

기후변화에 따른 수자원 영향 평가를 위한 Regional Climate Model에 의한 강수 자료의 특성 분석

Analysis of Regional Climate Model For Climate Change Impacts on Water Resources

권현한*·김병식**·윤석영***·김보경****

Hyun Ha Kwon, Byung Sik Kim, Seok Young Yoon, Bo Kyung Kim

요 지

2007년 Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC) 4차보고서 이후로 지구 온난화에 대한 다양한 부분에 영향 분석 연구가 더욱 활발하게 진행되고 있으며, 그 가운데 수자원 즉 육상의 물 순환은 인간 활동과 생태계 전반에 대한 직접 영향으로 인해 기후변화 정책 수립 시 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. 현재까지, 많은 연구에 있어서 Global Circulation Model (GCM)을 직접 축소기법을 이용한 후 이를 수문 모형에 입력하여 수자원 영향 분석을 실시해오고 있다. 국외를 중심으로 기존 GCM보다 해상도가 높은 Regional Climate Model(RCM)을 이용한 분석이 일부 시행되고 있으나, 국내에서는 자료의 가용 여부 및 적용성의 검토가 아직 미비한 실정이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 27km의 해상도를 갖는 기상청 RegCM3 RCM에서 도출된 10일 간격 기후변화 SRES 시나리오 자료에 대한 적합성을 평가하고자 한다. 적합성을 평가 하기위해서 국내 주요지점에 근접한 격자자료를 RCM으로부터 추출하고 이에 대한 수문학적 특성치 분석, 저빈도 분석(low frequency analysis), 극치사상의 분포형태 등을 실측 강수자료와 다양한 형태로 비교 검토하여 RCM 자료의 적합성을 평가하였다.

핵심용어 : 기후변화, GCM, RCM, 극한강우

1. 서 론

기후변화에 대한 우려가 현실화되면서 세계 각국은 미래 기후가 어떻게 변화할 것인가에 대하여 보다 정확한 정보를 얻기 위하여 노력하고 있다. 현재 경제활동이 지속되고 있다는 전제가 바탕이 되는 Bau(Business as usual)시나리오에 의하면, 2030년까지 지구 전체 평균온도는 최소 2°에서 그 이상으로 상승하는 것으로 조사되고 있다(KEI, 2004). 대기 온도의 지속적 상승은 해양과 대기의 에너지와 물 순환 변동의 원인이 되어 경제, 환경을 포함한 사회 전반에 영향을 미치게 되며 특히, 수자원의 물 순환(Terrestrial water cycle)은 강수량, 증발량과 토양 함수량 변화로 이어져 가장 중요한 요소로 인식되고 있다. 그리고 기후변화가 물 순환에 미치는 영향을 평가하기

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원·공학박사·E-mail : hkwon@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원·공학박사·E-mail : hydrokbs@kict.re.kr
*** 정회원·한국건설기술연구원 정책연구실 정책실장·공학박사·E-mail : syyoon@kict.re.kr
**** 정회원·한국건설기술연구원 연구원·공학석사·E-mail : winnerbk@kict.re.kr

위한 기본적인 도구로 IPCC 권장 시나리오인 SRES 기반의 GCM과 RCM 자료가 이용되고 있다.

점차 지역적이고 세밀한 기후변화 정보를 추출하기 위하여 기존 GCM 자료에 축소기법을 적용하는 방법과 더불어 최근에는 고해상도를 지닌 RCM 자료를 이용한 연구도 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 RCM 자료의 적용 가능성 여부 검토가 충분하지 않아 GCM 자료 분석에 국한되어 있는 실정이다. 2008년 4월 22일 제주도에서 개최된 '기후변화대응 조사·분석 및 실천전략' 보고회에 따르면 제주지역의 경우 1930년대와 비교하였을 때 겨울은 1개월, 가을은 4일 짧아진 반면 봄은 10여일 길어지는 등의 계절 변화로 생활기온지수가 변화하고 있다고 하였다. 한편, 광주지역은 기후변화로 제주도와 일본 남부지역 등기가 주요 군락지인 난대 및 아열대성 식물이 증가하고 있는 것으로 조사되었다. 강우관점에서 살펴보면, 우리나라 여름철 집중호우는 지리산 부근의 경남 산청 지방, 남해안과 강화도를 중심으로 경기 북부, 제주도와 대관령 산간 지방에 발생하였으나 최근에는 한반도 전역으로 확대되고 있으며, 이와 더불어 국지성 집중호우 출현이 잦아지고 태풍강도가 강해지고 있는 것으로 나타났다. 이는 공간적으로 해상도가 높아 지역 영향 연구에 적용될 수 있는 RCM 자료를 활용성을 대변하는 것으로 설명할 수 있다.

본 논문에서는 국지규모를 효과적으로 반영할 수 있는 지 그 적합성을 평가하기 위하여 기상청 RegCM3 RCM에서 도출된 10일 간격 기후변화 SRES 시나리오 자료를 이용하였다. 먼저 영국 Tyndall Center에서 제공하는 장기월강수량을 이용하여 상관성을 분석하였으며, 이후 국내 주요 지점에 근접한 격자자료를 RCM으로부터 추출하고 이에 대한 수문학적 특성치 분석, 저빈도 분석(low frequency analysis), 극치사상의 분포형태 등을 실측 강수량자료와 다양한 형태로 비교 검토하여 RCM 자료의 적합성을 평가하였다.

2. 지역규모기후모형

기후변화에 대한 연구는 현재까지 GCM(Global Circulation Model)을 중심으로 이루어져 왔으나 점차 고해상도 자료 생산과 국부지역에 대한 지형학적 특성을 보다 효과적으로 모의할 수 있는 지역규모 RCM 모형이 국외를 중심으로 이용되고 있다. 우리나라는 산악지역과 복잡한 지형특성으로 인하여 국지규모의 기후특성을 보이며, 이는 지역화 기법(regionalization technique)이 적용된 RCM 자료 사용이 요구되는 것으로 해석할 수 있다. 본 연구에서는 기후변화를 모의하기 위한 기후모형으로 기상청에서 제공하는 RegCM3 RCM 모형을 사용하였다. RegCM3 모형은 ICTP(International Center for Theoretical Physics)에서 개발하여 보급한 가장 최신의 중규모 기후모델로 주요 모듈의 물리적인 매개변수 추정방안으로는 Grell 적운모수화 방법(Grell, 1993), CCM3 복사과정(Kiehl et al., 1996), 마지막으로 비국지적 연직 Diffusion(Holtslag et al., 1990) 방법이 행성경계층 과정을 위해 도입되었다.

3. 강수량 자료의 적합성 검토

본 논문의 목적은 RCM 자료를 이용하여 수자원영향평가에 적용하기 위함이므로 무엇보다 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. 1901년부터 2002년 서울지점 기상청 자료와 격자자료와의 상관계수를 평가한 결과, 0.8이상의 상관계수를 보였으며 따라서 기후특성을 평가하는데 큰

무리가 없을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 RCM 모형의 주성분 분석과 Multiscale 분석을 적용하여 각각 시공간 분석을 위하여 차원축소와 주기성분의 변화 양상을 분석하여 시공간적 특성을 평가하였다(권현한과 문영일, 2005a, b).

4. 지역규모기후모형의 수문학적 특성

4.1 주성분 분석

1900년부터 2002년까지 격자기반의 월강수량과 2001년부터 2009년까지 RCM 월강수량에 대해서 주성분 분석을 실시하고 각 자료별 주성분의 상대적인 대표성을 Figure 1에 나타내었다. Figure 1은 각 주성분이 자료계열의 분산을 설명하는 정도로 (a) 실측 강수량의 경우, 첫 번째 주성분은 대략 70%이고 6번째 주성분까지 대략 90% 이상의 대표성을 나타내고 있다. (b) RCM 강수량의 경우 첫 번째 주성분 분산은 대략 50%이며, 6번째 주성분까지 대략 85%인 것으로 나타났다.

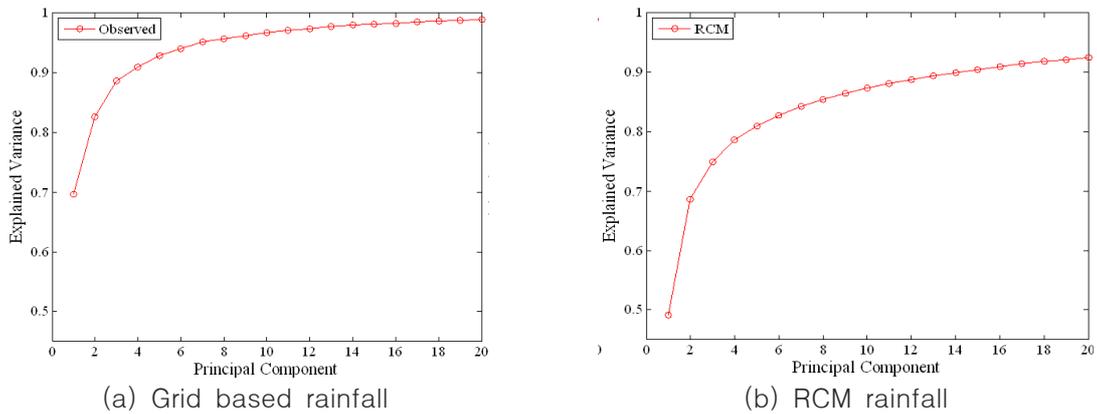


Figure 1. 자료별 주성분의 상대적 대표성

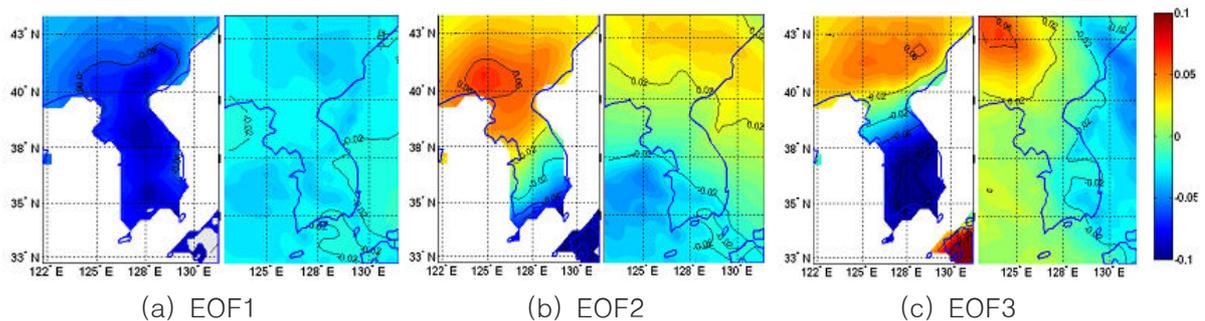


Figure 2. 각 EOF의 공간적 패턴

한편, 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 Figure 2에 나타내었다. 또한 각 주성분이 가지는 주기특성을 평가하기 위하여 Wavelet Transform 분석을

통해 GWP를 산정하였다(Figure 3).

Figure 2 (a)에 나타낸 EOF1은 연주기(annual cycle) 특성이 뚜렷한 것으로 나타나 앞서 Figure 1 (a)와 (b)에서와 같이 동일한 공간적 패턴으로 분석되고 있다. Figure 2 (b) 왼쪽에 위치한 관측치의 경우, 대략 위도 38~39°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 2 (c) EOF3은 관측치와 RCM 모두에서 대략 위도 40°를 경계로 패턴이 변화하고 있으나 일부 공간적인 왜곡현상을 보이고 있다. 한편, 이들의 Wavelet Transform을 통한 Global Wavelet Spectrum 분석을 통하여 이들이 모두 통계적으로 유의함을 확인하였다(권현한 등, in proceeding)

4.2 Multi-scale 분석

기후변화 분석에서 가장 중요한 이슈는 기후모형으로부터 추정된 기후변화 시나리오가 수문기상학적 저빈도(low frequency)를 얼마나 효과적으로 반영하여 모의되었느냐는 것이다. 즉, 장기적인 관점에서 수문기상시스템이 가지는 장기거동을 얼마나 효과적으로 모의할 수 있는지가 모형의 정도를 나타내는 척도가 될 수 있다. 이에 따라 본 논문에서는 실측강수량과 RCM 기후변화 강수량 시나리오에 대하여 각 자료계열이 가지는 특정 수문기상학적 변동성(variability)을 비교·분석하여 Figure 3에 나타내었다. Wavelet Transform 분석으로부터 연주기, 경년변화를 추출하고, 전체 분산에서 각 주기가 차지하는 비중을 평가하였다.

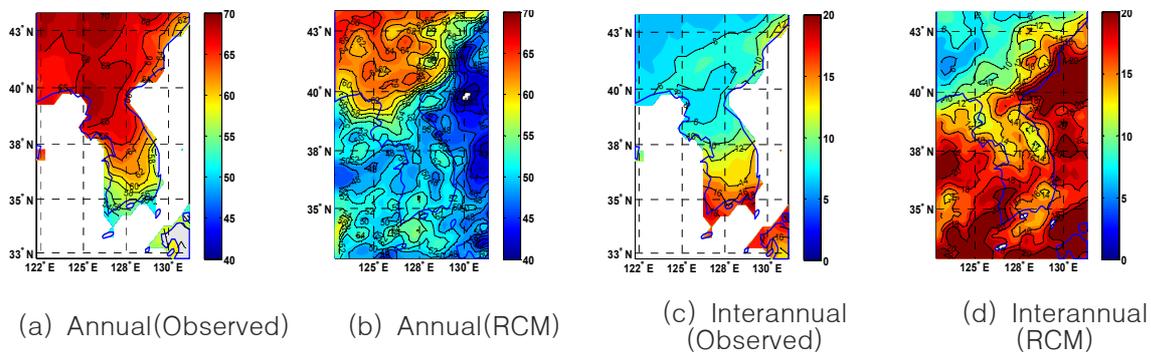


Figure 3. 특정 주기에 대한 수문기상학적 변동성 분석

Figure 3 (a)와 (b)는 연주기에 대한 분석으로, 한반도 전체에 대하여 50%이상을 차지하며 특히, 북쪽으로 갈수록 이러한 경향이 더욱 뚜렷하였다. 공간적인 특성을 살펴보면, RCM 강수량으로 추정된 연주기가 특히 남쪽에서 상대적으로 적게 모의되는 것으로 나타났다. 그러나 상대적으로 경년변화의 경우(Figure 3 (c)와 (d)) RCM 강수량이 실측 강수량보다 약간 큰 경향을 보이며, 공간적인 패턴은 유사한 거동을 보이는 것으로 분석되었다.

5. 기후변화에 따른 강수량 변화 양상

미래 기후변화 시나리오에 의하면 우리나라는 Figure 4와 같이 여름철((c), JAS)과 가을철((d), OND) 강수량이 대체적으로 증가하는 경향을 보였다. 특히, 여름철의 경우 상대적으로 관동 지방과 동해안 부근에 영향이 큰 것으로 나타났으며 가을철에는 남해안 일대에서 그 영향이 두드

러지는 것으로 나타났다.

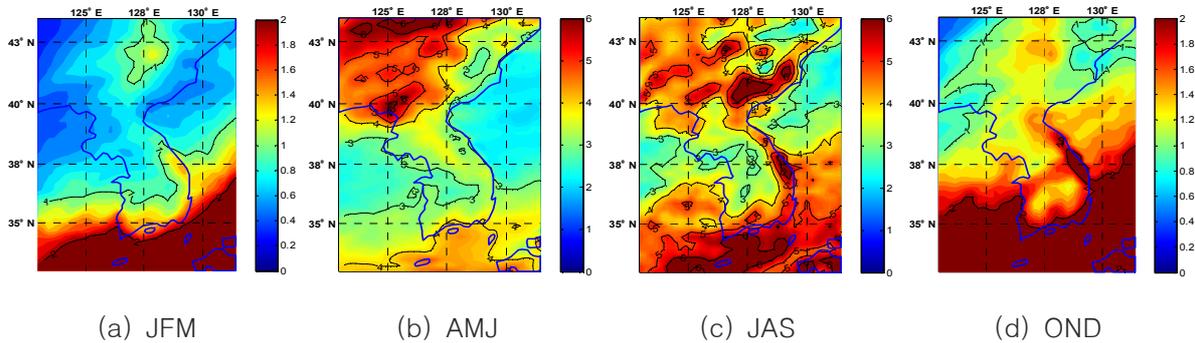


Figure 4. 기후변화 시나리오에 의한 계절별 강우패턴(2045s)

6. 결 론

기후변화는 이미 과학적으로 증명된 사실이며 우리가 직면한 최우선 해결과제이다(세계경제포럼, WEF). 미래를 대비하고 적절한 방안을 모색하기 위하여 세계 각국에서 전구적기후모형 또는 지역기후모형으로부터 기후변화의 정보를 얻고자 노력하고 있다. 현재 국내 기후변화 관련 연구는 고해상도의 RCM 자료의 가용여부와 적용성 검토가 미비로 인하여 전구적기후모형에 집중되어 있는 실정이다. 이에 본 논문에서는 RCM 자료가 산악지역 등 우리나라의 복잡한 지형특성으로 인한 국지규모를 효과적으로 반영할 수 있는지에 대한 적합성을 평가하였다. 격자기반의 장기 강수량자료는 영국 Tyndall Center에서 제공하는 102년의 장기 월강수량을 이용하였다. 격자 강수량 자료의 적합성을 평가하기 위하여 서울 지점 기상청 자료와의 상관성을 분석한 결과 0.8이상의 상관계수를 보여 기후특성 평가가 가능한 것으로 나타났다. 수문기상학적 특성 분석하기 위하여 주성분 분석과 Multi-scale 분석 방법을 적용하였다. 주성분 분석하여 관측치와 RCM 시나리오를 비교한 결과, 전반적으로 공간적인 패턴 특징은 유사한 공간적으로는 일부 왜곡되는 현상이 있음을 발견할 수 있었다. 한편, 장기적인 관점에서 수문기상시스템 거동을 살펴보았을 때 연주기의 경우 RCM 강수량으로 추정된 경우 특히 남쪽에서 상대적으로 적게 모의되었으나 경년변화의 경우 약간 큰 경향을 보이고 있는 것으로 분석되었으며, 공간적인 패턴은 유사한 거동을 나타내었다.

RCM으로부터 모의된 미래 기후변화 시나리오에 의하면 2045년대 우리나라는 여름철과 가을철 강수량이 대체적으로 증가하며 특히, 여름철에는 동해안 부근에서 가을철에는 남해안 일대에서 상대적으로 그 영향이 두드러지는 것으로 분석되었다. 본 논문은 미래 기후변화에 대한 여러 정보 중 하나에 지나지 않으며, 고해상도 RCM 자료의 가용 및 적용성 여부를 판단하는데 목적이 있다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

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.
3. 한국환경정책·평가연구원(2004). 기후변화영향평가모형개발 -물관리 부문을 중심으로