한국관개배수 제16권 제1호
KCID J. VOL. 16, No.1 (2009. 7) pp.4~10

기후변화에 대한 연구 소개

Introduction to the Climate Change Research

정 상 옥*

Chung, Sang-Ok

Ⅰ. 서 론

인간의 활동에 기인한 온실가스의 증가로 인한 기후변화가 세계적인 관심을 받고 있다. 기후변화는 해수면, 기온, 강수량과 증발산량에 영향을 미쳐 인간의 생활에 직간접적으로 영향을 미친다. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)의 평가보고서에 의하면 2100년까지 지역별로 기온은 1.4~5.8℃ 상승하고 평균 해수면은 9~88cm 상승할 것으로 예측되었다. 정부는 기후변화의 주 원인인 온실가스를 줄이기 위하여 저탄소 녹색성장의 기치 아래 녹생성장위원회를 발족시키고 세계 10위인 에너지 소비를 줄이기 위한 대안을 찾기 위하여 노력하고 있다.

기후변화는 필연적으로 수자원 환경, 농업용수 수요량 및 작물생육에 영향을 미친다. 그림 1은 기후변화에 영향을 미치는 인간활동의 요소, 기후변화의 영향, 저감 또는 대응 방안의 상호관계 모식도이다. 세계적으로 기후변화가 다양한 분야에 미칠 영향에 대하여 많은 연구를 하고 있다. 영국, 독일, 미국, 호주 등에서 오랜 동안 기후변화 관련 연구를 해 오고 있다. 우리나라는 비교적 최근에 관련분야의 연구를 시작하였으며, 선진국에 비하여 미진한 실정이며 특히 기후변화가 농업용수 수요량에 미치는 영향에 대한 연구는 시작단계에 있다. 우리나라의 연구는 주로 기상청 기상연구소를 중심으로 모형실험을

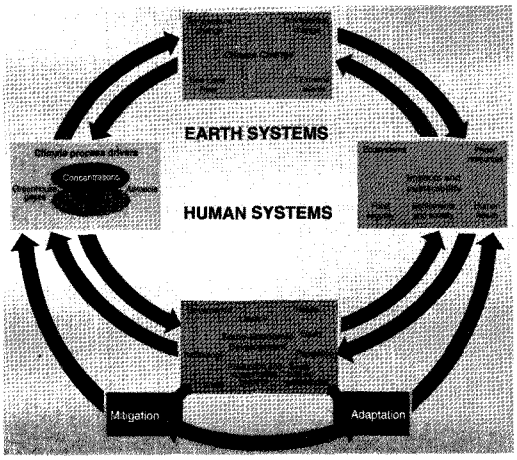

그림 1. 기후변화에 영향을 미치는 인간활동의 요소, 기후변화의 영향, 저감 또는 대응 방안의 상호관계 모식도 (IPCC, 2007).

* 경북대학교 농업토목공학과 교수(sochung@knu.ac.kr)

해오고 있으며 21세기 프런티어 연구사업으로 기후변화가 수자원에 미치는 영향평가 연구를 해 오고 있다. 본 고에서는 기후변화에 대한 국제기구와 국제협약 및 연구동향 등을 소개하여 앞으로 관련분야에 대하여 연구하고자 하는 사람들에게 필요한 기초 지식과 참고문헌을 제공하는데 있다.

Ⅱ. 국제 연구 프로그램

1. IPCC 및 UNFCCC

기후변화에 관한 주된 국제기구는 IPCC (기후변화에 대한 국가간 협의체)이다. IPCC의 역할은 인간활동에 기인한 기후변화의 위험성에 대하여 과학적, 기술적, 사회적, 경제적 정보와, 기후변화의 잠재적 영향 및 그에 대한 대처 및 저감 방안을 종합적, 객관적, 공개적으로 평가하는데 있다. IPCC의 구성과 운영은 윤 (2009)에 자세히 소개되어 있으며 3개 실무그룹의 활동분야는 다음과 같다.

- Working Group (WG) I : Physical science basis (과학적 근거)에 관한 연구그룹으로 기후변화의 물리적 측면에 대한 과학적 분석 및 평가.
- WG II : Impact, adaptation and vulnerability (영향, 적응 및 취약성)에 관한 연구를 수행하며 기후변화에 대한 사회, 경제 및 자연의 취약성 평가, 기후변화에 의한 영향, 기후변화에 적응하기 위한 대안의 평가.
- WG III : Mitigation (완화)에 관한 연구를 수행하며 온실가스 발생을 제한하거나 방지하는 등 대기 중의 온실가스 저감을 통하여 기후변화를 경감시키는 대안의 평가.

IPCC의 역사와 주요 협약 내용은 다음과 같다.

- 1988 : UN World Meteorological Organization (WMO)와 UN Environmental Programme (UNEP)에 의하여 만들어 짐.
- 1992 : UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC; 유엔 기후변화협약) 채택.
- 1992 : World Summit at Rio de Janeiro 에서 UNFCCC 협약 체결.
- 1994 : UNFCCC 효력발생.
- 1995 : Conference of Parties (COP-1) to the UNFCCC 개최
- 1996 : Conference of Parties (COP-2) to the UNFCCC 개최
- 1997 : Conference of Parties (COP-3) to the UNFCCC 개최 Kyoto Protocol to the UNFCCC 채택.
- 2001 : Conference of Parties (COP-7) to the UNFCCC 개최
- 2002 : Conference of Parties (COP-8) to the UNFCCC 개최
- 2005. 2월 : Kyoto Protocol 효력발생.

2. IPCC 출판물

IPCC는 약 5년마다 평가보고서를 발간하고, Working group (I, II, III)는 필요에 따라서 Special Report와 Technical Paper를 발간한다. 제 4차 평가보고서는 기후변화 종합보고서, WG I의 과학적 근거, WG II의 영향, 적응 및 취약성과 WG III의 기후변화의 완화로 나누어 발간되었다. IPCC의 전 지구모형 실행결과 자료는 많은 기후변화 연구의 기초 자료로 활용된다. 각 보고서 종류별로 발간 내역은 아래와 같다.

가. 평가보고서 (Assessment Report)

IPCC는 지금까지 아래와 같이 4차에 걸쳐 평가보고서를 발간하였다

- 1차-1990 : Scientific Assessment of Climate Change (CC), Impact Assessment of CC.
- 2차-1995 : The Science of CC, Impact, Adaptation and Mitigation of CC, Economics and Social Dimensions of CC.
- 3차-2001 : Synthesis Report, The Science Basis, Impact, Adaptation and Vulnerability, Mitigation. 3차 평가보고서는 일반적으로 TAR (Third Assessment Report)로 불림.
- 4차-2007 : The AR4 Synthesis Report, The Physical Science Basis, Impact, Adaptation and Vulnerability, Mitigation of CC.

1995년의 2차 평가보고서는 1997년에 체결된 교토 의정서의 주요 입력자료로 이용되었으며, 2001년의 3차 평가보고서는 UNFCCC와 교토 의정서의 내용을 발전시키는데 크게 기여하였다 (윤, 2009).

나. 특별보고서 (Special Reports)

IPCC는 지금까지 아래와 같이 특별보고서를 발간하였다

- 1994 : IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories.
- 1994 : Technical guidelines for assessing CC impacts and adaptation, p.59.
- 1994 : Radioactive forcing of CC and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios, p.339.
- 1997 : The regional impact of CC: An assessment of vulnerability, p.517.
- 1999 : Aviation and the global atmosphere, p.373.
- 2000 : Land use, land-use change, and forestry, p.375.
- 2000 : Emissions scenarios, p.570.
- 2000 : Methodological and technological issues in technology transfer, p.432.
- 2005 : Safeguarding the ozone layer and the global climate system, p.478.
- 2005 : Carbon dioxide capture and storage, p.431.

이 중 2000년도의 배출가스 시나리오 (Emissions scenarios) 특별보고서는 일반적으로 SRES (Special Report on Emissions Scenarios)로 잘 알려져 있다. 기후모형을 실행하기 위하여는 대기중의 탄산가스 농도와 황화물, 질소화합물 등 온실가스의 농도가 주어져야 한다. 이 가스들의 농도를 추정하기 위하여는 산업화, 인구증가, 에너지원, 지역화 중시, 환경성 중시 등 여러 가지 시나리오에 대한 배출가스 발생량을 추정하여야 한다. 이를 위하여 배출가스 시나리오가 필요하다. SRES는 A1, A2, B1, B2 네 개의 기본 시나리오로 구성되어 있으며, IPCC의 제3차 및 제 4차 평가보고서 작성의 기본 시나리오로 이용되었다. 그림 2와 같이 A는 경제성장을, B는 환경보전을 중시하며, 1은 세계화를 2는 지역화를 중시한다. A1 시나리오는 다시 에너지 소비형태에 따라 A1T (비화석 에너지 위주), A1FI (fossil intentive, 화석 에너지 위주)

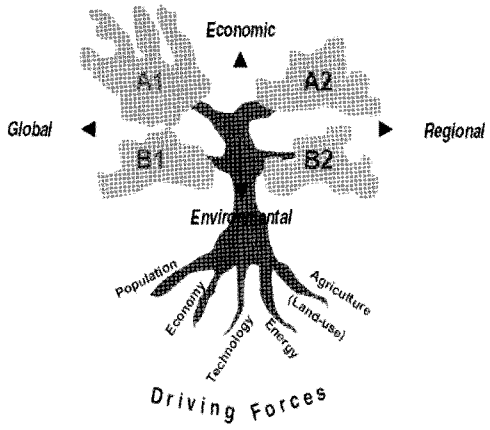

그림 2. SRES 네 가지 기본 시나리오의 개념도 (IPCC, 2000).

및 A1B (balanced, 균형적 이용)등 세 개로 나누어진다. IPCC는 지금까지 두 번의 배출가스 시나리오를 발행하여 평가보고서의 모형에 적용하였으며 2012년에 다시 발간할 계획이다 (IS92 (1992): 2차 평가보고서 작성에 사용; SRES (2000): 3차, 4차 평가보고서 작성에 사용).

다. 기술보고서 (Technical Papers)

IPCC는 지금까지 아래와 같이 6차에 걸쳐 기술보고서를 발간하였다

- 1차-1996 : Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change, p.84.
- 2차-1997 : An Introduction to Simple Climate Models Used in the IPCC Second Assessment Report, p.51.
- 3차-1997 : Stabilization of Atmospheric Greenhouse Gases: Physical, Biological and Socio-Economic Implications, p.52.
- 4차-1997 : Implications of Proposed CO_2 Emissions Limitations, p.41.
- 5차-2002 : Climate Change and Biodiversity, p.85.
- 6차-2008 : Climate Change and Water, p.210.

Ⅲ. 각국의 연구 프로그램

우리나라와 여러 선진국들의 기후변화관련 연구 프로그램은 배와 정(2008)에 소개되어 있다. 선진국은 영국, 미국, 프랑스, 독일, 스페인, 호주, 캐나다, 일본 등이 있으며 본고에서는 미국과 영국의 프로그램과 우리나라의 연구동향 만을 소개한다. 관련 웹 사이트는 참고문헌 끝에 수록하였다.

1. 영국

영국은 UK climate change programme (UKCCP)와 UK climate impacts programme (UKCIP)라는 기구를 설치하여 기후변화 영향평가 및 적응방안에 대한 연구를 수행하고 있다. 또한 기상청 산하의 Hadley centre for climate prediction and research가 국가 기후변화 연구를 총괄하고 있으며, Tyndall centre for climate change research는 대학 연합연구소이다. 영국의 국가 기후변화 평가 보고서는 2002년 4월 (UKCIP02)에 발행되었으며 2009년 1월 (UKCIP09)에 개정되었다.

UKCIP02 : Climate change scenarios for the United Kingdom, 2002, p.112.

UKCIP09 : The climate of the United Kingdom and resent trends, 2009, p.117.

2. 미국

미국은 1989년에 설립된 지구변화 연구 프로그램 (U.S. Global Change Research Program)에 의해 주도되었다. 2002년에는 기후변화 과학기술위원회 (Committee on Climate Change Science and Technology Integration)를 설립하고 그 산하에 기후변화 과학 프로그램 (Climate Change Science Program)와 기후변화 기술 프로그램 (Climate Change Technology Program)을 두고 연구를 하고 있으며, 지구변화 연구 프로그램은 기후변화 과학 프로그램 산하로 귀속시켰다. 현재 미국에서는 기후변화 협약 대응을 위하여 기후변화 진단기술 개발, 모델의 불확실성 감소 연구, 기후변화의 과학적 메카니즘과 영향에 관한 연구 등을 수행하고 있다.

3. 한국

우리나라에는 기후변화협약 대책위원회가 구성되어 있다. 이 위원회는 기후변화에 대한 문제를 해결하기 위한 국제적 노력에 동참하고 기후변화의 영향을 최소화하기 위하여 설립되었다. 이 위원회는 국무총리가 위원장이고 각부 부처의 장 등이 위원이다. 또 2005. 5월에 한국기후변화 협의체가 구성되었으며, 이는 실무협의회, 사무국, 기후변화 연구회를 두고 있다.

우리나라에서는 기상연구소와 환경부에서 기후변화 관련 연구를 하여 왔으며, 각 분야별로 전문가 들이 기후변화의 영향을 위주로 연구해 오고 있다. 기상연구소 (2002, 2003, 2004)는 기후변화대응 1단계 사업으로 지역기후시나리오 산출기술개발연구를 3년간 수행하였으며, 기상연구소 (2005, 2006)에서 2단계 사업으로 지역기후시나리오 활용기술개발연구를 수행하였다. 기상연구소와 환경부의 연구결과는 정 (2009)에 자세히 소개되어 있다.

수자원의 지속적 확보기술개발 사업단에서는 기상연구소의 모형실행 결과를 이용하여 한반도의 수자원 영향평가를 수행하고 있다 (배, 2007; 배와 정, 2008). 배 (2007)는 IPCC의 7개 OAGCM과 ECHO-G 등 8개 모형을 이용하여 SRES A2/B2 시나리오에 대한 앙상블 모형분석을 통하여 동아시아 기후 예측연구를 수행하였으며, RegCM3 지역기후모형을 이용한 역학적 상세화 연구도 수행하여 지역기후모형의 적용성을 검증하였다. 배와 정 (2008)은 유역별 유출시나리오 생산을 위하여 A2 시나리오에 대하여 ECHO-G 모의 결과를 MM5로 역학적으로 상세화하고 다시 LARS-WG를 이용하여 통계적으로 상세화하고 PRMS 유출모형을 이용하여 유역별 유출예측을 하였다.

기후변화가 농업용수 수요량에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 빈약한 실정이며, 최근에 정 (2009)은 기후변화가 낙동강 권역의 농업용수 수요량에 미치는 영향에 대하여 발표하였다.

IV. 기후변화 모형

기후변화 예측은 먼 장래에 대한 추정이므로 일반적으로 여러 가지 모형을 이용하게 된다. 기후변화모형은 크게 다음 세 가지로 분류할 수 있다.

(1) Global climate (or General circulation) model
(2) Climate impact model
(3) Integrated assessment model

이들은 IPCC의 Working group I, II, III 각각의 연구내용과 같다. Global climate model은

공기역학과 방사에너지 흐름에 기초한 물리적인 방정식들을 푸는 것으로 일반적으로 General Circulation Model (GCM)으로 불리며, 해양 (Oceanic)모형과 대기(Atmospheric) 모형으로 구분되며, 이 두 개를 결합한 해양-대기순환모형 (OAGCM)이 주로 이용된다. IPCC 3차 평가보고서에는 31개의 OAGCM이 이용되었고 4차 평가보고서에는 23개가 이용되었다. OAGCM은 일반적으로 수백 km에 해당하는 격자망을 갖기 때문에 지역적 기후예측에는 한계가 있다. 따라서 상세화 또는 지역화 과정을 거쳐 수십 km의 높은 해상도를 갖는 기후값으로 변환하여야 한다. 상세화 방법은 정 (2009)에 소개 되어 있으며, Wilby & Dawson (2007)은 여러 가지 상세화 기법의 장단점이 비교하였다.

Climate impact model은 기후변화가 여러 가지 분야에 미치는 영향을 분석하는 모형으로 근본적으로 경험에 기초한 분석기법이 이용된다. 이 영향은 산림, 생태계, 어업, 농업, 수자원 등 여러 분야에 대하여 고려할 수 있다. 지금까지의 연구를 보면 기후변화의 영향에 대하여 집중적으로 이루어지고 있다고 하겠다. 모든 기후분야 연구는 궁극적으로 저감방안의 제시와 적응 전략의 개발로 연결되어야 할 것이다.

Integrated assessment model은 기후변화 영향을 줄이고 이에 대처할 수 있는 방향을 제시한다. 즉, 의사결정자에게 앞의 두 개의 물리적, 생물화학적 모형 결과를 사회적, 정치적, 경제적 측면에서 대처할 수 있는 정보를 제공한다.

모형 결과를 이용할 때에는 불확실성에 대한 이해가 있어야 한다. 먼 미래에 대한 추정은 여러 가지 불확실성을 내포한다. 먼저 모형 자체의 불확실성은 물리 현상을 수식으로 표현하는데에서 발생하는 불확실성이고, 배출가스 시나리오는 인구증가, 산업발전 등 여러 가지 가정 하에서 작성되었으므로 큰 불확실성을 내포하고 있다. 따라서 이러한 불확실성을 감소시키기 위하여 여러 개의 모형을 이용한다던지, 여러 개의 시나리오를 이용하는 앙상블 모델 연구가 수행되고 있다.

V. 요 약

기후변화 연구에 필요한 자료와 국제협약에 대하여 간략히 소개하였다. 또한 기후변화 모형과 상세화 기법에 대하여 소개하였다. IPCC의 역할과 각 실무그룹의 역할 및 평가보고서, 특별보고서, 기술보고서 등 발간물과 영국과 미국 등의 기후영향 프로그램을 간략히 소개하였다. 또한 국내의 주요 연구를 소개하였다.

여러 가지 시나리오에 대한 OAGCM실행 결과는 참고문헌과 소개된 홈페이지를 통하여 쉽게 구할 수 있을 것으로 생각한다. 본고가 기후변화와 수자원 및 농업용수 분야에 미치는 영향에 대하여 관심 있는 회원들에게 조금이나마 도움이 되었으면 하는 바람이다.

참고문헌

1. 기상연구소. 2002, 2003, 2004. 기후변화대응 지역기후시나리오 산출기술개발 (I, II, III).
2. 기상연구소. 2005, 2006. 기후변화대응 지역기후시나리오 활용기술개발 (I, II).
3. 배덕효, 2007. 기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계 구축. 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 2단계 연구보고서, p.636.
4. 배덕효, 정일원, 2008. 기후변화 수자원 영향평가기법 및 한반도 영향평가. 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 기술보고서, p.88.
5. 기후변화가 낙동강 권역의 논 관개용수 수요량에 미치는 영향. 한국농공학 회논문집 51(2): pp.35~41.
6. 윤용남, 2009. IPCC/Tehnical Paper VI "기후변화와 물" 소개. 한국수자원학회지 물과 미래 42(3): pp.44~51.

7. IPCC. 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press. Cambridge, UK. p.570.
8. IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge University Press. Cambridge, UK. p.944.
9. IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Cambridge University Press. Cambridge, UK. p.996.
10. IPCC. 2008. Climate Change and Water. IPCC Technical Report VI. p.210.
11. IPCC-TGICA. 2007. General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. Prepared by Carter, T.R. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, p.66.
12. Wilby, R.L. & Dawson, C.W., 2007, Statistical Downscaling model SDSM Version 4.2 User manual, p.94.
13. URL
www.climatescience.gov 미국 기후변화 과학 프로그램 자료.
www.climatetechnology.gov 미국 기후변화 기술 프로그램 자료.
www.cru.uea.ac.uk 여러 가지 기후자료 제공.
www.ipcc.ch IPCC의 여러 가지 보고서 제공.
www.ipcc-data.org 여러 가지 IPCC 기후자료 제공.
www.iwmi.org 수자원 및 기후 정보 (world water and climate atlas) 제공.
www.ukcip.org.uk 영국 기후변화 프로그램, 50개 이상 발간물 제공.
www.ukccp.org.uk 영국 기후변화 프로그램 자료.