분위사상법을 이용한 RCP 기반 미래 극한강수량 편의보정 ; 우리나라 20개 관측소를 대상으로

Bias Correction of RCP-based Future Extreme Precipitation using a Quantile Mapping Method ; for 20-Weather Stations of South Korea

박지훈* · 강문성**† · 송인홍***

Park, Jihoon · Kang, Moon Seong · Song, Inhong

ABSTRACT

The objective of this study was to correct the bias of the Representative Concentration Pathways (RCP)-based future precipitation data using a quantile mapping method. This method was adopted to correct extreme values because it was designed to adjust simulated data using probability distribution function. The Generalized Extreme Value (GEV) distribution was used to fit distribution for precipitation data obtained from the Korea Meteorological Administration (KMA). The resolutions of precipitation data was 12.5 km in space and 3-hour in time. As the results of bias correction over the past 30 years (1976~2005), the annual precipitation was increased 16.3 % overall. And the results for 90 years (divided into 2011~2040, 2041~2070, 2071~2100) were that the future annual precipitation were increased 8.8 %, 9.6 %, 11.3 % respectively. It also had stronger correction effects on high value than low value. It was concluded that a quantile mapping appeared a good method of correcting extreme value.

Keywords: Climate change; RCP; bias correction; quantile mapping; GEV

1. 서 론

지구온난화로 인한 강수와 기온 등의 증가는 기존의 수문순환과정을 변화를 야기하며 안정적인 수자원 확보에 어려움을 줄 수 있다. 우리나라의 기온은 지구온난화와 도시화의 영향으로 1912~2010년 동안 0.18 °C/10년의 속도로 상승하였고, 강수량은 21 mm/10년의 추세로 증가하였다 (NIMR, 2011). 안정적인 수자원 관리를 하기 위해서는 기후변화에 따른 수자원의 변화를 정량적으로 평가해야 할 필요가 있다. 이를 위해서 우리나라 기상청은 IPCC 4차 기후변화 평가보고서 (IPCC, 2007)에서 사용된 대표 온실가스 시나리오에 근거하여 미래 2100년까지의 한반도 기후변화 시나리오를 제공한바 있다. 이후 국제사회는 2013~2014 발간예정인 IPCC 5차 기후변화 평가보고서를

작성하기 위해 새로운 표준 온실가스 시나리오인 대표농도경로 (Representative Concentration Pathways, RCP) 4종을 선정하였다. 우리나라 기상청은 전 지구 대기-해양 결합모델인 HadGEM2-AO에 RCP 시나리오를 강제입력자료로 도입하여 약 135 km 해상도의 전 지구 기후변화 시나리오를 생산하였으며, 이 자료에 기초한 지역기후모델인 HadGEM3-RA를 이용하여 지역기후변화 시나리오를 산출하였다.

지역기후변화 시나리오는 기후변화에 대응한 수자원 효율적인 관리를 위해 중요한 근거를 제공하는 자료이다. 지역기후변화 시나리오는 200년의 적분결과를 이용하여 산출한 모의자료로서 시계열 형태로 제공되지만 시간 개념이 결여되어있어 같은 시간대에서 관측치의 경향성을 반영하지 못하는 결과를 도출할 수 있다 (So, 2012). 기후변화모형으로부터 축소된 결과는 어느 정도의 편의를 보이며 이러한 계통적 오차 (Systematic Bias)는 모형 내부에서 해결하기가 쉽지 않다. 관측치와 모의치 간의 존재하는 편의를 보정하여 강수특성을 정확히 분석한다면, 미래 수자원 관리의 불확실성을 줄이고 안정적인 수자원 공급을 할 수 있을 것이라 판단된다.

편의보정기법에는 관측치와 모의치의 차이를 2차함수 선형회귀식으로 산정하여 모의치에 적용하는 기법, 월별 평균 및 표준편차를 비교하여 보정하는 Change factor 기법, 추계학적 일기

* 서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부
** 서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원 겸무연구원
*** 서울대학교 농업생명과학연구원 연구교수
† Corresponding author Tel.: +82-2-880-4582
E-mail: mskang@snu.ac.kr
2012년 10월 17일 투고
2012년 11월 13일 심사완료
2012년 11월 14일 게재확정

상발생기를 사용하는 Weather generator 기법, 관측치와 모의치의 누적확률분포를 이용하여 보정하는 분위사상법 (Quantile Mapping) 기법 등이 있다. 첫 번째와 두 번째 기법은 기존의 GCM (General circulation model, GCM), RCM (Regional climate model, RCM)에서 도출된 특성을 그대로 반영하기 때문에 불확실성이 적으나 극한사상에 대한 보정효과가 낮은 단점이 있다. Weather generator 기법 역시 기존의 값과 유사한 거동을 보이거나 극한사상에 대한 보정효과가 낮은 단점이 있다.

분위사상법을 이용하여 편위보정하기위해 관측치 및 모의치에 적합시킬 확률분포형으로 GEV (Generalized Extreme Value, GEV) 분포를 선정하였다. GEV 분포는 상위 꼬리부분의 면적이 커서 극한사상의 비초과확률을 구하는데 일반적으로 사용한다. 기후변화에 따른 미래의 극한사상이 어떻게 변화할지 예측하기 위해서는 확률분포형이 시간에 따라 변하는 비정상성을 가정하여 산정할 필요가 있다.

본 연구에서는 관측치와 모의치의 누적분포확률을 이용하여 각각의 분위수의 가중치를 정확하게 산정할 수 있고, 극한사상의 비초과확률을 구하는데 적합한 GEV 분포를 사용하여 극한사상에 대한 보정효과가 좋은 분위사상법을 편위보정기법으로 선정하였다.

Kang (2011)은 가뭄전망을 수행하기위해 과거 1995~2008년의 월별 강우 및 온도 관측치와 모의치의 오차를 분위사상법을 이용하여 보정하였다. Kim (2011)은 1980~2000년의 일별 관측치와 모의치를 분위사상법을 이용하여 편위보정을 수행한 다음 구형펄스 모형과 분해기법을 이용하여 시강우 자료를 모의하였다. Gudmundsson (2012)은 분위사상법을 이용하여 지역기후모델 (RCM) 강우자료의 상세화를 수행하여 편위를 보정하였으며, Hashino (2007)는 양상을 하천유량에 대한 편위보정 방법들을 평가한바 있다. Sung (2012)은 GEV 분포를 사용하여 RCP 시나리오에 따른 우리나라 미래 극한강수를 전망한바 있다.

지금까지의 연구 동향을 살펴보면 다음과 같이 분류할 수 있다. 먼저 지역기후변화 시나리오의 과거 관측치와 모의치 사이의 내재한 오차를 줄이기 위해 분위사상법 등의 방법을 이용하여 편위를 보정하였으나 미래에 대한 적용은 하지 않은 경우를 들 수 있다. 다음으로 편위를 보정하지 않은 자료를 이용하여 미래 지역기후변화 시나리오의 전망을 평가하는 경우, 마지막으로 과거 자료의 월별평균값을 대상으로 편위보정을 실시하고 일자료나 시자료는 상세화기법을 통하여 산정한 후 이를 사용하여 미래 지역기후변화 시나리오에 적용하여 전망을 평가한 경우이다.

수자원의 효율적인 관리를 위해서는 정확한 수문순환의 변화를 측정해야 한다. 이를 위해서는 신뢰성 있는 정밀한 자료를 수득해야하며 미래 지역기후변화 시나리오의 편위보정이 반드시 필요하다.

본 연구의 목적은 분위사상법을 이용하여 기상청에서 제공하는 우리나라의 RCP 기반 미래 강수량 자료의 편위를 보정하고 지속시간별 최대강우량을 비교 평가하는데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 강수자료

본 연구에서는 기상청에서 제공하는 RCP 기반의 국가표준 기후변화 시나리오를 사용하였다. 국립기상연구소는 RCP 시나리오를 전 지구 대기-해양 결합모델인 HadGEM2-AO에 입력하여 약 135 km 해상도의 전 지구 기후변화 시나리오를 산출한 후 그 결과 값을 HadGEM3-RA에 입력하여 우리나라 근방의 12.5 km 해상도를 가지는 지역기후변화 시나리오를 산출하였다 (NIMR,

Table 1 Precipitation data period of this study

Data	Period	Duration
Observed Historical Precipitation	1976~2005	30 years
Simulated Historical Precipitation	1976~2005	30 years
Simulated Future Precipitation (using RCP Scenarios)	2006~2100	95 years

* RCP: Representative Concentration Pathways

Fig. 1 Location map of the weather stations in South Korea

2011).

고해상도의 지역기후변화 시나리오는 과거강수모의 (1950~2005년)와 RCP4.5, RCP8.5 시나리오에 근거한 미래강수모의 (2006~2100년)으로 구성되어 있다 (Table 1). 본 연구에서는 RCP4.5 시나리오에 기반을 둔 12.5 km, 3시간 단위 해상도의 강수 자료를 사용하였다. 지역기후모델 (RCM)의 자료는 일반적으로 모델 고유의 형식인 표준 Binary 형식으로 제공되나 자료의 처리 및 편의보정을 위해서 표준 Binary 형식을 ASCII 형식으로 변환하여 사용하였다. 기상청에서 제공하는 지역기후변화 자료는 12.5 km 공간해상도의 184×164 격자로 구성되어있다. 본 연구에서는 전국의 20개 관측소를 대상으로 역거리가중법을 사용하여 각 관측소에 대한 강수자료를 산정하여 편의보정을 수행하였다. Fig. 1에 본 연구에서 편의보정에 사용한 관측소를 도시화하였다.

2. 편의보정

Fig. 2는 편의보정의 전체적인 절차를 순서도로 보여주고 있다.

Fig. 2 Flow chart of the bias correction procedure

- * RCM: Regional Climate Model
- * RCP: Representative Concentration Pathways
- * GEV: Generalized Extreme Value
- * Sim.: Simulated
- * Obs.: Observed

과거 1976~2005년 동안 RCP 시나리오에 기반을 둔 12.5 km, 3시간 단위 해상도의 지역기후변화 시나리오와 과거 관측치를 분위사상법을 이용하여 편의보정하였다. 확률분포형은 GEV 분포를 사용하였으며, 3시간 강수량이 0.1 mm 이상인 강우사상을 대상으로 선정하여 GEV 확률분포형에 대한 적합성을 검토하였다. 편의보정의 매개변수는 정상 연 평균강수량 (Normal annual precipitation)을 기준으로 평가하여 최적화된 후 강우일수에 대해서도 보정을 실시하였다. 최적화된 매개변수를 2006~2100년 미래 지역기후변화 자료에 적용하여 미래 강수량의 편의를 보정하였다.

가. 분위사상법 (Quantile Mapping)

분위사상법은 관측치와 모의치의 누적확률분포를 이용하여 모의치의 확률 분포를 관측치의 확률 분포에 사상시키는 방법이다 (Hashino, 2007). 편의를 보정하기 위해 관측치와 모의치의 경험적인 확률 분포를 사용하며 Eq (1)로 나타낼 수 있다.

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

Fig. 3 Schematics of a quantile mapping

* CDF: Cumulative Distribution Function

여기서, F_{oj} 는 j 기간동안의 관측치의 누적확률분포, F_{sj} 는 j 기간 동안의 모의치의 누적확률분포를 나타낸다. 모의치의 특정자료에 대한 누적확률값을 구해서 이 값을 관측치의 누적확률분포 역함수에 대입하여 자료를 관측치에 사상시킨다 (Fig. 3).

분위사상법은 지역기후변화 시나리오에서 산출된 과거 및 미래 강수 자료의 비율 보정에 초점을 맞추는 기존의 편의보정기법에 비해 확률분포를 이용하여 모의 자료에 내재한 변동성과 통계적 특성을 고려할 수 있어 극한사상을 보정하는데 적합한 방법이다 (Kim, 2008).

나. GEV (Generalized Extreme Value) Distribution

분위사상법을 사용하려면 강수자료를 누적확률분포에 적합시켜야 한다. 이때 사용할 확률분포형으로 GEV 분포를 선정하였다. GEV 분포는 상위 꼬리부분의 면적이 크므로 극한사상의 비초과확률을 구하는데 적절하여 극한강수 표현하는데 최근에 널리 이용된다 (Sung, 2012). GEV 분포의 누적분포함수는 Eq. (2), Eq. (3)으로 나타낼 수 있다 (Stedinger et al., 1993).

$$F(x) = \begin{cases} \exp\left[-\left(1 - \kappa \frac{x - \xi}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\kappa}}\right], \kappa \neq 0 \\ \exp\left[-\exp\left(\frac{x - \xi}{\alpha}\right)\right], \kappa = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$x = \begin{cases} \xi + \frac{\alpha}{\kappa} \{1 - [-\log(P)]^{\kappa}\}, \kappa \neq 0 \\ \xi - \alpha \log[-\log(P)], \kappa = 0 \end{cases} \quad (3)$$

여기서, ξ , α , κ 는 위치 (location), 규모 (scale), 형상 (shape) 매개변수이다. GEV 분포는 이 3개의 매개변수가 결합된 분포형태이며, 형상매개변수인 κ 값에 따라 극치 Type I ($\kappa = 0$), Type II ($\kappa < 0$), Type III ($\kappa > 0$)로 나눌 수 있다 (Stedinger et al., 1993).

III. 결과 및 고찰

1. 과거 강수량 편의보정 결과 (1976~2005)

수원관측소를 선정하여 과거 30년 동안의 편의보정 전후의 누적확률분포의 변화를 Fig. 4에 도시화하였다. 편의보정하기 전의 과거 모의치와 관측치를 GEV 분포에 각각 적합시킨 그림을 Fig. 4 (a)에 나타내었다. 3시간동안 0.1 mm 이상의 강우가 발생한 사상을 대상으로 하여, 과거 모의치의 대한 누적확률값을 구한 다음 이 값을 관측치의 누적확률분포 역함수에 대입하여 자료를 과거 관측치에 사상시켰다. 정상 연 평균강수량과 강우일수를 기준으로 오차가 10 % 이내를 만족할 때까지 매개변수 최적화를 수행하였다. 최적화 과정을 거쳐 최종적으로 얻은 매개변수 값을 GEV 분포에 적합시킨 그림을 Fig. 4 (b)에 나타내었다. 편의보정 전에는 서로 상이한 분포가 분위사상법을 통해 서로 유사한 분포로 변환된 것을 확인할 수 있다.

과거 30년 동안의 관측소별 관측치와 지역기후변화 시나리오 모의치의 편의보정 한 결과는 Table 2와 같다. 3시간 단위로 편의보정을 실시한 결과를 월별평균값으로 정리한 후 이를 연평균 강수량으로 나타내었다. 관측치의 연평균강수량은 최소 1,023.8 mm (구미)~ 최대 1,530.2 mm (마산)의 범위를 가진다. 편의보

Fig. 4 The change of cumulative distribution function of precipitation over the past 30 years (1976~2005) (Suwon (119))

* Sim.: Simulated

* Obs.: Observed

정 수행 전 과거 지역기후변화 시나리오 모의치의 연평균강수량은 최소 930.7 mm (강화)~최대 1,264.9 mm (장흥)의 범위를 보이며 관측치보다 과소추정되었다. 편의보정을 수행한 후에 과거 지역기후변화 시나리오 모의치는 연평균강수량은 최소 1,037.7 mm (구미)~최대 1,566.9 mm (마산)로 증가하였다. 강화관측소에서 편의보정 수행 전에 비해 40.4 %로 가장 큰 증가폭을 보였다.

Fig. 5는 전체기간 (1976~2005) 동안 과거 지역기후변화 관측치와 편의보정 전후의 과거 지역기후변화 모의치의 변화추이를 중앙값, 최댓값, 최솟값, 및 사분위값으로 보여주고 있다. 편의보정 후 과거 지역기후변화 모의치의 연평균강수량은 1,109.7 mm에서 1,287.7 mm로 전체적으로 평균 16.3 % 증가하였다.

Fig. 6에 과거 30년 동안의 관측소별 관측치와 지역기후변화

Fig. 5 Variability of annual precipitation over the past 30 years (1976~2005)

* Sim.: Simulated
* Obs.: Observed
* Q.: Quartile

Table 2 Precipitation before and after bias correction over the past 30 years (1976~2005) for the different weather stations (number in () represents weather station number)

Weather Station	Normal Annual Precipitation (1976~2005)			
	Obs. Historical (mm)	Sim. Historical (mm)	Bias Corrected Sim. Historical (mm)	Increase Ratio (%)
Cheorwon (95)	1,345.5	1,080.4	1,350.6	25.0
Chuncheon (101)	1,266.3	1,107.2	1,250.4	12.9
Seoul (108)	1,363.4	1,068.6	1,363.8	27.6
Suwon (119)	1,242.9	1,048.7	1,221.1	16.4
Chungju (127)	1,198.5	1,165.6	1,211.2	3.9
Daejeon (133)	1,338.8	1,082.3	1,334.4	23.3
Gunsan (140)	1,166.8	1,049.1	1,190.4	13.5
Daegu (143)	1,035.9	978.5	1,055.2	7.8
Jeonju (146)	1,267.0	1,191.0	1,279.2	7.4
Masan (155)	1,530.2	1,166.4	1,566.9	34.3
Gwangju (156)	1,352.1	1,264.3	1,363.3	7.8
Ganghwa (201)	1,296.0	930.7	1,306.3	40.4
Yangpyeong (202)	1,341.9	1,177.0	1,354.7	15.1
Icheon (203)	1,305.8	1,158.9	1,318.6	13.8
Boeun (226)	1,279.6	1,068.9	1,279.8	19.7
Buyeo (236)	1,315.8	1,133.0	1,324.2	16.9
Geumsan (238)	1,258.2	1,065.6	1,267.5	19.0
Jeongeup (245)	1,246.6	1,119.1	1,254.0	12.1
Jangheung (260)	1,444.9	1,264.9	1,425.6	12.7
Gumi (279)	1,023.8	1,074.3	1,037.7	-3.4
Average	1,281.0	1,109.7	1,287.7	16.3
Maximum	1,530.2	1,264.9	1,566.9	40.4
Minimum	1,023.8	930.7	1,037.7	-3.4

* Sim.: Simulated

* Obs.: Observed

시나리오 모의치의 편의보정 결과를 결정계수를 이용하여 정성적으로 나타내었다. 3시간 단위로 편의보정한 결과를 월별평균값으로 정리하여 평가하였다. 모두 0.95 이상의 높은 결정계수를 보이며 관측치와 높은 상관관계를 가짐을 알 수 있다. 이는 편의보정 후 모의치가 관측치의 경향성을 보다 정확하게 반영함을 의미한다.

2. 미래 강수량 편의보정 결과 (2011~2100)

과거 30년 동안의 관측치와 지역기후변화 시나리오 모의치의 편의보정을 통해 얻은 매개변수를 90년 동안의 미래 지역기후변화 시나리오에 적용하여 편의보정을 수행하였다. Table 3에 미래 강수량 편의보정을 실시한 결과를 30년의 3개의 기간과 90년의 전체기간으로 나누어 연평균강수량으로 나타내었다. 2011~2040년 동안에는 최소 967.7 mm (대구)~최대 1,588.7 mm (마산), 2041~2070년 동안에는 최소 1,026.2 mm (대구)~최대 1,703.6 mm (마산), 2071~2100년 동안에는 최소 1,087.0 mm (대구)~최대 1,805.7 mm (서울)의 범위를 가진다. 각각의 기간 동안의 평균값은 1,321.8 mm, 1,385.6 mm, 1,553.2 mm으로 편의보정 전에 비해 각각 8.8 %, 9.6 %, 11.3 %씩 증가하였다. 과거 30년 동안의 관측치와 연계하여 비교하면 이전기간에 비해 각각 3.2 % (2011~2040), 4.8 % (2041~2070), 12.1 % (2071~2100)씩 증가하였다. 초반부에 비해 후반부로 갈수록 증가율이 더 높아지는 경향을 보이며 이는 후반부로 갈수록 극한강수의 발현빈도가 증가하기 때문이라 사료된다.

Fig. 7은 전체기간 (2011~2100) 동안 편의보정 전후의 미래 지역기후변화 모의치의 변화추이를 중앙값, 최댓값, 최솟값, 및 사분위값으로 보여주고 있다. 편의보정 후 미래 지역기후변화 모의치의 연평균강수량은 1,291.4 mm에서 1,420.2 mm로 전체적

Fig. 6 Correlation of observed and bias corrected precipitation for the six selected weather stations (number in () represents weather station number)

* Sim.: Simulated, * Obs.: Observed

Table 3 Bias corrected future precipitation for the tri-sectional time periods over 90 years (2011~2100)

Weather Station (Number)	Annual Precipitation (2011~2100)								
	Sim. Future (mm)			Bias Corrected Sim. Future (mm)			Sim. Future (mm)	Bias Corrected Sim. Future (mm)	Increase Ratio (%)
	2011~2040	2041~2070	2071~2100	2011~2040	2041~2070	2071~2100	2011~2100	2011~2100	2011~2100
Cheorwon (95)	1,170.8	1,237.8	1,366.7	1,414.7	1,507.6	1,692.3	1,258.4	1,538.2	22.2
Chuncheon (101)	1,189.3	1,277.3	1,359.2	1,176.7	1,321.7	1,417.3	1,275.2	1,305.3	2.4
Seoul (108)	1,229.3	1,329.0	1,442.2	1,529.4	1,651.8	1,805.7	1,333.5	1,662.3	24.7
Suwon (119)	1,198.0	1,240.4	1,431.4	1,382.3	1,431.1	1,670.5	1,289.9	1,494.7	15.9
Chungju (127)	1,251.8	1,282.6	1,392.6	1,178.4	1,211.5	1,350.4	1,309.0	1,246.8	- 4.8
Daejeon (133)	1,164.5	1,195.8	1,312.5	1,425.7	1,464.5	1,630.0	1,224.2	1,506.7	23.1
Gunsan (140)	1,208.6	1,197.8	1,361.4	1,244.6	1,222.6	1,429.8	1,256.0	1,299.0	3.4
Daegu (143)	1,010.2	1,063.2	1,120.8	967.7	1,026.2	1,087.0	1,064.7	1,027.0	- 3.5
Jeonju (146)	1,315.9	1,355.2	1,488.0	1,360.2	1,394.0	1,551.7	1,386.4	1,435.3	3.5
Masan (155)	1,265.3	1,335.9	1,424.2	1,588.7	1,703.6	1,799.7	1,341.8	1,697.4	26.5
Gwangju (156)	1,386.3	1,453.6	1,612.1	1,431.8	1,513.9	1,690.8	1,484.0	1,545.5	4.1
Ganghwa (201)	1,024.6	1,174.4	1,235.1	1,298.8	1,525.6	1,617.6	1,144.7	1,480.7	29.3
Yangpyeong (202)	1,292.0	1,342.8	1,564.1	1,362.6	1,420.8	1,710.7	1,399.6	1,498.0	7.0
Icheon (203)	1,293.0	1,325.9	1,493.0	1,360.2	1,395.0	1,601.2	1,370.7	1,452.2	5.9
Boeun (226)	1,199.1	1,164.7	1,313.1	1,383.2	1,329.6	1,532.7	1,225.6	1,415.2	15.5
Buyeo (236)	1,238.9	1,284.0	1,434.8	1,394.5	1,444.6	1,645.9	1,319.2	1,495.0	13.3
Geumsan (238)	1,154.9	1,196.9	1,254.2	1,307.6	1,384.3	1,439.8	1,202.0	1,377.2	14.6
Jeongeup (245)	1,184.2	1,253.2	1,449.8	1,174.4	1,264.8	1,517.8	1,295.7	1,319.0	1.8
Jangheung (260)	1,394.2	1,396.9	1,612.8	1,472.0	1,470.2	1,774.0	1,468.0	1,572.1	7.1
Gumi (279)	1,118.7	1,172.1	1,245.8	982.3	1,028.3	1,098.6	1,178.9	1,036.4	- 12.1
Average	1,214.5	1,264.0	1,395.7	1,321.8	1,385.6	1,553.2	1,291.4	1,420.2	10.0
Maximum	1,394.2	1,453.6	1,612.8	1,588.7	1,703.6	1,805.7	1,484.0	1,697.4	29.3
Minimum	1,010.2	1,063.2	1,120.8	967.7	1,026.2	1,087.0	1,064.7	1,027.0	- 12.1

* Sim.: Simulated, * Obs.: Observed

으로 평균 10.0 % 증가하였다. 편차를 전체기간 (2011~2100)으로 정리하여 살펴보면 최소 1,064.7 mm (대구)~최대 1,484.0 mm (광주)에서 최소 1,027.0 mm (대구)~최대 1,697.4 mm (마산)으로 증가하였다.

Fig. 8은 대전 관측소의 미래 강수량 편의보정을 실시한 결과를 3시간 단위 시계열로 보여주고 있다. 미래 90년 동안의 편의보정 한 결과를 보면 강수량 값이 클수록 더 많이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 분위사상법이 누적확률분포를 이용하여 사상시키는 것이기 때문에 과거 30년간의 극한강수의 누적확률 분포가 전반적으로 반영되었기 때문이라 사료된다.

Table 4는 과거 및 미래 강수량의 편의보정을 실시한 결과를 지속기간별 최대강우량으로 구분하여 보여주고 있다. 본 연구에서 사용한 강수량 자료가 3시간이므로 지속기간은 3시간 단위로 설정하였으며 과거 1개 기간, 미래 3개의 기간으로 나누어 기간

Fig. 7 Variability of annual precipitation over 90 years (2011~2100)

* Sim.: Simulated

* Obs.: Observed

* Q.: Quartile

Fig. 8 Bias correction of future precipitation over 90 years (2011~2100) for the Daejeon (133) weather station

* Sim.: Simulated
* Obs.: Observed

별 평균최대강우량으로 비교하였다. 과거 1976~2005년 동안의 지속시간별 최대강우량의 변화추이를 살펴보면 편의보정 전에 비해 서울관측소는 최소 62.2 % (1440 min)~최대 81.3 % (180 min), 수원관측소는 최소 45.8 % (1440 min)~최대 61.7 % (180 min), 춘천관측소는 최소 56.9 % (1440 min)~최대 77.1 % (180 min), 대전관측소는 최소 62.0 % (1440 min)~최대 83.6 % (180 min), 광주관측소는 최소 40.0 % (1440 min)~최대 61.8 % (180 min), 마산관측소는 최소 65.9 % (1440 min)~최대 85.4 % (180 min)의 증가율을 보였다. 미래 2071~2100년 기간을 살펴보면 편의보정 전에 비해 서울관측소는 최소 31.6 % (1440 min)~최대 35.4 % (180 min), 수원관측소는 최소 24.3 % (1440 min)~최대 31.0 % (180 min), 춘천관측소는 최소 25.8 % (1440 min)~최대 34.9 % (180 min), 대전관측소는 최소 34.9 % (1440 min)~최대 44.8 % (180 min), 광주관측소는 최소 17.8 % (1440 min)~최대 28.3 % (180 min), 마산관측소는 최소 35.7 % (1440 min)~최대 45.1 % (180 min)의 증가율을 나타내었다. 이는 같은 기간 동안 편의보정 전에 비해 연평균강수량의 증가율이 25.2 % (서울), 16.7 % (수원), 4.3 % (춘천), 24.2 % (대전), 4.9 % (광주), 26.4 % (마산)인 것에 비해 높은 증가율을

보이는 것으로 분석되었다. 이는 분위사상법을 이용한 편의보정 과정 중에서 과거 30년간의 극한강수의 누적확률분포를 잘 반영되어 극한사상에 대한 가중치가 더 높게 적용되었기 때문이라 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 분위사상법을 이용하여 12.5 km, 3시간 해상도의 RCP 기반 미래 강수량 편의보정을 실시하였다. 전국의 20개 관측소를 대상으로 우리나라 강수량의 미래 전망을 30년 단위의 평균한 값으로 정리하여 분석하였다. 강수량상의 확률분포형은 극치사상에 적합한 GEV 분포를 적용하였고, 과거 1976~2005년 동안의 정상 연 평균강수량 및 강우일수를 기준으로 보정하여 매개변수를 최적화하였으며, 이 값을 2006~2100년 미래 강수량 자료에 적용하여 편의보정을 실시하였다.

과거 강수량 관측치와 모의치 사이에 존재하는 편이의 지역적 특징의 살펴보면 서해와 남해 인근에 위치한 강화와 마산관측소가 가장 큰 편이를 나타내며, 내륙에 위치한 구미와 충주가 가장 작은 편이를 보인다. 대체로 내륙지역보다는 해안지역에 편

Table 4 Increase ratio of maximum precipitation with different durations the six selected weather stations (number in () represents weather station number)

Weather Station	Period	Increase Ratio (%)						
		180 min	360 min	540 min	720 min	900 min	1080 min	1440 min
Seoul (108)	1976~2005	81.3	75.1	71.3	68.3	65.9	64.0	62.2
	2011~2040	35.5	34.0	33.0	32.3	31.6	31.4	31.2
	2041~2070	35.2	32.6	31.0	30.5	30.3	30.2	30.0
	2071~2100	35.4	33.7	33.1	32.6	32.1	31.8	31.6
Suwon (119)	1976~2005	61.7	57.2	53.4	50.7	48.9	47.0	45.8
	2011~2040	25.2	24.2	23.5	23.2	22.9	22.7	22.4
	2041~2070	26.0	24.9	24.1	23.7	23.5	23.4	23.2
	2071~2100	31.0	28.6	27.3	26.5	26.0	25.2	24.3
Chuncheon (101)	1976~2005	77.1	71.3	66.5	63.3	61.0	58.9	56.9
	2011~2040	18.7	17.3	16.9	16.6	16.5	16.3	16.1
	2041~2070	32.3	30.0	28.6	27.7	27.0	26.5	25.8
	2071~2100	34.9	31.6	29.9	28.5	27.6	27.0	25.8
Daejeon (133)	1976~2005	83.6	76.9	72.4	68.5	65.6	63.8	62.0
	2011~2040	31.2	30.6	30.0	29.8	29.6	29.5	29.2
	2041~2070	32.6	31.2	30.5	30.2	30.0	29.8	29.3
	2071~2100	44.8	39.9	37.5	36.9	36.3	35.8	34.9
Gwangju (156)	1976~2005	61.8	55.9	51.7	48.5	45.2	42.1	40.0
	2011~2040	17.6	14.9	14.1	12.5	12.1	12.0	11.7
	2041~2070	24.6	21.2	19.1	18.3	17.8	17.4	16.2
	2071~2100	28.3	25.2	23.4	21.7	19.9	18.9	17.8
Masan (155)	1976~2005	85.4	79.9	75.6	72.9	70.3	67.1	65.9
	2011~2040	37.7	36.1	35.4	35.0	34.8	34.6	34.3
	2041~2070	53.0	47.5	45.4	44.5	44.0	43.6	42.7
	2071~2100	45.1	41.6	39.8	38.1	37.2	36.2	35.7
Average	1976~2005	75.1	69.4	65.2	62.1	59.5	57.2	55.5
	2011~2040	27.7	26.2	25.5	24.9	24.6	24.4	24.2
	2041~2070	34.0	31.2	29.8	29.2	28.8	28.5	27.9
	2071~2100	36.6	33.4	31.8	30.7	29.9	29.2	28.4

* Sim.: Simulated

* Obs.: Observed

의가 더 크게 발생하는 특징을 나타낸다. 편의보정으로 인한 연평균강수량의 증가율도 최소 -3.4 % (구미)~최대 40.4 % (강화)의 넓은 범위를 가지며 내륙지역보다 해안지역에 증가율이 더 크게 발생하는 특징을 보인다.

미래 지역기후변화 시나리오를 편의 보정한 결과를 30년 단위로 구분하여 살펴보면 대부분의 지역에서 후반부로 갈수록 연평균강수량의 증가율이 커지는 것으로 나타났다. 이는 기후변화로 인한 극한사상의 발현빈도가 후반부로 갈수록 증가함을 의미한다. 다만, 금산과 마산관측소에서는 중반부에 가장 큰 증가율을 보였으며, 군산과 보은에서는 중반부에 가장 작은 증가율을 보여

미래 강수량 증가의 지역적인 특징을 나타내었다.

분위사상법을 적용한 과거 지역기후변화 시나리오 연평균강수량의 최솟값, 최댓값의 보정 전후 증가율을 산정해보면 연평균강수량의 최솟값은 11.5 %, 연평균강수량의 최댓값은 23.9 %인 것으로 나타났다. 강화와 장흥, 구미와 마산 관측소의 연평균강우일수의 차이가 18.1 %, 25.9 %으로 근소한 것에 비해 연평균강수량의 최댓값의 증가율이 최솟값에 비해 2배 이상 되는 것은 과거 지역기후변화 시나리오의 편이가 극한사상에 집중해 있다는 점을 뜻한다. 또한 과거 30년 (1976~2005년) 관측치와 미래 30년 (2071~2100년) 모의치의 연평균강수량의 증가율을 비교해보면 편의보정 전에는 8.2 %, 편의보정 후에는 21.2 %으로 2.6배 증가함을 알 수 있다. 편의보정 전의 과거 30년 (1976~2005년) 모의치와 미래 30년 (2071~2100년) 모의치의 연평균강수량의 증가율이 24.9 %로 21.2 %와 근소한 차이를 보이므로 분위사상법이 편의보정 전의 미래 강수량 증가 경향성을 잘 반영한 것으로 사료된다.

미래에 대한 예측자료는 항상 불확실성을 내재하고 있으므로 이를 최소화하기 위해 논리적인 방법이 필요하다. 본 연구에서는 분위사상법을 이용하여 RCP 시나리오 기반의 지역기후변화 시나리오에 내재하는 편의를 보정하였으며, 편의보정 전에 비해 극한사상에 대한 보정이 적절히 이루어진 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 편의보정 한 미래 강수량 자료는 기후변화에 따른 미래 수문순환의 변화에 대한 보다 정확한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

이 논문은 2012년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2012 R1A1A2009313).

REFERENCES

1. Berg, P., H. Feldmann, H. J. Panitz, 2012. Bias correction of high resolution regional climate model data. *Journal of Hydrology* 448-449: 80-92.
2. Chen, J., F. P. Brissette, R. Leconte, 2011. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. *Journal of Hydrology* 401: 190-202.
3. Gudmundsson, L., J. B. Bremnes, J. E. Haugen, and T. Engen Skaugen, 2012. Technical note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using quantile mapping -a comparison of methods. *Hydrology and*

- Earth System Sciences Discussions* 9: 6185-6201.
4. Hashino, T., A. A. Bradley, and S. S. Schwartz, 2007. Evaluation of bias-correction methods for ensemble streamflow volume forecasts. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 11: 939-950.
5. Hong, E. M., J. Y. Choi, S. H. Lee, S. H. Yoo, and M. S. Kang, 2009. Estimation of paddy rice evapotranspiration considering climate change using LARS-WG. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(3): 25-35 (in Korean).
6. IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, adaption and vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
7. Kang, B. S., and S. J. Moon, 2011. The use of APCC seasonal forecast information for real-time water management and drought prediction. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 11(1): 31-36 (in Korean).
8. Kim, B. S., B. K. Kim, M. S. Kyung, and H. S. Kim, 2008. Impact assessment of climate change on extreme rainfall and I-D-F analysis. *Journal of Korea Water Resources Association* 41(4): 379-394 (in Korean).
9. Kim, T. Y., and H. S. Yoon, 2011. Skill assessments for evaluating the performance of the hydrodynamic model. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering* 14(2): 107-113 (in Korean).
10. Lee, J. J., H. H. Kwon, J. Y. Park, and K. T. Yum, 2012. The next generation climate change scenarios for water resource assessment. *Magazine of Korea Water Resources Association* 45(2): 48-53 (in Korean).
11. NIMR, 2011. Climate change scenario report for IPCC AR5 (in Korean).
12. So, B. J., M. J. Kim, and H. H. Kwon, 2012. Forecast and assessment of the next generation climate change scenarios of Korea Meteorological Administration. *Magazine of Korea Water Resources Association* 45(8): 56-70 (in Korean).
13. Stedinger, J. R., R. M. Vogel, and E. Foufoula-Georgiou, 1993. Chapter 18: Frequency analysis of extreme events. *Handbook of Hydrology*, Maidment, D. R. (editor in chief), McGraw-Hill.
14. Sung, J. H., B. S. Kim, H. S. Kang, and C. H. Cho, 2012. Non-stationary frequency analysis for extreme precipitation based on representative concentration pathways (RCP) climate change scenarios. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 12(2): 231-244 (in Korean).
15. Sung, J. H., H. S. Kang, S. H. Park, C. H. Cho, D. H. Bae, and Y. O. Kim, 2012. Projection of extreme precipitation at the end of 21st century over South Korea based on representative concentration pathways (RCP). *Journal of Atmosphere. Korean Meteorological Society* 22(2): 221-231 (in Korean).
16. Teutschbein, C., and J. Seibert, 2012. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology* 456: 12-29.
17. Yoo, S. H., J. Y. Choi, S. H. Lee, Y. G. Oh, and N. Y. Park, 2012. The impacts of climate change on paddy water demand and unit duty of water using high-resolution climate scenarios. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(2): 15-26 (in Korean).