Daymet와 PRISM을 연계한 월 면적 강수량 추정

Estimation of Monthly Areal Precipitation using Daymet and PRISM

김종필* · 김광섭** · 이우섭***

Kim, Jong Pil · Kim, Gwangseob · Lee, Woo-Seop

Abstract

A mixed model interpolating monthly precipitation linking between Daymet and PRISM(Parameter-elevation Regression on Independent Slope Model) was proposed. And it was applied from January 2006 to December 2010(during 60 months) using 348-AWS(Automatic Weather Station) and 60-ASOS(Automated Synoptic Observing System) in Korea. The estimated monthly precipitation amount was compared with observed records at total 408 weather stations using the Jackknife validation method. The results indicated that the model reflected sufficiently well the spatial distribution pattern of the monthly precipitation. However, it was underestimated when the maximum precipitation at a target station occurred in the influence circle. This is the systematic error of the model based on a statistical technique and will get solved through the calibration of model parameters.

Key words : areal precipitation, Daymet, PRISM, statistical downscaling

요 지

본 연구에서는 Daymet 모형과 PRISM 모형을 기반으로 한 새로운 면적 강수량 추정 모형을 제시하였으며, 전국 348개 자동기상관측장비와 60개 종관기상관측시스템의 강수 관측자료를 이용하여 2006년 1월부터 2010년 12월까지 총 60개월에 대한 월 면적 강수량을 산정하였다. 또한 Jackknife 방법을 적용하여 408개 관측지점의 강수 관측치와 추정치를 비교하였다. 비교 결과, 강수의 공간 분포 패턴은 비교적 잘 묘사하고 있으나, 영향반경 내 관측지점 중 최대 강수량이 발생할 경우에는 다소 과소 추정되는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 통계적 기법을 기초로 하는 모형의 특성 때문에 발생하는 현상으로, 향후 모형 매개변수들의 보정을 통하여 어느 정도 개선될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 면적 강수량, Daymet, PRISM, 통계적 상세화

1. 서 론

최근 원격탐사를 이용한 측량기술의 발달로 고해상도 지형 정보 생산이 가능해졌으며, 컴퓨터 성능의 향상으로 방대한 자료처리가 가능해지고 계산속도 또한 개선되었다. 또 이렇게 개선된 자원을 심분 활용할 수 있는 분포형 수문모형 개발과 관련된 연구가 활발히 수행되고 있다(Liu and Todini, 2002; Jinkang et al., 2007; Moretti and Montanari, 2007; Wang et al., 2011; 박진혁과 허영택, 2008; 최윤석 등, 2008; 김병식 등, 2010; 홍우용 등, 2010; 배덕효와 이병주, 2011; 이민호와 유동훈, 2011). 격자형 면적 강수자료는 분포형 수문모형에서 가장 중요한 입력자료 중 하나로서, 유역에 대한 유출량 모의결과의 정확성을 좌우한다. 하지만 지형자료의 경우 수십 m의 고해상도 자료가 구축되어 활용되고 있는데 비해서 강수나 기온 등과 같은 기상자료는 시공간적으로 고해

상도의 관측자료를 획득하는데 한계가 있다. 현재 우리나라에서는 450여개 지점 이상의 자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS)와 76개 지점의 종관기상관측시스템(Automated Synoptic Observing System, ASOS)을 통하여 기상관측이 이루어지고 있으며, 이들의 공간적 위치를 고려할 경우 대략 12 km 해상도의 기상관측망을 확보하고 있다고 할 수 있다. 이는 다른 나라들에 비해 상당히 고해상도의 관측자료를 생산할 수 있음을 의미하지만 여전히 이를 활용하는 사용자들의 요구를 충족시키지는 못하고 있다(김맹기 등, 2012).

최근 들어 기상레이더로부터 추정된 강수량 자료를 이용하여 분포형 수문모형 적용과 관련된 연구(Carpenter et al., 2001; Vieux, 2004; Bonnifait et al., 2009; 김원일 등, 2008)나 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) 위성으로부터 생산된 강수 추정치를 이용한 수문모형 적용과

*정회원 · (재)APEC 기후센터 연구원(E-mail : jpkim@apcc21.org)

**정회원 · 경북대학교 공과대학 건축토목공학부 교수(교신저자)

*** (재)APEC 기후센터 선임연구원

관련된 연구(Li et al., 2009; Li et al., 2012)가 활발히 수행되고 있다. 그러나 이러한 원격탐사기술을 이용하여 추정된 강수는 지상 우량계로 관측된 강수량과 차이가 있어 편의 보정(bias correction) 등의 전처리가 요구된다.

이러한 문제를 극복하기 위한 대안으로 지상 관측망 자료를 이용한 통계학적 상세화(statistical downscaling) 기법을 고려할 수 있다. 미국 오리건(Oregon) 주립대학교에서는 이미 고도, 거리, 경사향(topographic aspect), 해양도(coastal proximity) 등과 기후인자 사이의 관계식을 이용하여 고해상도 기후자료를 생산할 수 있는 PRISM(Parameter-elevation Regression on Independent Slopes Model) 모형을 개발하여 적용한 바 있다(Daly et al., 1994; 2002; 2008). 또 PRISM 모형과 함께 미국에서 많이 사용되는 고해상도 격자형 기후자료 추정 모형으로 Daymet(Thorton et al., 1994) 모형이 있다. Daymet 모형도 PRISM 모형과 마찬가지로 고도와 기후인자 사이의 회귀식을 기초로 하고 있으나, PRISM은 지식기반(knowledge-based)의 모형으로 주로 기후인자들의 월자료 추정에 초점을 맞추고 있고 Daymet의 경우 통계기반의 모형으로 주로 일자료 추정에 초점을 두고 있다(Scully, 2010). 그 밖에도 Hijmans et al.(2005)은 호주국립대학에서 개발한 ANUSPLIN-SPLINA를 이용하여 전 지구 기후자료를 생산하여 제공하고 있으며, Guan and Wilson(2005)은 강수량의 공간적인 공분산 구조(spatial covariance structure)와 지형의 영향 그리고 대기효과를 함께 고려할 수 있는 ASODeK (Auto-Searched Orographic and Atmospheric Effects Detrended Kriging)를 제안한 바 있다.

국내에서는 홍기옥 등(2007)이 우리나라에 대한 적용성을 높이기 위하여 PRISM 모형을 개선한 K(Korean)-PRISM 모형을 제안하였으며, 이를 이용하여 5 km×5 km의 격자형 기온자료를 추정하였다. 또한 신성철 등(2008)도 K-PRISM 모형을 이용하여 2001년부터 2005년까지 5년 동안에 대한 5 km×5 km의 격자형 강수량을 추정한 바 있다. 박노옥과 장동호(2008)는 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)과 다변량 크리깅(multivariate kriging)을 이용하여 제주도 지역의 월평균기온과 월강수량 분포도를 작성하였다. 엄명진과 정창삼(2011)은 강원도 지역의 66개 기상관측소 자료를 이용하여 지역빈도해석을 수행하였으며, 이를 PRISM 모형에 적용하여 강원도 지역 내 확률강우량의 공간분포를 예측하고자 하였다.

선행 연구들은 기후자료의 공간적 상세화를 위하여 주로 강수와 고도와의 상관관계 및 관측지점과 계산격자점과의 거리에 기초를 두고 있다. 그 중에서도 PRISM 모형은 앞서 언급한 바와 같이 고도 외에도 거리, 경사향, 해양도 등에 따른 영향을 고려할 수 있다는 장점이 있으며, 우리나라에서

도 어느 정도 그 적용성이 검증된 바 있다(홍기옥, 2007; 신성철, 2008; 엄명진과 정창삼, 2011). 그러나 특정 영향변경을 설정하고 그 반경 내에 위치한 관측자료만을 참조하기 때문에 관측자료의 공간적 분포 밀도가 불규칙한 영역에 대한 적용에는 다소 무리가 따른다. 또 Daymet 모형은 관측자료의 공간 분포 밀도를 고려하여 영향반경을 조정하도록 설계되어 있으나, 고도, 경사향, 해양효과 등의 지형적인 특성을 고려하지는 못한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 PRISM 모형과 Daymet 모형의 장점을 반영할 수 있도록 새롭게 면적 강수량 추정모형을 구축하였으며, 개발된 모형을 이용하여 우리나라에 대한 1 km×1 km의 고해상도 면적 강수량 자료를 생산하고자 하였다.

2. 자료 및 연구방법

2.1 기상자료 및 지리정보 자료

2.1.1 지형 자료

USGS(United States Geological Survey)의 EROS(Earth Resources Observation and Science) 센터에서는 공간정보 사용자들의 요구를 충족시키기 위하여 30초(약 1 km) 해상도의 전 지구 표고자료(Global 30-arc second elevation data set, GTOPO30)를 제작하여 제공하고 있다. GTOPO30 자료의 공간적 범위는 전 지구(90°S~90°N, 180°W~180°E)를 대상으로 하고 있으며, 총 21,600행×43,200열로 구성되어 있다. 이 중에서 울릉도와 독도의 경우 섬 내에 설치되어 있는 관측지점의 수가 매우 적고 육지로부터 상당히 떨어져 있어 추

Fig. 1. Digital elevation

Table 1. Designation of coastal proximity considering the elevations of weather stations and horizontal distances from the ocean

Value	Elevation, z	Distance, d	Value	Elevation, z	Distance, d
1	$z \leq 200$ m	$d \leq 10$ km	4	$z > 200$ m	$10 < d \leq 20$ km
2	$z > 200$ m	$d \leq 10$ km	5	$z \leq 200$ m	$d > 20$ km
3	$x \leq 200$ m	$10 < d \leq 20$ km	6	$z > 200$ m	$d > 20$ km

Fig. 2. Topographic aspect

Fig. 3. Coastal proximity

정결과를 왜곡시킬 우려가 있는 것으로 판단하여 분석 영역에서 제외하였으며, 이들을 제외하고 우리나라에 해당하는 영역(33.11°N~38.61°N, 125.08°E~129.59°E)을 설정하여 DEM을 추출하였다(Fig. 1). 추출된 DEM으로부터 각 격자점을 중심으로 인접한 8개 격자점에서의 표고와 거리를 고려하여 경사도를 계산하고 그 중에서 최급구배 방향을 선택하여 그 격자점에서의 경사향으로 정의하였으며, 다시 북쪽으로부터 시계방향으로 1부터 8까지 값을, 평지의 경우 0을 할당하였다(Fig. 2.). 또 해양의 영향을 반영하기 위하여 각 격자점으로부터 해양까지의 최단거리와 고도에 따라 Table 1을 기준으로 총 6개 범주로 분류하였다(Fig. 3).

2.1.2 강수 관측자료

앞서 언급한 바와 같이 우리나라는 약 450개 지점 이상의 AWS와 76개 지점의 ASOS가 운영 중이다. 그러나 각 관측

Fig. 4. Weather station network

지점의 좌표와 1 km×1 km의 격자형 자료의 좌표는 공간적으로 완전히 일치하지는 않는다. 예를 들면, 섬이나 해안가에 위치한 관측지점은 격자형 자료상에서는 바다에 설치되어 있는 것으로 나타나는 경우가 있다. 이러한 경우에 DEM 자료로부터 그 고도를 파악할 수 없기 때문에 분석에서 제외하였다. 또, AWS의 경우 설치환경에 따라 위치가 자주 변경되는 지점들이 나타났다. 이러한 지점들도 분석의 일관성을 유지하기 위하여 모두 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 GTOPO30 자료상 육지에 해당되며 분석기간 동안 설치 위치가 일정한 곳만을 선택하여, 348개 지점의 AWS와 60개 지점의 ASOS를 포함한 총 408개 지점의 강수 자료만을 활용하였다. Fig. 4는 모형에 적용된 AWS 및 ASOS 관측지점의 위치를 계략적으로 보여주고 있다. 또한 연구에 사용된 강수 자료는 일차적인 품질검사를 거쳐서 생산된 자료이며, 품질검사 과정에 대한 자세한 설명은 홍기욱 등(2007)의 연구를 참조하기 바란다.

2.2 연구방법

본 연구에서 적용된 모형은 PRISM 모형을 기반으로 하고 있으며, 임의의 격자점에서의 강수 추정치는 다음과 같은 가중 회귀식을 통하여 계산된다(Daly et al, 2002; 홍기욱 등, 2007; 신성철 등, 2008; 엄명진과 정창삼, 2011).

$$\hat{p} = \beta_0 \hat{z} + \beta_1 \quad (1)$$

여기서, $\hat{p}$, $\hat{z}$ 는 각각 임의의 격자점에서의 강수 추정치와 고도, β_0 와 β_1 는 가중 회귀계수를 나타낸다.

각 격자점에서의 가중 회귀계수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i (p_i - \bar{p})(z_i - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n \omega_i (z_i - \bar{z})^2}, \beta_1 = \bar{p} - \beta_0 \bar{z} \quad (2)$$

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i p_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i z_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (3)$$

여기서, n 은 영향반경 내 관측자료의 개수이며, ω_i 는 영향반경 내 i 번째 관측자료에 대한 합성 가중치로서 거리, 고도, 경사향, 해양도에 따라 결정된다. p_i 와 z_i 는 각각 영향반경 내에 존재하는 i 번째 관측지점의 강수량과 고도를 나타낸다.

합성 가중치는 다음과 같이 Eq. (4)를 이용하여 계산된다.

$$\omega = (0.8\omega(r) + 0.2\omega(z))^{0.5} \omega(f)\omega(c) \quad (4)$$

여기서, $\omega(r)$ 은 거리에 대한 가중치를, $\omega(z)$ 는 고도에 대한 가중치를, $\omega(f)$ 는 경사향에 대한 가중치를, 그리고 $\omega(c)$ 는 해양도에 대한 가중치를 의미하며, 각각의 요소에 대한 가중치는 다음과 같이 결정된다.

2.2.1 거리에 따른 가중치 결정

강수를 추정하고자 하는 임의의 격자점에 대한 절단 가우스 필터(truncated Gaussian filter)의 일반적인 형태는 다음과 같다(Thornton et al, 1994).

$$\omega(r) = \begin{cases} 0, & \text{if } r > R \\ \exp\left[-\left(\frac{r}{R}\right)^2 \alpha\right] - \exp(-\alpha), & \text{if } r \leq R \end{cases} \quad (5)$$

여기서, $\omega(r)$ 는 임의의 격자점으로부터 관측지점까지의 거리 r 에 대한 함수로 각 관측지점에 할당되는 거리 가중치이며, R 은 격자점에서의 영향반경 그리고 α 는 무차원의 형상 매개변수로서 본 연구에서는 Thornton et al.(1994)에서 제안된 바와 같이 6.25로 설정하였다.

영향반경 R 은 다음과 같은 Eq. (6)~(8)의 반복적인 계산을 통하여 결정되며, 최초 은 사용자가 입력한 값으로 설정된다.

$$\rho = \frac{1}{\pi R^2} \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{\omega} \quad (6)$$

$$\bar{\omega} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R \omega(r) dr = \left(\frac{1-e^{-\alpha}}{\alpha}\right) - e^{-\alpha} \quad (7)$$

$$R = \sqrt{\frac{N^*}{\rho\pi}} \quad (8)$$

여기서, $\bar{\omega}$ 는 영향반경 R 내의 거리에 대한 평균 가중치를, n 은 영향반경 내에 존재하는 관측자료의 개수를 나타낸다. 또, N^* 는 처음부터 마지막 반복계산 전까지는 영향반경 내 관측자료 개수의 2배로, 마지막 계산에서는 관측자료 개수와 동일하게 주어진다.

2.2.2 강수 발생유무 결정

강수의 예측 특히 월 강수량에 비해서 일 강수량을 예측함

에 있어서 강수의 발생유무와 발생 조건 하에서 생성된 강수의 정량적 크기 모두를 예측해야 하기 때문에 매우 복잡하다. Daymet 모형에서는 이러한 강수의 유무를 판단하기 위하여 다음 식과 같이 간단한 확률개념을 이용한다.

$$POP = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i(r) PO_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i(r)}, PO_i = \begin{cases} 0, & \text{if } P_i = 0 \\ 1, & \text{if } P_i > 0 \end{cases} \quad (9)$$

여기서, POP 는 각 격자점에서의 강수 발생 확률, PO_i 는 영향원 내 i 번째 관측지점에서의 강수 발생유무를 나타낸다.

이렇게 계산된 강수 발생 확률은 사용자가 입력한 한계치를 초과할 경우 주어진 격자점에서 강수가 발생한 것으로 정의한다. 본 연구에서는 강수 발생 확률이 0.5를 초과할 경우에 강수가 발생한 것으로 간주하였다.

2.2.3 고도차에 따른 가중치 결정

계산하고자 하는 격자점과 관측지점의 DEM으로부터 그 차이가 클수록 기후특성의 유사성이 낮아진다는 가정 하에 다음 식과 같이 고도차에 따라 가중치를 결정하였다.

$$\omega(z) = \begin{cases} \frac{1}{z_{\min}}, & \text{if } z \leq z_{\min} \\ \frac{1}{z}, & \text{if } z_{\min} < z < z_{\max} \\ 0, & \text{if } z \geq z_{\max} \end{cases} \quad (10)$$

여기서, $\omega(z)$ 는 고도차에 따른 가중치를, z 는 계산하고자 하는 격자점과 관측지점의 고도차를 나타낸다. 또 $z_{\min}$ 과 $z_{\max}$ 는 최소 고도차와 최대 고도차를 의미하며, 각각 100 m와 500 m로 설정하였다.

2.2.4 경사향에 따른 가중치 결정

동일한 경사향을 가지고 있는 격자점 사이에는 비슷한 기후 특성을 가지고 있다는 가정 하에 다음과 같이 경사향에 대하여 가중치를 결정한다.

$$\omega(f) = \begin{cases} 1, & \text{if } f \leq 1 \\ \frac{1}{f}, & \text{if } f > 1 \end{cases} \quad (11)$$

여기서, f 는 계산 격자점과 관측지점 사이의 경사향 차이를 의미하며, f 가 1일 경우, 동일한 경사향을 가질 수도 있고, 최대 180° 차이가 날 수도 있다.

2.2.5 해양도에 따른 가중치 결정

해양의 영향을 고려하기 위하여 해안으로부터의 거리와 고도에 따라 총 6개의 범주로 분류하고 각 범주를 1에서부터 6까지 지수화하였으며, 동일한 범주에 해당되는 격자점에서는 기후 특성이 비슷한 것으로 간주하여 가중치를 높게 설정하였다.

$$\omega(c) = \begin{cases} 1, & \text{if } c = 0 \\ \frac{1}{c}, & \text{if } 0 < c < c_{\max} \\ 0, & \text{if } c \geq c_{\max} \end{cases} \quad (12)$$

여기서, c 는 각 계산 격자점과 관측지점 사이의 해양도 지수의 차이를, $c_{\max}$ 는 최대 해양도 차이를 나타낸다.

3. 모형의 적용 및 검증

강수량 추정에 앞서 Fig. 5와 같이 각 격자점에서 관측자료의 분포밀도를 고려하여 영향반경을 설정하였다. 만약 영향반경을 상수로 취급하게 되면, 분포밀도가 높은 지역과 낮은 지역 사이에 참조할 수 있는 관측자료의 수에서 큰 격차가 발생된다. 또 다른 방법으로 일정한 수의 관측자료를 참조하도록 하면, 강수의 공간적 연속성을 표현할 수 없게 된다는

Fig. 5. Adjustment of influence radius considering local station density at each weather station

단점이 있다(Thorton et al. 1994).

본 연구를 통하여 구축된 강수량 추정모형과 전국 408개 관측지점의 월 강수량 자료를 이용하여 2006년 1월부터 2010년 12월까지 총 5년간(60개월)에 대한 면적 강수량을 추정하였으며, 추정 결과를 객관적으로 평가하기 위하여 Eq. (13)~Eq. (16)과 같이 각 관측지점별 강수 관측치와 추정치 사이의 상관계수(correlation coefficient, CC), 편의(percent bias, PBIAS), 평균절대오차(mean absolute error, MAE) 그리고 평균제곱근오차(root mean square error, RMSE) 등의 통계치를 이용하였다.

$$CC = \frac{\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum (P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum (O_i - \bar{O})^2}} \quad (13)$$

$$PBIAS = \frac{\sum (P_i - O_i)}{\sum O_i} \times 100 (\%) \quad (14)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |P_i - O_i| \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (16)$$

여기서, P_i 와 O_i 는 각 관측지점에서의 강수 관측치와 추정치이며, N 는 전체 관측지점의 개수를 나타낸다.

Fig. 6 and Fig. 7은 관측된 강수량과 모의를 통하여 추정된 결과를 비교한 것이며, 전체 분석기간 60개월 중 대표적으로 2010년 1월과 8월의 추정 결과를 보여주고 있다. 연중 비교적 강수가 적은 1월과 강수가 많은 8월 두 경우 모두 관측치와 추정치의 공간적 분포가 대체로 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 또, Table 2에서 보는 바와 같이 월별 상관계수는 약 0.86~0.96, 편의는 약 (-)2.16~(+)1.22%, 평균

Fig. 6. Spatial distribution of the observed and estimated precipitation in January 2010 (CC=0.831, BIAS=-1.150%, MAE=6.897 mm, RMSE=9.499 mm)

Fig. 7. Spatial distribution of the observed and estimated precipitation in July 2010 (CC=0.827, BIAS=0.359%, MAE=45.870 mm, RMSE=62.494 mm)

Table 2. Statistics of total simulation for monthly precipitation

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
CC	0.86	0.94	0.92	0.92	0.86	0.91	0.92	0.88	0.96	0.86	0.88	0.87
PBIAS(%)	-1.38	-1.00	-0.37	-2.16	-0.62	-0.14	1.22	0.13	0.22	-1.45	-1.66	-1.17
MAE(mm)	6.12	6.92	11.31	12.13	19.01	23.85	61.82	51.90	29.55	11.17	8.36	5.30
RMSE(mm)	10.58	11.22	17.75	18.16	27.58	32.81	86.71	72.58	49.56	18.54	14.62	8.49

Table 3. Statistics of Jackknife validation for monthly precipitation

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
CC	0.78	0.92	0.89	0.87	0.78	0.86	0.88	0.83	0.94	0.76	0.81	0.80
PBIAS(%)	-2.76	-2.72	-1.17	-3.64	-1.33	-0.88	2.07	0.63	0.19	-2.83	-1.22	-2.42
MAE(mm)	7.26	8.26	13.46	14.93	22.79	29.50	74.07	61.42	36.04	13.83	10.01	6.33
RMSE(mm)	12.73	13.59	21.44	23.04	33.11	40.74	102.77	85.45	59.82	23.29	17.72	10.34

절대오차는 5.30~61.82 mm 그리고 평균제곱근오차는 약 8.49~86.71 mm로 관측자료의 변화특성을 비교적 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

그러나 이러한 결과는 각 관측지점의 지형적 특성과 강수량과의 관계식을 기반으로 하고 있는 모형의 성격상 관측지점에서 관측자료의 변화특성을 따르는 것은 당연하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Jackknife 방법(또는 leave-one-out 방법)을 이용하여 모형의 적용성을 분석하였다. 총 408개 관측지점 중 비교하고자 하는 지점을 하나씩 결측(missing)으로 가정하고 407개 지점의 관측자료를 이용하여 모의를 수행하였으며, 이러한 과정은 한 시점에 대해서 전체 관측지점의 개수만큼 반복된다. 다시 말해서, 분석에 사용된 408개 관측지점에 대해서 월 단위로 2006년 1월부터 2010년 12월까지 60개월간, 총 24,480회의 모의를 수행하게 된다. Table 3은 Jackknife 방법을 적용하여 모의한 강수 추정치와 관측치를 비교한 결과로, 월별 상관계수는 약 0.76~0.94, 편의는 약 (-)3.64~(+)2.07%, 평균절대오차는 약 6.33~74.07 mm

그리고 평균제곱근오차 약 10.34~102.77 mm로 나타났다. 이러한 결과는 물론 전체 관측지점을 모두 활용하였을 경우의 결과에는 미치지 못하지만, 김맹기 등(2012)의 연구를 근거로 판단할 때 본 모형이 어느 정도 신뢰할 만한 결과를 보여주는 것으로 생각된다.

또, Fig. 8은 전체 408개 관측지점 중 임의로 서울, 서산, 대전, 추풍령, 부산, 서귀포, 태백, 부여 등 8개 지점에 대하여 관측된 월 강수량 시계열과 강수 추정치 시계열을 비교한 것이다. 서울의 경우 상관계수 약 1.00, 평균제곱근오차 약 34.16 mm, 서산의 경우는 상관계수 약 0.93, 평균제곱근오차 55.25 mm, 대전은 상관계수 약 0.98, 평균제곱근오차 약 28.68 mm, 추풍령은 상관계수 약 0.98, 평균제곱근오차 약 26.95 mm, 부산은 상관계수 약 0.89, 평균제곱근오차 약 68.79 mm, 서귀포는 상관계수 약 0.97, 평균제곱근오차 약 47.78 mm, 태백은 상관계수 약 0.96, 평균제곱근오차 약 41.50 mm 그리고 부여는 상관계수 약 0.97, 평균제곱근오차 약 31.45 mm로 나타났다. 8개 관측지점 중 서산과 부산을 제외한 나머지 6개 지점에서

Fig. 8. Comparison between the observed and estimated monthly precipitation during the period 2006-2010 at (a) Seoul (CC=1.00, RMSE=34.16 mm), (b) Seosan (CC=0.93, RMSE=55.25 mm), (c) Daejeon (CC=0.98, RMSE=28.68 mm), (d) Chupungryung (CC=0.98, RMSE=26.95 mm), (e) Busan (CC=0.89, RMSE=68.79 mm), (f) Seogwipo (CC=0.97, RMSE=47.78 mm), (g) Taebaek (CC=0.96, RMSE=41.50 mm), and (h) Buyeo (CC=0.97, RMSE=31.45 mm).

모두 상관계수 0.96이상, 평균제곱근오차 50 mm미만으로 매우 우수한 추정결과를 보여주었다. 그러나 서산, 부산, 서귀포 등의 관측지점에서 볼 수 있듯이 전체적인 강수의 평균적인 변화특성은 잘 반영하고 있으나, 극값이 발생하는 시점에 대해서는 과소 추정되는 경향이 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존에 개발된 Daymet 모형과 PRISM 모형을 토대로 새로운 면적 강수량 추정모형을 구축하였으며, 이 모형을 통하여 2005년 1월부터 2010년 12월까지 우리나라에 대한 1 km×1 km 해상도의 면적 강수량을 산정하였다. 또, 추정 결과를 검증하기 위하여 Jackknife 방법을 모형에 적용하여 전국 408개 관측지점에 대한 강수 추정치와 관측치를 비교분석하였다. 월 강수량에 대한 모형 적용 결과, 계절적 영향 즉, 강수의 정량적 크기에 관계없이 강수의 공간 패턴을 잘 반영하는 것으로 나타났다. 또, 각 관측지점의 강수

관측치와 추정치 사이의 상관계수, 편의, 평균절대오차, 평균제곱근오차 등의 통계치와 선행연구를 근거로 본 모형이 타당한 추정 결과를 보여주는 것으로 판단할 수 있었다. 하지만 강수의 공간적 분포 특성은 비교적 잘 묘사하고 있으나, 영향반경 내 관측지점 중 최대 강수량이 발생할 경우에는 다소 과소 추정되는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 본 모형이 통계적 기법을 기초로 하고 있어 발생하는 현상으로, 모형 내 매개변수들의 보정을 통하여 어느 정도 개선될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 제시된 모형은 현재 초기 단계에 있으며, 향후 지속적인 연구를 통하여 수자원, 농업, 환경 등 관련 분야에 활용할 수 있는 양질의 강수 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2010학년도 경북대학교 연구교수 연구비로 지원되었습니다.

참고문헌

- 김맹기, 한명수, 장동호, 백승균, 이우섭, 김연희, 김성 (2012) 1km 해상도의 관측 격자자료 생산 기술, *기후연구*, 건국대학교 기후연구소, 제7권, 제1호, pp. 55-68.
- 김병식, 윤선규, 양동민, 권현한 (2010) 격자기반의 개념적 수문 모형의 개발, *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제43권, 제7호, pp. 667-679.
- 김원일, 오경두, 안원식, 전병호 (2008) 레이더 강우자료에 의한 홍수 예보 시스템 연구, *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제41권, 제11호, pp. 1153-1162.
- 박노옥, 장동호 (2008) 수치표고모델과 다변량 크리깅을 이용한 기온 및 강수 분포도 작성, *대한지리학회지*, 대한지리학회, 제43권, 제6호, pp. 1002-1015.
- 박진혁, 허영택 (2008) 홍수유출해석을 위한 운동파기반의 분포형 모형 개발 및 적용, *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제41권, 제5호, pp. 455-462.
- 배덕효, 이병주 (2011) 대유역 홍수예측을 위한 연속형 강우-유출 모형 개발, *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제44권, 제1호, pp. 51-64.
- 신성철, 김맹기, 서명석, 나득균, 장동호, 김찬수, 이우섭, 김연희 (2008) GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 강수량 추정, *Atmosphere*, Vol. 18, No. 1, pp. 71-81.
- 엄명진, 정창삼 (2011) 강원도 지역의 PRISM를 이용한 강우의 공간분포 해석, *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제44권, 제3호, pp. 179-188.
- 이민호, 유동훈 (2011) 확산파에 기초한 분포형 유출모형의 개발 및 적용, *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제44권, 제7호, pp. 553-563.
- 최윤석, 김경탁, 이진희 (2008) 유한체적법을 이용한 격자기반의 분포형 강우-유출 모형 개발, *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제41권, 제9호, pp. 895-905.
- 홍우용, 박근애, 정인균, 김성준 (2010) 분포형 유역 일유출 모형의 개발 및 적용성 검토, *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제30권, 제5B호, pp. 459-469.
- 홍기욱, 서명석, 나득균, 장동호, 김찬수, 김맹기 (2007) GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 기온자료 추정, *Atmosphere*, Vol. 17, No. 3, pp. 255-268.
- Bonnifait, L., Delrieu, G., Lay, M.L., Boudevillain, B., Masson, A., Belleudy, P., Gaume, E. and Saulnier, G.M. (2009) Distributed hydrologic and hydraulic modelling with radar rainfall input: Reconstruction of the 8-9 September 2002 catastrophic flood event in the Gard region, France, *Advances in Water Resources*, Vol. 32, pp. 1077-1089.
- Carpenter, T.M., Georgakakos, K.P. and Sperflage, J.A. (2001) On the parametric and NEXRAD-radar sensitivities of a distributed hydrologic model suitable for operational use, *Journal of Hydrology*, Vol. 253, pp. 169-193.
- Daly, C., Neilson, R.P. and Phillips, D.L. (1994) A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountain terrain, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 33, pp. 140-158.
- Daly, C., Gibson, W.P., Taylor, G.H., Johnson, G.L. and Pasteris, P.P. (2002) A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate, *Climate Research*, Vol. 22, pp. 99-113.
- Daly, C., Halbleib, Smith, J.I., Gibson, W.P., Doggett, M.K., Taylor, G.H., Curtis, J. and Pasteris, P.P. (2008) Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States, *International Journal of Climatology*, Vol. 28, pp. 2031-2064.
- Guan, H. and Wilson, J.L. (2005) Geostatistical mapping of mountain precipitation incorporating autosearched effects of terrain and climatic characteristics, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 6, pp. 1018-1031.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land area, *International Journal of Climatology*, Vol. 25, pp. 1965-1978.
- Jinkang, D., Shunping, X., Youpeng, X., Xu, and Singh, V.P. (2007) Development and testing of a simple physically-based distributed rainfall-runoff model for storm runoff simulation in humid forested basins, *Journal of Hydrology*, Vol. 336, pp. 334-346.
- Li, L., Hong, Y., Wang, J., Adler, R.F., Policelli, F.S., Habib, S., Irwin, D., Korme, T. and Okello, L. (2009) Evaluation of the real-time TRMM-based multi-satellite precipitation analysis for an operational flood prediction system in Nzoia Basin, Lake Victoria, Africa, *Natural Hazards*, Vol. 50, pp. 109-123.
- Li, X.H., Zhang, Q. and Xu, C.Y. (2012) Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin, *Journal of Hydrology*, Vol. 426-427, pp. 28-38.
- Liu, Z. and Todini, E. (2002) Towards a comprehensive physically-based rainfall-runoff model, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 6, No. 5, pp. 859-881.
- Moretti, G. and Montanari, A. (2007) AFFDEF: A spatially distributed grid based rainfall-runoff model for continuous time simulations of river discharge, *Environmental Modelling and Software*, Vol. 22, pp. 823-836.
- Scully, R.A. (2010) *Intercomparison of PRISM and Daymet temperature interpolation from 1980 to 2003*. M.S. thesis, Utah State University, Logan, Utah, U.S.A., pp. 6-8.
- Thorton, P.E., Running, S.W. and White, M.A. (1997) Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain, *Journal of Hydrology*, Vol. 190, pp. 214-251.
- Vieux, B.E. (2004) *Distributed hydrologic modeling using GIS*. ISBN 0-7923-7002-3, Kluwer Academic Publisher, Norwell, Massachusetts, Water Science and Technology Library, Vol. 48, pp. 293.
- Wang, J., Hong, Y., Li, L., Gourley, J.J., Khan, S.I., Yilmaz, K.K., Adler, R.F., Policelli, F.S., Habib, S., Irwin, D., Limaye, A.S., Korme, T. and Okello, L. (2011) The coupled routing and excess storage (CREST) distributed hydrologic model, *Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques*, Vol. 56, No. 1, pp. 84-98.

◎ 논문접수일 : 2012년 09월 19일

◎ 심사위원회일 : 2012년 09월 20일

◎ 심사완료일 : 2012년 10월 15일