

고해상도의 RCM 강수변화 시나리오와 CWGEN을 이용한 극한 강우 특성에 관한 연구

Extreme Event Analysis Using High Resolution RCM Climate Change Precipitation Scenario and CWGEN in Korea

권현한* · 김병식** · 윤석영***

Hyun-Han Kwon·Byung-Sik Kim·Seok-Young Yoon

요 지

국외를 중심으로 기존 GCM보다 해상도가 높은 Regional Climate Model(RCM)을 이용한 분석이 일부 시행되고 있으나, 국내에서는 이를 이용한 연구가 아직 미비한 실정이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 27km의 해상도를 갖는 기상청 RegCM3 RCM에서 도출된 기후변화 SRES 시나리오 자료를 이용하고자 한다. 수자원의 장기 거동을 강우-유출 모형으로 모사하기 위해서는 입력 자료인 일 강수량 자료 계열을 모의발생이 필요하며 본 연구에서는 천이확률 및 강수량 모의에 이용되는 Gamma 확률분포와 같은 분포형의 매개변수들이 외부 인자 즉 기후변화 시나리오에 따라 조건부로 변동할 수 있는 CWGEN(Cross-validated Canonical Correlation Analysis-Weather Generator) 강수량 모의기법을 도입하여 이용하였다. RCM 자료 그 자체는 일반적으로 시·공간적으로 왜곡되어 있어 Quantile Mapping을 통하여 수정을 하였다. 최종적으로 모의된 결과를 바탕으로 기후변화에 따른 극치사상들에 대한 정량적인 거동을 추정하고 평가하였다.

핵심용어 : 기후변화, RCM, SWGEN

1. 서 론

2007년 IPCC(International Panel on Climate Change)에서 발간한 4차 IPCC 기후변화 보고서를 계기로 기후변화가 국제적인 문제로 대두되었으며, 우리나라도 기후변화를 대비하여 많은 연구와 실천계획들이 추진되고 있다. 수자원은 기후변화에 매우 민감한 분야로서 인식되고 있으며, 특히 기후특성의 변화로 인한 극치사상의 빈도 및 양적 변화에 영향이 크다고 알려져 있다.

이러한 점에서 본 연구에서는 기상청 RegCM3 지역규모기후모델(regional climate model, RCM)로부터 제시된 기후변화 시나리오를 기반으로 국내 주요 강수지점에 기후변화에 따른 특성을 검토하고 평가 하였다. 일반적으로 RCM 모형은 전지구모형(Global Circulation Model, GCM) 모형에 비해 지형학적 특성을 보다 정밀하게 고려하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 우리나라와

* * * 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원·공학박사E-mail : hkwon@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원·공학박사E-mail : hydrokbs@kict.re.kr

*** 정회원·한국건설기술연구원 정책연구실 정책실장·공학박사E-mail : syyoon@kict.re.kr

같이 대부분 산지로 이루어진 특성을 고려해보면 RCM 자료로부터 보다 정확한 기후변화 모의 결과를 기대할 수 있다.

격자기반의 기후변화 영향을 유역에 적용하기 위해서는 무엇보다도 강수지점에 기반을 둔 Downscaling 기법의 개발이 급선무이다. 본 연구에서는 비정상성 Markov Chain 모형을 Downscaling을 위한 주모형으로 개발하여 이용하였다. 일반적인 Markov Chain 모형과 기 개발된 모형의 가장 큰 차이점은 외부 인자를 입력 자료로 사용한다는 것이다. 즉, RCM 기후변화 시나리오 추정된 계절강수량을 외부인자로 고려하여 계절강수량의 총량을 유지하면서 일강수량자료를 모의하였다. 본 연구에서는 국내 서울 및 광주 지점을 일강수량자료계열에 대해서 비정상성 Markov Chain모형을 이용하여 기후변화에 따른 일강수량계열의 특성을 모의하고 평가하였다.

2. 지역규모기후모델

2.1 RegCM3 RCM 모형

RCM 자료를 이용하여 수자원영향평가에 적용하기 위해서는 기후변화 자료의 적합성을 평가하는 것이 가장 중요하다 하겠다. 이러한 점에서 격자기반의 장기 강수량 자료가 필수적으로 필요하며, 이에 본 논문에서는 한반도 전체에 대해 영국 Tyndall Center에서 제공하는 102년(1900년~2002년)의 장기 월강수량 자료로부터 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 의 해상도에 대한 지점강수량 자료를 바탕으로 추정되었다. 본 논문에서는 RCM 모형의 주성분 분석을 적용하여 시공간적 특성을 평가하였다(권현환과 문영일, 2005a, b). 1900년부터 2002년까지 격자기반의 월강수량과 2001년부터 2009년까지 RCM 월강수량에 대해서 주성분 분석을 실시하였다. 주성분 분석에서 공간적 특성을 평가하기 위하여 주로 이용되는 방법론은 경험적 직교함수(Empirical Orthogonal Function, EOF)분석이 있다. 경험적 직교함수 분석은 다변량 자료로부터 서로 상관성이 없고 변수들의 대부분의 정보를 포함하며 원자료보다 더 적은 수의 변수들로 선형 조합하는 통계학적 기법이다. 위의 두 강수 시계열에 대하여 EOF 분석 결과를 그림 1에 나타내었다.

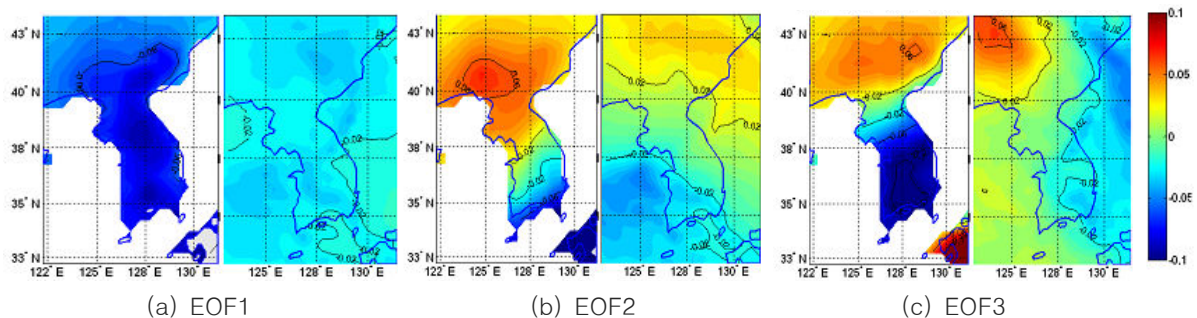


Figure 1. 각 EOF의 공간적 패턴

Figure 1(a)에 나타낸 EOF1은 연주기(annual cycle) 특성이 뚜렷한 것으로 나타나 앞서 그림 1 (a)와 (b)에서와 같이 동일한 공간적 패턴으로 분석되고 있다. Figure 1(b) 왼쪽에 위치한 관측치의 경우, 대략 위도 $38^{\circ} \sim 39^{\circ}$ 를 경계로 패턴이 변하는 반면, 오른쪽에 보이는 RCM의 경우 실측자료와 동일하게 남북 방향으로 서로 다른 공간적 특성을 나타내고 있으나 실측자료와 비교할 때 공간적으로 왜곡되어 있음을 알 수 있다. Figure 1(c) EOF3은 관측치와 RCM 모두에서 대략 위도 40° 를 경계로 패턴이 변화하고 있으나 일부 공간적인 왜곡현상을 보이고 있다.

2.2 편의 보정

강수량을 축소기법을 통해 Downscaling 하기 전에 앞서 주성분 분석에서 나타나듯이 전체적으

로 공간적인 패턴은 비슷하나, 일부 왜곡된 현상을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이러한 점에서 일반적으로 편위 보정을 실시하게 되며 확률적 적합(probability mapping)을 통해 편위된 강수량을 보정하게 된다. 실측 강수량과 RCM 강수량을 Gamma 분포형에 적합시켜 편위를 보정하였다. Figure 2에서 검은선은 보정전에 RCM 자료의 CDF를 나타내며, 파란실선은 실측자료의 CDF를 나타내며 적색 점은 보정 후에 RCM 자료의 CDF를 나타낸다.

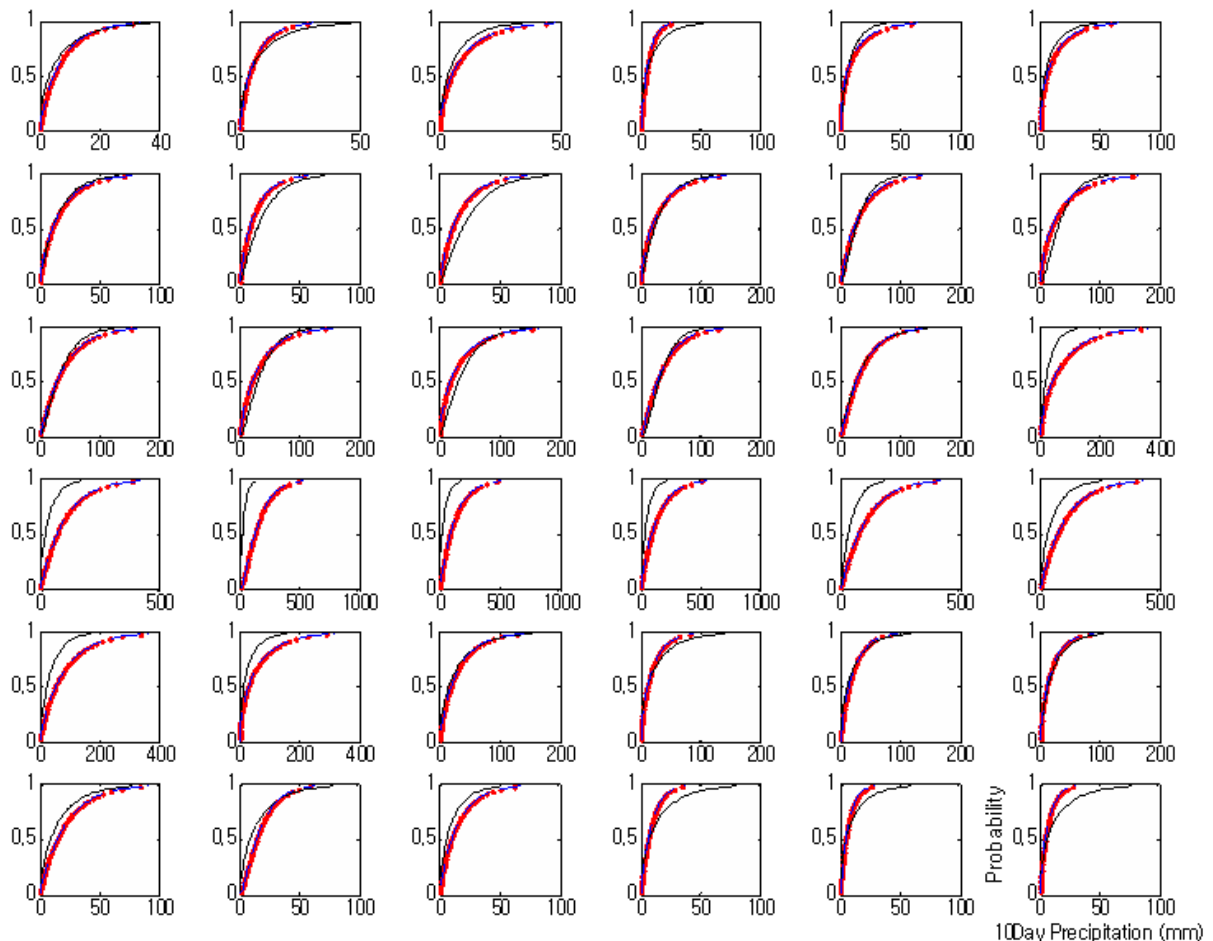


Figure 2. Bias correction on RCM precipitation using probability mapping

2.3 비정상성 Markov Chain 모형

일반적으로 무작위 시계열 자료간의 계열 상관성만을 고려하는 미래의 상태를 현재와 과거의 상태들과의 상관관계 분석만으로 추계학적으로 추출하는 과정을 Markov 과정이라고 하고 한정적인 상태공간에서의 Markov 과정을 Markov Chain라 한다. 본 논문에서 취급할 일강수량 자료계열은 유출량 자료계열에 비하여 유연성이 크고 수문학적인 지속성이 결여된 시계열 자료로써 이와 같은 경우 Markov Chain을 적용하면 그 특성을 잘 묘사하는 것으로 알려져 있다. 시계열의 바로 이전의 상태에만 상관성이 있다고 보는 경우를 1차 Markov Chain이라고 하며 일반적으로 Markov Chain이라고 하면 1차 Markov Chain을 말하는 것이다.

Markov Chain의 기본 개념은 어떠한 계(system)의 움직임을 예측하고자 할 때 그 계의 과거 이력을 모두 알아야 할 필요가 없이 단지 그 계의 현재 상태만을 알면 된다는 것이다.

습윤 기간내의 강수량 간에는 종종 작은 값의 계열 상관이 존재하고 있으나 종속성이 있다고 보기에는 무리가 많다. 따라서 습윤일의 강수량 거동을 모델화하기 위하여 연속하는 사상 간의 독립성을 가정하여 이론적인 분포를 적합 시키는 방법이 있다. 본 연구에서는 추계학적 모형인 Markov Chain과 통계학적 Downscaling 모형을 결합하여 조건부 Markov Chain 모형을 개발하였다. 국내 서울 및 광주지점에 여름 강수량(6월-9월)에 적용하였다.

비조건부 Markov Chain 모형의 4개의 매개변수의 외부인자를 연결하기 위해서 회귀분석이 이용된다. 본 연구에서는 4개의 추계학적 매개변수들, 즉 무강수에서 강수로 진행되는 전이확률(p_{01}), 강수에서 강수로 진행되는 전이확률(p_{11}), 그리고 강우량을 모의하기 위한 Gamma 확률분포의 축척매개변수(α)와 형상매개변수(β)은 매년 여름강수량(92일)의 특성을 가지고 계산되게 된다. 이렇게 추정된 4개의 매개변수는 강수량을 모의하기 위해서 이용된다.

Markov Chain모형에서 각 상태공간에 존재하는 강수량의 수의 벡터(S)와 사상의 발생과 비 발생의 확률을 나타내는 전이확률(P)은 다음과 같은 식으로 표현 될 수 있고 각각을 행렬로 표시하면 다음과 같다.

$$[P_{i,j}] = \frac{[S_{i,j}]}{\sum_{j=1}^m S_{i,j}} \quad (1)$$

여기서, 행렬의 원소 $P_{i,j}$ 는 상태 i 에서 상태 j 로 천이되는 확률을 나타내며 상태 S_i 에서는 반드시 $S_{i,1}, S_{i,2}, \dots, S_{i,m}$ 중 한 곳으로 천이 되므로 각 행의 합은 1이 된다. 일강수량의 확률분포는 일반적으로 2변수 Gamma 분포를 이용하며, 본 연구에서는 2변수 Gamma분포를 적용하였다. Gamma분포의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$P(x) = \frac{\alpha^\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x}}{\Gamma(\beta)} \quad (2)$$

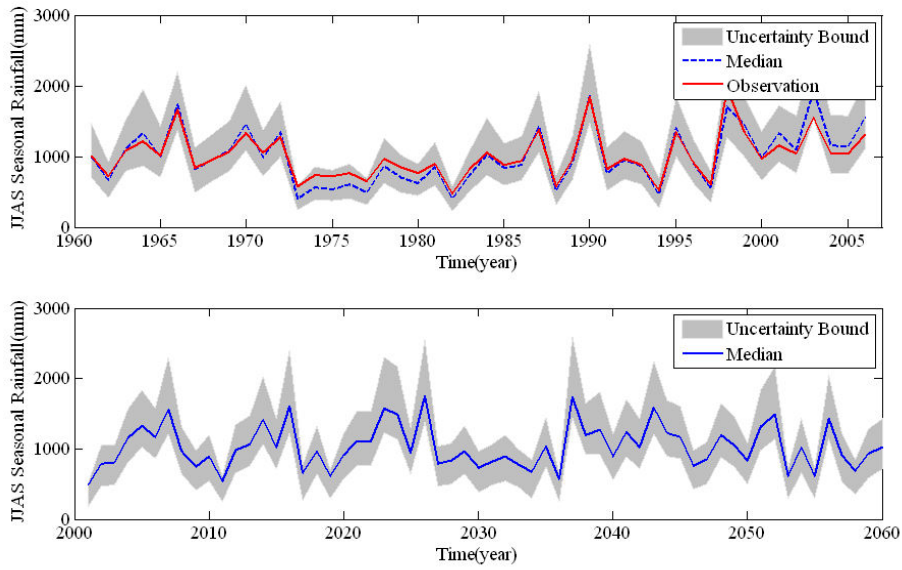
여기서, $x, \alpha, \beta > 0$, α 는 축척매개변수를 β 는 형상매개변수를 나타낸다.

3. 적용결과

1961년부터 2006년 까지 서울, 광주 지점의 여름 (6-9월) 일강수량 자료를 대상으로 모형을 검정하였다. 모형의 외부인자로서 6월부터 9월까지의 실측 강수량을 고려하여 4개의 모형매개변수를 추정하였다. 모형이 구축된 후 2001년부터 2060년까지의 RegCM3로부터 유도된 기후변화 시나리오를 입력 자료로 60년 일강수량 자료를 모의하였다. Figure 3은 서울과 광주지점의 일강수량 모의결과를 나타낸다.

모형에서 계절강수량을 외부인자로 사용함으로써 Markov Chain을 이용하여 일강수량을 모의함과 동시에 계절강수의 총량을 함께 고려하여 추정할 수 있다. 모의된 결과를 보면 실측 자료와 매우 유사한 거동을 보임을 확인할 수 있다. 이를 토대로 기후변화 조건하에서 추정된 강수량의 불확실성 구간(회색)은 기후변화 시나리오로부터 추정된 계절강수량(파란실선)을 중심으로 적절하게 분포되어 있다(Figure 3).

a) Seoul Station



b) Gwangju Station

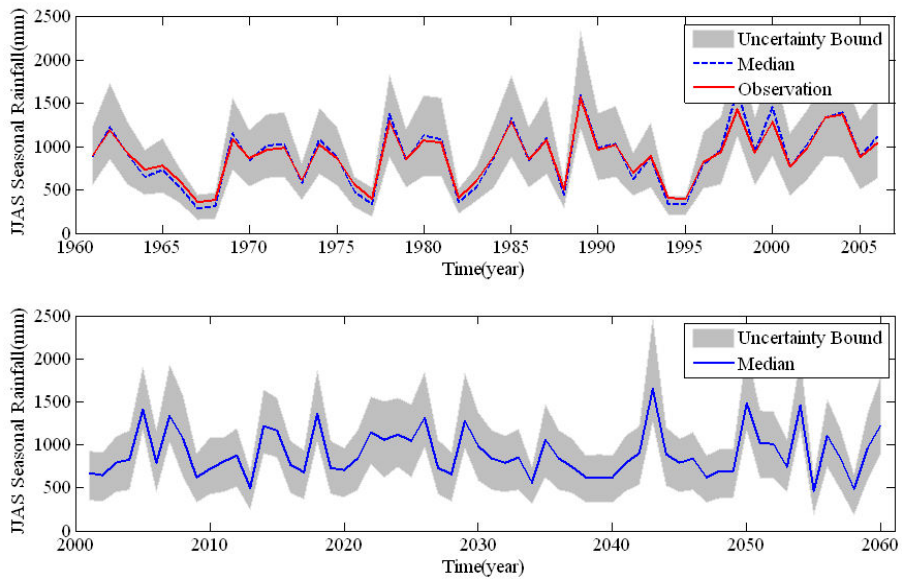


Figure 3. Simulation results of a) Seoul station and b) Gwangju station.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 수탁과제 『기후변화 대비 국가물안보 확보방안 연구』에 의해 지원되었습니다.

Reference

1. 권현한, 문영일 (2005a), Nino3.4지역 SST 및 여름강수량의 독립성분분석, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제38권 12호, pp. 985-994.
2. 권현한, 문영일 (2005b), Wavelet Transform을 이용한 수문시계열 분석, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제38권 6호, pp. 439-448.