

시공간적 Random Cascade 모형을 이용한 한반도지역 기후모의 상세화기법

Downscaling climate simulation using spatio-temporal random cascade model in Korea region

권진욱*, 강부식**

Jinwook Kwon, Boosik Kang

요 지

본 연구에서는 대기대순환모형(GCM) 모의결과를 활용하여 한반도 지역의 강수량과, 온도에 대하여 분위사상법(Quantile mapping)과 상세화기법(downscaling)을 적용하였다. GCM 모의자료는 캐나다기후센터(CCCma; Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis)의 CGCM2 A2, B2시나리오의 2001~2100년 자료를 사용하였으며, GCM 모의결과값과 국내관측값과의 계통적오차(systematic bias)를 보정하기 위하여 분위사상법을 적용하였다. 강수량자료의 경우 한반도의 강수특성을 반영하기 위하여 홍수기, 비홍수기로 구분지어 감마분포를 이용하였고, 온도자료의 경우 계절적 특성을 반영하기 위하여 봄/가을, 여름, 겨울로 구분지어 표준정규분포를 이용하여 분위사상법을 적용하였다. 강수량자료의 경우 과거(1965~1989:25개년)의 31개소의 일평균강우 자료를, 온도자료의 경우 과거(1965~1989)의 11개소의 일평균온도 자료를 사용하였다. 이러한 분위사상법의 적용으로 GCM 모의결과값과 관측값사이의 계통적오차를 보정하였으며, 그 결과 강수량자료의 홍수기의 경우 모의결과값과 관측값의 차이가 3.79mm/day에서 0.62mm/day로, 비홍수기의 경우 0.24mm/day에서 0.02mm/day로 각각 83%, 92% 보정된것을 확인하였으며, 각각의 확률분포 매개변수를 추출하였다. Random Cascade 모형의 자기유사성 및 무작위 변동성계수를 추정하기 위하여 2002년 8월 6일 00:10부터 8월 9일 24:00까지 432장의 레이더 스캔을 사용하여 스케일분석을 실시하였으며, 모형적용결과 연평균 강수량의 변화는 A2의 경우 797.89mm에서 1297.09mm로 B2의 경우 815.02mm에서 1383.93mm로 나타났다.

핵심용어 : 대기대순환모형, 분위사상법, 상세화기법, Random Cascade

1. 서 론

최근 기후변화에 따른 대기대순환모형(GCM) 모의결과를 이용한 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 GCM 모의값을 이용하여, 한반도 지역에 대하여 기후모의 상세화를 실시하였다. GCM 모의값은 한반도 지역의 과거기상관측자료(강우, 온도)와 계통적오차를 가지고 있으며, 이는 년 강수량의 대부분이 여름철에 집중되는 한반도 지역의 강수특성과, 사계절이 뚜렷한 한반도 지역의 대륙성 기후특성의 영향을 GCM에서 반영하지 못한 것으로 보여진다. Leung et al.(1999)와 Wood et al.(2002)는 분위사상법을 이용하여 기상변수를 보정한 예가

* 정회원-단국대학교 토목환경공학전공 석사과정E-mail : kwonjinwook@dankook.ac.kr

** 정회원-단국대학교 토목환경공학전공 조교수E-mail : bskang@dankook.ac.kr

있다. 본 연구에서는 오차보정을 위해 분위사상법을 적용하였으며, 보정된 GCM 모의값을 이용하여 한반도 지역에 대하여 Random Cascade모형을 이용하여 상세화(downscaling)를 실시하였다.

2. 연구방법 및 내용

2.1 분위사상법(Quantile Mapping)

GCM 모의값의 한반도 지역 활용에 있어 우선적으로 국내 기상관측값과 모의값 사이의 계통적 오차를 보정해야 한다. 관측값과 GCM 모의값간에 계통적오차(systematic bias)가 존재한다면, 두 자료의 확률분포는 기본형태가 같더라도 서로 다른 모수를 갖게 된다. 반면, 이상적인 모형이 구성이 되었다면 모의값과 관측값이 상관성을 갖거나 유사한 확률분포를 가지게 된다. 이러한 오차를 줄이기 위하여 분위사상법을 이용하였다. 분위사상법은 관측값과 GCM 모의값의 누적확률분포(CDF)를 이용하여 모의값의 CDF를 관측값의 CDF에 사상(mapping)시키는 방법이다. Eq. (1)에서 Y_j 를 j 번째 기상변수값이라 하면 오차보정된 Z_j 는 다음과 같다.

$$Z_j = F_{oj}^{-1}(F_{sj}(\hat{Y}_j)) \quad \text{Eq. (1)}$$

여기서 F_{oj} , F_{sj} 는 관측값과 모의값에 대한 경험적 확률분포를 나타낸다.

GCM 모의자료는 CCCma에서 제공되는 CGCM2<강우, 온도>자료를 사용하였다. 분위사상법을 적용함에 있어서, 강우자료에 대해서는 우리나라의 여름철에 년강수량의 대부분이 집중되는 강우특성을 반영하기 위하여 홍수기(6~9월), 비홍수기(1~5월/10~12월)로 구분하였으며, 감마분포를 이용하여 매개변수(α, β)를 추출하였다. 한편 온도자료에 대하여서는 강우자료와는 달리 대륙성 기후의 특성을 보이는 한반도 지역의 계절적 구분을 반영하기 위하여 봄/가을(3~5월/10~11월), 여름(6~9월), 겨울(12~2월)로 구분하여 표준정규분포를 이용하여 매개변수(α, β)를 추출하였다. 온도의 경우 일반적으로 시공간적 변화에 있어서 상대적으로 완만한 연속적 변화특성으로 인하여 스케일 상세화를 거치지 않고 지역적 편이보정만을 실시하는 경우가 일반적이다. 본 연구에서도 CGCM2 온도변수의 편이보정을 위하여 분위사상법을 적용하였다. 온도자료의 경우는 전반적으로 모든 기간에 있어 비슷한 온도분포경향을 보이고 있지만, 최저온도 및 최고온도 부분에 있어 다소 차이를 보이고 있었다. 이러한 차이는 분위사상법적용을 통해 보정된 것을 확인하였다(그림 1).

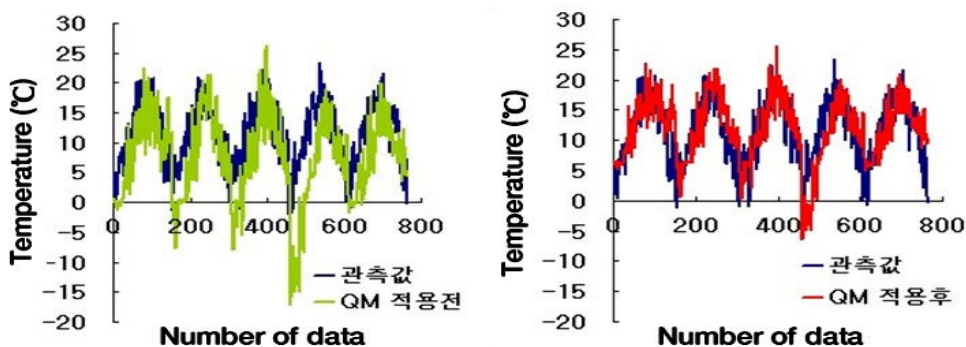


그림 1. 온도자료 분위사상법(Quantile mapping) 적용전·후

그림 2는 분위사상법의 적용을 개념적으로 표현한 것이며, 그림 3은 강우자료의 분위사상법 적용전·후의 CDF 변화이다.

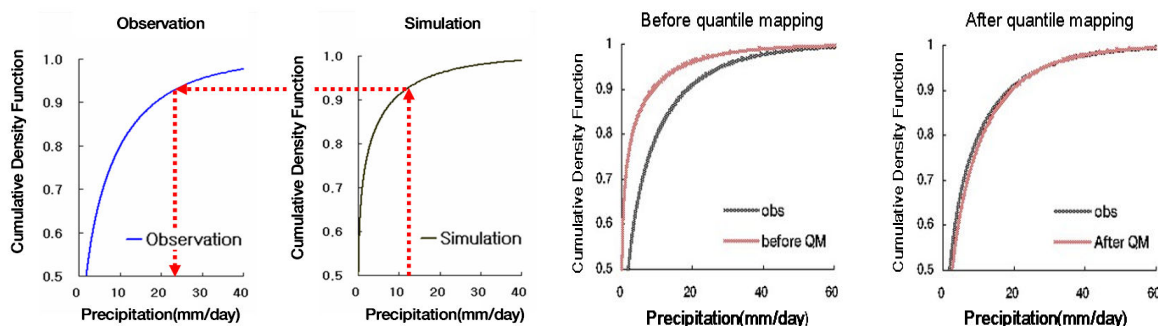


그림 2. CDF를 이용한 Quantile mapping

그림 3. 강우자료 분위사상법 적용전·후 CDF

표 1은 강우자료에 대한 분위사상법의 적용결과로서, 강우량이 상대적으로 적은 비홍수기에는 관측값과 CGCM2 모의값이 큰 차이를 보이지 않으나, 홍수기에는 분위사상법 적용전·후의 차이를 확인할 수 있다. 홍수기(6~9월)의 경우 CGCM2 모의값과 관측값의 분위사상법 적용전 일평균강우량의 차이는 3.79mm/day였으나, 적용후는 0.62mm/day로 보정된 것을(84% 감소)을 확인하였다. 즉, 분위사상법을 이용하여 CGCM2 모의값을 과거 강우관측값과 통계적 상관성을 부여하였다고 판단된다.

표 1. 기간별 관측치와 모의치의 통계적 특성

구 분		관 측 값 (mm/day)	CGCM 2 (mm/day)			
			QM 전	$\sum Obs - GCM2 ^2$	QM 후	$\sum Obs - GCM2 ^2$
홍 수 기 (6~9월)	평 균	6.66	2.87	3.79	7.28	0.62
	표준편차	11.36	8.00	3.37	11.02	0.34
비홍수기 (1~5/10~12월)	평 균	1.68	1.93	0.24	1.7	0.02
	표준편차	4.46	5.33	0.86	4.44	0.02

2.2 시공간적 Random Cascade 모형

분위사상법 적용과정에서 추출된 확률분포 매개변수 (α, β)를 이용하여 GCM 모의값(2001~2100년)을 보정하여 Random Cascade 모형의 입력자료를 구성하여 상세화기법을 적용하였다. Random Cascade 모형(SST-RCM; Stochastic Space-Time Random Cascade Model)의 개념은 크게 추계학적 분해모형(SST-DM; Stochastic Space-Time Disaggregation Model)과 불연속 Random Cascade 모형(IRCM; Intermittent Random Cascade Model)으로 구성된다. 추계 시공간 분해 부모형은 모격자스케일을 하위 분해수준 또는 아격자스케일로 상세화하는 과정에서 인접한 스케일간의 자기상관(self-similarity) 및 교차상관(cross-correlation)을 유지할 수 있도록 구성되어 있다. Random Cascade 모형의 매개변수인 β 값을 추정하기 위해서는 우선적으로 스케일 분석이 필요하다. 스케일분석을 통하여 기상변수들의 스케일에 따른 시·공간적 분포를 나타내는 매개변수 특성을 추정해야 하며, 특히 강수의 공간분포는 강수영상으로부터 프랙탈특성을 분석하여 이에 따라 스케일 상세화모형을 구성하게 된다. 일반적으로 강수분포가 단

일프랙탈 특성을 보일때는 단순스케일링 (simple scaling)을, 다중프랙탈 특성을 보일때는 다중스케일링 (multiple scaling) 기법을 적용하게 된다. 상세화적용 이전에 분석에 사용한 레이더 강우장으로 만들어진 저해상도 강우장으로부터 역과정 (Inversion process)을 통하여 선택한 상세화 기법을 검증하였으며, 이후 실제 GCM자료를 이용하여 스케일상세화를 수행하였다. 그림 4는 SST-RCM 모형의 개념적 구조를 나타낸 것이다.

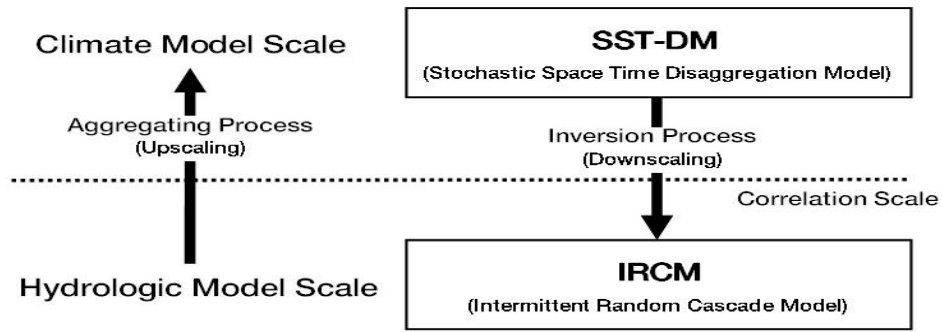


그림 4. SST-RCM 모형의 개념적 구조

분위사상법 적용과정에서 추출된 각각의 확률분포 매개변수 (α, β)를 CGCM2 강우자료에 적용하여 국내 관측값과 통계적 상관성을 갖는 입력자료를 구축하였다. 강우의 공간분포는 강우영상으로부터 프랙탈 특성을 분석하여 스케일 상세화 모형을 구성하게 된다. 스케일분석에 있어서는 일 누적강우 자료를 이용하여 분석이 수행되어야 하지만 레이더 관측자료의 부재로, 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 2002년의 8월 6일~8일(3일)의 강우사상에 대한 10분간격 레이더 스캔 432장을 사용하여 Random Cascade모형의 매개변수인 β 값을 추정하였다. 스케일에 따라 산출된 모형결과값인 강우에 대하여 일최대강우량, 월간강수량, 년강수량을 비교·분석하였다. 더불어, 상세화전·후의 GCM 자료에 대해 연평균강수량의 비교를 수행하였다. 스케일 분석에 사용한 레이더의 공간분해능은 5km이며, 레이더 자료의 강우변환에 있어서 사용한 Z-R관계식은 Marshall & Palmer가 제안한 $Z=200R^{1.6}$ 식을 이용하였다. 그림 5는 SST-DM의 체계를, 그림 6은 IRCM의 체계를 나타낸다.

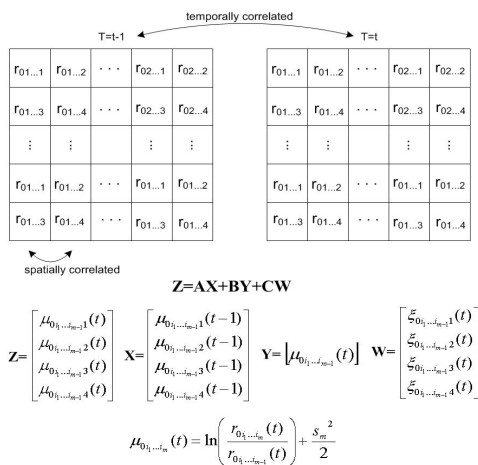


그림 5. SST-DM 체계도

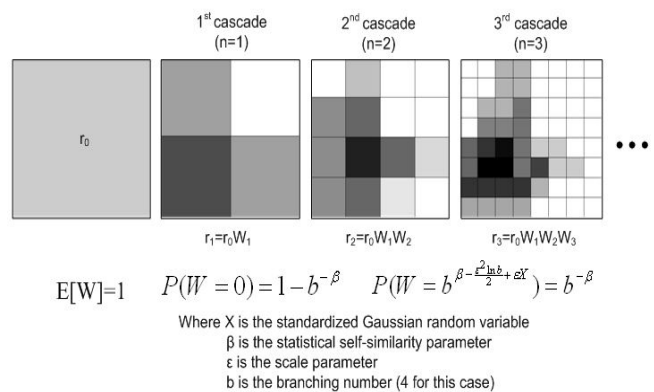


그림 6. IRCM 체계도

3. 결 론

GCM 모의값과 관측기상값 사이의 계통적오차는 분위사상법으로 수치적 보정을 수행하였다. 강우자료의 경우, 비홍수기에는 관측값과 모의값의 차이가 0.24mm/day에서 0.02mm/day로, 홍수기에는 3.79mm/day에서 0.62mm/day로 보정된 것을 확인하였으며, 홍수기가 비홍수기에 비해 상대적으로 큰 보정개선효과를 나타내었다. 한편, 온도자료의 경우는 분위사상법 적용을 통하여 최저온도와 최고온도부분에 있어서 보정효과를 확인할 수 있었다. 강우자료의 분위사상법 적용에서 사용된 확률분포 매개변수 α , β 를 이용하여 Random Cascade 모형의 입력자료를 구축하였다. 이는 GCM 모의값에 한반도지역의 통계적 상관성을 부여했음을 의미한다. 본 연구에 사용된 GCM 강우자료의 경우 2001~2100년 기간의 연평균강우량은 A2 scenario의 경우 797.89mm, B2의 경우 815.02mm 였으나, 스케일상세화를 통하여 A2는 1297.09mm로 B2는 1383.93mm로 조정되었다. 이러한 상세화 기법을 통해 한반도 지역에 지역화 및 상세화하여 예측된 격자형태의 강우를 활용하였고, 지표면의 유출수문특성을 연구하는데 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(No. R01-2006-000-10343-0)

참 고 문 헌

1. Boo-Sik Kang(2003). *Precipitation downscaling and its use in the assessment of hydrologic effects of climate variability and change*. Ph.D. dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA
2. Kang, Boosik, Seung-Jong Lee, Dong-Hyun Kang, Young-Oh Kim(2007): "A Flood Risk Projection for Yongdam Dam Against the Future Climate Change", IAHR Journal of Hydro-environment Research, Vol. 1, Issue 2, pp. 118-125.
3. Kang, Boosik(2007): "Self-Similarity and Scaling Characteristics of Convective Rainfall and its Use in Precipitation Downscaling Model", 32nd Congress of IAHR, Harmonizing the Demands of Art and Nature in Hydraulics, July 1-6 2007, Venice, Italy.
4. Leung, L. R., Hamlet, A. F., Lettenmaier, D.P., and Kumar, A. (1999). "Simulations of the ENSO hydroclimate signals in the Pacific Northwest Columbia River Basin, Bull. Amer. Meteorol. Soc., 80, pp. 2313-2328.
5. Wood, A. W., Maurer, E.P., Kumar, A., and Lettenmaier, D.P. (2002). "Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States, J. Geophys. Res.-Atmos., 107, pp. 4429, doi:10.1029/2001JD000659.