

Research Paper

## RCP 시나리오 기반 CMIP5 GCMs을 이용한 동북아시아 미래 기후변화 불확실성 평가

신용희\* · 정휘철\*\*

APEC 기후센터\*, 한국환경정책·평가연구원\*\*

Assessing uncertainty in future climate change  
in Northeast Asia using multiple CMIP5 GCMs with four RCP scenarios

Yonghee Shin\* · Huicheul Jung\*\*

APEC Climate Center\*, Korea Environment Institute\*\*

**요약** : 전 지구와 남한, 북한, 일본 지역을 중심으로 한 동북아시아 지역에 대한 기온, 강수량, 일사량의 미래 변화를 정량적으로 평가하기 위해 총 34개 GCM에 의해 작성된 CMIP5 기후변화 시나리오를 분석하였다. 그 결과 동북아시아 지역에서 전 지구 평균보다 기온과 강수량이 증가하는 것으로 예측되었다. 특히 RCP 8.5 시나리오의 2080년대 북한 지역에서는 비록 GCM 간 예측의 불확실성이 크지만 과거 30년(1971-2000년)에 비해 기온은 5.1°C, 강수량은 18% 증가하는 것으로 예측되었다. 일사량의 경우 전 지구 평균 일사량은 RCP 2.6 시나리오를 제외한 모든 RCP 시나리오에서 대체로 시간이 경과할수록 감소하는 것으로 예측되었으나 동북아시아 지역에서는 대체로 시간이 경과할수록 운량 감소의 영향으로 일사량이 증가하는 것으로 예측되었다.

**주요어** : 기후변화, CMIP5, RCP 시나리오, 불확실성

**Abstract** : The CMIP5 climate change scenarios from 34 GCMs were analyzed to quantitatively assess future changes in temperature, precipitation, and solar radiation against the global region and the Northeast Asia region with a focus on South Korea, North Korea, or Japan. The resulting projection revealed that the Northeast Asia region is subjected to more increase in temperature and precipitation than the global means for both. In particular, temperature and precipitation in North Korea were projected to increase about 5.1°C and 18%, respectively under the RCP 8.5 scenario, as compared to the historical means for 30 years (1971-2000), although a large uncertainty still exists among GCMs. For solar radiation, global mean solar radiation was predicted to decrease with time in all RCP scenarios except for the RCP 2.6 scenario. On the contrary, it was predicted that the amount of solar radiation in the Northeast Asia increases in the future period.

**Keywords** : Climate Change, CMIP5, RCP Scenario, Uncertainty

## I. 서론

산업화에 따른 대기 중 온실가스 배출 증가의 원인으로 지구 전체 평균기온이 상승하는 지구 온난화 문제가 국제사회에 커다란 이슈로 떠올라 사회적 공감대를 형성하고 있다. 최근 지구 온난화에 따른 다양한 형태의 기후변화 영향으로 세계 각지에서 홍수, 가뭄, 폭염 등의 이상기후 현상이 빈번하게 발생하고 있으며 그 강도 또한 세지고 있다(Disaster Risk Reduction, 2007). 기후변화로 인한 인명, 재산 및 자연환경의 피해를 최소화 하고 지속가능한 인류사회를 만들기 위한 기후변화 적응 정책은 온실가스 완화 정책과 더불어 피할 수 없는 선택이 되고 있다. 지역 특성에 맞는 적절한 적응 대책을 세우기 위해서는 미래 기후가 어떻게 변할 것인지를 예측한 기후변화 시나리오가 필요하며 기후변화가 각 분야에 어떻게 얼마나 영향을 미치는지에 대한 과학적이고 정량적인 영향평가 및 취약성 평가에 대한 연구가 반드시 선행되어야 할 것이다. 기후변화 영향평가에 대한 연구는 주로 선진국을 중심으로 진행되어 왔고 우리나라에서도 농업, 수자원, 산림, 건강, 생태계 등의 분야에 대한 연구가 진행되어 왔다(이운선 등, 2008; 김병식, 2005; 신형진 등 2012; 주세종 등, 2012). 영향평가 연구를 수행하기 위해 기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 제공하고 있는 기후변화 시나리오 자료를 활용한 연구들이 활발히 이루어지고 있지만 제공되는 자료의 양이 방대하기 때문에 일부 기후변화 시나리오 자료만으로 분야별 영향평가를 실시하는 경우가 많았다(심교문 등, 2011; 정세진 등, 2014; 이승수 등, 2014). 우리나라의 경우도 기상청에서 제공하고 있는 국가 기후변화 시나리오 자료만을 이용한 영향평가 연구가 대부분으로 여기서 얻은 영향평가 결과를 토대로 국가 기후변화 적응정책을 수립하고자 하는 경향이 있다.

기후변화 전문가 회의에서는 IPCC 제 5차 평가보고서를 위해 새로운 온실가스 배출 시나리오인 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP) 시나리오를 개발했고 결합기후모델상호비교사

업(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5)을 통해 RCP 시나리오에 기반한 지구 기후변화 시나리오가 작성되었다(Taylor *et al.*, 2009). 최근 이를 활용한 새로운 기후변화 영향 평가 및 취약성 평가 연구가 수행되고 있으나 기후변화 시나리오에 관한 충분한 분석이나 성질파악이 이루어져 있지 않다. 향후 기후변화에 따른 피해를 최소화하기 위해서는 기후변화 시나리오에 대한 분석을 통해 우리나라(남한)를 중심으로 북한 및 일본 등 주변지역의 기후가 어떻게 변해갈 것인지에 대한 파악이 중요하다.

본 연구에서는 대상지역을 전 지구와 남한, 북한, 일본 지역으로 나누어 RCP 시나리오에 따른 기온, 강수량, 일사량의 미래 변화를 정량적으로 분석하고 각 RCP 시나리오를 기반으로 한 전지구 기후모델(General Circulation Model, GCM)의 기후예측 결과를 서로 비교하고자 한다. 나아가 전 지구 평균 기후변화와 우리나라를 포함한 주변지역의 평균 기후변화 특징을 파악해 분야별 기후변화 영향 및 취약성 평가 연구를 수행하는데 있어 적절한 기후변화 시나리오의 선택과 다양한 기후변화 시나리오 안에 포함되어 있는 대상지역별 기후변화에 대한 정량적인 정보 제공을 목적으로 한다.

## II. 기후변화 시나리오 및 분석 방법

### 1. CMIP5 기후변화 시나리오

CMIP5 기후변화 시나리오는 IPCC 제 5차 평가 보고서 위해 개발된 RCP 복사강제력 시나리오를 기반으로 한 다양한 GCM에 의한 기후예측 시뮬레이션 결과로 현재 Earth System Grid (<http://earthsystemgrid.org/home.htm>)를 통해 공개되고 있으며 기후변화에 따른 분야별 영향 및 적응 평가 연구 등에 이용되고 있다. 본 연구에서는 APEC 기후센터와 일본 국립환경연구소에 의해 수집된 다양한 CMIP5 기후변화 시나리오 중에서 기온, 강수량, 일사량에 대한 과거 기후 재현실험(Historical) 결과와 미래기후 전망실험 결과를 포함하는 총 34개 GCM의 기후변화 시나리오 자료를 분석에 이용했다. 재현실험 자료는 1971

년부터 2000년까지의 30년간의 데이터를 이용했으며 미래 예측기후에 대해서는 RCP 2.6, 4.5, 6.0 및 8.5 시나리오에 기반 한 2006년부터 2100년까지의 미래 기후변화 시나리오 자료를 바탕으로 기온, 강수량, 일사량의 변화를 분석했다. 기후변화 분석에 이용된 34개 GCM 중에서 RCP 2.6 시나리오를 기반으로 기후 시뮬레이션을 실시한 GCM이 27개, RCP 6.0 시나리오를 기반으로 한 GCM이 20개, 그리고 RCP 4.5와 RCP 8.5 시나리오를 기반으로 한 각각 34개 GCM이 이용되었다. Table 1은 분석에 이용된 CMIP5의 GCM 종류와 각 GCM에 대한 RCP 시나리오의 적용유무 그리고 각 GCM의 공간해상도 정보를 나타낸다. 분석에 이용된 34개 GCM은 다양한 공간수평 해상도로 제공되고 있으며 그 중에서 공간수평 해상도가 가장 높은 GCM은 CMCC-CM(cccm)으로

위경도 480×240의 격자로 되어 있고 수평 해상도가 가장 낮은 GCM은 FGOALS-g2(fgg2)로 128×60의 격자로 제공되고 있다. 국립기상연구소에서 도입한 영국 해들리 센터의 HadGEM2-AO GCM의 경우 192×145 격자의 수평 해상도로 제공되고 있다.

## 2. 분석 방법

CMIP5 기후변화 시나리오의 특징을 분석하기 위해 전 지구, 남한 육역, 북한 육역 및 일본 육역에 대한 CMIP5 기후변화 시나리오의 연평균 기온, 연평균 일강수량, 연평균 일사량의 변화를 비교했다. 취득된 CMIP5 기후변화 시나리오는 Table 1에서와 같이 GCM에 따라 그 공간수평 해상도가 서로 다르기 때문에 기후변화의 정량적인 상호 비교를 위해서는 각 GCM의 수평 해상도를 통일시켜줄 필요가 있다.

Table 1. Characteristics of the GCMs in the CMIP5 data. The symbol ‘x’ and ‘o’ show consideration of RCP scenario whether or not

Institute	Model Name	Code	RCP Scenario				Resolution (lon. × lat.)
			2.6	4.5	6.0	8.5	
CSIRO/BOM	ACCESS1-0	ac10	×	o	×	o	192 × 145
	ACCESS1-3	ac13	×	o	×	o	192 × 145
BCC	BCC-CSM1-1	bc11	o	o	o	o	128 × 64
	BCC-CSM1-1-M	b11m	o	o	o	o	320 × 160
GCESS	BNU-ESM	bne1	o	o	×	o	128 × 64
CCCMA	CanESM2	ce21	o	o	×	o	128 × 64
NCAR	CCSM4	csm4	o	o	×	o	288 × 192
NSF/DOE/NCAR	CESM1-BGC	c1bg	×	o	×	o	288 × 192
	CESM1-CAM5	c1ca	o	o	o	o	288 × 192
CMCC	CMCC-CM	cccm	×	o	×	o	480 × 240
CNRM/CERFACS	CNRM-CM5	cc51	o	o	×	o	256 × 128
CSIRO/QCCCE	CSIRO-Mk3-6-0	cm36	o	o	o	o	192 × 96
LASG/CESS	FGOALS-g2	fgg2	o	o	×	o	128 × 60
LASG/IAP	FGOALS-s2	fgs2	o	o	o	o	128 × 108
FIO	FIO-ESM	fie1	o	o	o	o	128 × 64
NOAA GFDL	GFDL-CM3	gc31	o	o	o	o	144 × 90
	GFDL-ESM2G	ge2g	o	o	o	o	144 × 90
	GFDL-ESM2M	ge2m	o	o	o	o	144 × 90
NASA GISS	GISS-E2-R	ge2r	o	o	o	o	144 × 90
NIMR/KMA	HadGEM2-AO	hg2a	o	o	o	o	192 × 145
MOHC	HadGEM2-CC	hg2c	×	o	×	o	192 × 145
	HadGEM2-ES	hg2e	o	o	o	o	192 × 145
INM	INM-CM4	in40	×	o	×	o	180 × 120

Table 1. Continued

Institute	Model Name	Code	RCP Scenario				Resolution (lon. × lat.)
			2.6	4.5	6.0	8.5	
IPSL	IPSL-CM5A-LR	ic5l	○	○	○	○	96 × 96
	IPSL-CM5A-MR	ic5m	○	○	○	○	144 × 142
	IPSL-CM5B-LR	icbl	×	○	×	○	96 × 96
MIROC	MIROC5	m501	○	○	○	○	256 × 128
	MIROC-ESM	mesl	○	○	○	○	128 × 64
	MIROC-ESM-CHEM	mesc	○	○	○	○	128 × 64
MPI-M	MPI-ESM-LR	mpel	○	○	×	○	192 × 96
	MPI-ESM-MR	mpem	○	○	×	○	192 × 96
MRI	MRI-CGCM3	mc31	○	○	○	○	320 × 160
NCC	NorESM1-M	ne1m	○	○	○	○	144 × 96
	NorESM1-ME	n1me	○	○	○	○	144 × 96

여기서는 CDO(Climatic Data Operators)를 활용한 기하학적 내삽 방법으로 전체 GCM에 대한 수평 해상도를 위경도 360×180(1°×1°)의 격자로 재 표본(Resample)하여 기후변화 시나리오를 작성했다. 또한 취득된 CMIP5 기후변화 시나리오는 월 단위 자료로 작성되어 있기 때문에 기후요소에 대한 연 변동 분석을 위해 연 평균을 실시했다. 공간 수평 해상도 1°×1°로 재 작성된 기후변화 시나리오 자료는 같은 격자 크기라 할지라도 위경도 별 실제 면적이 다르기 때문에 각각의 격자 넓이에 맞는 면적 가중치를 주어진 지구 및 국가별 평균 기후값을 구했다. 국가별 미래 기후변화의 정량적인 분석을 위해 수평 해상도 2.5'×2.5'(적도기준 약 5.5km 격자)의 GPW(Gridded Population of the World) 데이터를 이용해 육지 지역에 대해서 기온, 강수량, 일사량을 추출한 다음 국

가별 연 평균을 계산했다(CIESIN, 2005). 또한 RCP 시나리오 간 CO<sub>2</sub>농도 차이에 따른 기후변화를 정량적으로 분석하기 위해 Historical 데이터인 1971년부터 2000년까지의 30년 평균 기후자료를 기준으로 2020년대(2021년-2030년), 2050년대(2051년-2060년), 2080년대(2081년-2090년)에 대한 30년 간격의 기후변화를 대상 국가별로 분석했다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 전 지구 CO<sub>2</sub>농도 시나리오와 기온 변화

RCP 시나리오에 의한 미래 전 지구 평균의 대기 중 CO<sub>2</sub>농도 변화는 Figure 1과 같이 각각의 RCP 시나리오에 따라 다르게 예측되었다(Moss *et al.*, 2010; van Vuuren *et al.*, 2011). RCP 2.6 시나리

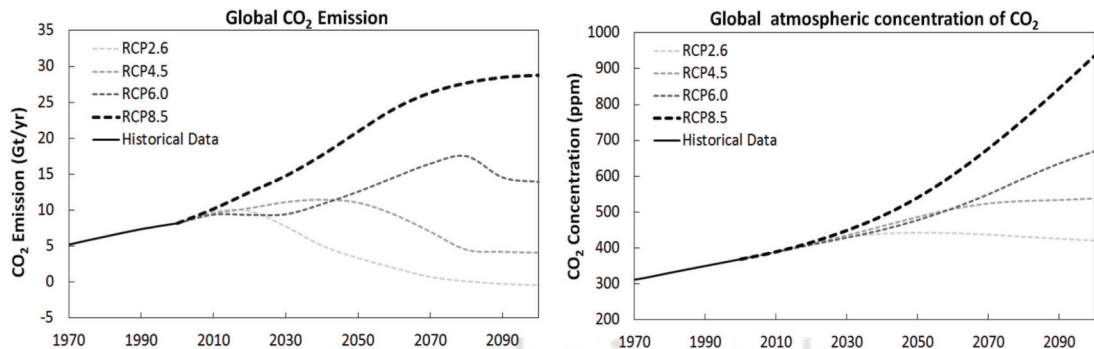


Figure 1. Atmospheric CO<sub>2</sub> emission and CO<sub>2</sub> concentration change in each RCP scenario through 2100 (Moss *et al.*, 2010; van Vuuren *et al.*, 2011)

Table 2. Atmospheric CO<sub>2</sub> concentration change and temperature change for the 2020s, 2050s and 2080s relative to a 1971-2000 baseline in each RCP scenario

Year	Scenario	CO <sub>2</sub> concentration (ppm)	CO <sub>2</sub> concentration change (%)	Temperature change (°C)	S.D.*(°C)
1971-2000	Historical	340	-	-	-
2020	RCP 2.6	412	21	0.9	0.24
	RCP 4.5	411	21	0.8	0.23
	RCP 6.0	409	20	0.8	0.29
	RCP 8.5	416	22	0.9	0.22
2050	RCP 2.6	442	30	1.3	0.36
	RCP 4.5	487	43	1.6	0.34
	RCP 6.0	478	40	1.5	0.40
	RCP 8.5	540	59	2.0	0.41
2080	RCP 2.6	432	27	1.2	0.44
	RCP 4.5	531	56	2.1	0.50
	RCP 6.0	594	75	2.3	0.55
	RCP 8.5	758	123	3.5	0.65

\* Standard Deviation

오에서 대기 중 CO<sub>2</sub>농도는 2050년까지 442 ppm으로 증가하지만 그 후로는 조금씩 감소되어 2100년에는 420 ppm까지 감소하는 것으로 나타났다. 반면 RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 시나리오에서는 2100년까지 지속적으로 CO<sub>2</sub>농도가 증가하는 것으로 나타났으며 특히 RCP 8.5 시나리오에서 대기 중 CO<sub>2</sub>농도 증가가 뚜렷하고 2100년에 936 ppm까지 증가하는 것으로 나타났다. 대기 중 CO<sub>2</sub>농도의 증가가 전 지구 평균기온 상승에 미치는 영향을 평가하기 위해

과거 30년(1971-2000년) 간의 평균 대기 중 CO<sub>2</sub>농도와 연평균 기온을 기준으로 RCP 시나리오별 미래 대기 중 CO<sub>2</sub>농도 변화와 GCM 평균 전 지구 평균기온 변화를 산출해 Table 2에 정리했다. RCP 8.5 시나리오의 경우 2020년대, 2050년대, 2080년대로 갈수록 대기 중 CO<sub>2</sub>농도가 각각 22%, 59%, 123% 증가하는 것으로 나타났고 동 기간에 전 지구 평균기온이 각각 0.9°C, 2.0°C, 3.5°C 증가하는 것으로 나타났다. 한편, RCP 시나리오에 따른 대기 중 CO<sub>2</sub>농도와 전 지구 평균기온의 변화를 분석한 결과, 2080년대의 경우 RCP 8.5 시나리오는 RCP 2.6 시나리오보다 CO<sub>2</sub>농도가 약 4.6 배 증가하고 평균기온이 2.3 °C 증가하는 것으로 나타났다. Figure 2는 RCP 시나리오별로 2010년에서 2100년까지 10년 간격의 전 지구 평균 대기 중 CO<sub>2</sub>농도 변화와 전 지구 평균기온 변화를 나타내고 있으며 그림을 통해 대기 중 CO<sub>2</sub>농도가 증가할수록 전 지구 평균기온이 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

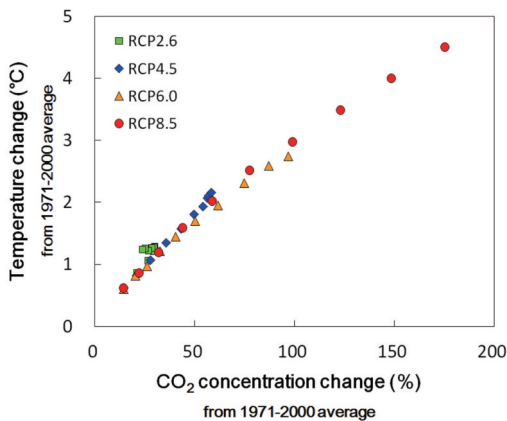


Figure 2. Relationship between CO<sub>2</sub> concentration and Temperature change relative to a 1971-2000 baseline in each RCP scenario

## 2. 기후변화 시나리오 불확실성 분석

CMIP5 기후변화 시나리오에 대한 GCM 예측 결과의 불확실성을 평가하기 위해 전 지구, 남한, 북한

그리고 일본 지역을 대상으로 각 GCM별 연평균 기온과 강수량의 변화를 분석했다. Figure 3은 과거 30년(1971-2000년) 간의 평균기온을 기준으로 미래 기간(2020s, 2050s, 2080s)에 대한 RCP 시나리오 별 각 GCM의 기온 변화를 대상지역별로 나타내고 있다. Figure 3의 상한과 하한은 기온변화 값이 가장 큰 GCM과 가장 작은 GCM을 나타내며 GCM에 따른 예측결과의 불확실성을 의미한다. Box는 상위 75%와 하위 25%의 범위를, Box 안의 실선은 GCM 평균 값을, 그리고 점들은 HadGEM2-AO GCM의 예측 결과를 나타내고 있다. 전 지구에 대해 각 GCM의 연평균 기온을 평균한 값은 RCP 2.6에서 2050년대보다 2080년대에 감소하는 것으로 나타나고 있으나 나머지 RCP 시나리오에서는 시간이 경과할수록 불확

실성이 확대되지만 연평균 기온이 상승하는 것으로 나타났다. HadGEM2-AO의 예측 결과는 2020년대에 GCM 평균보다 작게 예측되기도 하지만 2050년대와 2080년대에는 모든 RCP 시나리오에서 GCM 평균보다 크게 기온이 상승할 것으로 예측되고 있다. 남한, 북한, 일본 지역에 대한 기온 변화를 예측한 결과, 동북아시아 지역의 연평균 기온은 전 지구 평균보다 전체적으로 크게 상승하는 것으로 나타났다. 특히 2080년대 북한 지역에서는 비록 GCM 간 예측의 불확실성이 크지만 남한과 일본에 비해 기온 상승이 큰 것으로 나타났다. 남한의 경우 각 RCP 시나리오 별로 살펴보면 GCM 간 예측의 불확실성이 시간이 경과할수록 커지는 것을 확인할 수 있었고 연평균 기온 역시 시간이 경과할수록 상승하는 것으로 나타났

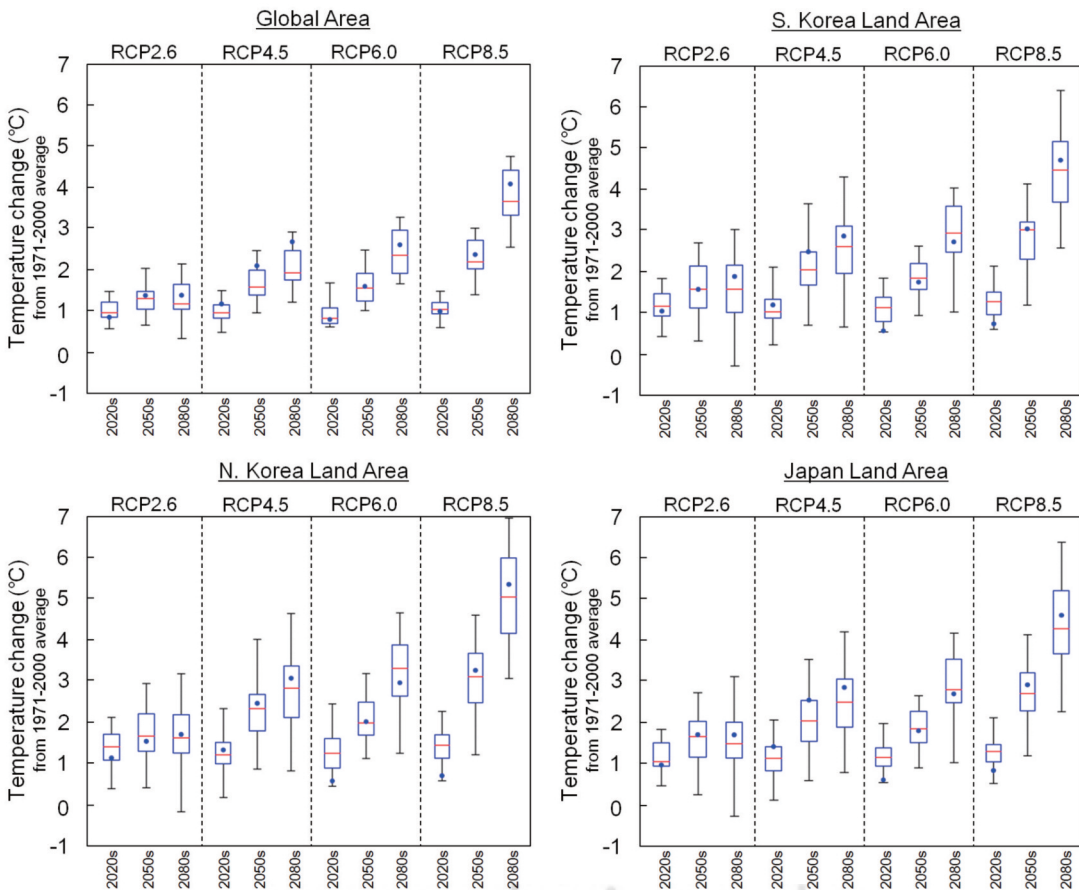


Figure 3. Uncertainty of temperature change by different GCMs. The top and bottom of the box shows the top 75% and the bottom 25%. The horizontal line in the box is mean value of GCMs. The dot is the result of HadGEM2-AO model

다. HadGEM2-AO GCM은 RCP 4.5와 RCP 8.5 시나리오에서 2050년대와 2080년대에 상대적으로 높은 기온 상승을 예측하고 있는 반면 RCP 6.0 시나리오에서는 동 기간에 상대적으로 낮은 기온 상승을 예측하고 있다.

Figure 4는 RCP 시나리오별 GCM의 강수량 변화를 대상 지역별로 나타낸 것이다. 전 지구평균 강수량은 모든 RCP 시나리오에서 남한, 북한, 일본에 비해 그 증가 폭은 작지만 시간이 경과할수록 GCM 평균값은 점점 증가하는 것으로 나타나고 있다. 남한과 북한의 경우 강수량 예측의 불확실성은 전 지구 평균보다 훨씬 크게 나타나고 있으나 대체로 시간이 경과할수록 강수량이 증가하는 것으로 예측되고 있다. 일본의 경우 남한과 북한에 비해 예측의 불확실성은 전

체적으로 작게 나타나고 있으나 GCM 평균값은 그 증가 폭이 작지만 역시 점차적으로 증가하는 것으로 예측되었다. HadGEM2-AO GCM의 강수량 예측 결과는 전 지구 평균의 다른 GCM 예측 결과에 비해 RCP 6.0과 RCP 8.5 시나리오에서 비교적 작게 예측되었으며 남한에서는 RCP 6.0 시나리오를 제외한 모든 RCP 시나리오에서 2050년대와 2080년대에 대체로 강수량이 크게 증가하는 것으로 예측되었다.

### 3. RCP 시나리오별 기후변화

RCP 시나리오에 따른 미래 기후의 변화를 정량적으로 평가하기 위해 각각의 RCP 시나리오가 적용된 GCM 기후예측 시뮬레이션 결과에 대해 다중모델 앙상블 (MME, Multi Model Ensemble)를 실시했다.

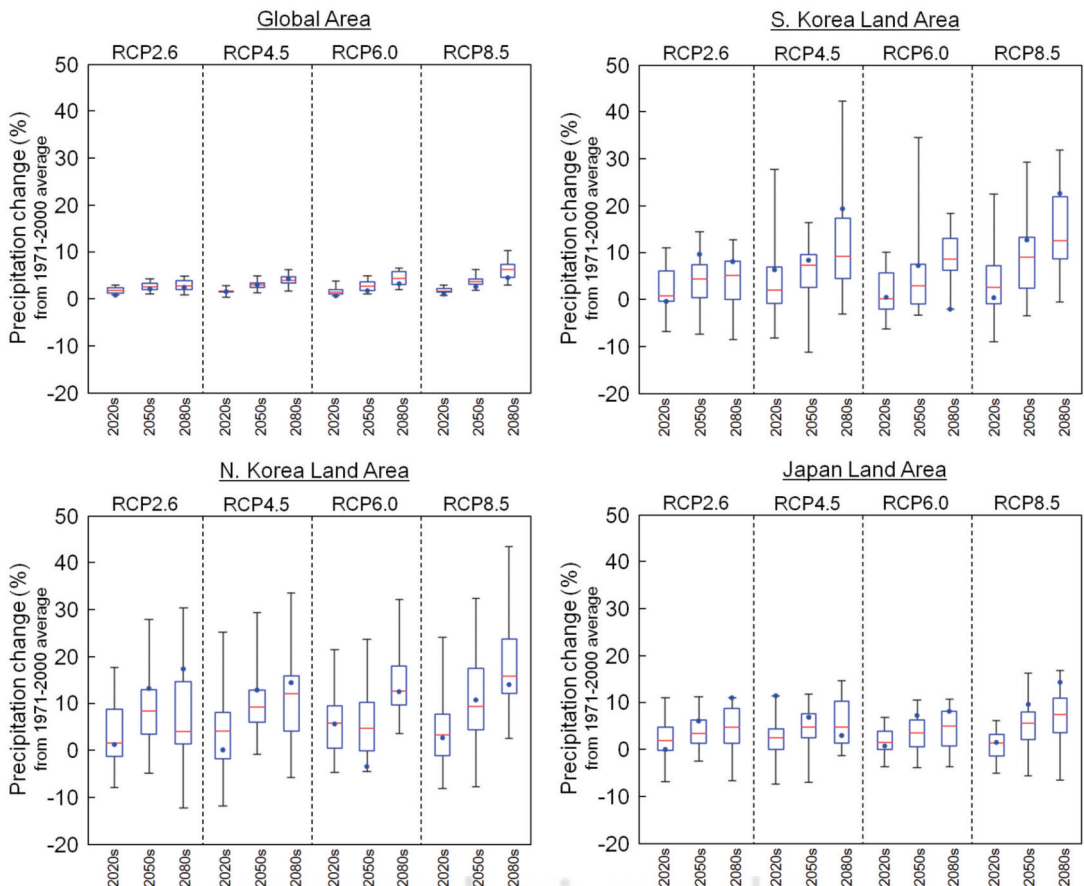


Figure 4. Uncertainty of precipitation change by different GCMs. The top and bottom of the box shows the top 75% and the bottom 25%. The horizontal line in the box is mean value of GCMs. The dot is the result of HadGEM2-AO model

Figure 5는 한반도를 중심으로 한 동북아시아 지역에 대한 RCP 시나리오별 미래 기온변화에 대한 분포도를 나타낸다. 동북아시아 지역에서 2020년대에는 RCP 시나리오에 따른 기온변화가 큰 차이를 보이지 않는 것으로 예측되고 있으나 2050년대와 2080년대에는 RCP 시나리오에 따라 기온변화가 상당히 큰 것으로 예측되고 있다. 특히 RCP 8.5 시나리오에서는 동북아시아 지역에서의 미래 기온 증가가 시간이 경과할수록 뚜렷하게 나타나고 있다.

동북아시아 지역에 대한 RCP 시나리오별 미래 기후변화를 평가하기 위해 Figure 6과 같이 기온, 강수량, 일사량에 대한 미래 변화를 전 지구, 남한, 북한, 일본 지역으로 나누어 분석했다. 전 지구의 경우 기온과 강수량은 RCP 시나리오에 따라 차이는 있지만 전체적으로 시간이 경과할수록 증가하는 것으로 예측되고 있다. 반면 일사량은 RCP 2.6 시나리오에서는 2020년대까지 감소경향을 보이다 점차 회복하는 것으로 나타나고 있으며 RCP 4.5 시나리오에서는

2030년대까지 감소경향을 보이다 안정화되는 것으로 나타났다. RCP 6.0, RCP 8.5 시나리오에서는 시간이 경과할수록 일사량이 감소되는 것으로 예측되고 있다. 남한, 북한, 일본 지역에 대한 미래 기온변화는 전 지구 평균보다 크게 증가하는 것으로 나타났으며 특히 두 지역에 비해 고위도에 위치한 북한 지역에서의 기온 상승이 클 것으로 예측되고 있다. 강수량의 경우 동북아시아 지역에서 전 지구 평균보다 변동 폭이 크게 나타나고 있지만 전체적으로 강수량이 증가하는 경향을 나타내고 있으며 일본 지역보다 한반도 지역에서 강수량 증가가 클 것으로 예측되고 있다. 일사량의 경우 동북아시아 지역에서는 전 지구 평균과 다르게 시간이 경과할수록 일사량이 증가하는 것으로 나타나고 있다. 단, RCP 6.0 시나리오에서는 2050년대까지 일사량이 감소하는 경향을 보이다가 이후로 급격히 증가해 2100년에는 다른 RCP 시나리오와 비슷한 수준으로 증가하는 것으로 예측되고 있다. 국립환경과학원(2013)은 21세기 말로 같

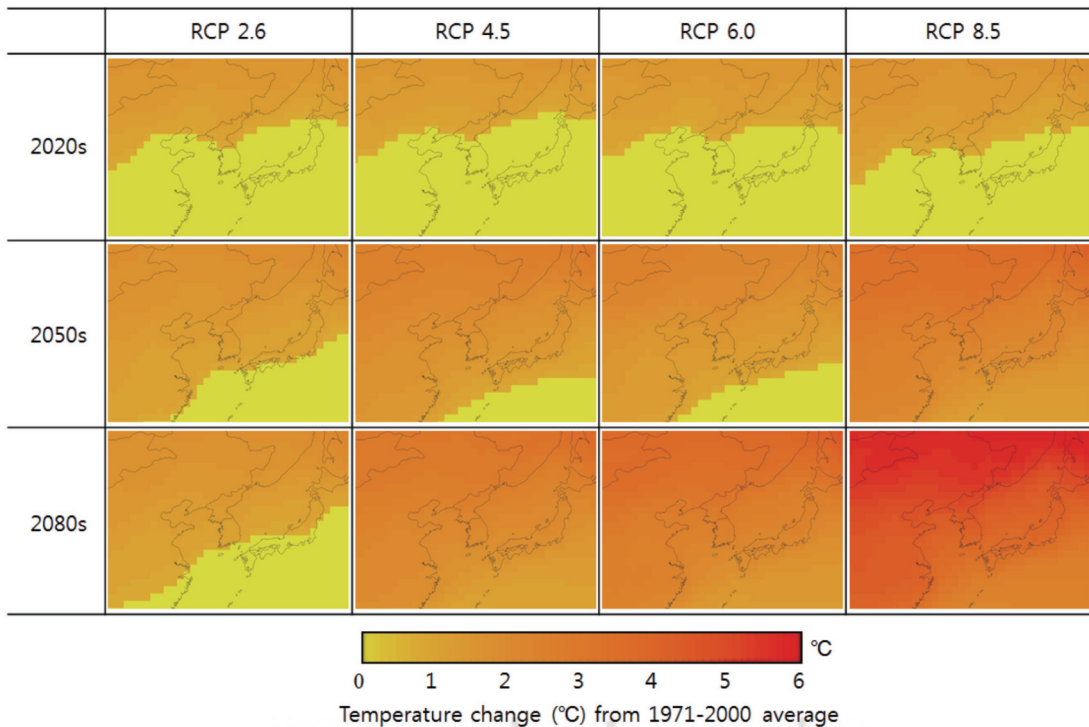


Figure 5. Distribution map of temperature change for the 2020s, 2050s and 2080s relative to a 1971-2000 baseline under the each RCP scenario in Northeast Asia area

수륙 한반도 주변 및 중국 남부와 동해 지역에서 운량이 감소할 것으로 예측하고 있으며 반대로 일사량은 동아시아 지역에서 전체적으로 증가할 것으로 예측했다.

Table 3은 기온, 강수량, 일사량에 대한 미래 변화를 지역별, 기간별, RCP 시나리오별로 정리한 결과를 나타내고 있다. 한반도 및 일본 지역에 대한 미래 기온 변화는 전 지구 평균보다 전체적으로 기온 상승이 큰 것으로 나타났다. 특히 RCP 8.5 시나리오의 2080년대에 대한 전 지구 평균 기온은 과거 30년 평균보다 약 3.8℃ 상승할 것으로 예측되고 있지만 남

한에서는 전 지구 평균 기온보다 0.7℃ 높은 약 4.5℃의 기온 상승이 예측되었고 남한보다 고위도에 위치한 북한에서는 전 지구 평균 기온보다 1.3℃ 높은 약 5.1℃의 기온 상승이 예측되었다. 기상청 (2014)은 21세기 말 (2071-2100년)의 한반도 연평균기온이 RCP 8.5 시나리오에서 4℃ 이상 증가할 것으로 추정된다고 보고하였다. 강수량의 경우 전 지구 평균 강수량은 전체적으로 시간이 경과할수록 증가하는 것으로 예측되고 있으며 RCP 8.5 시나리오의 2080년대에 6.1%의 강수량 증가가 예측되었다. 동북아시아 지역에 대해서도 지역적으로 차이는 있으나 전체

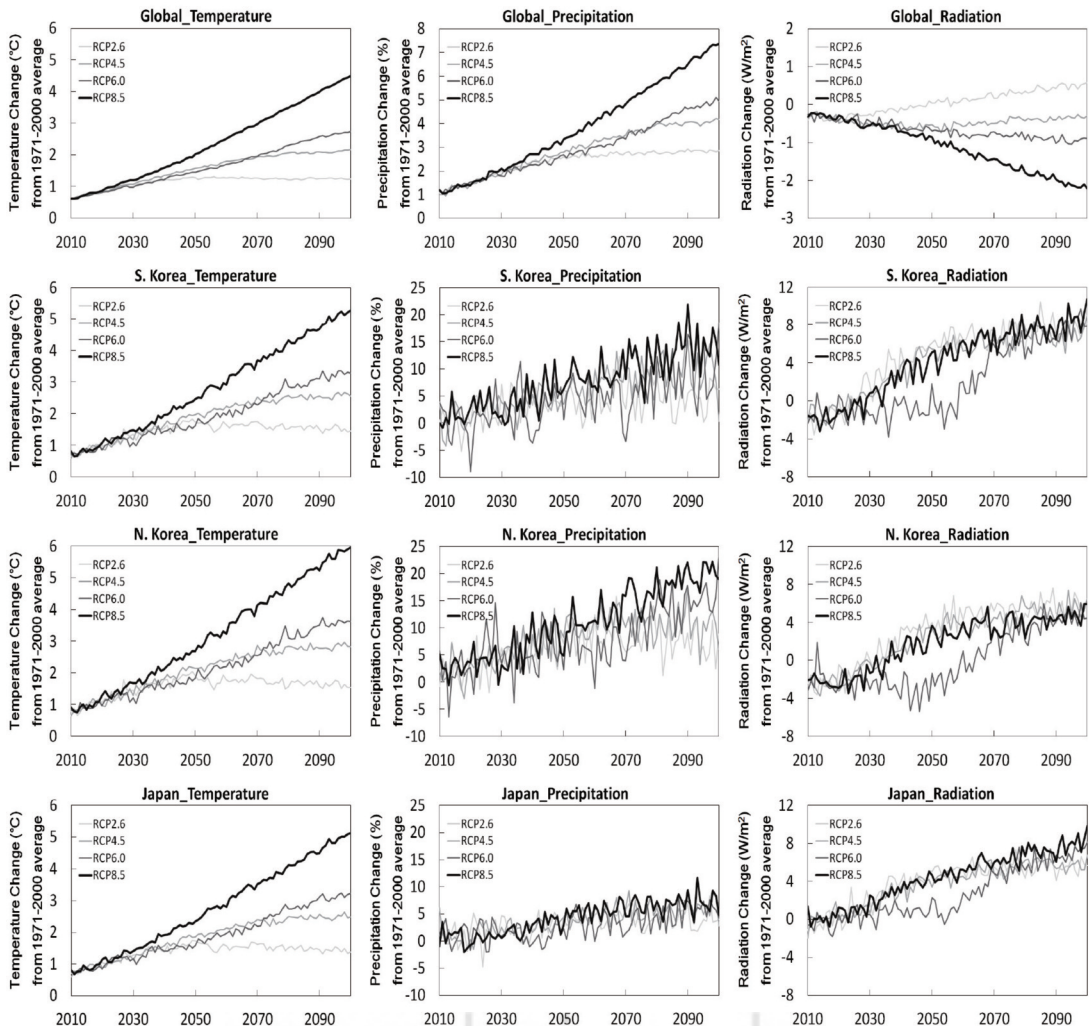


Figure 6. The average of all GCM results (temperature, precipitation and downward shortwave radiation) for the global, South Korea, North Korea and Japan area under the each RCP scenario through 2100

Table 3. Comparison of temperature change, precipitation change and solar radiation change according to the each RCP scenario and each target area

Area	Year	Temperature change (°C)				Precipitation change (%)				Solar radiation change (W/m <sup>2</sup> )			
		RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Global	2020s	1.0	1.0	0.9	1.1	1.7	1.7	1.7	1.7	-0.3	-0.5	-0.4	-0.5
	2050s	1.3	1.7	1.6	2.3	2.6	3.0	2.8	3.7	0.1	-0.6	-0.7	-1.1
	2080s	1.3	2.1	2.4	<b>3.8</b>	2.8	4.0	4.3	<b>6.1</b>	<b>0.4</b>	-0.4	-0.9	-1.9
South Korea	2020s	1.2	1.1	1.1	1.2	1.9	2.2	0.9	2.6	0.5	-0.0	-1.3	-0.5
	2050s	1.7	2.1	1.8	2.8	4.4	5.9	4.8	8.0	6.3	5.4	0.0	4.9
	2080s	1.6	2.5	3.0	<b>4.5</b>	4.7	9.3	8.3	<b>13.1</b>	7.4	7.0	6.5	<b>7.6</b>
North Korea	2020s	1.3	1.1	1.2	1.4	3.3	3.7	4.4	3.8	-1.0	-1.4	-2.3	-1.8
	2050s	1.8	2.1	2.0	3.1	8.0	9.8	6.1	10.5	4.4	3.3	-1.7	2.7
	2080s	1.7	2.6	3.3	<b>5.1</b>	8.0	10.6	13.6	<b>18.0</b>	<b>5.4</b>	5.2	3.7	4.2
Japan	2020s	1.2	1.1	1.1	1.2	1.7	1.5	1.5	0.8	1.2	0.9	0.1	1.1
	2050s	1.6	2.0	1.8	2.7	3.7	4.2	2.9	4.9	5.0	4.4	1.4	4.7
	2080s	1.5	2.4	2.9	<b>4.3</b>	4.0	5.7	4.9	<b>6.9</b>	5.5	5.8	6.1	<b>7.2</b>

적으로 시간이 경과할수록 강수량이 증가하는 것으로 예측되고 있다. 특히 일본 지역에 비해 한반도 지역에서 강수량 증가가 클 것으로 예측되고 있으며 특히 RCP 8.5 시나리오의 2080년대에 북한 지역에서 약 18%의 강수량 증가가 예측되는 것으로 나타났다. 일사량의 경우는 전 지구 일사량 평균이 대체로 감소하는 것으로 예측되고 있으나 한반도 지역에서는 대체적으로 2020년대에 일사량이 감소하다 점차 시간의 경과와 함께 증가하는 것으로 나타났다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 전 지구 및 우리나라를 중심으로 북한, 일본 등 주변지역의 미래 기후변화에 대한 정량적 평가를 위해 총 34개 GCM에 의해 작성된 CMIP5 기후변화 시나리오를 분석하였으며 기후변화 영향평가 및 적응 대책 수립을 위한 기초 연구 자료로 제공하고자 한다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 전 지구 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도의 증가는 전 지구 평균기온 상승과 밀접한 관계를 보이는 것으로 확인되었다. 특히 21세기 말에 RCP 8.5 시나리오에서 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도가 과거 30년(1971-2000년) 평균보다 약 123% 증가하는 동안 전 지구 평균기온은 약 3.5°C 증가하는 것으로 나타났다. RCP 시나리오별 미래 대

기 중 CO<sub>2</sub> 농도 변화와 CMIP5의 GCM 평균 전 지구 평균기온 변화를 분석한 결과 전 지구 평균기온은 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도가 증가할수록 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

2) RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 시나리오에서 전 지구 평균기온은 시간이 경과할수록 상승할 것으로 예측되고 있으며 각 GCM에 의한 예측의 불확실성 역시 점점 확대되는 것으로 나타났다. 우리나라 기상청에서 이용하고 있는 HadGEM2-AO 모형의 경우 우리나라에서 RCP 4.5와 RCP 8.5 시나리오의 2050년대와 2080년대에 다른 GCM에 비해 상대적으로 높은 기온 상승을 예측하고 있는 것으로 나타났다.

3) RCP 시나리오에 따른 기온, 강수량, 일사량의 변화를 분석한 결과 기온과 강수량은 RCP 시나리오에 따라 변화에 차이는 있지만 시간이 경과할수록 증가하는 것으로 예측되었고 전 지구 평균보다 남한, 북한, 일본 지역에서 대체로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 일사량의 경우 전 지구 평균 일사량은 RCP 2.6 시나리오를 제외하고 대체로 시간이 경과할수록 감소하는 것으로 예측되고 있으나 남한, 북한, 일본 지역에서는 RCP 6.0 시나리오를 제외하고 대체로 시간이 경과할수록 일사량이 증가하는 것으로 예측되었다.

본 연구는 향후 기후변화 적응정책 수립 시 한반도 지역에 대한 다양한 기후변화 시나리오의 정량적인 평가를 바탕으로 적합한 기후시나리오의 선택을 위한 기초자료로서 활용가치가 있을 것으로 사료된다. 다만 기온, 강수량, 일사량에 대해서만 분석이 이루어진 점은 아쉬움으로 남으며 분야별 영향평가 및 적응정책 수립에 있어 민감한 기후요소에 대한 추가적인 특징 파악이 필요할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업 (과제번호: 2014001310005)”으로 지원받은 과제임.

### 인용문헌

국립환경과학원. 2013. 미래 대기환경 전망을 위한 RCP 시나리오 활용 연구 (II).  
 기상청. 2014. 한국 기후변화 평가보고서 2014 - 기후변화 과학적 근거.  
 김병식. 2005. 기후변화에 따른 유역의 수문요소 및 수자원 영향평가, 박사학위논문, 인하대학교.  
 신형진, 박근애, 박민지, 김성준. 2012. 미래 기후변화 시나리오 MIROC3.2 A1B에 따른 우리나라 산림식생분포의 변화 전망, 한국지리정보학회지, 15(1), 66-75.  
 심교문, 민성현, 이덕배, 김건엽, 정현철, 이슬비, 강기경. 2011. A1B 기후변화 시나리오가 국내 가을 쌀보리의 잠재수량에 미치는 영향 모사, 한국농림기상학회지, 13(4), 192-203.  
 이승수, 김가영. 2014. IPCC AR5 RCP 8.5 시나리오 기반 태풍발생 공간분석, 한국공간정보학회지, 22(4), 49-58.  
 이윤선, 이승호. 2008. 기후변화가 벼의 생산량에 미치는 영향, 지리학연구, 42(3), 405-416.  
 정세진, 김병식, 전계원, 최종인. 2014. RCP 8.5 기후변화시나리오를 이용한 기후변화가 영산강유역의 장기유출에 미치는 영향 평가, 한

국위기관리논집, 10(2), 289-305.  
 주세종, 김세주. 2012. 기후변화가 남해 해양생태계에 미치는 영향평가, Ocean and polar research, 34(2), 197-199.  
 CIESIN. 2005. Gridded Population of the World (Version 3); Center for International Earth Science Information Network. Palisades.  
 ISDR. 2007. Disaster Risk Reduction: 2007 Global Review.  
 Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, Wilbanks TJ. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment, Nature, 463, 747-756.  
 Taylor KE, Stouffer RJ, Meehl GA. 2009. A summary of the CMIP5 experiment design, World, 4, 1-33.  
 van Vuuren DP, Weyant J, De la Chesnaye F. 2006. Multi-gas scenarios to stabilize radiative forcing. Energy Economics, 28, 102-120.  
<http://sedac.ciesin.org/gpw/>  
<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/1130>

### References

National Institute of Environmental Research. 2013. Application of RCP Scenarios on Future Prediction of Atmospheric Environment (II).  
 Korea Meteorological Administration. 2014. Korean Climate Change Assessment Report 2014 - The Physical Science Basis.  
 Kim BS. 2005. Impact Assessment of Climate Change on Hydrologic Components and

- Water Resources in Watershed. PhD Thesis. Inha University, Incheon, Korea.
- Shin HJ, Park GA, Park MJ, Kim SJ. 2012. Projection of Forest Vegetation Change by Applying Future Climate Change Scenario MIROC3.2 A1B, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 15(1), 66-75.
- Shim KM, Min SH, Lee DB, Kim GY, Jeong HC, Lee SB, Kang KK. 2011. Research Articles: Simulation of the Effects of the A1B Climate Change Scenario on the Potential Yield of Winter Naked Barley in Korea, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 13(4), 192-203.
- Lee SS, Kim GY. 2014. Spatial Analysis of Typhoon Genesis Distribution based on IPCC AR5 RCP 8.5 Scenario, *Journal of Korea spatial information society*, 22(4), 49-58.
- Lee YS, Lee SH. 2008. The Impacts of Climate Change on Rice Yield, *The Geographical Journal of Korea*, 42(3), 405-416.
- Jeung SJ, Kim BS, Jun KW, Choi JI. 2014. Impact Assessment of Climate Change on Long Term Runoff in the Young San River Based on the RCP 8.5 Climate Change Scenarios, *Korean Review of Crisis and Emergency Management*, 10(2), 289-305.
- Ju SJ, Kim SJ. 2012. Assessment of the Impact of Climate Change on Marine Ecosystem in the South Sea of Korea, *Ocean and polar research*, 34(2), 197-199.
- CIESIN. 2005. Gridded Population of the World (Version 3); Center for International Earth Science Information Network. Palisades.
- ISDR. 2007. Disaster Risk Reduction: 2007 Global Review.
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, Wilbanks TJ. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, 463, 747-756.
- Taylor KE, Stouffer RJ, Meehl GA. 2009. A summary of the CMIP5 experiment design, *World*, 4, 1-33.
- van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt GC, Kram T, Krey V, Lamarque JF, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith SJ, Rose SK. 2011. The representative concentration pathway: an overview, *Climate Change*, 109, 5-31.
- <http://sedac.ciesin.org/gpw/>  
<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/1130>