

우리나라 기후 재현성을 중심으로 한 GCMs 평가

최대규 · 이진희* · 조덕준** · 김상단†

부경대학교 환경공학과

*한국환경정책·평가연구원 물순환연구실

**동서대학교 건축토목공학부

GCMs Evaluation Focused on Korean Climate Reproducibility

Daegyoo Choi · Jinhee Lee* · Deok Jun Jo** · Sangdan Kim†

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

*Division of Water and Environment, Korea Environment Institute

**Division of Architecture & Civil Engineering, Dongseo University

(Received 7 December 2009, Revised 5 March 2010, Accepted 14 March 2010)

Abstract

In this study 17 GCMs' simulations of late 20th century climate in Korea are examined. A regionally averaged time series formed by averaging the temperature and precipitation values at all the Korean grid points. In order to compare general circulation models with observations, observed spatially averaged temperature and precipitation is calculated using 24 stations for 1971 to 2000. The annual mean difference between models and observed data are compared. For temperature, most models have a slight cold bias. The models with least bias in annual average temperature are NIES(MIROC3.2 hires), GISS(AOM) and INGV(SXG2005). For precipitation, almost all models have a dry bias, and for some the bias exceeds 50%. Models with lowest bias are NIES(MIROC3.2 hires), CCCma(CGCM3-T47) and MPI-M(ECHAM5-OM). The models' simulated seasonal cycles show that for temperature, CSIRO(Mk3.0) has the best followed by CCCma(CGCM3-T47) and CCCma(CGCM3-T63), and for precipitation, NIES(MIROC3.2 hires) has the best followed by CSIRO(Mk3.0) and CNRM(CM3). In the assessment using Taylor diagram, CCCma(CGCM3-T47) ranks the best for temperature, and NIES(MIROC3.2 hires) ranks the best for precipitation.

keywords : Climate change, General Circulation Models, Precipitation, Temperature

1. 서론

미래기후변화는 전 세계적인 관심을 받고 있는 현안이다. 물환경 관리에 있어서도 이는 매우 중요한 사항이며 이와 관련한 연구사례가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다(경민수 등, 2009; 김문성 등, 2009; 배덕효 등, 2004; 예령 등, 2009; 최대규 등, 2009; 한수희 등, 2009; Githui et al., 2008; Jha et al., 2004; Stonefelt et al., 2000). 미래기후변화에측은 크게 과거기후분석, 기후실험, AOGCMs (Atmospheric- Ocean General Circulate Models, 이하 GCMs)를 통해 이루어지고 있다. 특히 GCMs는 대기 및 해양 프로세스를 물리적, 수학적으로 구현하여 미래기후를 정량적으로 예측하기 때문에 가장 널리 이용되고 있다. 현재 국내에서는 GCMs 미래기후정보를 이용하여 미래 물환경 변화 분석에 초점을 둔 많은 연구사례들이 존재한다. 하지만 어떠한 GCMs의 미래기후정보를 이용해야하는지에 대한 연구사례는 부족한 실정이다.

Intergovernmental Panel on Climate Change(이하 IPCC) 4차보고서(Fourth Assessment Report, AR4)에서는 유럽, 미국을 비롯한 전 세계 여러 국가에서 개발된 23개의 GCMs을 제시하고 있으며 Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison(이하 PCMDI)에서는 추가적으로 2개의 GCMs를 제시하여 총 25개의 공인된 GCMs가 존재한다. 하지만 이들 GCMs로부터 산출된 기후정보들은 각 GCM마다 각기 다른 공간해상도와 고유한 해양-대기-지면 연계 프로세스를 가지고 있어 동일한 지역에 대해서도 GCM 별로 모의결과가 상이하다. 특히 우리나라는 GCM 해상도 수준에서는 격자 1~6개 정도로 표현되기 때문에 기후정보에 많은 불확실성을 지니게 된다.

선행 연구들을 살펴보면, Climate Impacts Groups(2009)에서는 미래기후에 따른 수자원변화 분석에 앞서 미국 워싱턴 주를 대상으로 1970~1999년 기간 동안의 관측 자료를 바탕으로 여러 GCMs에 대한 연평균 편차를 제시하고 월별 평균 강수량, 기온을 비교하였다. 이후 정량적인 비교평가를 위하여 Taylor diagram(Taylor, 2001)을 이용하여 현재 기후 재현성이 우수한 GCMs를 선택하고자 하였다.

† To whom correspondence should be addressed.
skim@pknu.ac.kr

California Department of Water Resources(2009)에서는 엘니뇨와 같은 기상패턴, 가뭄기간의 재현성 등 지역의 기후 특성과 GCM 해상도 등을 기준으로 제시하여 이에 부합되는 GCM을 선정하 바 있다. 국내의 경우, Multi-model ensemble을 이용하여 다양한 GCMs의 결과를 바탕으로 미래 수문상황을 예측하는 연구(배덕효 등, 2004) 등이 진행되고 있으나 이는 최적 GCMs를 선정하는 것보다는 다양한 GCMs의 적용을 통하여 미래예측의 불확실성을 평가하려는 시도라 볼 수 있다. 김민지 등(2008)의 경우는 24개 GCMs의 강수 및 기온 자료를 바탕으로 동아시아 지역의 기후재현성을 살펴보았다는 점에서 GCMs를 평가하는 관점에서 매우 중요한 시사점을 도출하였다.

이에 본 연구에서는 미래기후정보를 이용하여 우리나라 미래 물환경 평가를 수행하기에 앞서 우리나라의 기후를 가장 잘 표현하는 GCMs를 살펴보고자 한다. 이를 위해 총 17개의 GCMs 자료를 수집하였으며 현재기후 시나리오인 20c3m 시나리오의 모의결과와 우리나라 24개 지점의 1971~2000년 기온 및 강수자료를 비교하였다.

2. 연구 방법

2.1. General Circulation Models(GCMs)

GCMs는 지구의 대기와 해양의 순환을 수학적 계산을 통하여 기후를 예측하는 전지구단위의 기후모의 모형이다. Manabe and Bryan(1969)에서 최초로 GCM을 개발된 이후

로 여러 물리적, 화학적 프로세스의 발전으로 인해 현재에도 많은 진전이 이루어지고 있는 중이다. 본 연구에서는 PCMDI 25개 GCMs 중 현재기후 시나리오가 제공되는 17개의 GCMs를 대상으로 연구를 진행하였다. Table 1에 현재 제공되고 있는 GCMs를 정리하였으며 여기서 어둡게 표시된 것은 자료 부족으로 인해 평가에서 제외된 GCMs이다.

Table 2. Scenarios of climate change

Scenario	Description
20C3M	Climate of the 20th century experiment
SRES A2	IPCC special reports on emissions scenarios
SRES A1B	IPCC special reports on emissions scenarios
SRES B1	IPCC special reports on emissions scenarios
1%to2x	1% per year CO ₂ increase experiment (to doubling)
1%to4x	1% per year CO ₂ increase experiment (to quadrupling)
Picntrl	Pre-industrial control experiment

Table 2는 현재 PCMDI에서 제공하는 주요 기후변화 시나리오에 대한 설명이다. 20c3m은 20세기의 기후를 토대로 모의한 시나리오이며 이는 GCM의 재현성을 확인할 때 주로 이용된다. 1%to2x, 1%to4x의 경우 단순히 이산화탄소의 농도가 매년 1%씩 상승하여 최종적으로 2배, 4배 상승한다는 가정 하에 작성된 시나리오이며 Picntrl의 경우에는 산업화이전의 기후조건을 고려한 시나리오이다. 마지막으로 SRESA2, SRESA1B, SRESB1의 경우에는 IPCC SRES (Spe-

Table 1. GCM features (IPCC, 2007; PCMDI, 2009; : used, : unused)

No	Model, Vintage	NAME	Atmosphere	Ocean	Country
1	CSIRO-MK3.0, 2001	CSMK3	1.9°×1.9°	0.8°×1.9°	Australia
2	CSIRO-MK3.5, 2006	CSMK3.5	1.9°×1.9°	0.8°×1.9°	
3	CGCM3.1 (T47), 2005	CGMR (T47)	2.8°×2.8°	0.5-1.5°×1.5°	Canada
4	CGCM3.1 (T63), 2005	CGHR (T63)	1.9°×1.9°	0.9°×1.4°	
5	BCC-CM1, 2005	BCCM1	1.9°×1.9°	1.9°×1.9°	China
6	FGOALS-g1.0, 2004	FGOALS	2.8°×2.8°	1.0°×1.0°	
7	CNRM-CM3, 2004	CNCM3	1.9°×1.9°	0.9°×1.4°	France
8	IPSL-CM4, 2005	IPCM4	2.5°×3.75°	2.0°×2.0°	
9	ECHAM5/MPI-OM, 2005	MPEH5	1.9°×1.9°	1.5°×1.5°	Germany
10	ECHO-G, 1999	ECHOG	3.9°×3.9°	0.5-2.8°×2.8°	Germany/Korea
11	INGV-SXG (SINTEX-G), 2005	INGSX6	1.1°×1.1°	1.0-2.0°×1.0-2.0°	Italy
12	MIROC3.2 (hires), 2004	MIHR	1.1°×1.1°	0.2°×0.3°	Japan
13	MIROC3.2 (medres), 2004	MIMR	2.8°×2.8°	0.5-1.4°×1.4°	
14	MRI-CGCM2.3.2, 2003	MRCGCM	2.8°×2.8°	0.5-2.0°×2.5°	Norway
15	BCCR-BCM2.0, 2005	BCM2	2.8°×2.8°	1.5°×1.5°	
16	INM-CM3.0, 2004	INCM3	4.0°×5.0°	2.0°×2.5°	Russia
17	CCSM3, 2005	NCCCSM	1.4°×1.4°	0.3-1.0°×1.0°	USA
18	GFDL-CM2.0, 2005	GFCM20	2.0°×2.5°	0.3-1.0°×1.0°	
19	GFDL-CM2.1, 2005	GFCM21	2.0°×2.5°	0.3-1.0°×1.0°	
20	GISS-AOM, 2004	GIAOM	3.0°×4.0°	3.0°×4.0°	
21	GISS-EH, 2004	GIEH	4.0°×5.0°	2.0°×2.0°	
22	GISS-ER, 2004	GIER	4.0°×5.0°	4.0°×5.0°	
23	PCM, 1998	NCPCM	2.8°×2.8°	0.5-2.0°×2.5°	UK
24	UKMO-HadCM3, 1997	HADCM3	2.5°×3.75°	1.25°×1.25°	
25	UKMO-HadGEM1, 2004	HADGEM	1.3°×1.9°	0.3-1.0°×1.0°	

cial Reports on Emissions Scenarios, IPCC, 2000)에서 제시하는 시나리오로써 인구, 경제, 기술에 관련된 인자를 각각 특성에 맞게 고려한 시나리오이다(Fig. 1).

Table 3은 GCMs에서 모의결과로 제공되는 대표적인 기후변수들이며, Table 4는 본 연구에서 확보한 GCM 별 20c3m시나리오에서의 기후변수이다. GCM 별로 모의기간이 일정하지 않으며 pr과 tas를 제외한 변수들이 완벽한 모의결과를 제공하고 있지 않음을 살펴볼 수 있다.

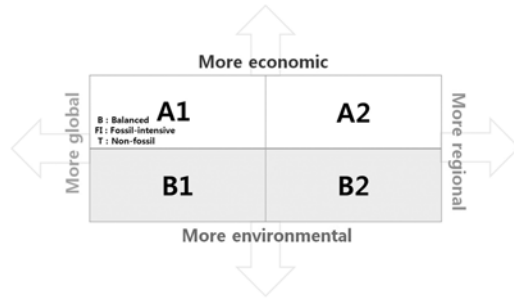


Fig. 1. SRES scenarios (IPCC, 2007).

Table 3. Variables of GCM

Variable	Description	Unit
huss	Surface specific humidity	fraction
orog	Surface altitude	km
pr	Total precipitation	kg/m ² /s
psl	Sea level pressure	Pa
rsds	Surface downweling shortwave flux in air	W/m ²
sftgif	Land area fraction	%
tas	Near surface air temperature	K
tasmax	2m mean max air temperature	K
tasmin	2m mean min air temperature	K
uas	Zonal surface wind speed	m/s
vas	Meridional surface wind speed	m/s

2.2. GCMs 평가

본 연구에서는 강수량과 기온에 대해 현재기후의 재현성을 확인하고자 하였다. 상기 기술한 17개의 GCMs 별로 우리나라에 해당하는(해양 포함) 모든 격자에서의 모의결과자료들이 공간 평균되어 사용되어졌다. GCMs 현재기후 모의결과와 관측 자료를 비교하기 위하여 1971~2000년까지 24개 관측지점에서의 기온과 강수량 자료가 공간 평균되어졌다. 20c3m시나리오 결과와 관측 자료를 통계적인 방법을 통하여 비교하였으며 크게 세 가지 항목으로 편차, 계절성, 변동성을 고려하였다. Fig. 2에 GCMs 평가절차를 도식화하여 나타내었다. 편차, 계절성, 변동성 항목에서의 각 GCMs 별 점수에 각각 0.35, 0.35, 0.30의 가중치를 주어 최종 순위를 산출하였다. 각 항목별 점수는 각각의 오차 정도를 표준화하기 위하여 Dimension Index 방법(UNDP, 2005)에 의해 산출하였으며, 가중치는 편차, 계절성, 변동성 모두 기온 및 강수의 재현성을 나타내는데 중요한 지표이며, 어떤 것보다 큰 가중치가 있다고 볼 수 있는 사항은 아니라 판단하였다. 비교에 이용된 관측 지점은 Fig. 3에 나타내었다.

먼저 1971~2000년의 GCMs별 연평균 결과 값과 관측된 연 평균값의 편차를 비교하였다. 계절성을 평가 시에는 평균에서의 편차가 계절성 평가에 중복 적용되는 것을 피하기 위하여 GCMs별 모의결과와 누가확률밀도함수를 관측

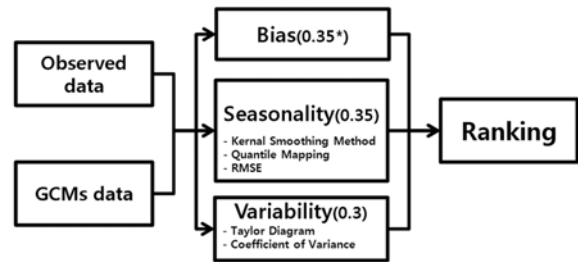


Fig. 2. Flow chart of GCM assessments.

Table 4. List of simulated GCMs variables (20c3m scenario; □ : exist, ■ : none)

GCM	Start	End	pr	tasmax	tasmin	tas	huss	vas	uas	rsds
BCM2	1850	1999	□	□	□	□	□	■	□	□
CGMR(T47)	1961	2000	□	□	□	□	□	□	□	■
CGHR(T63)	1961	2000	□	□	□	□	□	□	□	■
CNCM3	1860	1999	□	■	■	□	□	□	□	□
CSMK3	1871	2000	□	□	□	□	■	■	■	□
GFCM	1961	2100	□	■	■	□	■	□	□	□
GIAOM	1850	2000	□	□	□	□	□	□	□	□
GIEH	1880	1999	□	■	■	□	□	□	□	□
GIER	1880	2003	□	■	■	□	□	□	□	□
HADCM3	1860	1999	□	■	■	□	■	■	■	□
HADGEM	1860	1999	□	■	■	□	■	□	□	□
INCM3	1871	2000	□	□	□	□	□	□	□	□
INGSX6	1870	2000	□	■	■	□	■	■	■	■
MIHR	1900	2000	□	□	□	□	□	□	□	□
MIMR	1850	2000	□	□	□	□	□	□	□	□
MPEH5	1860	2100	□	■	■	□	■	□	□	□
NCPCM	1890	1999	□	□	□	□	■	■	■	□

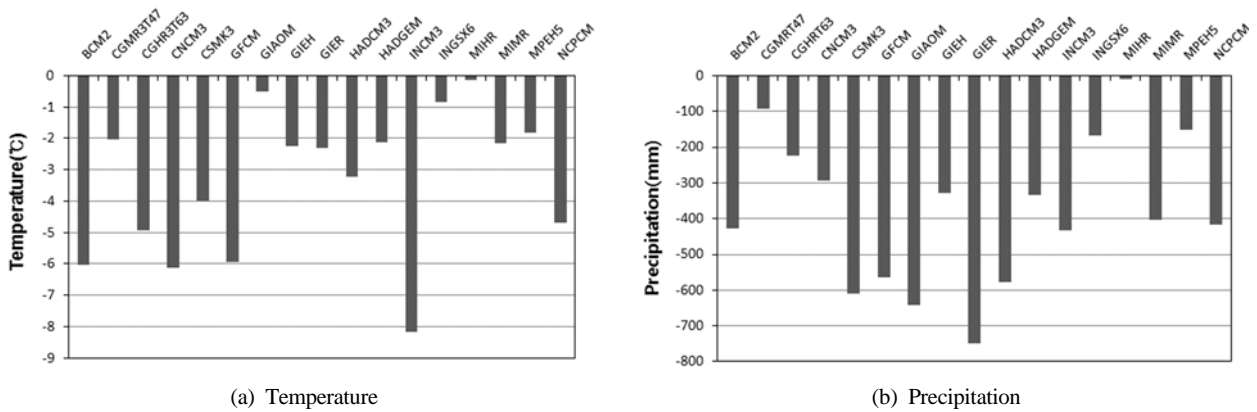


Fig. 6. Bias of climate variables.

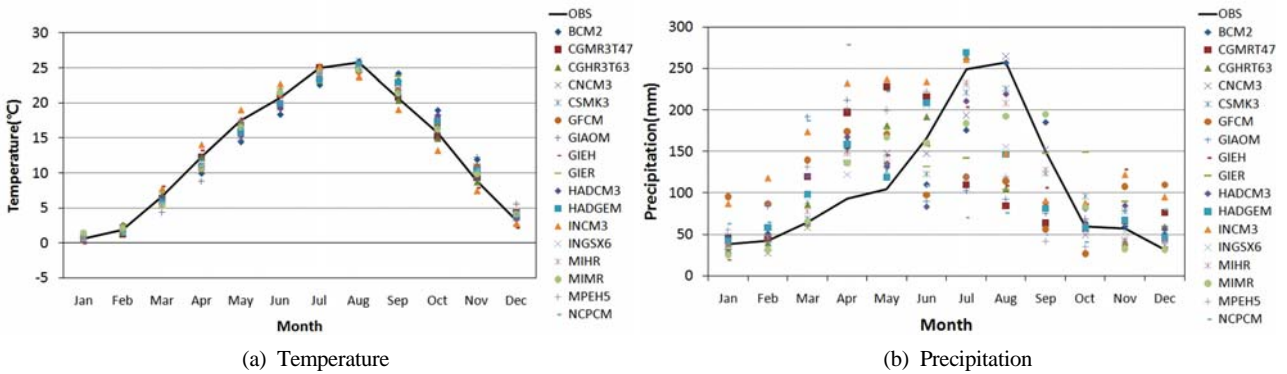


Fig. 7. Monthly means of climate variables between observed values and GCMs.

CSMK3와 CNCM3 또한 관측 자료와 유사한 계절성을 지니는 것으로 나타났다. 이와는 반대로 NCPM과 GIAOM은 계절성을 재현한다고 볼 수 없는 것으로 분석되었다.

3.3. 변동성

Fig. 8은 GCMs별 표준편차를 계산하여 이를 σ_{GCM} 이라고 두고 관측 표준편차를 계산하여 σ_{OBS} 라고 한 다음, GCMs별 강수량 시계열과 관측 강수량 시계열의 교차상관계수를 계산하여 가로축을 표준편차의 상대비($\sigma_{OBS}/\sigma_{GCM}$), 수직축을 교차상관계수로 하여 도시한 그림이다. 기온의 경우 교차상관계수의 상대 비가 -0.1~0.1로 평균적인 거동을 제외

할 경우 대부분의 GCMs 결과와 관측기온과는 상관성이 매우 적은 것으로 나타났다. 표준편차의 상대 비의 경우에는 0.5~1.5로 GCMs 별로 차이가 큰 것으로 나타났다. 강수량의 경우에도 평균적인 거동을 제외할 경우 교차상관계수의 상대 비가 -0.1~0.1 범위 정도로 상관성이 매우 떨어지는 것으로 나타났으며, 대부분의 GCMs가 관측 자료에 비해 낮은 변동성을 보여주고 있다. Fig. 8에서 점 (1,1)이 변동성 재현에 있어서 가장 좋은 상태를 나타내므로, GCMs가 나타낸 점과 (1,1) 사이의 거리를 계산한 결과 기온의 경우 CGMR(T47)이 가장 우수한 결과를 산출하였으며, 강수량의 경우에는 MIHR이 가장 우수하였다.

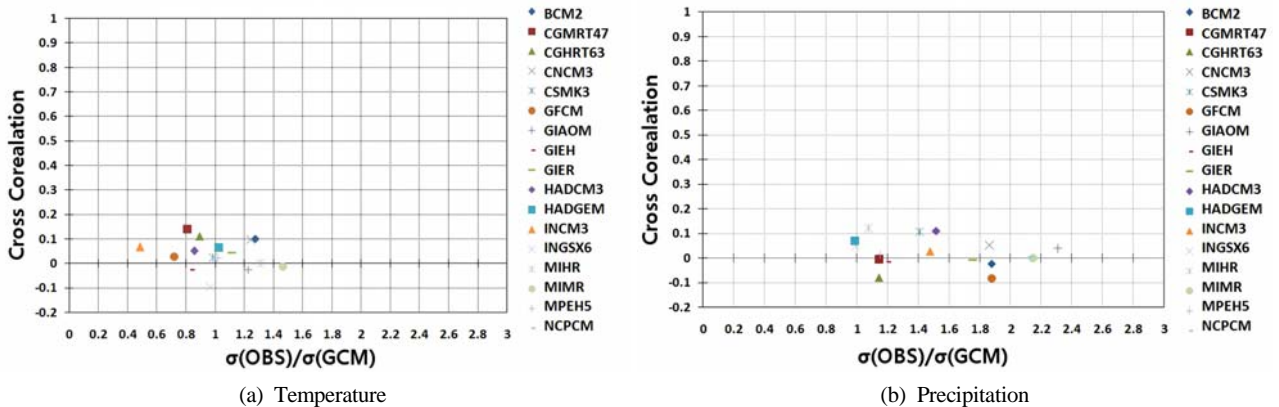


Fig. 8. Cross Correlation versus $\sigma(OBS)/\sigma(GCM)$.

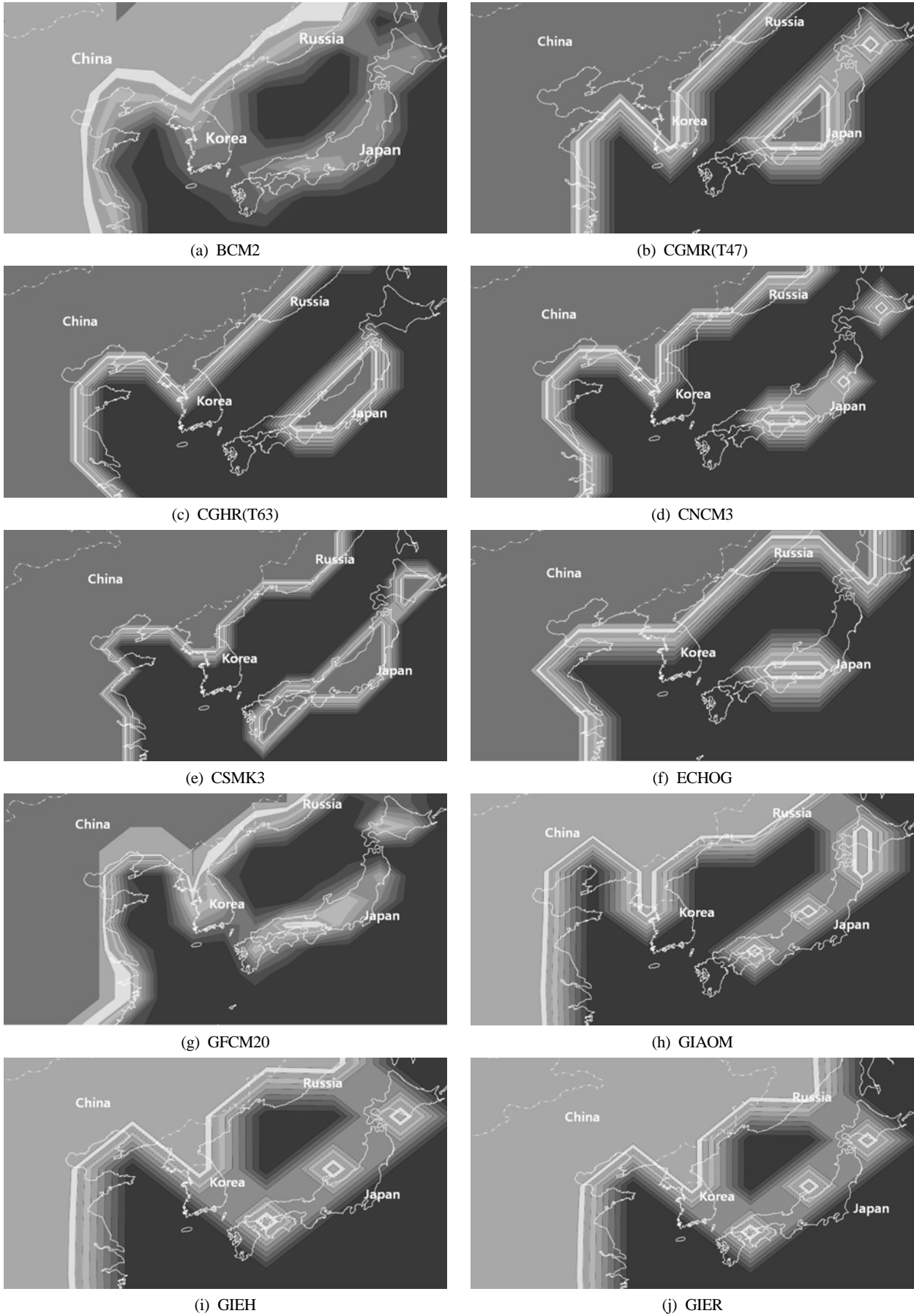


Fig. 9. Representing of Land/Ocean through 'stgif' variable.

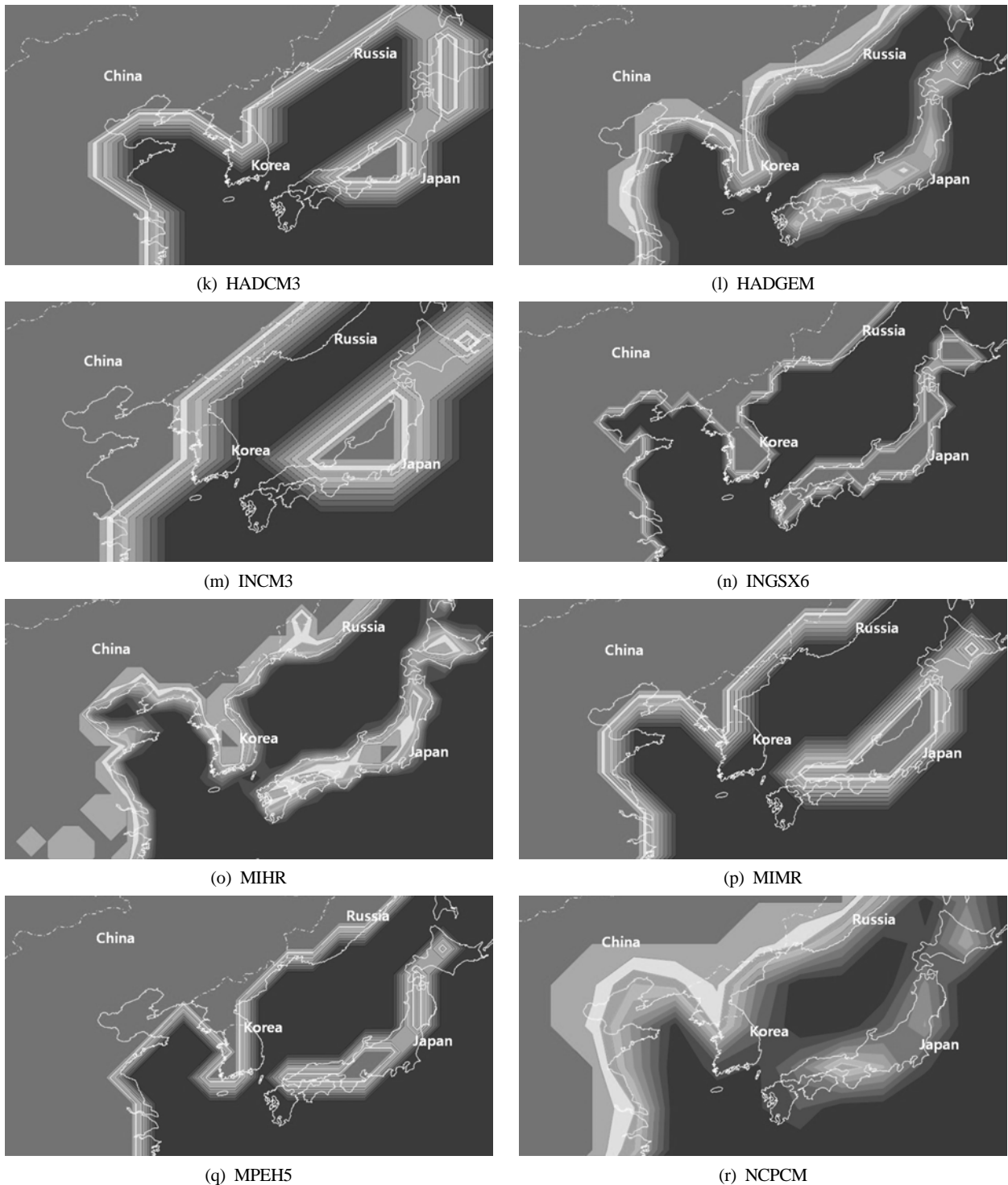


Fig. 9. Representing of Land/Ocean through 'stgif' variable. (continued)

3.4. 종합결과

Fig. 9는 GCMs 별 우리나라 육지표현능력을 나타낸 그림이다. 우리나라와 같은 작은 규모의 경우에는 GCM과 같은 저해상도 수준에서는 육지와 해양을 완벽히 구별해내기가 어렵다. 특히 저해상도인 ECHOG와 INCM3의 경우 우리나라 지형을 거의 표현하지 못하고 있음을 알 수 있다. 김민지 등(2008)의 연구와 같이 동아시아 지역과 같은 상대적으로 큰 규모의 경우에는 육지표현능력이 결과 산출에

상대적으로 덜 민감하지만 우리나라와 같은 작은 규모의 경우에는 이러한 육지의 표현 정도가 GCMs의 신뢰성에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 상기 기온과 강수량의 편차, 계절성, 변동성 평가결과도 이와는 무관하지 않은 결과를 보여주고 있음을 살펴볼 수 있다(Table 5). 그러나 기온의 경우 GCMs별 편차가 그다지 크지 않은 반면에, 강수의 경우에는 우수한 재현성을 보이는 GCMs과 그렇지 않은 GCMs 사이의 편차가 비교적 크게 나타남을 살펴볼 수 있

Table 5. Ranking of GCMs assessment

No	GCM	Temperature	Precipitation
1	BCM2	16	11
2	CGMR(T47)	1	9
3	CGHR(T63)	2	5
4	CNCM3	13	4
5	CSMK3	3	6
6	GFCM	14	15
7	GIAOM	13	17
8	GIEH	8	7
9	GIER	9	14
10	HADCM3	11	10
11	HADGEM	5	3
12	INCM3	17	13
13	INGSX6	6	2
14	MIHR	4	1
15	MIMR	12	12
16	MPEH5	7	8
17	NCPCM	10	16

었다. 이에 따라서 기온보다는 강수의 재현성 여부가 한반도 기후를 잘 재현하는 GCMs 선정에 보다 중요한 요소로 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단하였다. 고해상도의 GCMs인 MIHR, INGSX6이 가장 높은 순위를 기록하고 있으며, 이외에도 HADGEM, CNCM3, CSMK3, MPEH5 등이 비교적 우리나라 기후를 잘 재현하고 있음을 살펴볼 수 있다.

4. 결론

17개의 GCMs 모의자료를 수집하여 우리나라 24개 지점의 30년간의 기온 및 강수량 자료와의 비교분석을 실시하였다. 20세기 기후를 표현한 20c3m시나리오의 pr(강수량), tas(기온)변수와의 통계적인 분석을 실시하여 GCMs 별 우리나라 기후 재현성을 평가하였다. 평가항목으로 편차, 계절성, 변동성을 고려하였으며 추가적으로 GCMs에서 제공하는 stflt 변수를 이용하여 GCMs 별 우리나라 육지의 표현능력을 살펴보았다. 분석결과 우리나라 지형을 적절히 표현한 고해상도 GCMs인 MIHR, INGSX6이 통계학적 평가 순위에서도 각각 1위와 2위를 차지하였으며 HADGEM, CNCM3, CSMK3, MPEH5 등이 비교적 우리나라 기후를 잘 재현하고 있음을 살펴볼 수 있었다. 본 연구결과는 비교적 간단한 분석을 통하여 어떤 GCMs가 비교적 우리나라 기후와의 상대적인 편차가 작게 나타나는지를 검토한 것으로 이해될 수 있을 것이다. 결과에 대한 판단은 가급적이면 주관성을 배제하고 일반적으로 인정할 만한 객관적인 지표로서 평가를 시도하고자 하였으며, 그에 따라 연강수량을 얼마나 재현하고 있는지, 우리나라 강수현상의 가장 중요한 특성인 계절성이 어느 정도 재현되는지, 마지막으로 변동성-교차상관계수의 관계를 이용하였다. 앞으로 보다 많은 사항에 대한 평가가 필요할 것으로 판단되며, 본 연구결과가 추후 미래기후정보를 이용한 미래 수환경 변화를 살펴보는 데 있어서 참고자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 한국환경정책·평가연구원 ‘2009년 녹색성장정책연구(기후변화를 고려한 환경유량 산정 및 물환경 적응방안)’의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

경민수, 이용원, 김형수, 김병식(2009). 기후변화가 서울지역의 기온 및 가뭄에 미치는 영향 평가 : AR4 SRES A2 시나리오를 기반으로. *대한토목학회논문집*, **29**(2B), pp. 81-191.

김문성, 고익환, 김상단(2009). CGCM의 미래 기후 정보를 이용한 기후변화가 낙동강 유역 유황에 미치는 영향분석. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(6), pp. 863-871.

김민지, 신진호, 이효신, 권원태(2008). 동아시아 지역의 AOGCM 불확실성 평가 및 미래기후전망. *한국기상학회지*, **18**(4), pp. 507-524.

배덕효, 정창삼, 권원태(2004). 수자원 활용 측면에서의 고해상도 GCM 모의의 효용성. *한국기상학회지*, **40**(4), pp. 409-418.

세종대학교(2007). *21세기 프론티어연구개발사업; 수자원의 지속적 확보기술개발사업; 기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계 구축*. BU1200708071363, 과학기술부.

예령, 정세용, 이흥수, 윤성완, 정희영(2009). SWAT모형을 이용한 대청댐 유역의 기후인자에 따른 유출 및 유사량 민감도 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(1), pp. 7-17.

최대규, 김문성, 김남원, 김상단(2009). CGCM 미래기후정보를 이용한 기후변화가 병성천 유역 수문 및 수질반응에 미치는 영향분석. *한국수자원학회논문집*, **42**(11), pp. 921-931.

한수희, 유가영, 김상단(2009). 토양수분의 추계학적 거동과 기후변화가 미치는 영향. *한국수자원학회논문집*, **42**(6), pp. 433-443.

California Department of Water Resources (2009). *Using Future Climate Projections to Support Water Resources Decision Making in California*. CEC-500-2009-052-D, California Climate Change Center, California.

Climate Impacts Group (2009). *The Washington Climate Change Impacts Assessment*. Elsner, M. M., Little, J., Binder, L. W., Center for Science in the Earth System, Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Oceans, University of Washington, Seattle, Washington.

Githui, F., Gitau, W., Mutua, F., and Bauwens, W. (2008). Climate change impact on SWAT simulated streamflow in western Kenya. *International Journal of Climatology*, Wiley InterScience, DOI. 10.1002.

IPCC (2000). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC (2007). *Climate change 2007: Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK.

Jha, M., Pan, Z., Takle, E. S., and Gu, R. (2004). Impacts of

- climate change on streamflow in the Upper Mississippi River Basin: A regional climate model perspective. *Journal of Geophysical Research*, **109**, D09105, DOI: 10.1029/2003D003686.
- Manabe, S. and Bryan, K. (1969). Climate calculations with a combined ocean-atmosphere model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **26**(4), pp. 786-789.
- PCMDI (2009). <http://www.pcmdi.llnl.gov/>.
- Silverman, B. W. (1986). *Density Estimator for Statistics and Data Analysis*, New York, Chapman and Hall.
- Stonefelt, M. D., Fontaine, T. A., and Hotchkiss, R. H. (2000). Impacts of climate change on water yield in the upper Wind river basin. *Journal of the American Water Resources Association*, **36**(2), pp. 321-336.
- Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.*, **106**, pp. 7183-7192.
- UNDP (2005). *Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategy, policies, and measures*. Cambridge University Press. USA.