APHRODITE 자료 여름철 남한 강수 극한값 개선

이 길·차동현·박창용

울산과학기술원 도시환경공학부

(2017년 2월 21일 접수, 2017년 3월 15일 수정, 2017년 3월 16일 게재 확정)

Improvement of Extreme Summer Precipitation over South Korea in APHRODITE Data

Gil Lee · Dong-Hyun Cha · Chang-Yong Park

School of Urban and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of Science & Technology

(Received 21 February 2017, Revised 15 March 2017, Accepted 16 March 2017)

Abstract : The APHRODITE (Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of water resources) data has been widely used for the evaluation of the numerical model due to its higher spatial and temporal resolutions. However, some studies have indicated that it significantly underestimates the extreme precipitation values for several regions such as South Asia compared with station-based observation. In this study, therefore, the 25 year (1981-2005) APHRODITE precipitation data over South Korea during June to September was improved using Automated Synoptic Observing System (ASOS) data from Korea Meteorological Administration (KMA). After the spatial resolution and temporal interval of the ASOS data were changed to be same as those in the APHRODITE data, the GEV (Generalized Extreme Value) distribution for each data was calculated. After then, the GEV distribution of the APHRODITE data was corrected through the quantile mapping method with ASOS data. The corrected APHRODITE data was similar to the annual mean precipitation of the ASOS data. In particular, the corrected annual mean precipitation over South Korea reasonably increased by ~10% and the extreme value of precipitation have significantly improved compared to those from the original APHRODITE data.

Key Words : APHRODITE, extreme precipitation, GEV, quantile mapping

주요어 : APHRODITE, 극한 강수, GEV 분포, 분위사상법

1. 서론

자연적·인위적 요인에 의한 기후변화로 인해 발생하는 집중 호우와 홍수, 태풍 등의 자연 재해는

인류에게 막대한 인명 및 재산 피해를 끼치며 다양한 사회경제적 손실을 야기시킬 수 있다(Cunderlik and Simonovic, 2005; Stocker *et al.*, 2013). 최근 들어 우리나라에서도 여름철에 루사·매미·볼

라벤과 같은 대형 태풍, 우면산 산사태, 집중호우 등의 기후변화와 연관된 자연재해로 인한 피해가 증가하고 있다(Choi, 2002; Jung *et al.*, 2011). 미래 기후변화로 인하여 발생하는 경제적·사회적 손실을 줄이기 위해 1990년대 후반부터 기상청과 각 대학들은 동아시아와 한반도 영역을 중심으로 생산된 지역기후모델의 결과를 사용하고 있다.

이러한 지역기후모델의 결과를 이용하여 여름철 집중호우와 관련된 연구를 진행할 때 모델 자료의 신뢰도와 정확도의 검증은 위해서는 다양한 관측 자료와 재분석자료가 사용된다. 대표적으로 사용되는 강수 검증 자료로는 CRU(Climatic Research Unit), APHRODITE(Asian Precipitation - Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of water resources), GPCP(Global Precipitation Climatology Project), TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 등이 있다. 그 중에서 APHRODITE 강수 자료는 다른 재분석 자료에 비해 고해상도인 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 의 해상도를 제공하고, 시공간적인 패턴과 기후적 특성을 비교적 잘 나타내기 때문에 아시아 지역 강수 분석 연구의 검증 자료로 자주 사용된다(Shin *et al.*, 2010; Kishore *et al.*, 2016). APHRODITE 강수량은 자체적으로 수집한 자료와 GTS(Global Telecommunication System) 기반 자료, 전 세계 각 프로젝트나 기관에 의해 수집/편집된 자료를 이용하여 격자화된 자료이다. 하지만 Yatagai *et al.*(2012) 연구에 따르면, APHRODITE 강수 자료는 동아시아 대부분 지역에서 GPCC(Global Precipitation Climatology Centre) 강수량의 약 75~90%로 과소하게 나타났고, 2003년 이후에는 더 큰 차이를 나타내었다. 이와 같은 결과를 보이는 원인으로 품질관리(Quality Control)와 내삽 방법의 차이를 제시하였다. 또한, APHRODITE 강수 자료가 한반도 영역에서도 기상청에서 제공되는 종관기상관측

(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 자료와 비교할 때 과소하게 나타나고, 특히 극한강수량에서는 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다(Figure 1). 따라서 APHRODITE 강수 자료가 지역기후모델을 이용한 연구들의 검증 자료로 사용되기 위해서는 개선이 필요하다.

국외 연구 결과 중 Ono and Kazama(2011)에서는 태국 기상청(Thailand Meteorological Department, TMD) 관측 자료와 APHRODITE 격자 자료의 20년간(1987~2006년) 연최대일강수량을 비교하여 차이를 보정하고, 5년 빈도주기의 극한 일강수량을 보정한 APHRODITE 자료를 기반으로 빈도분석을 실시하였다. 국내 선행 연구로는 APHRODITE 강수 자료와 관측 자료간의 강수량 차이를 개선하는 연구는 진행되지 않았지만, 모델 자료와 관측 자료간의 강수량 차이를 보정하는 연구는 다양하게 진행되었다. Shin *et al.*(2010)에서는 지역기후모델 RegCM3(Regional Climate Model 3)을 이용하여 역학적 상세화 이중동지격자체계를 구축하고, 상세화된 일강수량 자료를 일반극치(General Extreme Value, GEV) 분석을 활용하여 20세기 동안 한반도의 일최대강수량의 공간분포를 분석하고 미래 강수의 일최대강수량 변화를 전망하였다. Sung *et al.*(2012)에서는 기후변화가 한반도의 미래 극한강수의 발생에 미치는 영향을 전망하기 위해 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차보고서에 대비하여 새롭게 권장되는 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP)에 따라 모의된 지역기후모델의 여름철 강수량을 외부인자로 고려한 비정상성 빈도해석을 실시하였다. 그 결과, 남한지역에 걸쳐서 극한강수의 전반적인 증가를 확인하였으며 특히 RCP4.5와 RCP8.5를 따르는 미래에는 20년 빈도가 지점평균 각각 12.5년, 11.9년으로 줄어들어 치수안전도가 저하되는 것으로 전망되었

Figure 1. Timeseries of ASOS (solid line) and APHRODITE (dashed line) precipitation over 2002 (JJAS) for Gangneung (105) weather station.

Figure 2. Map of KMA ASOS station.

다. Park *et al.* (2012)에서는 분위사상법을 이용하여 12.5km, 3시간 해상도의 RCP 기반 미래 강수량 편의보정을 실시하였다. 이 연구에서는 전국의 20개 관측소를 대상으로 우리나라 강수량의 미래 전망을 30년 단위의 평균한 값으로 정리하여 분석하였다. 강수사상의 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.

본 연구에서는 선행 연구들에서 사용한 보정 방법 중에서 GEV 분포를 이용하여 APHRODITE 여름철 강수 극한값을 개선하고자 한다.

2. 자료 및 연구 방법

1) 자료

APHRODITE 강수 자료는 APHRO_MA_V1101(APHRODITE V1101 Monsoon Asia)을 사

용하였다. APHRO_MA_V1101의 시간 간격은 1일(Coordinated Universal Time, UTC)이며 공간 해상도는 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 자료 영역은 $14.875^{\circ}\text{S} \sim 54.875^{\circ}\text{N}$, $60.125^{\circ}\text{E} \sim 149.875^{\circ}\text{E}$ 이다. 본 연구에서 우리나라를 포함하는 북위 $32.875^{\circ} \sim 39.875^{\circ}$, 동경 $124.125^{\circ} \sim 131.125^{\circ}$ 영역을 APHRODITE 재분석 자료의 분석 영역으로 선정하였으며, 분석 기간은 1981년부터 2005년까지 여름철(6, 7, 8월)과 태풍의 영향이 큰 9월로 지역기후모델의 historical 실험 기간(1981~2005년)과 동일하다. 강수 극한값은 해당 기간 중 격자별 연강수량에서 강수가 가장 많은 날의 강수값을 의미한다.

기상청 종관기상관측자료(ASOS) 강수 자료는 전국 72개 지점, 1시간 단위(Korea Standard Time, KST) 자료로 APHRODITE 강수 자료와 같은 기간을 선정하였다(Figure 2).

2) 연구 방법

본 연구에서는 Figure 3과 같은 순서로 APHRODITE 강수의 극한값을 개선하였다. ASOS 강수 자료는 ASCII 포맷으로 제공되기 때문에 자

Figure 3. Flow chart for the improvement of extreme value of APHRODITE precipitation.

료를 쉽게 다루기 위해 NetCDF 포맷으로 변환하였고, 시간 단위는 APHRODITE 강수 자료와 동일한 UTC로 변환하여 사용하였다. 다음으로 객관분석 방법 중 하나인 Barnes 기법을 사용하여 ASOS 강수 자료를 APHRODITE 강수 자료와 같은 격자로 변환하였다. 격자화된 ASOS 강수와 APHRODITE 강수 자료의 각 격자마다 1mm d^{-1} 보다 많은 일강수량 중에서 상위 10%에 해당하는 ASOS 강수량에 따라 APHRODITE 상위 10% 강수량에 가중치를 다르게 주고, ASOS와 APHRODITE 강수 자료의 GEV 분포를 구하였다. ASOS 강수량의 크기에 따른 가중치가 적용된 APHRODITE의 GEV분포는 분위사상법을 이용하여 ASOS의 GEV분포에 맞게 APHRODITE 강수량을 보정하였다.

(1) Barnes 기법

APHRODITE 강수 자료의 극한값을 개선하기 위해서는 공간적으로 비균질하게 분포하는 ASOS를 APHRODITE와 같은 해상도를 가진 격자 자

료로 변환하는 객관분석이 필요하다. 객관분석의 기법에는 다항식 내삽법(Polynomial Interpolation), 연속 수정법(Successive Correction Method), 그리고 통계적 내삽법(Statistical Interpolation)이 있다. 다항식 내삽법 중에서는 전역 다항식 내삽법(Global Polynomial Interpolation), 국지 다항식 내삽법(Local Polynomial Interpolation)이 있고, 연속 수정법 중에서는 Cressman(1959) 방법, Barnes(1964) 방법이 있으며, 통계적 내삽법으로는 최적 내삽법(Optimal Interpolation)이 있다. 이 중에서 연속 수정법은 간단하고 계산 시간이 짧은 장점을 가지며 거리의 함수를 이용한 경험적 가중 함수 대신 적절한 가중 함수를 선택하면 통계적 내삽법과 같은 결과를 얻을 수 있다. 특히, Barnes 기법(Barnes, 1964)은 분석하고자 하는 격자를 중심으로 유효 반경 안에 있는 관측 자료 거리의 제곱에 반비례하게 가중치를 주어 계산하는 방법으로, 적절히 사용할 배경장이 존재하지 않는 경우에 분석장을 얻기 위한 방법이기 때문에 본 연구의 객관분석의 기법으로 선정하였다.

1시간 간격(KST)의 ASOS 강수 자료를 09UTC부터 익일 08UTC까지 누적하여 1일 간격의 UTC 자료로 변경하였다. 공간적으로 비균질하게 분포하고 있는 ASOS 강수 자료를 APHRODITE 강수와 같은 해상도인 0.25° 격자 자료로 변경하기 위한 작업은 Barnes 기법을 이용한 객관분석(Objective analysis)을 사용하였다.

Barnes 기법에서 격자의 초기 추정값(g_1)은 유효 반경(c) 안에 있는 N 개의 관측 자료(f)와 격자-관측 자료간의 거리(r_m)의 제곱에 반비례하는 가중치 w_m 에 의해 결정된다(Koch *et al.* 1983).

$$g_1(i,j) = \frac{\sum_{m=1}^N w_m f(x_m, y_m)}{\sum_{m=1}^N w_m}$$

$$w_m = \exp\left(\frac{-r_m^2}{c^2}\right)$$

최종적으로, Barnes 기법을 이용하여 계산되는 격자점의 추정값은 g_2 이고, γ 는 작은 규모의 정보를 포함하기 위해서 w_m 과 w'_m 의 차이를 조절하는 수치수렴매개변수(numerical convergence parameter)이다($0 < \gamma < 1$).

$$g_2(i,j) = g_1(i,j) + \frac{\sum_{m=1}^N w'_m [f(x_m, y_m) - g_1(x_m, y_m)]}{\sum_{m=1}^N w'_m}$$

$$w'_m = \exp\left(\frac{-r_m^2}{\gamma c^2}\right)$$

(2) GEV 분포와 분위사상법

격자화된 관측 강수 자료를 이용하여 APHRODITE 강수량의 극한값을 개선하는 방법으로 분위사상법(Quantile mapping), 월평균 및 표준편차를 비교하여 보정하는 Change factor 기법, 관측값과 모의값의 차이를 2차함수 선형회귀식으로 산정하여 모의값에 적용하는 기법 중에서 극한값에 대한 보정 효과가 좋은 분위사상법을 선정하였다(Kim *et al.*, 2008). 분위사상법으로 극한강수를 보정하기 위해 ASOS 및 APHRODITE 강수량에 적합시킬 확률분포형으로 GEV 분포를 선정하였다. GEV(Fisher and Tippett, 1928) 분포는 상위 꼬리부분의 면적이 넓어 극한값의 비초과확률을 구하기에 좋은 분포이다(Sung *et al.*, 2012).

APHRODITE 강수 자료에서 개선할 영역의 격자 개수는 남한 지역에 해당하는 220개 격자이다. 개선할 강수량의 값은 각 격자에서 격자화된 ASOS 강수량이 1mm d^{-1} 보다 큰 값을 가질 때의 APHRODITE 강수량으로 선정하였다. 우리나라에서는 여름철 강수량이 연강수량의 많은 비중을 차지하고 있으며, 최근 기후변화로 인해 발생하는 극한 강수 또한 여름철에 빈번하게 발생한다. 따라서 여름철 강수 극한값이 APHRODITE 강수에 잘 나타나도록 개선하기 위해서 본 연구에

서는 ASOS 강수량 자료 상위 10%에 해당되는 값들의 크기에 따라 APHRODITE 강수량 상위 10%에 해당되는 자료들에 가중치를 다르게 적용한 후에 APHRODITE 강수량의 GEV 분포를 구하였다(Hosking *et al.*, 1985). GEV 분포의 누적확률분포함수는 다음 식과 같다.

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 + \kappa \frac{x - \xi}{\alpha} \right)^{-\frac{1}{\kappa}} \right]$$

여기서, ξ , α , κ 는 위치매개변수(location parameter), 척도매개변수(scale parameter), 형상매개변수(shape parameter), x 는 강수량이다. 이 3개의 매개변수를 추정하는 방법에는 모멘트법(method of moment), 최우도법(method of maximum likelihood), 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments), L모멘트법 등이 있다. Hosking(1985)에 의하면 표본의 개수가 50개보다 적을 때는 확률가중모멘트법이 최우도법보다 더 좋은 결과를 보이고, Rosbjerg(1997)에 의하면 표본의 개수가 적당할 때는 모멘트법이 좋은 결과를 보였다. 본 연구에서는 표본의 개수가 1000개 이상이므로 최우추정치(Maximum Likelihood Estimator, MLE)를 이용하여 계산하였다. MLE(Coles *et al.*, 2001)는 강수자료에서 추출한 표본자료가 나올 확률이 최대가 되도록 확률분포형의 매개변수를 추정하는 방법이다. 강수자료에서 추출한 표본자료(x_i)가 나올 확률(L_{x_i})은 표본자료가 서로 독립이므로 각 표본값 확률밀도함수(F_{x_i})의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$L_{x_1, \dots, x_n}(\xi, \alpha, \kappa) = \prod_{i=1}^n \exp \left[- \left(1 + \kappa \frac{x_i - \xi}{\alpha} \right)^{-\frac{1}{\kappa}} \right]$$

로그함수는 단조 증가하기 때문에 L_{x_i} 와 $\ln L_{x_i}$ 값이 최대가 되는 ξ , α , κ 가 같음을 이용하여 다음 식으로부터 이들을 구할 수 있다.

$$L_{x_1, \dots, x_n}^*(\xi, \alpha, \kappa) = \ln L_{x_1, \dots, x_n}(\xi, \alpha, \kappa)$$

$$= \sum_{i=1}^n \ln L_{x_i}(\xi, \alpha, \kappa)$$

$$\frac{\partial L_{x_1, \dots, x_n}^*(\xi, \alpha, \kappa)}{\partial \xi} = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n \left[\frac{1 - \kappa - (y_i)^{1/\kappa}}{y_i} \right] = 0$$

$$\frac{\partial L_{x_1, \dots, x_n}^*(\xi, \alpha, \kappa)}{\partial \alpha} =$$

$$-\frac{S}{\alpha} + \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n \left[\frac{1 - \kappa - (y_i)^{1/\kappa}}{y_i} \left(\frac{x_i - \xi}{\alpha} \right) \right] = 0$$

$$\frac{\partial L_{x_1, \dots, x_n}^*(\xi, \alpha, \kappa)}{\partial \kappa} = -\frac{1}{\kappa^2} \sum_{i=1}^n \left\{ \ln(y_i) [1 - \kappa - (y_i)^{1/\kappa}] + \frac{1 - \kappa - (y_i)^{1/\kappa}}{y_i} \kappa \left(\frac{x_i - \xi}{\alpha} \right) \right\} = 0$$

$$\text{where } y_i = [1 - (\kappa/\alpha)(x - \xi)]$$

ASOS 강수량의 크기에 따른 가중치가 적용된 APHRODITE의 GEV분포는 분위사상법(Hashino *et al.*, 2006)을 이용하여 ASOS의 GEV분포에 맞게 APHRODITE 강수량을 보정하였다. x_{APH} 는 APHRODITE 강수량, $\hat{x}_{APH}$ 는 보정된 APHRODITE 강수량, F_{APH} 는 APHRODITE 강수 자료의 GEV, 그리고 F_{APH}^{-1} 는 ASOS 강수 자료 GEV의 역함수라 할 때 분위사상법은 다음과 같이 정의된

다.

$$\hat{x}_{APH} = F_{APH}^{-1}(F_{APH}(x_{APH}))$$

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

3. 연구 결과

Figure 4는 2002년 8월 31일 우리나라에 태풍 RUSA가 상륙하였을 때 Barnes 기법이 사용된 객관분석을 통해 격자화한 ASOS 강수량과 APHRODITE 강수량을 나타낸다. 격자화된 ASOS 강수 자료는 72개 관측 지점의 관측 강수량과 유사한 공간 분포를 나타내었고, APHRODITE 강수량과는 공간 분포와 강수 강도에서 차이를 보였다. 특히, 이 날 기록적인 강수량을 기록했던 강릉 주변에서 APHRODITE 강수량 분포는 실제 ASOS 관측 지점 강수량에 비해 600mm d^{-1} 이상 적은 $40 \sim 120\text{mm d}^{-1}$ 로 나타났다.

APHRODITE의 각 격자점에서 강수량이 실제 관측 강수량과 다른 문제점을 보완하기 위하

Figure 4. Precipitation map of (a) ASOS, (b) ASOS using Barnes scheme and (c) APHRODITE.

Figure 5. Cumulative distribution function of precipitation over 25 years (1981-2005) at Gangneung (105).
a) before the GEV correction and b) after the GEV correction.

여 분위사상법을 사용하였다. 분위사상법의 확률 분포로는 GEV 분포를 선정하였고, 강릉 관측소의 ASOS와 극한 강수 개선 전의 APHRODITE 강수량에 대한 GEV 분포를 Figure 5a에 나타내었다. 일강수량이 1mm이상인 ASOS 강수량의 상위 10%에 해당하는 강수량 크기에 따라 APHRODITE 1mm d⁻¹ 이상 강수량의 상위 10%에 가중치를 주었던 강수량의 GEV 분포를 ASOS GEV 분포 역함수에 대입하여 보정하였다. 최종적으로 얻은 매개변수 값을 GEV 분포에 적합시킨 그림을 Figure 5b에 나타내었다. 보정 전에는 서로 다르게 나타났던 분포가 분위사상법을 통해 서로 유사한 분포로 변환된 것을 확인할 수 있다.

우리나라 지역의 220개 격자 모두 동일한 방법으로 분위사상법을 사용하여 APHRODITE 여름철 강수 극한값을 1일 단위로 개선하였다. ASOS의 72개 관측 지점의 여름철 최대일강수량 최댓값과 총강수량의 평균값 개선 정도를 원형 도표(pie chart)로 나타내어 지도에 표시하였다(Figure 6). 원형 도표의 색은 ASOS 강수량을 나타내고 원형 도표의 색이 채워진 비율은 ASOS와 APHRO-

DITE 강수량 차이를 편의보정을 통하여 어느 정도를 개선하였는지를 나타낸다. 실제 ASOS 여름철 최대일강수량의 최댓값은 최소 86.50mm(백령도)~최대 749.50mm(강릉) 분포를 갖는다. 강수 극한값 개선 전의 APHRODITE 여름철 최대일강수량의 최댓값은 최소 68.51mm(백령도)~276.38mm(완도)의 범위를 보이며 ASOS에 비해 20.8~63.1% 작았다. 강수 극한값 개선 후에 APHRODITE 여름철 최대일강수량의 최댓값은 최소 76.89mm(백령도)~최대 612.12mm(강릉)로 증가하였다. 강릉 기상대에서 APHRODITE 강수 극한값은 개선 전에 비해 319.5%로 증가하여 증가폭이 가장 컸다. 강수 극한값 개선 후에 APHRODITE 여름철 최대일강수량의 최댓값은 기존 181.99mm에서 226.93mm로 증가하여 전체적으로 평균 28.8% 늘어났다. 실제 ASOS 여름철 총강수량의 평균값은 최소 453.93mm(백령도)~최대 1518.27mm(대관령)을 나타냈다. 강수 극한값 개선 전의 APHRODITE 여름철 총강수량의 평균값은 최소 416.82mm(백령도)~1186.15mm(산청)의 범위를 보이며 ASOS에 비해 8.2~21.9% 적었

다. 강수 극한값 개선 후에 APHRODITE 여름철 총강수량의 평균값은 최소 472.79mm(백령도)~최대 1455.05mm(남해)로 증가하였다. 서산 기상대에서 APHRODITE 강수 극한값은 개선 전에 비해 56.7%로 늘어나 증가폭이 가장 컸다. 강수 극한값 개선 후에 APHRODITE 여름철 총강수량의 평균값은 기존 941.07mm에서 1130.68mm로 늘어나 전체적으로 평균 20% 증가하였다.

여름철 강수 극한값이 개선된 APHRODITE의 1981~2005년 평균 공간분포를 Figure 7에 나타내었다. 개선 전 APHRODITE의 여름철 강수 공간 분포에서는 서울과 경기도, 영서지역, 지리산 부근에 강한 강수 지역이 있었고 강수량의 분포는 700~850mm이었다(Figure 7a). 이는 격자화된 ASOS 강수(Figure 7b)와 비교하였을 때 차이가 큰데, 특히 APHRODITE의 강수 강도가 ASOS보

Figure 6. Pie chart map of the maximum value of JJAS maximum daily precipitation and the average value of JJAS total precipitation of improved APHRODITE precipitation each ASOS 72 station.

Figure 7. Spatial distribution of (a) APHRODITE, (b) improved APHRODITE, (c) ASOS precipitation for JJAS over 25 years (1981~2005).

Figure 8. a) Histogram of maximum daily precipitation for JJAS over 25 years (1981~2005) at ASOS 72 station. b) Difference between APHRODITE/improved APHRODITE and ASOS histogram.

다 현저히 약하였다. 여름철 극한 강수가 개선된 APHRODITE 강수(Figure 7c)의 공간 분포와 강수 강도는 ASOS 강수와 유사함을 알 수 있었다.

전국 72개 관측 지점에서의 여름철 최대일강수량 히스토그램을 통해 여름철 최대일강수량의 강수 구간별 개선 정도를 파악하였다. Figure 8은 각 관측 지점에서 ASOS와 여름철 강수 극한값이 개선되기 전후의 APHRODITE 여름철 최대일강수량을 히스토그램으로 나타난 그림이다. ASOS 강수의 여름철 최대일강수량은 100~110mm d⁻¹ 구간에 발생 빈도가 가장 크다. 여름철 강수 극한값이 개선되기 전의 APHRODITE 여름철 최대일

강수량은 80~90mm d⁻¹ 구간에서 발생 빈도가 가장 크고, 40~110mm d⁻¹ 구간에서는 ASOS보다 빈도가 더 크다. 하지만 ASOS에서는 나타나는 130mm d⁻¹ 이상의 강한 여름철 강수량이 개선 전의 APHRODITE 자료에서는 나타나지 않는다. 여름철 강수 극한값이 개선된 APHRODITE의 여름철 최대일강수량에서는 90~100mm d⁻¹ 구간에서 최대 발생 빈도가 나타났고, 40~110mm d⁻¹ 구간과 130mm d⁻¹ 이상의 구간에서 ASOS와 유사한 분포가 나타났다. 이는 Figure 8b에서 더욱 명확하게 확인할 수 있는데, 강수 극한값을 개선한 APHRODITE의 여름철 최대일강수량이 개선 전

APHRODITE보다 거의 모든 구간에서 작은 편차를 보여 ASOS관측에 더 유사하다는 것을 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 우리나라 72개 지점의 종관기상 관측자료와 GEV 분포 기반의 분위사상법을 이용하여 APHRODITE 여름철 강수 극한값을 개선하였다. GEV 분포의 3개 매개변수를 추정하는 방법으로 상위 10% 강수량에 가중치를 준 다음 MLE 방법을 적용하여 여름철 극한 강수의 보정 효과를 향상시켰다. 보정 결과 여름철 극한 강수량은 관측과 유사해졌는데, 특히 강릉 지역에서 강수 극한값이 보정 전에 비하여 319.5%로 증가하여 가장 뚜렷하게 개선되었다.

대부분의 지역에서 극한 강수는 개선되었지만 일부 관측 지점에서는 오히려 ASOS와 APHRODITE 강수량이 더 큰 차이를 보이는 곳도 발생하였다. 이러한 결과는 그 지점의 강수 분포와 적합하지 않은 편의보정 방법의 선택으로 인해 발생하는 문제라고 생각할 수 있다. 따라서 편의보정 방법(분위사상법, 2차 선회귀식, Change factor 등), 누적확률분포(GEV, Gumbel, Weibul), 매개변수 추정 방법(모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법, L모멘트법 등)의 비교를 통해 각 연구 진행 단계마다 결과에 미치는 영향을 파악하고, 최적의 편의보정 방법을 찾는 연구가 향후 필요하다.

하지만 연구 목적에 맞게 우리나라의 여름철 APHRODITE 강수 극한값은 전반적으로 개선이 되었기 때문에, 여름철 극값이 개선된 APHRODITE 강수 자료는 수치모델의 강수 모의 검증에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후

강수 개선 기간과 영역을 여름과 남한에 각각 국한하지 않고 모든 계절과 동아시아 지역으로 확장한다면 지역기후모델 검증뿐만 아니라 동아시아 강수 특성 연구에 유용한 자료를 생산할 수 있을 것이다.

사사

이 논문은 “기후변화 감시예측 및 국가정책 지원 강화사업”의 일환으로 한국기상산업진흥원(KMIPA 2015-2083)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Barnes, S. L., 1964, A technique for maximizing details in numerical weather map analysis, *Journal of Applied Meteorology*, 3(4), 396-409.
- Choi, Y., 2002, Changes on frequency and magnitude of heavy rainfall events in Korea, *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 4(3), 269-282.
- Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., and Dorazio, P., 2001, *An introduction to statistical modeling of extreme values(Vol.208)*, London: Springer.
- Cressman, G. P., 1959, An operational objective analysis system, *Mon. Wea. Rev.*, 87(10), 367-374.
- Cunderlik, J. M. and Simonovic, S. P., 2005, Hydrological extremes in a southwestern Ontario river basin under future climate conditions/Extrêmes hydrologiques dans un bassin versant du sud-ouest de l'Ontario sous conditions climatiques futures, *Hydrological Sciences Journal*, 50(4), 631-654.
- Fisher, R. A. and Tippett, L. H. C., 1928, Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample, *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical*

- Society*, 24(2), 180-190, Cambridge University Press.
- Hashino, T., Bradley, A. A., and Schwartz, S. S., 2006, Evaluation of bias-correction methods for ensemble streamflow volume forecasts, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3(2), 561-594.
- Hosking, J. R. M., 1985, Algorithm as 215: Maximum-likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme-value distribution, *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 34(3), 301-310.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., and Wood, E. F., 1985, Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments, *Technometrics*, 27(3), 251-261.
- Jung, I. W., Bae, D. H., and Kim, G., 2011, Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea, *International journal of climatology*, 31(3), 359-370.
- Kim, B. S., Kim, B. K., Kyung, M. S., and Kim, H. S., 2008, Impact assessment of climate change on extreme rainfall and IDF analysis, *Journal of Korea Water Resources Association*, 41(4), 379-394 (in Korean).
- Kishore, P., Jyothi, S., Basha, G., Rao, S. V. B., Rajeevan, M., Velicogna, I., and Sutterley, T. C., 2016, Precipitation climatology over India: validation with observations and reanalysis datasets and spatial trends, *Climate Dynamics*, 46(1-2), 541-556.
- Koch, S. E., DesJardins, M., and Kocin, P. J., 1983, An interactive Barnes objective map analysis scheme for use with satellite and conventional data, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22(9), 1487-1503.
- Ono, K. and Kazama, S., 2011, Analysis of extreme daily rainfall in Southeast Asia with a gridded daily rainfall data set, *IAHS Publication*, 344, 169-175.
- Park, J., Kang, M. S., and Song, I., 2012, Bias correction of RCP-based future extreme precipitation using a quantile mapping method for 20-weather stations of South Korea, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 54(6), 133-142 (in Korean).
- Rosbjerg, D., 1997, Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events 2. Regional modeling, *Water resources research*, 33(4), 759-769.
- Shin, J. H., Lee, H. S., and Kwon, W. T., 2010, Projection of future extreme precipitation events over Republic of Korea using a dynamical down-scaling technique: Analysis on change of daily maximum precipitation, *Proceedings of KWRA 2010 Convention*, 258-262 (in Korean).
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... and Midgley, B. M., 2013, *IPCC, 2013: climate change 2013: the physical science basis*, Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- Sung, J. H., Kim, B., Kang, H. S., and Cho, C., 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).
- Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N., and Kitoh, A., 2012, APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(9), 1401-1415.

책임편집: 이경미

영문교열: 이은걸