

기후변화 관측분야 연구개발 현황과 발전방안

가수현 · 이정은 · 오정진[†]

숙명여자대학교 지구환경연구소

Status and Strategy for the Climate Observation Science in Korea

Soohyun Ka, Jung Eun Lee, and Jung Jin Oh[†]

Research Institute for Global Environment, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea

Received December 4, 2012/Revised December 19, 2012/Accepted December 28, 2012

Due to the climate change in this century around the globe, various problems like global warming, and abrupt change in climate variables have occurred. Especially, extreme weather and climate events above or below a threshold value near the upper or lower ends of the range of observed values of variable have increased rapidly. These extreme climate events have caused problems such as temperature rise, precipitation, glacial retreats and elevation of sea level rise and have brought a great economic losses and indirect effects on ecosystem services. Intergovernmental solution to the disasters due to the climate extremes has been pursued for adaptation and risk management. The review and evaluation on the current status of our scientific research and suggestions are discussed for the future development of climate observation science.

Key words: Climate change, Global warming, Climate extremes, Remote sensing, Atmospheric science

1. 서 론

금세기 들어 전 지구적으로 나타나는 큰 문제 중 하나인 기후변화로 인해, 지구온난화는 물론 기상, 기후 변수의 변동 등 다양한 문제가 제기되고 있다. 특히, 기상, 기후 변수의 분포도 편차가 심해지면서, 이러한 변수의 분포가 양극단 1~5% 사이에 해당하는 극한값(Extremes)을 보이는 빈도수가 급증하고 있다. 이러한 극한기후현상(Climatic Extremes)은 온도, 강수량, 태풍의 강도, 가뭄, 해빙과 해수면 상승 등의 문제를 야기하고, 유·무형의 재해를 범지구적으로 일으키고 있다. 기후변화에 따른 손실에 대한 해결책으로 취약성 평가 등과 더불어 재해대비, 완화 및 적응대책을 필요로 하며, 범 정부차원의 대응방안 수립이 진행되고 있다. 본 논문에서는 이에 관련하여 우리나라 기후변화 관련 과학연구의 현황을 돌아보고, 가장 기본이 되는 기후변화 관측연구의 수준과 문제점을 파악하여 앞으로의 연구

개발에 대한 방향을 제시하고자 한다.

2012년 IPCC(International Panel for Climate Change)에서 발표한 특별보고서에 따르면, 이상기후와 기상이변 등을 포함한 극한기후현상이 과거에 비해 크게 늘어난 것으로 나타났다. 기후변화와 관련하여 지난 60년간의 관측 및 모델링 연구결과와 재난관리 전문가의 의견을 포함하고 있는 이 보고서는 기온, 강수량, 태풍의 강도, 가뭄지역의 증가, 해수면 상승 등의 이상기후현상과, 이로 인한 지구시스템의 변화가 전 지구규모로 발생하고 있음을 보여준다. 이러한 극한기후현상은 생태계를 비롯하여 문화, 경제 등의 사회기반시스템의 큰 손실을 가져온다. 극한기후현상으로 인한 경제적 손실을 살펴보면, 지난 25년 간의 나타내면, 개발도상국은 GDP의 1.0%, 후진국은 0.3%, 선진국은 0.1%의 손실을 입은 것으로 나타났다. 이 수치를 우리나라 2011년 경제 규모에 적용하면 손실규모는 약 1조 2천억원에서 12조에 달한다. 기후변화로 인한 국가적 손실을 최소화하기

[†]To whom correspondence should be addressed.

위해 기후변화관련 과학기술의 연구현황과 완화대책, 취약성 검토, 재난 대책 등을 총체적으로 검토할 필요가 있다. 본 논문에서는 현재 우리나라의 기후변화에 관한 연구현황을 점검하고, 앞으로의 연구개발 방향을 논의하고자 한다.

2. 본 론

IPCC 특별보고서에 따르면은 지구의 온도 상승으로 인해 지역 기상특성이 변화할 것으로 내다보고 있다. 무더위 빈도는 가까운 미래에 4배 이상, 21세기 말에는 10배 이상 증가할 것으로 예측하고 있으며, 기온 변화를 예측한 결과는 대기방출 시나리오별로 차이는 있으나, 21세기 중반까지 지구 평균 기온이 1~3°C, 21세기 후반에는 2~5°C의 상승폭을 보일 것으로 예측하고 있다. 또한 지역에 따라 강수량의 격차가 커져 수해지역과 가뭄지역이 크게 증가할 것임을 알리고 있으며, 태풍 발생빈도는 현재와 비슷하나 그 강도는 더욱 강해질 것으로 예상하고 있다. 이 외에도 해수면 상승 및 해빙 현상 등이 심화될 것으로 나타나 이에 대한 대비책 마련을 촉구하고 있다.

2.1. 극한기후현상과 기후변화연구의 필요성

기후변화로 인한 재해의 원인으로는 극단의 기후수치를 보이는 극한기후현상(Climate Extremes)을 들 수 있다. 극한기후현상은 극한기상현상 및 극한기후현상(Extreme Weather and Climate Events)을 모두 포함하는 현상을 일컫는다. 이 현상은 일반적으로 기상이나 기후인자가 정상 분포의 한계치를 넘어 양 극단 1~5%에 해당되는 값을 나타내는 현상을 의미하며, 시간과 공간에 따라 그 강도가 약하게 진행되더라도 큰 피해를 가져올 수 있다. 예를 들어, 홍수나 가뭄은 극한기후현

상이 축적되어 나타나는 현상으로 볼 수 있으며, 이는 우리 사회 및 경제에 물리적인 영향을 가져옴과 동시에 다른 재해 현상과 연관되어 나타나는 특징을 보인다.

극한의 기상기후인자는 수십 년의 변동 주기를 갖고 변화하는 자연적인 기후변동요인과 더불어 인간 활동의 결과로 인한 영향으로 결과가 나타나기도 한다. 예를 들어, 인류활동으로 인한 대기 중 온실가스의 증가가 지구의 온도 상승으로 이어져 강수량이 증가한 것을 들 수 있다. 그러나 기후시스템의 복잡성 때문에 태풍이나 적도풍의 변화와 같은 몇몇 현상은 기후시스템의 복잡성으로 인해 현재의 과학기술로 아직 충분히 예측하지 못하고 있다. 기후 극한값들은 일부 기상기후인자들의 평균값 변화 추세만으로 설명될 수 없는 것들이 많아서, 극한기후현상의 빈도와 강도가 지역과 시간에 따라 다양하게 나타난다.

앞으로의 극한기후변화 양상을 제대로 예측하기 위해서는 다양한 관측 시스템을 운영하여 관측 결과의 양과 질을 높이고, 분석법을 개선해야 한다. 이 현상의 방향과 크기 예측은 기후인자들의 종류 및 관측법, 모델에 따라 다르므로, 신뢰도 높은 다양한 관측 결과값과 더불어 전문가의 판단과 검증이 뒷받침되어야 한다. 특히 이 변화는 지형과 규모에 따라 상이하기 때문에 범지구적인 관점에서의 변화 추세와 지역규모의 변화 추세는 서로 다를 수 있음을 명시해야 한다.

2.2. IPCC와 우리나라 기후변화 보고서에 나타난 기후변화 연구현황

IPCC는 UNEP(United Nations Environment Protection)와 WMO(World Meteorological Organization)가 공동으로 1988년에 설립한 기구로 1990년부터 5~6년 정도를 주기로 기후변화 평가보고서를 발간하고 있다.

세계적 기후변화 연구 결과를 담은 4번째 기후변화 평가 보고서 IPCC AR4(Assessment Report)는 130여 개국에서 약 2,500명의 과학자가 참여하여 2007년에 발간되었으며 3가지 분야(WG; Working Group)로 나누어져 있다. WG-I은 기후변화과학, WG-II에서는 기후변화 영향·적응 및 취약성, 그리고 WG-III에서는 기후변화 완화·적응을 다루고 있으며, 정책결정자를 위한 요약(Summary for Policy Makers)도 포함되어 있다. AR4의 WG-I 보고서는 전체 11장으로 구성되어 아래와 같은 내용을 담고 있으며 각 장에 인용된 논문의 수는 괄호 안에 표기하였다.

- 제1장 기후변화 과학의 역사적인 개관 (207편)

Table 1. IPCC AR4 기후변화 보고서에 참여한 저자와 논문 현황

	전체	미국	한국 (비율)
CLA: Coordinating Lead Authors	22	7	0
LA: Lead Authos	122	27	2
RE: Review Editors	27	5	1
총 보고서 참여자	171	39	3 (1.75%)
인용된 논문 및 보고서 수 (논문 수)	6180 (5,626)		40 (0.65%)

- 제2장 대기조성과 복사강제력의 변화 (710편)
- 제3장 관측 : 지표와 대기의 기후변화 (760편)
- 제4장 관측 : 눈, 얼음과 동토의 변화 (212편)
- 제5장 관측 : 해양의 기후변화와 해수면 (249편)
- 제6장 고기후 (550편)
- 제7장 기후시스템 내의 변화들과 생지화학간의 연결 (803편)
- 제8장 기후모델의 특징과 평가 (614편)
- 제9장 기후변화의 이해 및 원인규명 (489편)
- 제10장 전 지구 기후전망 (507편)
- 제11장 지역기후전망 (525편)

위의 전체 11개의 장에서 인용된 학술지를 정리하여 보면, Geophysical Research Letters가 총 823회, Journal of Climate가 총 785회, Journal of Geophysical Research가 총 746회 인용으로, 위 세 학술지가 다른 학술지에 비해 압도적으로 많이 인용되었다.

보고서 저자를 분석하면, 전체 171명 중 우리나라의 저자는 3명이며, 논문 수를 살펴보면 총 44명(국내 22명, 해외 22명)의 한국과학자가 참여한 40편의 논문이 인용된 것으로 파악되었다.

IPCC AR4 기준으로 우리나라 기후변화 관측분야의 연구현황을 살펴보면, 대기성분과 복사강제력 분야의 논문 총 759편 중 한국논문은 3편에 불과한 실정이며, 지표 및 대기기후변화관측 관련 논문 총 804편 중 한국은 5편 정도가 인용되었다. 즉, 전체적으로 우리나라 기후변화 관측분야의 연구기여도는 약 0.5~0.7%에 불과한 실정이다. 또한 보고서 작성에 참여한 전문가도 전체 171명 중 3명으로 우리나라의 기후변화 과학 분야의 기여도는 상당히 저조하다.

2.3. 우리나라 2010 기후보고서에 따른 연구현황

우리나라의 기후변화와 관련된 연구 결과를 종합하여 보고서를 발간한 예는 지난 2010년 발간한 한국기

후변화평가보고서 2010이 있다. 이 보고서는 한반도를 중심으로 기후변화 관측 및 예측분야(Part I)와 기후변화 영향 적응 및 취약성 분야(Part II)로 구성되어, 총 109명의 전문가(Part I 46명, Part II 66명, 공통 3명)가 참여하였고 1,735편의 국내외 논문이 반영되었다.

이 평가보고서의 영문판 요약보고서는 제32차 IPCC 총회(2010.10.11~14, 부산)와 UNFCCC COP16(2010. 11.29~12.10, 멕시코 칸쿤)에 배포되어, 해외에 한반도 중심의 동북아 기후변화에 대한 연구 결과를 알리는 좋은 자료로서 활용된 바 있다.

한국기후변화평가보고서 2010의 Part I인 기후변화 관측 및 예측은 아래 표와 같이 총 7장으로 구성되어 있다.

위의 전체 7개의 장에서 인용된 주요 학술지를 정리하여 보면, 해외 학술지로는 Journal of Geophysical Research(134회), Journal of Climate(87회), Geophysical Research Letters(80회), Science(38회), Nature(26회)로 위 다섯 학술지가 다른 학술지에 비해 압도적으로 많이 인용되었다. 또한 국내 학술지로는 한국기상학회지(72편), 한국기상학회지(대기)(25편)가 가장 많이 인용되었으며, 대한지리학회지(6편), 한국농림기상학회지(5편), 한국지구화학학회지(5편) 등이 인용되었다.

한국기후변화평가보고서 2010과 IPCC AR4의 참고문헌으로 언급된 해외학술지를 보면 주로 언급되는 학술지가 유사한 것을 확인할 수 있으며, 따라서 주요 학술지를 중심으로 최신 논문을 수집, 분석하는 것은 신뢰성 있는 좋은 자료를 확보할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

IPCC 제5차 기후변화 평가보고서는 2013년 이후 발간될 예정이며, 아래 표에서 보인 것과 같이 총 14장으로 세분화되어 기술될 예정이다. 또한 2010년 한국 기후변화 보고서 발간 이후, 우리나라와 관련된 기후변화 관련 논문을 검색하기 위하여 주요 학술지의 논문을 취합하여 IPCC 5차 보고서의 목차에 따라 분류하였다. 그중 우리나라와 주변지역의 기후변화를 다룬 국외 논

Table 2. 한국기후변화보고서 2010(기상청)에서 인용한 국내외 논문과 보고서 현황

목차	국내		국외		총계
	논문	보고서	논문	보고서	
제1장 기후변화 개관	17	1	40	1	59
제2장 기후변화 관측	23	9	122	1	155
제3장 생지화학 과정과 기후계의 결합	28	3	90	0	121
제4장 구름과 에어로졸	13	0	162	3	178
제5장 인위적 복사 강제력과 자연적 복사 강제력	12	3	118	9	142
제6장 기후변화의 탐지와 원인	42	3	164	2	211
제7장 지역기후 전망	16	11	108	2	137
총계	151	30	804	18	1,003

Table 3. IPCC AR5 Working Group-I의 목차별 수집 자료(논문, 보고서)의 수

목차		해외 논문	국내 논문	합계
정책결정자를 위한 요약보고서 기술요약보고서				
서론	1. 소개 (Introduction)			
관측된 기후변화 (2~5장)	2. 관측 : 대기과 지표 (Observation: Atmosphere and Surface)	281	59	340
	3. 관측 : 해양 (Observation: Ocean)	116	8	124
기후과정의 이해 (6~7장)	4. 관측 : 빙권 (Cryosphere)	15	2	17
	5. 고기후기록에 의한 정보 (Information from Paleoclimate Archives)	28	19	47
	6. 탄소순환과 생지화학적 순환 (Carbon and other Biogeochemical Cycles)	31	6	37
강제력과 기후변화 원인규명 (8~10장)	7. 구름과 에어로솔 (Clouds and Aerosols)	123	40	163
	8. 인위적 및 자연적 복사강제력 (Anthropogenic and natural Radiative Forcing)	2	2	4
미래 기후 변화와 예측성 (11~12장)	9. 기후모델 평가 (Evaluation of Climate Models)	34	2	36
	10. 기후변화의 탐지와 원인규명: 지역-전지구 (Detection and Attribution: Global and Regional)	12	9	21
해수면과 지 역기후변화 (13~14장)	11. 단기 기후변화 : 전망과 예측성 (Near-Term Climate Change: Projections and Predictability)	15	4	19
	12. 장기 기후변화 : 전망, Commitment, 가역성 (Long-Term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility)	33	4	37
13. 해수면 변화 (Sea Level Change)		8	0	8
14. 기후현상과 미래 지역기후변화에 미치는 영향 (Climate Change and their Relevance for Future Regional Climate Change)		1	0	1
총 계		699	155	984

문은 699편, GAW 보고서는 18편, 국내 논문은 155편 이 기후변화 과학관련 논문으로 취합되었다.

대기분야의 관측분야 관련 논문이 가장 많으나 빙권 이나 해수면 변화 등은 지역적 특성에 따라 연구결과가 많이 이루어지지 않았음을 볼 수 있고, 복사강제력과 탄소 순환 등의 분야에서는 연구 활성화가 필요한 것으로 사료된다.

2.4. 기후변화 과학연구의 현황

WMO와 UNEP에서 인정하는 기후변화 연구는 미국 NOAA와, 유럽의 ECMWF에서 이루어지고 있는 연구로, 현재 가장 선도적인 역할을 하고 있으며 관측 방법 이나 관측요소에 따라 다양한 관측망을 이루어 상호 검증 을 통한 신뢰도 향상 및 관측 기술의 발전에 기여하고 있다.

주요 기상기후 인자에 대한 전 지구적인 관측 자료 는 미국 NOAA의 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)에서 지표면에서부터 30 km의 대기 상공까지의 자료를 취합 제공하고 있으며, 유럽의 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)는 60 km 고도까지의 기상기후인자에 관한 예측자료를 제공하고 있다. 범지구적인 관측을 수행

하는 네트워크로는 GAW(Global Atmospheric Watch)에서 인정한 방법 및 기기로부터 측정된 자료만이 관측되어 수집되고 있으며, 관측 대상물로는 오존, 자외선, 에어로졸, 온실가스, 반응성 가스, 강수가 있다. 전 세계 26개 장소에 위치한 지구급 관측소 외에 지역급 관측지와 기여급 관측지가 등록되어 여러 장비를 통해 관측을 수행하고 있으며, 이 자료는 WDC(World Data Center)에 보고된다. NCEP과 ECMWF는 전 세계 기상 관측망의 자료는 물론 NDACC(Network for Detection of Atmospheric Composition Change)와 같은 범지구적인 network의 신뢰성 있는 검증자료를 이용하고 있다.

기후변화 관측의 기본 자료는 대기 분자의 물리적, 화학적 특성값을 기반으로 하여 해석한다. 분자의 특성값 은 주로 JPL(Jet Propulsion Laboratory)이나 HITRAN (High-resolution transmission molecular absorption database) 데이터베이스에 근거를 두고 있으며, 관측 자료의 올바른 해석과 신뢰도 향상을 위하여 이론적 자료뿐만 아니라 실험적 자료를 확충하기 위한 노력을 하고 있다.

기후변화 관측을 위해 위성 관측 방법도 활발하게 운영되고 있다. 범지구적인 기후변화 관측위성은 미국과

유럽에서 주도적인 역할을 하고 있으며 일본도 위성관측에 큰 기여를 하고 있다. 미국은 NASA JPL에서 EOS(Earth Observation System) 프로젝트로 AURA 위성 등이 다양한 분광학 장비를 이용하여 관측자료를 제공하고 있으며, 유럽은 ESA ENVISAT 위성을 이용하여 기후변화 관측을 진행하고 있다. 일본은 JAXA에서 GOSAT와 SMILES 등을 이용하여 연구와 관측을 수행하고 전 세계의 여러 위치에 관측 기지를 설치하여 다양한 지역에서 관측된 자료를 비교 검증하는 연구를 수행하고 있다.

우리나라의 GAW 기지는 지역급 관측소로서 안면도 기후변화감시센터와 제주도 고산의 제2기후변화감시센터가 등록되어 있으며, 온실가스와 에어로졸, 오존 및 자외선 등의 다양한 기후변화 요소를 관측하고 있다. 이외의 국내의 기후변화관측은 포항기상대와 고산기후변화 감시소, 서울대, 연세대, 광주과학기술원 등에서 자체적으로 기후변화인자에 대한 연속적인 관측을 수행하고 있다. 위성관측을 이용한 기후변화인자 관측기록은 아직 없으나, 2018년에 GEMS 환경위성을 발사할 계획으로 있으며 이 위성은 정지궤도에 머물며 우리나라 상공에 존재하는 주요 대기분자들에 대한 관측을 수행할 예정이다.

3. 결 론

국제적인 관측방법과 연구개발현황을 살펴보면, 현재 기상기후인자들에 대한 관측 및 연구는 실험실 수준의 연구를 기반으로 하여 이루어지고 있으며, 전 지구적 규모의 기상기후인자 관측 연구에도 응용되고 있다. 그러므로 제대로 된 기후변화 관측연구를 위해서는 실험실의 기초연구결과를 지상관측에 응용하고, 항공기와 풍선을 이용한 검증과 보완이 이루어져야 한다. 최종적으로는 위성관측을 통한 상시 감시관측시스템을 구축하고 지상관측을 통한 검증이 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

우리나라의 대기과학분야의 연구개발은 IPCC 보고서에 나타난 것처럼, 논문이나 전문가 기여도가 크게 부족한 실정이다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 자체적인 장비나 관측법의 개발, 응용분야의 개선 및 확장에 노력해야 할 것이다. 본 논문에서는 이에 관련하여 앞으로의 우리나라 기후변화 관측분야 연구방향을 다음과 같이 제시하고자 한다.

3.1. 국제적으로 공인된 관측 방법과 data의 확보

우선 NDACC 등 국제적인 관측망에 기여할 수 있는

관측기술과 관측방법의 개발을 지원하고, 국제적으로 공인된 장비를 활용한 안정적이고 장기적인 관측 연구를 지원해야 한다. 또한 안면도의 기후변화감시센터를 비롯하여 연세대, 광주과학기술원, 숙명여대(NDACC 장비) 등의 관측기관을 연계하여, 각 기관에서 관측된 자료를 상호보완하고 검증할 수 있도록 연계 운영하는 노력이 필요하다.

3.2. 다양한 관측 자료의 상호 비교검증을 위한 통합 데이터 관리센터의 운영

통합데이터 관리센터를 설치하여 기상자료뿐만 아니라 모든 대기조성에 관한 자료를 방법과 오차범위까지 지정하여 등록하는 체계적인 관리 시스템이 필요하다. 또한 연구개발의 수준이 급속도로 발전하고 있기 때문에 등록 data의 정확한 품질 내역도 보고되어야 한다.

통합데이터 관리센터를 이용하여 각종 데이터를 상호보완하고 검증할 수 있을 것이며, 더 나아가 관측 자료를 통합하여 최종 결과물을 생산할 수 있을 것이다. 또한 우리나라가 보유하고 있는 모든 데이터를 취합하여 과거부터 현재까지의 기록을 재현할 수도 있을 것이다. 데이터의 통합관리는 검증되고 신뢰성 있는 자료 산출에 필수적이며, 이를 통해 질 높은 관측 자료 및 연구결과를 생산할 수 있을 것이다. 물론 이와 동시에 이런 시스템이 국제적으로 인정받을 수 있도록 노력을 아끼지 말아야 할 것이다.

3.3. 특성화된 사업단이나 감시분야에 대한 지원 강화

미국, 유럽, 일본은 자체 위성과 지상 기지를 활용하여 기후변화 관측 및 연구를 국제적으로 이끌어가고 있다. 지구급 규모의 관측 기지는 최소 3km 이상의 고도에 위치해야 하며, 주로 고산지대나 극지방과 같이 대류권의 투과도가 높은 지역에 설치된다. 그러나 우리나라의 경우, 관측 기지를 설치할 만한 적절한 지역을 찾기 힘들기 때문에 관측 기지를 설립하고 이를 통해 관측 자료를 얻기 힘든 실정이다. 따라서 그 대안책으로 지표면에서 수행할 수 있는 기후변화 관측 기술 및 연구 개발이 필요하다. 위성을 이용한 연구를 살펴보면, 위성을 이용한 연구는 극히 제한적인 범위 내에서만 수행할 수 있다는 단점이 있다. 그러나 위성을 이용하면 한반도를 상시 관측할 수 있고, 대류권을 관측할 수 있다는 점에서 특화되는 장점이 있다. 그러나 우리나라는 위성탐체제의 개발에 관한 노후가 부족하고 또한 관측의 기본 자료를 확보할 수 있는 실험실, 지상관측, 모델링에 필요한 화학반응 데이터가 부족한 실정이다. 때문에 이를 제공

할 수 있는 일부 특성화된 분야의 지원이 필요하다.

현재 NDACC이나 EU의 FP7을 참고하면, 과제의 성격이 대상이나 방법을 기준으로 총괄책임자를 선정하여 장기적인 관측과 데이터 검증 등을 책임지고 운영할 수 있도록 하고 있다. 각각의 Network는 자체적으로 coordinator를 두어 관련 실험실의 데이터와 측정 방법을 자세히 살펴보고 하고, 더 나아가 그 분야의 전문가를 모아서 평가하는 방법을 택하고 있다. 모든 분야를 다루지 못하더라도 몇 가지 분야는 우리도 이와 같이 책임자를 선정하여 운영할 필요가 있다고 본다.

3.4. 기후변화 관측과 모델링에 필요한 대기화학 기초자료와 대기화학반응 연구

관측 자료의 해석에 필수적인 변수와 중간물질 검출 및 확인, 반응속도 등을 측정하고 제공할 수 있는 대기 분광학, 대기화학 반응연구실험실 등의 구축도 큰 기여를 할 수 있을 것이며, 분야별로는 국제적인 리더 역할도 가능할 것이다. 기후변화 관측 및 데이터 분석에 필요한 기초자료는 현재 JPL, HITRAN 등을 통해 국제적으로 인정받는 자료를 사용하고 있다. 그러나 아직 대기 분자의 기초적 특성 정의의 상당부분은 실험적으로 검증되지 않은 이론값에 근거한 자료를 사용하고 있다. 따라서 대기분야에 있어 모델링과 예측 그리고 역학과정을 이해하는데 기본 자료를 제공하는 대기화학 분야에 대한 지원도 필요하다

3.5. 국제협력 등 범지구적인 관측사업에의 기여

미국 EOS, 유럽 EURONET 일본 SMILES 등의 국제적인 위성 관측이 범지구적인 관측을 실시하고 있으며, 우리나라의 GEMS 환경위성은 2018년 해양위성과 함께 발사되고 환경위성은 대류권의 오존, NO₂, SO₂, HCHO와 에어로졸 등을 관측할 예정이다. 특히 GEMS는 정지궤도에 상주하면서 한반도 주변을 상시 관측할 예정이며 우리나라 대류권 연구에 크게 기여할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 위성 프로젝트의 성공을 위해서는 실험실단위, 지상관측, 항공기관측 등의 기초연구개발이 같이 이루어져야 위성자료의 보완과 검증 그리고 개선 방안을 마련할 수 있을 것이다.

상기 내용을 반영하기 위해서는 관측에 필요한 영역별, 분야별, 요소별 사업단과 Network를 구성하여 운영하는 것이 바람직하며(현재는 위성사업단이 구성되어 운영되고 있음) 이를 위한 예산의 확보가 중요하다.

1. 영역별 관측 장비의 개발 (UV/VIS, IR, MW, 센

서, GC/MS, Lidar, DOAS 등)

2. 분야별 감시사업단의 운영 (대류권, 성층권, 토양, 해양 등)

3. 기후변화 요소별 관측 연구망 구축 (O₃, UV, 에어로졸, GHG, Reactive gas, 강수, 온도 등)

4. 대기분야의 원천연구 강화 (대기화학 메카니즘, 관측변수, 복사전달 등 분광데이터 등)

기후변화 관측분야의 연구개발을 위한 투자는 최소 매년 120억 이상이 소요될 것으로 예상되며, 안정적인 장기적인 지원프로그램을 개발하여야 한다. 제안하고 있는 관측 프로그램, Network, 대상물질별 방법론별 분류 중에서 우리나라는 극히 일부 분야에서만 세계적인 경쟁력을 보이고 있으며 아직 선도그룹으로 보기 어려운 실정이다. 이를 개선하기 위해서는 장기적인 프로그램이 필요하다. 최소 5년 이상의 연구개발과 검증기간을 거쳐서 국제적으로 인정받을 수 있는 관측 개발 사업의 선정 및 추진이 필요하다. 또한 각 사업별로 평균하여 1억 원에 1명 정도의 전문 인력이 투입될 수 있을 것으로 사료되며 단계별 사업이 완성될 경우 사업별로 1~2명의 전문 인력이 배출될 수 있을 것이다.

4. 제 언

기상기후 인자들의 평균값이 점차적으로 변화하면서 기후변화가 발생하고 있고, 이러한 변화는 자연적인 주기에 따른 변화와 함께 인류활동에 따른 대기조성변화가 상호작용하여 가중되고 있는 것으로 나타난다. 기후변화시스템은 지역과 시간에 따라서 강도나 크기가 달라질 수 있고 커다란 편차를 가지며 점진적인 변화를 일으키고 있는 복잡한 현상이다.

극한기후현상은 이러한 기상기후인자들이 특정한 분포도에서 양 극한값에 가깝게 나타나는 현상이며, 이러한 현상의 빈도와 세기가 점차 커지고 있다. 이 현상은 생명과 재산상의 손실은 물론, 문화재를 비롯한 사회경제적인 시스템에 피해를 일으키고 미래에 대한 불안을 가져오므로 기후변화에 대한 이해와 대응책의 개선이 시급하다.

IPCC에서 집계한 극한기후현상에 의한 지난 25년간의 재산 손실 수치를 고려해 볼 때, 극한기후현상은 우리나라에게 앞으로 매년 평균 1조 2천억 원에서 12조의 재산손실(2001년 기준)이 생길 것이라 예상하고 있다. 현재 우리나라의 기후변화정책은 적응과 대응책 또는 환경오염과 혼재되어 진행되고 있으며 이로 인하여 순수한 기후변화 관련 과학분야의 관측과 예측에 대한

연구는 상대적으로 어려운 실정이다. 기후과학 분야에 있어 신뢰성 있는 자료와 데이터를 생산하고 기후변화요인을 추적 감시하는 체계적인 시스템의 구축이 필수적이다. 예상되는 피해규모를 감안하더라도 현재의 기후변화 감시예산은 절대적으로 열악한 수준이며 이렇게 저조한 예산 투자는 약 1% 미만의 저조한 논문기여도 및 IPCC 참여도의 한 원인이다.

폐기물을 처리하는 중대형 소각로 1기를 건설하는 데에도 1~2천억 원이 소요되는데 반하여 기상기후변화 관측 R&D 예산은 2009년 40억 원을 배정받을 것을 시작으로 현재도 60억 원 정도의 적은 예산만이 배정되고 있다. 현재 예측분야는 물론 정책, 홍보까지 포함하여 60여개의 과제밖에 지원하지 못하고 있는 것은 심각한 문제이며, 기후변화와 관련한 예산 확충 및 지원 현황을 선진국 수준으로 크게 개선하여 기후변화 관측분야의 역량을 기르는 것이 급선무이다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기후변화감시예측 및 국가정책지원

강화사업(CATER-2012-3160)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Field, C. B., et al., **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, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
2. 김맹기 외, **2011**, 한국 기후변화 평가 보고서 2010, 환경부 국립환경과학원.
3. 정효상, **2009**, 기후변화 과학분야의 역량 강화를 위한 정책방안 연구, 기상청 국립기상연구소.
4. 기상청, **2009**, 기후변화과학 원천기술 고도화 방안 보고서.
5. 기상청, 2009, 미래기상 · 지진기술비전 2040.
6. <http://www.ncep.noaa.gov/>
7. <http://www.ecmwf.int>
8. <http://www.jpl.nasa.gov>
9. <http://www.wmo.int>
10. <http://www.ipcc.ch>