ocean and Polar Research, Journal of The Paleontological Society of Korea, 대기, Journal of the Korean Geographical Society, Journal of the Geological Society of Korea, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Climate Change Research, The Geographical Journal of Korea, Journal of The Korean Association of Regional Geographers, Journal of Climate Research, etc. Total of 12
Out of the Korea	Atmospheric Research, Bulletin of the American Meteorological Society, Climate Dynamics, Geophysical Research Letters, International Journal of Climatology, Journal of Climate, Journal of the Atmospheric Sciences, Journal of Geophysical Research, Nature, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Science, Weather and Forecasting, etc. Total of 40

‘2장 관측: 대기와 지표’에서는 Table 3에 제시된 것과 같이 대기와 지표에서 관측된 최신의 기후변화 증거를 갱신해야 한다. 우리나라에서 기상관측 업무는 1900년 초에 시작되었지만, 초기의 관측은 지역이 제한되어져 20세기 초, 한반도 전역에 대한 관측된 기후변화 경향을 파악하는 것은 어렵다. 1970년대 이후 남한지역에 60여 개에 이르는 기상관측소에서 다양한 기후요소의 관측이 시작되고, 장기간 축적되면서 지역에 따른 기후변동 및 변화를 파악하게 되었다. 최근 관측자료에 따르면 우리나라의 대부분 지역에서 전지구적인 기후변화 경향과 마찬가지로 기온의 상승과 강수량의 증가, 강설량의 감소가 나타난다(Lee and Kang, 1997; Ho *et al.*, 2003; Lee and Kwon, 2004). 관측자료에 기반한 대기조성과 복사수지의 변화에 관한 연구는 매우 부족하지만 이 부분에 대한 초기연구라도 포함시켜야 한다.

‘3장 관측: 해양과 빙권’에는 다음과 같은 내용이 포함되어야 한다. 한반도 주변 해양에 대한 기후변화 연구결과는 부족하지만 존재한다. 또한 중위도에 위치한 한반도는 빙권에 대한 직접적인 영향은 없으나 간접적으로 장마나 추위에 영향을 받을 수 있기 때문에 포함되었다. 한반도 주변 해수온도의 변화는 일관성 있는 경향을 보이지 않았

지만, 1985~1998년에 증가하였고, 1998~2009년에는 감소하였다. 수심에 따른 해수온도 변화를 보면 100m 수심의 경우 남해에서는 증가하나, 동해에서는 감소하였다(Min *et al.*, 2010). 황해도 50m 수심에서 수온이 감소하는 경향이 나타났다(Seong *et al.*, 2010).

‘4장 고기후 기록에 의한 정보’에서는 보다 정량화되고, 체계적인 분석이 필요하다. 지구온난화에 의한 한반도 기후변화 예측의 정확성을 높이기 위해서는 각종 프록시 자료들을 활용하여 과거의 한반도 기후변화를 복원하고 수치모델 결과를 비교해서 한반도 주변의 기후변화 기작을 이해해야 한다. 프록시 자료는 많은 불확실성과 한계가 있지만 다른 대안이 없기 때문에 과거의 기후변화 기록 복원은 프록시 자료에 의존할 수 밖에 없다. 한반도의 기후변화 요소를 복원해 낼 수 있는 프록시 자료들은 크게 육상과 해양의 지질적 자료와 생물적 자료와 역사 기록물로 구분할 수 있는데 해당 연구결과가 갱신되어야 한다.

‘5장 탄소순환과 생지화학적 순환’에 대한 연구결과가 최근에 활발하게 진행되고 있지만, 아직 정량화된 결과를 산출하지는 못하고 있다. 우리나라에서 진행 중인 현재의 기후변화를 이해하고, 미래의 기후를 예측하기 위해서는 한반도를

중심으로 한 동아시아 지역에서 대기권, 지권, 생물권, 수권의 상호작용에 대한 다양한 규모의 관측 및 모델링 연구가 필요하다. 고품질의 장기간 자료가 부족한 우리나라에서는 생지화학 관련 직접 관측이나 위성자료를 이용한 연구는 주로 유럽이나 미국에서 관측된 자료를 활용하고 있다. 한반도 육상에서 탄소순환과정에 대한 연구는 1990~1997년 인벤토리자료로부터 연간 CO₂ 플럭스량을 추정하였다(Lee *et al.*, 2002). 토지사용의 변화는 이산화탄소 수지에서 작은 비중을 차지한다. 우리나라에서 수행된 해양탄소순환에 관한 연구는 주로 주변 해역의 해양-대기-이산화탄소 교환량에 관한 것이고, 해양 내부에서의 이산화탄소 순환에 관한 연구는 부족한 실정이다. 이에 대한 최신 연구가 갱신되어야 한다.

‘6장 구름과 에어로졸’에서 고려해야 할 내용은 구름과 에어로졸이 기후변화 예측에 제공하는 불확실성이다. 아직 다양한 화학적 성질을 갖는 인위적, 자연적 에어로졸이 구름의 물리적 및 역학적 성질을 결정하는데 어떻게 기여하는지에 대한 이해가 부족하다. 구름의 관측에 관한 연구는 위성과 라디오미터에 의한 것이 주로 행해졌을 뿐 연구용 항공기가 도입되지 않아 직접 관측은 이루어지지 않고 있다. 구름과 수증기, 강수, 대규모 순환의 상호작용에 대한 연구는 주로 지역적 규모에서 이루어졌고, 전지구적으로 구름의 분포와 특성이 변화하여 기후에 어떠한 영향을 미치게 될 것인가에 대한 연구는 상대적으로 부족하다.

‘7장 인위적 및 자연적 복사강제력’에서는 다음의 내용이 갱신되어야 한다. 에어로졸의 복사강제력에 대한 연구는 최근 활발하게 증가하고 있다. 에어로졸의 복사강제력은 직접효과에 의한 것과 간접효과에 의한 것으로 분류할 수 있다. 제한적이기는 하지만, 1990년대 이후 우리나라에서는 온실가스 6종, 단수명가스(대류권 오존, 일산

화탄소 등), 에어로졸(산란계수, 흡수계수 등), 대기복사(태양복사, 지구복사 등), 강수의 화학적 특성(산성도, 전기전도도, 이온량), 자외선 등을 관측하여 기후변화를 감시하고 있다.

‘8장 기후모델 평가’에서는 사용되는 모델의 특성과 성능평가에 대한 내용이 갱신되어야 한다. 전지구기후모델은 상대적으로 저해상도의 공간 분해능과 물리과정의 단순화로 인하여 지역 또는 국지 규모의 기후현상을 표현하지 못하는 한계가 있다. 지역기후모델은 전지구기후모델에 비하여 높은 해상도와 정교한 물리과정을 포함하고 있기 때문에 전지구기후모델보다 중규모 대기현상을 더 정확하게 모의할 수 있고, 복잡한 지형과 해안선의 영향을 반영할 수 있다.

‘9장 기후변화의 탐지와 원인규명’에서는 방법론의 평가와 다양한 기상현상에 대한 탐지와 원인규명 결과가 포함되어야 한다. 기후변화의 탐지는 관측된 기후변화의 크기나 정도가 자연적으로 발생할 수 있는 내부변동성의 범위를 벗어난 것인지 아닌지를 확인하는 과정을 말한다. 기후변화의 원인규명은 탐지된 기후변화의 원인을 찾아내는 과정이다. 인위적인 요인으로는 온실가스와 황산 에어로졸이 대표적이며 자연적인 요인으로는 태양과 화산활동이 있다.

‘10장 단기 및 장기 기후변화 전망’은 다음과 같은 내용을 포함해야 한다. 미래의 기후변화를 예측하는 방법으로는 과거와 현재의 관측자료를 활용하여 기후변화 경향을 조사하는 방법이 있지만 유효한 관측자료의 기간이 상대적으로 짧은다는 점과 자연적인 변동성과 인위적인 변화를 구분하기 힘들다는 점 때문에 한계가 있다. 따라서 기후변화 전망에 대한 연구는 대부분 미래의 기후를 예측할 수 있는 기후모델링을 이용하여 수행하고 있다. IPCC 제4차 평가보고서에서 사용된 시나리오는 A1, A2, B1, B2로 총 4개이며, A1 시나리

오는 A1F1, A1T, A1B의 3가지 세부 시나리오로 구성되었다. 여기서는 RCP시나리오를 이용하여 수행된 전망이 갱신되어야 한다.

5. 요약 및 결론

기후변화는 대기권뿐 아니라 농업, 수자원, 해양, 보건, 에너지, 생태계 등 사회경제시스템 전반에 막대한 영향을 끼친다. 특히, 급격한 기후변화로 극한기후현상과 관련된 자연재해가 증가하면서 인명 및 재산피해가 급증하고 있다. 이에 대한 적절한 대응을 위해서는 기후변화 관측과 예측 및 감시를 아우르는 기후변화에 대한 종합적이고, 과학적인 정보가 필요하다. IPCC는 전세계 기후변화 관련 최신 연구결과를 집대성하여 주기적(5~6년)으로 발간하고 있다.

우리나라는 2011년에 최초로 한반도 및 동아시아 지역에 대한 기후변화 관측 및 예측에 대한 연구결과를 과학적 관점에서 종합적으로 정리한 「한국 기후변화 평가보고서 2010」을 발간하였다. 2013년 IPCC 제5차 평가보고서의 공개와 시기를 같이하여 한반도 기후변화 감시 및 예측 분야에 대한 보다 상세하고 포괄적이며, 최신의 연구결과를 포함하는 「제2차 한국 기후변화 평가보고서」 발간을 계획하고 있다. 본 연구의 목적은 우리나라 실정에 맞는 기후변화 대응책 수립에 필수적인 정확하고, 상세한 기후변화 정보를 제공하기 위한 「제2차 한국 기후변화 평가보고서」의 구성과 작성에 대한 지침을 제안하는데 있다.

「한국 기후변화 평가보고서 2010」 중 「1부 기후변화 관측 및 예측」은 2010년 초까지의 국내·외에서 발간된 연구논문, 단행본, 정부 발간 보고서, 발표자료 등 총 1,003편을 이용하여, 총 46명의 집필진이 한반도에서 나타난 기후변화의 현황과

원인, 미래 전망을 7개장, 총 324쪽으로 구성하여 작성하였다. 「3장 생지화학적 과정과 기후계의 결합」과 「7장 지역기후 전망」 관련 참고문헌 수가 상대적으로 적었고, 「4장 구름과 에어로졸」과 「6장 기후변화의 탐지와 원인」 관련 참고문헌 수가 많았다. 대부분의 참고문헌은 국외 학술지가 차지하였고, 국내 참고문헌은 18%를 차지했다.

「제2차 한국 기후변화 평가보고서」의 구성은 IPCC 제5차 평가보고서의 구성을 기반으로, 우리나라 실정에 맞게 재구성하고자 한다. 「3장 관측: 해양」과 「4장 관측: 빙권」 두 개의 장을 통합하고, 「11장 단기 기후변화: 전망과 예측성」, 「12장 장기 기후변화: 전망, 이행, 가역성」, 「13장 해수면 변화」를 통합하여 재구성하였다. 「10장 기후변화의 탐지와 원인규명: 지역-전지구」와 「14장 기후현상과 미래 지역기후변화에 미치는 영향」을 통합하여 1개장으로 재구성하여 전체 구성을 서론 포함 총 10개장으로 구성하였다.

「제2차 한국 기후변화 평가보고서」의 목차와 내용은 각 장의 주저자와 전문가 검토를 통해 변경, 통합, 삭제가 가능하다. 전문가 구성은 관련 부처(환경부, 기상청, 국립기상연구소 등)와 대학의 전문가로 구성하고자 한다. 장별로 서론에서 IPCC 제5차 평가보고서의 주요 연구결과를 1~2개 문단 정도로 간략하게 정리하여 포함시키고, 장별 결론에서 불확실성을 포함한 신뢰도 구간을 설정하여 2~3개의 정량화된 결론을 포함시키는 것이 필요하다.

사사

본 연구는 기상청 아시아태평양경제협력체 기후센터(APCC-2013-3160)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- CSIRO, 2012, *State of the Climate 2012*, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.
- EEA, 2011, *Forests, Health and Climate Change*, European Environment Agency.
- EEA, 2012a, *Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012*, European Environment Agency.
- EEA, 2012b, *Urban Adaptation to Climate Change in Europe*, European Environment Agency.
- EEA, 2013a, *Annual European Union Greenhouse Gas Inventory 1990-2011 and Inventory Report 2013*, European Environment Agency.
- EEA, 2013b, *Adaptation in Europe - Addressing Risks and Opportunities from Climate Change in the Context of Socio-economic Developments*, European Environment Agency.
- Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., and Dahe. Q. (Eds.), 2012, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- Ho, C. H., Kim, J. Y., Lee, K. M., Ahn M.H., and Lee H.S., 2003, A Sudden Change in Summer Rainfall Characteristics in Korea During the Late 1970s, *International Journal of Climatology*, 23, 117-128.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Working group I Contribution to The Fourth Assessment Report of The IPCC*. Cambridge University Press.
- JMA, 2008, *Climate Change Present and Future 2008*, Japan Meteorological Agency.
- Karl, T. R., Melillo, J. M. and Peterson, T. C. (Eds.), 2009, *Global Climate Change Impacts in the United States*, Cambridge University Press.
- KMA, 2011a, *White Paper for Climate Change in Korea*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011b, *Report of Regional Climate Change (Busan, Ulsan and Gyeongsangnam-Do)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011c, *Report of Regional Climate Change (Chungcheongbuk-Do)*, Korea Meteorological Administration.
- KMA, 2011d, *Report of Regional Climate Change (Daegu and Gyeongsangbuk-Do)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011e, *Report of Regional Climate Change (Daejeon and Chungcheongnam-Do) (in Korean)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011f, *Report of Regional Climate Change (Gwangju and Jeollanam-Do)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011g, *Report of Regional Climate Change (Incheon and Gyeonggi-Do)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011h, *Report of Regional Climate Change (Jeju-Do)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011i, *Report of Regional Climate Change (Jeollabuk-Do)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011j, *Report of Regional Climate Change (Seoul)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011k, *Report of Regional Climate Change (Yeongdong in Gangwon-Do)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2011l, *Report of Regional Climate Change (Yeongseo in Gangwon-Do)*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2012a, *Summary of Korea Global Atmosphere Watch 2011 Report*, Korea Meteorological Administration.
- KMA, 2012b, *Report on the Projections of Climate Change in Seoul, Incheon and Gyeonggi-Do*, Korea Meteorological Administration (in Korean).

- rea Meteorological Administration (in Korean).
- KMA, 2012c, *Report on the Projections of Climate Change in the Korean Peninsula*, Korea Meteorological Administration (in Korean).
- Lee, D., W., Yook, K. H., Lee, D. S., Kang, S. K., Kang, H. J., Lim, J. H. and Lee, K. H., 2002, Changes in Annual CO₂ Fluxes Estimated from Inventory Data in South Korea, *Science in China*, 44, 87-96.
- Lee, M. J. and Kang, I. S., 1997, Temperature Variability and Warming Trend in Korea Associated with Global Warming, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 33, 429-443 (in Korean).
- Lee, S. H. and Kwon, W. T., 2004, A Variation of Summer Rainfall in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 39, 819-832 (in Korean).
- Min, S. H., Kim, D. H, and Yoon, H.J, 2010, Temporal and Spatial Long Term Variability of SST in the Northeast Asian Seas using NOAA/AVHRR data, *the Proceedings of the KOSMEE Fall Annual Meeting*, 112-116.
- NIER, 2011, *Korean Climate Change Assessment Report 2010*, National Institute of Environmental Research Ministry of Environment Republic of Korea.
- NIMR, 2009, *Understanding Climate Change III-Climate Change in Seoul*, National Institute of Meteorological Research (in Korean).
- Seong, K. T., Hwang, J. D., Han, I. S., Go, W. J., Suh, Y. S. and Lee, J. Y., 2010, Characteristic for Long-term Trends of Temperature in the Korean Waters, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 16(4), 353-360.
- The People's Republic of China, 2012, *China's Policies and Actions for Addressing Climate Change*. The People's Republic of China.
- The UK Climate Projections, 2009, *The Climate of the United Kingdom and Recent Trends*, The United Kingdom Climate Projections.
- US EPA, 2012, *Climate Change Indicators in the United States*, United States Environmental Protection Agency.