

연구논문

기후변화의 영향평가를 위한 대순환모형과 지역기후모형의 비교 연구

이동근 · 김재욱* · 정휘철**

서울대학교 조경 · 지역시스템공학부, 서울대학교 환경대학원*, 교토대학교 지구환경대학원**
(2006년 3월 31일 접수, 2006년 8월 10일 승인)

A Comparative Study on General Circulation Model and Regional Climate Model for Impact Assessment of Climate Changes

Dong-Kun Lee · Jae-Uk Kim* · Hui-Cheul Jung**

Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University
Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University*
Graduate School of Global Environment Studies, Kyoto University**
(Manuscript received 31 March 2006; accepted 10 August 2006)

Abstract

Impacts of global warming have been identified in many areas including natural ecosystem. A good number of studies based on climate models forecasting future climate have been conducted in many countries worldwide. Due to its global coverage, GCM, which is a most frequently used climate model, has limits to apply to Korea with such a narrower and complicated terrain. Therefore, it is necessary to perform a study impact assessment of climate changes with a climate model fully reflecting characteristics of Korean climate. In this respect, this study was designed to compare and analyze the GCM and RCM in order to determine a suitable climate model for Korea.

In this study, spatial scope was Korea for 10 years from 1981 to 1990. As a research method, current climate was estimated on the basis of the data obtained from observation at the GHCN. Future climate was forecast using 4 GCMs furnished by the IPCC among SRES A2 Scenario as well as the RCM received from the NIES of Japan. Pearson correlation analysis was conducted for the purpose of comparing data obtained from observation with GCM and RCM.

As a result of this study, average annual temperature of Korea between 1981 and 1990 was found to be around 12.03°C, with average daily rainfall being 2.72mm. Under the GCM, average annual temperature was between 10.22 and 16.86°C, with average daily rainfall between 2.13 and 3.35mm. Average annual temperature in the RCM was identified 12.56°C,

with average daily rainfall of 5.01mm. In the comparison of the data obtained from observation with GCM and RCM, RCMs of both temperature and rainfall were found to well reflect characteristics of Korea's climate.

This study is important mainly in that as a preliminary study to examine impact of climate changes such as global warming it chose appropriate climate model for our country. These results of the study showed that future climate produced under similar conditions with actual ones may be applied for various areas in many ways.

Key words : Climate change, Impact assessment, General Circulation Model, Regional Climate Model, Pearson correlation analysis

1. 서론

기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이후 'IPCC' 라고 함)의 제3차 평가보고서에서는 2100년의 기온이 1990년에 비해 전지구적으로 1.4~5.8℃ 상승하고, 동아시아의 강수량은 20% 증가할 것으로 전망하는 등 현재까지의 기후변화 추세와 향후 전망을 다양한 과학적인 방법으로 예측하고 있다(IPCC, 2001c).

많은 연구에서는 다양한 시나리오를 반영한 대순환모형(General Circulation Model, 이후 'GCM' 이라고 함)을 이용하여 기후변화에 의한 영향연구를 진행해 오고 있다. 지구온난화는 생태계의 변화를 가져올 뿐만 아니라 해수면 상승, 수자원 수급의 불안정, 산업 환경의 변화, 국민 건강의 위협, 농업생산량의 변화 등 광범위한 분야에 많은 영향을 주고 있다(IPCC, 2001a; 2001b).

Iverson *et al.*(1999)은 미국 동부의 Virginia pine (*Pinus virginia*)을 대상으로 기후, 토양, 토지 이용, 고도, 경관 등의 변수를 이용하여 현재의 분포를 설명하고 GFDL, GISS GCM을 이용하여 미래의 잠재분포를 예측하였다. Chipanshi *et al.* (2003)은 UKTR, CCC, OSU GCM을 이용하여 Botsnawa 지역을 대상으로 농작물의 수확량에 대한 연구를 하였다. Arnell(2004)은 IPCC의 6개 GCM이 나타내는 각각의 시나리오별 유출량을 산출하여 2020년대와 2050년대에 지구온난화에 의하여 물부족 현상이 나타날 지역을 산출하는 연구를 수행하였다. Parry *et al.*(2004)은 HadCM3 GCM과 World Food Trade

System Model인 Basic Linked System을 이용하여 기후변화와 곡물생산, 곡물가격, 굶주리는 사람들의 관계를 예측하였다. 또한, Wilby *et al.*(2002)과 Mearns *et al.*(2003)은 GCM과 지역기후모형(Regional Climate Model, 이후 'RCM' 이라고 함)의 비교연구를 통해서 RCM이 GCM 보다 비교적 bias가 적고 실제 관측된 자료와 비슷한 경향을 나타낸다는 결과를 도출하였다.

기후변화 영향평가를 위하여 기후모형을 이용한 국내의 연구를 살펴보면, 정휘철 등(2002; 2003)은 IPCC의 새로운 기후변화 시나리오인 SRES의 GCM으로 제작된 Holdridge분류의 연구 성과를 이용하여 CO₂농도 배증시 기후변화가 한반도 지역의 산림식생에 미치는 영향과 산림식생의 적응가능성을 산림의 이동성으로 평가하였다. 윤정호(2003)는 지형요소와 기상, 토양인자를 반영하여 소나무의 공간 분포를 설명하고 CSIRO GCM을 이용하여 미래의 소나무 잠재분포 확률을 예측하였다. 연구사례에서 나타나듯이 GCM은 비교적 규모가 큰 지역에 대한 영향연구를 실시할 때 이용할 수 있으나 우리나라와 같이 좁고 복잡한 지형에 적용시키기에는 많은 문제가 있다.

따라서, 우리나라의 기후를 잘 설명할 수 있는 기후모형을 선정하여 미래기후의 영향평가 연구에 이용하는 것이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 실제로 관측된 자료와 IPCC에서 제공하는 4개의 GCM, 일본 국립환경연구소에서 제공한 NIES-RAMS RCM을 비교하여 우리나라에 적합한 기후모형을 선정하고자 하였다.

II. 자료 및 방법

관측된 기후자료를 취득하기 위하여 UNEP/Global Resource Information Database에서 개설한 Global Historical Climatology Network가 제공하는 자료를 수집하여 1981년부터 1990년까지 10년 평균 기후를 추정하였다.

관측소에서 측정된 점 데이터 형태의 기온자료를 Inverse Distance Weighting방법으로 래스터자료 형태로 변환하여 우리나라 전체의 기온과 강수량을 추정하였다.

분석에 이용된 GCM은 IPCC자료제공센터에서

제공하는 HADCM3, CSIRO-Mk2, CGCM2, CCSR-NIES등 4개를 이용하였다(표 1).

각각의 GCM별 해상도를 살펴보면, HadCM3는 $3.75^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, CSIRO-Mk2는 $5.625^{\circ} \times 3.25^{\circ}$, CGCM2는 $3.75^{\circ} \times 3.71^{\circ}$, CCSR-NIES는 $5.625^{\circ} \times 5.538^{\circ}$ 이다(그림 3).

분석에 이용된 RCM은 일본의 국립환경연구소에서 제공한 NIES-RAMS를 이용하였다. NIES-RAMS는 Colorado State University에서 개발된 3차원 비정수계압축모형(RAMS: Regional Atmospheric Modeling System)으로 CCRS/NIES AGCM의 물리 과정을 도입한 지역기후모형이다. NIES-RAMS에

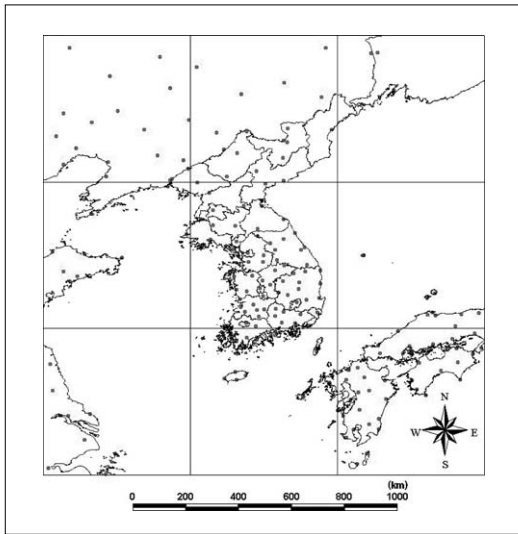


그림 1. 기온분석에 이용된 기상관측지점

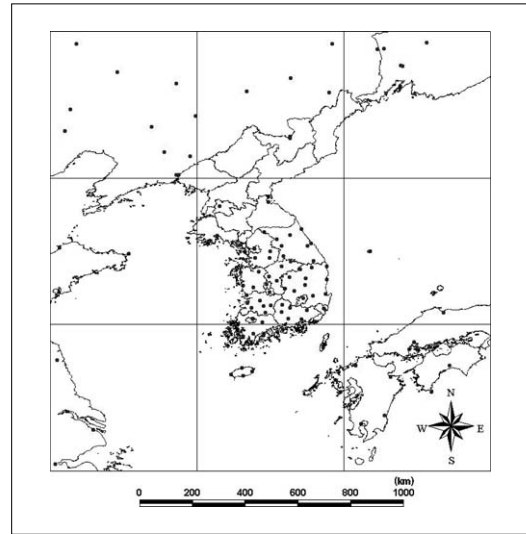
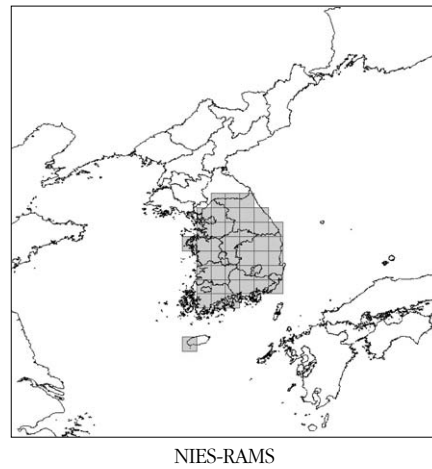
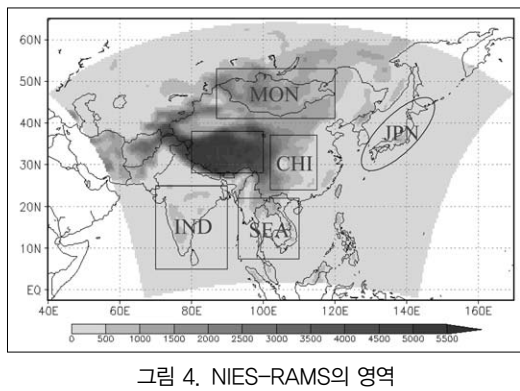
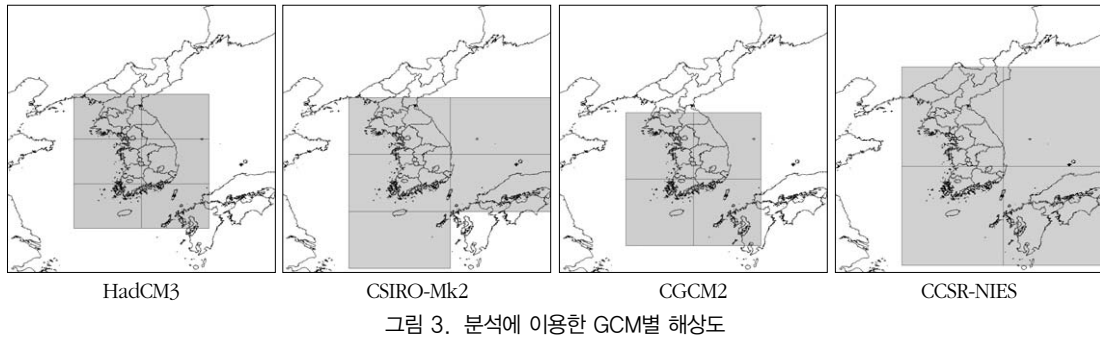


그림 2. 강수량분석에 이용된 기상관측지점

표 1. 연구에 사용된 IPCC에서 제공하는 GCM

Center	Acronym	Model	SRES Scenario Runs				Time Period
			A1	A2	B1	B2	
Max Planck Institute für Meteorologie	MPIM	ECHAM4/OPYC3		A2		B2	1990-2100
Hadley Centre for Climate Prediction and Research	HCCPR	HADCM3		A2		B2	1950-2099
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	CSIRO	CSIRO-Mk2	A1	A2	B1	B2	1961-2100
National Centre for Atmospheric Research	NCAR	NCAR-CSM NACR-PCM	A1	A2		B2	2000-2099 1980-2099
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	GFDL	R30		A2		B2	1961-2100
Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	CCCma	CGCM2		A2		B2	1900-2100
Center for Climate System Research (CCSR)/National Institute for Environmental Studies (NIES)	CCSR/NIES	CCSR/NIES AGCM +CCSR OGCM	A1	A2	B1	B2	1890-2100

※ 자료: http://www.mad.zmaw.de/IPCC_DDC/html/SRES_TAR/index.html



도입된 물리 과정으로는 Aralawa-Schubert 적운대 류과정, 대규모 응결과정, 복사과정, 연직확산, 육상과 정모형(MATSIRO: minimal advanced treatments of surface interaction and runoff)을 이용하였다. 전지구기후모형을 경계조건으로서 지역기후모형실험을 실시하면, 전지구기후모형의 편향을 지역기후모형이 계승하거나 지역적 편향을 보다 강하게 할 가능성도 있기 때문에, 유럽중기예보센터(ECMWF)의 15년 재해석치(ERA15)를 경계조건으로서 NIES-RAMS에 의한 현재기후(1981~1990)와 미래기후(2041~2050)의 지역기후실험을 실시하였다(Dairaku *et al.*, 2004b). NIES-RAMS는 그림 4에 나타나는 약 9,600×7,100km의 영역에서 약 60km의 수평해상도를 갖으며, SRES시나리오¹⁾ 중 A2 시나리오를 적용하였다(Dairaku *et al.*, 2004a).

공간적인 범위는 RCM 격자를 기준으로 한 우리나라로 한정하였고, 공간해상도는 0.5°로 하였으며, 우리나라의 특성을 잘 반영하는 기후모형을 선정하기 위하여 RCM자료와 동일한 시기인 1981년부터

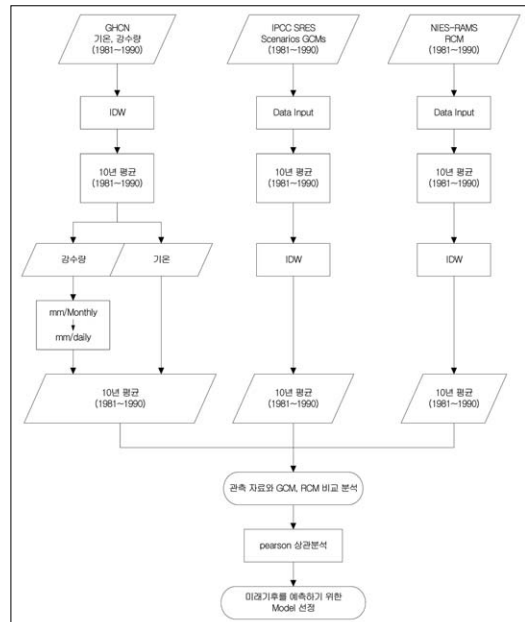


그림 6. 연구방법

1990년의 관측자료와 GCM, RCM자료를 비교하였다. 상관분석에 사용하고자 하는 값이 등간척도와 비율척도이므로 관측자료와 GCM, RCM자료와의 관련성을 평가하기 위해서 pearson상관분석을 실시하였다(그림 6).

체로 남부지방이 강수량이 많은 것으로 나타났다. 7~8월의 경우 수도권지역이 다른 지역에 비해 강수량이 많은 것으로 나타났으며, 10년 평균 월별 일강수량은 2.72mm로 나타났다(그림 7, 표 2).

III. 결과 및 고찰

1. 관측값을 이용한 기후추정

현재기후를 추정한 결과, 기온은 전체적으로 백두대간을 중심으로 온도가 낮게 나타나고 있었으며, 1981년부터 1990년까지 우리나라의 10년 평균기온은 약 12.03℃로 나타났다. 강수량을 살펴보면, 대

2. 대순환모형을 이용한 기후추정

GCM의 평균기온을 살펴보면, 10.22~16.86℃의 범위를 가지며 GCM평균은 13.17℃로 나타났다. 실제 관측된 GHCN 평균기온과는 약 1.14℃ 가량 높게 나타났다.

1월의 경우 HADCM3가 가장 낮은 기온을 나타냈으며, CSIRO-Mk2에서 강수량이 가장 많은 것으로 나타났다. 8월에는 CSIRO-Mk2에서 평균기

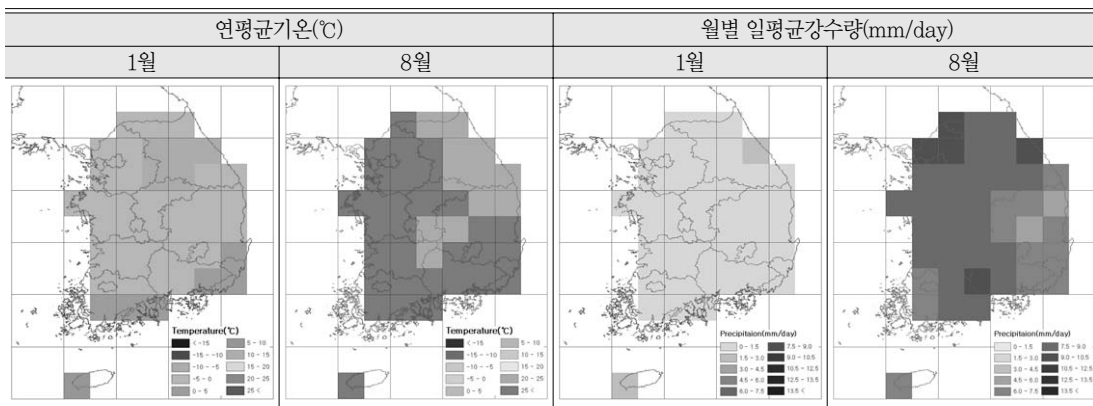


그림 7. GHCN에서 관측된 현재기후(1981~1990)

표 2. GHCN에서 관측된 현재기후 값

GHCN	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
기온(°C)	-2.39	0.11	5.29	11.86	17.07	21.05	24.30	25.28	19.99	13.89	7.03	0.86
강수량(mm/day)	1.00	1.35	1.84	2.43	2.86	5.29	9.52	7.87	6.01	1.77	1.87	0.68

표 3. GCM을 이용한 기후추정 값

GCMs		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
HADCM3	기 온	-3.22	-0.52	3.95	8.78	13.87	17.07	20.83	21.91	18.83	14.16	7.42	-0.41
	강수량	0.85	1.47	2.87	2.91	2.47	2.36	3.95	4.21	1.71	1.97	2.05	1.40
CSIRO-Mk2	기 온	10.11	9.09	9.94	12.62	16.43	20.33	23.70	25.54	24.26	21.05	16.32	12.87
	강수량	3.30	2.96	3.20	3.54	4.79	3.63	2.40	1.47	1.06	4.00	2.97	3.02
CGCM2	기 온	-1.80	-3.14	-1.16	4.87	11.46	18.13	23.36	25.19	21.87	15.47	9.59	4.05
	강수량	1.38	1.38	1.50	2.17	3.09	3.15	2.73	2.82	2.38	1.82	1.62	1.57
CCSR/NIES	기 온	5.52	5.62	7.30	10.55	16.00	20.70	24.32	25.40	22.89	18.44	13.64	8.78
	강수량	2.23	2.99	3.72	4.26	4.92	3.96	3.86	3.31	3.17	3.37	2.19	2.27

(기온: °C, 강수량: mm/day)

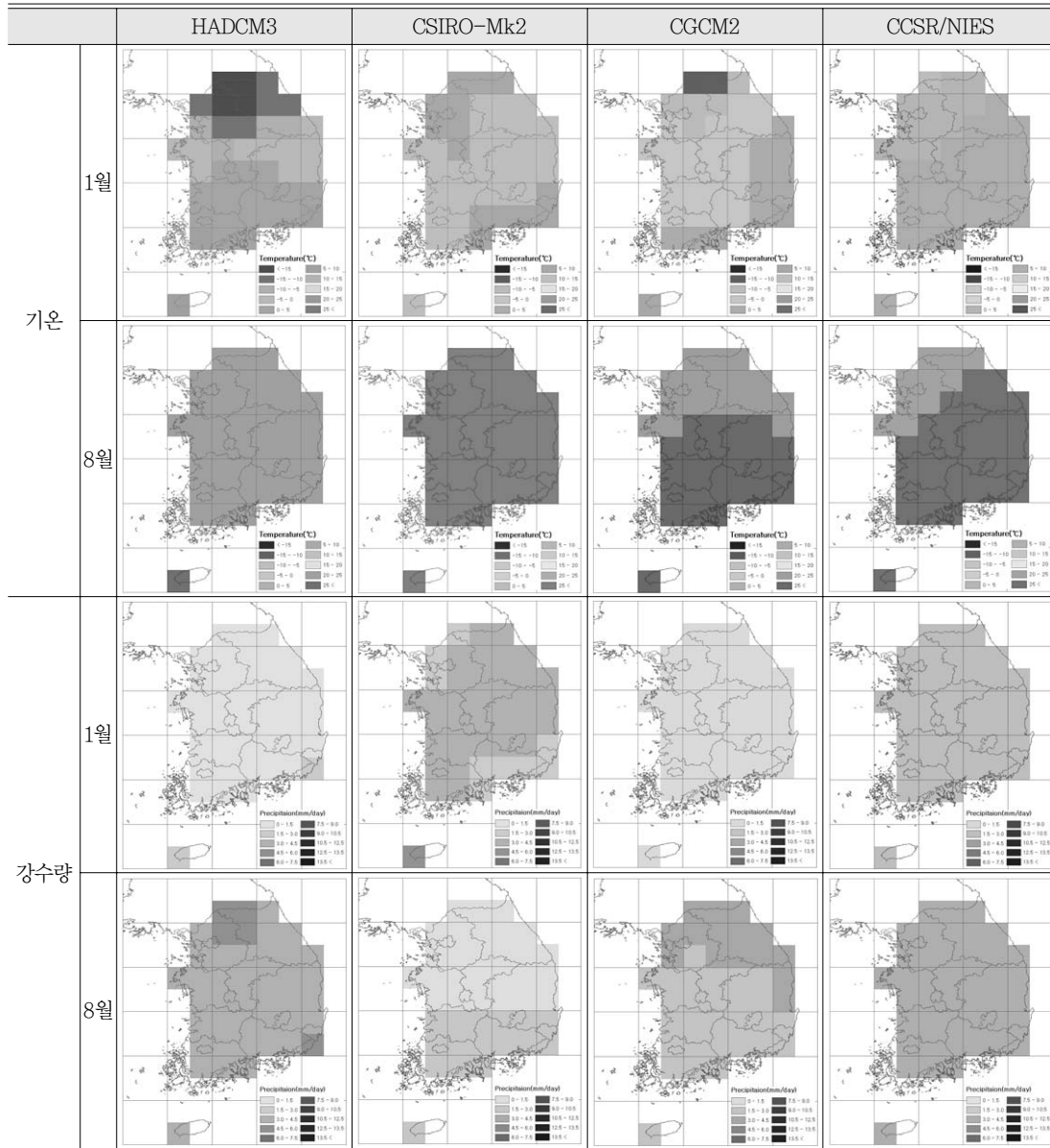


그림 8. GCM으로 추정된 현재기후(1981~1990)

온과 강수량이 가장 높게 나타났다. 월평균 일강수량은 2.13~3.35mm/day의 범위를 가지며, GCM 평균은 2.72mm/day로 나타났다. 관측된 값과는 약 0.82mm/day정도 적게 나타났다(그림 8, 표 3).

측된 GHCN 평균기온과는 약 0.53℃ 가량 높게 나타났다. 월평균 일강수량은 5.01mm/day로 관측된 값과는 약 1.47mm/day정도 많이 추정된 값을 나타냈다(그림 9, 표 4).

3. 지역기후모형을 이용한 기후추정

RCM의 평균기온을 살펴보면, 12.56℃로 실제 관

4. 대순환모형과 지역기후모형의 비교

기온을 비교해 본 결과, GCM과 RCM모두 비교적

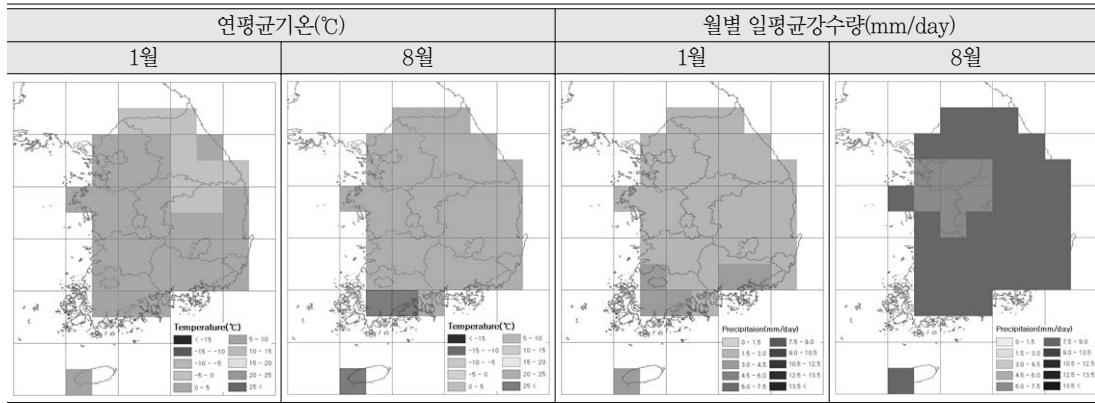


그림 9. RCM으로 추정된 현재기후(1981~1990)

표 4. RCM을 이용한 기후추정 값

RCM	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
기온(°C)	2.16	2.75	5.96	10.90	14.89	18.62	22.07	23.16	19.87	15.30	9.94	5.14
강수량(mm/day)	2.64	3.08	3.27	4.10	5.12	7.13	7.84	8.04	7.45	4.18	4.68	2.57

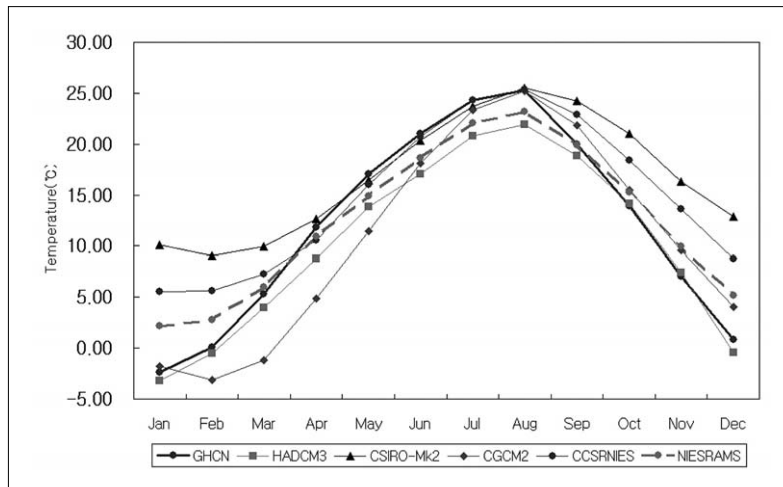


그림 10. 관측값, GCMs, RCM의 기온비교

표 5. 기온의 상관분석 결과

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
HADCM3	0.805^a	0.784^a	0.749 ^a	0.722^a	0.212	-0.074	0.031	0.580 ^a	0.549 ^a	0.593 ^a	0.702^a	0.720 ^a
CSIRO-Mk2	0.331 ^b	0.305 ^b	0.358 ^b	0.482 ^a	0.446 ^a	0.233	0.370 ^b	0.297 ^c	0.440 ^a	0.402 ^a	0.209	0.242
CGCM2	0.783 ^a	0.720 ^a	0.620 ^a	0.517 ^a	0.345 ^b	0.133	0.358 ^b	0.403 ^a	0.516 ^a	0.639 ^a	0.717 ^a	0.744^a
CCSRNIES	0.663 ^a	0.634 ^a	0.567 ^a	0.492 ^a	0.314 ^b	0.070	0.259 ^c	0.245	0.277 ^c	0.389 ^a	0.545 ^a	0.566 ^a
NIES-RAMS	0.683 ^a	0.729 ^a	0.750^a	0.706 ^a	0.643^a	0.590^a	0.694^a	0.659^a	0.745^a	0.705^a	0.679 ^a	0.695 ^a

※ 음영이 들어간 월은 관측자료와 상관관계가 가장 높은 model을 뜻함
 (a : 통계적 유의수준 99%, b : 통계적 유의수준 95%, c : 통계적 유의수준 90%)

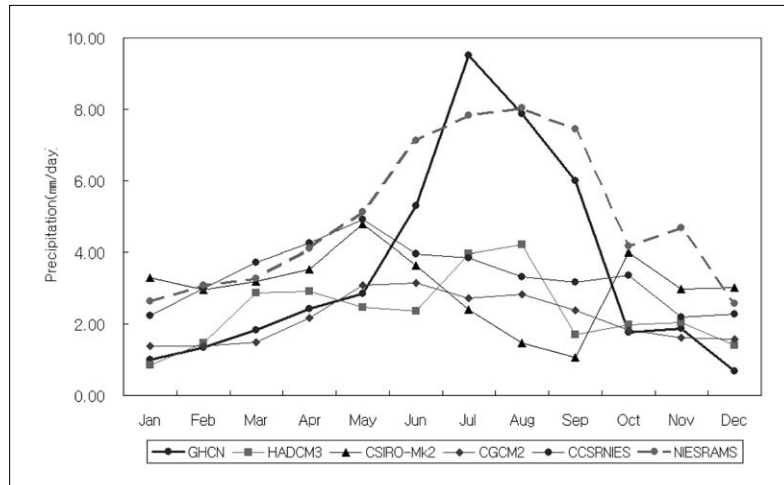


그림 11. 관측자료, GCMs, RCM의 강수량 비교

관측자료와 유사한 패턴을 나타내고 있었다. 그러나, 겨울철의 경우 HADCM3 GCM을 제외한 모든 모형이 매우 높은 값을 나타내는 특징이 나타났다(그림 10).

도출된 GCM과 RCM을 이용하여 월별 관측자료를 기준으로 각각의 모형별 pearson상관분석을 실시한 결과, NIES-RAMS RCM이 늦은 봄부터 가을까지 관측값과 비교적 높은 상관관계를 나타냈다. 또한, 봄과 겨울의 경우에도 관측자료와 가장 높은 상관관계를 나타내는 모형과 유사하게 99% 유의수준에서 높은 상관관계를 보이고 있어 실제 기온을 잘 설명할 수 있는 모형이라는 결론을 얻었다(표 5).

기온과 마찬가지로 1981년부터 1990년까지 10년 동안의 월별 일평균 강수량을 추정하여 관측자료와 함께 비교하였다. 관측자료는 여름에 강수가 집중되는 우리나라의 전형적인 강수패턴을 잘 설명하였다. 그러나 GCM의 경우 하절기에 나타나는 강수패턴을 반영하지 않는 결과를 나타내었다. GCM의 경우, 수 백 km에 달하는 공간해상도로 인해 지역을 대표하는 의미가 많이 낮아지는 것으로 볼 수 있다.

반면에 RCM의 경우 관측자료와 유사한 강수패턴을 나타내지만, 여름에는 비교적 적은 강수량을 나타내고, 봄과 가을, 그리고 겨울에는 많은 강수량을 나타내는 한계를 나타내었다. 그러나, 미래기후를 예측하는 과정에서 통계적 다운스케일링(downscaling)만으로는 기후를 예측하는데 한계가

있어서 관측자료를 참고하여 보정²⁾하기 때문에 GCM보다 RCM이 우리나라의 강수패턴을 잘 설명한다고 판단되어진다(그림 11).

IV. 결론

지구환경의 중요성이 대두되고 있는 가운데 기후변화에 의한 영향을 미리 예측하고 대응전략을 세우는 일은 의미있다고 할 수 있다. 기후변화에 의한 피해는 다양한 분야에서 발생하고 있으며, 이를 감소시키기 위한 대응전략과 앞으로 발생할 기후변화에 대한 연구가 전세계적으로 많이 이루어지고 있다. 급격한 경제발전으로 인하여 우리나라는 다른 나라보다 매우 빠르게 기후변화가 이루어지고 있기 때문에 정확한 미래예측을 통하여 적절한 대응방안을 마련해야 할 것이다.

본 연구의 결과 1981년부터 1990년까지의 현재 기후에서 우리나라의 연평균기온은 약 12.03℃, 평균 일강수량은 2.72mm로 나타났다. GCM의 연평균기온은 10.22~16.86℃, 평균 일강수량은 2.13~3.35mm로 나타났다. RCM의 연평균기온은 12.56℃, 평균 일강수량은 5.01mm로 나타났다. 일평균 강수량의 경우 실제 관측 값과 RCM이 많은 차이를 보이지만 계절적인 강수패턴이 우리나라의 여름철

강우를 잘 설명하고 있으며, 현재기후를 이용해서 보정할 경우 보완이 될 수 있을 것으로 판단된다. 이렇게 관측된 자료와 GCM, RCM을 비교하였을 때, 기존에 이루어진 GCM을 이용한 연구보다 좀 더 현실과 비슷한 결과를 도출하였다.

따라서, 다양한 기후모형 가운데 우리나라의 기온과 강수량의 기후특성을 잘 나타내는 기후모형인 RCM을 이용하여 미래기후를 실제와 비슷하게 예측함과 동시에 다양한 분야에서 발생하는 우리나라의 기후변화 영향연구에 대한 입력자료로 활용한다면 매우 의미있는 결과를 얻을 수 있다고 판단된다.

註

- 1) 2000년에 IPCC에서 작성된 "Special Report on Emissions Scenarios"에 기초한 새로운 배출시나리오를 말한다. 「SRES시나리오」는 크게 4가지 시나리오로 구성되어 있다. A1시나리오는 급속한 경제성장, 낮은 인구증가, 효율적인 신기술의 도입 등 고성장을 추구하고, A2 시나리오는 지역별 문화의 특성을 강화하고, 가족과 지역의 전통을 강조하기 때문에 온난화대책을 위한 비용이 가장 많이 소요된다. B1 시나리오는 낮은 인구성장을 나타내지만, 경제구조가 원료중심산업에서 서비스업중, 정보화산업으로 변화하며, 청정기술이 도입되는 미래상을 서술하고 있다. 마지막으로, B2시나리오는 경제, 사회, 환경문제의 지역적 해결을 강조하는 시나리오이다(IPCC, 2000).
- 2) 미래의 t 년도에 대한 강수량 $P(t)$ 를 현재의 강수량을 기준으로 $2 \times \text{CO}_2$ 와 $1 \times \text{CO}_2$ 사이의 강수량 비율을 연산하여 보정을 실시한다(Takahashi *et al.*, 1998; Matsuoka *et al.*, 2001; 전성우 등, 2002).

$$P(t) = P(\text{present}) \frac{P(2 \times \text{CO}_2)}{P(1 \times \text{CO}_2)}$$

참고문헌

- 서울대학교 지구환경과학부, 2002, 지역 기후 모형의 개발, 환경부 보고서.
- 윤정호, 2003, 소나무림 공간 분포의 특성 및 변화 예측-지형, 기상, 토양인자의 영향을 중심으로, 고려대학교 대학원 박사학위논문.
- 전성우, 박용하, 정휘철, 이동근, Matsuoka, Y., Harasawa, H., Takahashi, K., 2002, 기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구 III-삼림부분을 중심으로, 한국환경정책 · 평가연구원 연구보고서.
- 정휘철, 전성우, 이동근, 2002, 지구온난화로 인한 한반도 삼림의 영향 평가, 환경복원녹화, 5(5), 1-10.
- 정휘철, 전성우, 이동근, Matsuoka, Y., 2003, 삼림의 이동속도를 고려한 한반도 자연 식생의 기후변화 적응성 평가, 환경영향평가, 12(5), 383-393.
- Arnell, N. W., 2004, Climate change and global water resources: SRES emissions and socioeconomic scenarios, *Global Environmental Change*, 14(1), 31-52.
- Chipanshi, A. C., Chanda, R., and Totolo, O., 2003, Vulnerability assessment of the maize and sorghum crops to climate change in Botswana, *Climatic Change*, 61(3), 339-360.
- Dairaku, K., Emori, S., and Nozawa, T., 2004, CCSR/NIES AGCM(네스팅)した地域(候)モデルNIES-RAMSによる21世紀のアジアの水循環変動予測. Research Report to Meteorological Research Institute.
- Dairaku, K., Emori, S., Nozawa, T., Yamazaki, N., Hara, M., and Kawase, H., 2004, *Regional climate simulation over Asia under the global warming nested in the CCSR/NIES AGCM*, Symposium on Water Resource and Its Variability in Asia in the 21st Century: 90-93.
- IPCC, 2000, *Special Report on Emissions Scenarios Vulnerability*.
- IPCC, 2001, *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. London: Cambridge University Press.
- IPCC, 2001, *Climate Change 2001: Synthesis Report*. London: Cambridge University Press.
- IPCC, 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. London: Cambridge University Press.
- Iverson, L. R., Prasad, A., and Schwartz, M. W.,

- 1999, Modeling potential future individual tree-species distributions in the eastern United States under a climate change scenario: a case study with *Pinus virginiana*, *Ecological Modelling*, 115(1), 77-93.
- Matsuoka, Y., Morita, T., and Kainuma, M., 2001, *Integrated Assessment Model of Climate Change: The AIM Approach*, In: Matsuno, T. and Kida, H. eds., Present and Future of Modeling Global Environmental Change. Tokyo: TERRAPUB: 339-361.
- Mearns, L. O., Giorgi, F., McDaniel, L., and Shields, C., 2003, Climate scenarios for the southeastern U.S. based on GCM and regional model simulations, *Climatic Change*, 60(1-2), 7-35.
- Parry, M. L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., and Fischer, G., 2004, Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change*, 14(1), 53-67.
- Takahashi, K., Matsuoka, Y., and Harasawa, H., 1998, Impacts of Climate Change on Water Resources, Crop Production and Natural Ecosystem in the Asia and Pacific Region, *Journal of Global Environment Engineering*, 4, 91-103.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M., 2002, SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 147-159.
- <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk>