강원도 지역의 PRISM를 이용한 강우의 공간분포 해석 Spatial Analysis of Precipitation with PRISM in Gangwondo

엄 명 진* / 정 창 삼**

Um, Myoung-Jin / Jeong, Chang-Sam

Abstract

In this study, the regional factors in Gangwondo were used to analysis the relationship between point precipitation and areal precipitation. The most province area in Gangwondo is consist of mountainous terrain. At the east part of the Taebaek Mountains, the slope is very steep and the coastal plains don't exist. At the west part of the Taebaek Mountains, the slope is mild, there are many rivers, such as South Han-river and North Han-river, and the regions are very complex terrain. The data of 66 stations in Gangwondo and the PRISM (Parameter-elevation Regression on Indepedent Slope Model) were used to estimate the spatial distribution of precipitation. According to the topographic conditions, such as elevation and slope, and the regional conditions, such as Youngdong and Youngseo, the spatial distribution of precipitation is well shown. At the results of cross-validation, the RRBIAS and the RRMSE are under 0.1 and therefore the analysis of the PRISM are well conducted. Consequently the PRISM in this study is a appropriate method to estimate the spatial distribution of precipitation in Gangwondo.

Keywords : areal precipitation, mountainous terrain, PRISM, spatial distribution, cross-validation

요 지

본 연구에서는 강원도의 지역인자를 이용하여 지점 강우량과 면적 강우량의 관계를 파악하였다. 강원도는 면적의 대부분이 산지로 형성된 산악지형이며 태백산맥 동쪽(영동지방)은 경사가 급하여 해안평야의 발달이 취약하고, 태백산맥 서쪽(영서지방)은 경사가 완만하여 남·북한강의 대하천이 발달하고 곳곳에 산지가 분포되어 있는 복잡한 지형이다. 강원도 지역의 확률강우량 공간분포를 산정하기 위하여 강원도 인근의 기상관측소 66개소의 자료를 이용하였으며, 강우의 공간분포를 분석하기위하여 PRISM을 적용하였다. 적용결과를 도시한 결과 지형 조건(고도 및 경사)과 지역적인 조건(영동 및 영서지방, 북한강 지역 및 남한강 지역)에 따라 적절하게 분포된 것으로 나타났으며, 교차검증을 통한 분석결과 RRBIAS 및 RRMSE가 모두 0.1 이하의 낮은 값을 나타내어 PRISM 분석이 적절하게 수행되었음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 적용한 PRISM 모형이 강원도 내 확률강우량의 공간분포를 예측하는데 유용한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 면적강우량, 산악지형, PRISM, 공간분포, 교차검증

* 연세대학교 대학원 토목공학과 박사 (e-mail: movie21@yonsei.ac.kr)

Ph.D., Dept. of Civil Eng., Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

** 교신저자, 인덕대학 토목환경설계과 조교수, 공학박사 (e-mail: csjeong@induk.ac.kr)

Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Civil and Envoronment Design, Induk University, Seoul 139-749, Korea

1. 서론

최근 들어 많은 강우가 곳곳에 발생하여 수해가 발생하고 있다. 국내의 경우 이러한 강우는 대부분 기상청이 레이다나 위성영상 자료 등을 종합적으로 분석하여 예보하지만 상세한 지역 예보는 아직까지는 기술적으로 무리가 있다고 판단된다. 그러나 기존의 강우사상을 분석할 경우에는 보다 상세한 분석을 수행하여야 한다. 지금까지는 지점 강우관측을 통해 지역별 강우량을 판단하고 있지만, 관측소의 지역적 편중이 심하고 국토의 65% 이상을 차지하고 있는 산악지형 등에 의해 강우의 공간적 분포를 분석하기에는 어려운 실정이다. 이로 인하여 수공구조물 설계나 사전재해영향성 평가와 같은 방재 기준 설정에서도 점 단위 강우 자료나 티센다각망 정도의 공간 가중치를 적용한 자료들이 적용되어 과다 설계 및 과소설계 등의 문제를 발생시키고 있는 형편이다. 따라서 산지지역이 대부분을 차지하고 있는 우리나라의 현실에서는 고도와 지역적 특성을 고려한 강우의 공간분포 연구가 시급하다.

강우의 공간분포 연구는 초기에는 주로 고도와 강우량의 관계를 파악하는 것에서 시작하였으나 Spreen (1947)과 Schermerhorn (1967) 등에 의해 지형인자들과 강우량과의 연관성을 파악하는 연구가 시작되었다. 대규모 지역의 지형영향인자들과 연평균 강우와의 상관성은 Basist et al. (1994)에 의해 연구되었으며, 이후 좀 더 세밀한 지역의 지형인자에 따른 강우량의 변화에 대한 연구도 활발하게 수행되었다 (Wotling et al., 2000; Marquinez et al., 2003). 강우 패턴에 대한 지형인자의 물리적 영향을 해석하기 위한 격자기반의 연구도 수행되었다 (Peck and Schaake, 1990; Daly et al., 1994).

국내에서도 최근 들어서 강우의 공간분포를 고려하는 연구가 수행되고 있다. 유철상 등 (2004)은 한강유역에서 고도와 강우량과의 관계를 선형 및 비선형 회귀분석으로 분석하였으나 강우와 고도와의 관계가 미미한 것으로 주장하였다. 엄명진 등 (2007) 및 윤혜선 등 (2009)는 제주도에 대하여 다중회귀분석 등을 통하여 지형요소와 강우량의 관계를 해석하였다. 엄명진 등 (2009) 및 정창삼 등 (2009)은 강원도 지역에 대하여 군집분석 및 지역빈도해석을 통하여 강우분포를 공간적으로 분석하였다. 또한, 기상학 분야에서는 IDW 또는 Kriging 기법 등을 이용하여 기후요소들의 공간분포를 해석해오다가 최근들어 Daly et al. (1994)가 제안한 PRISM (Parameter-elevation Regression on Independent Slope Model)을 도입하여 기온 및 연강우량의 공간분포를 연구하였다 (홍기욱 등, 2007; 신성철 등, 2008; 정유란 등, 2009).

본 연구에서는 대상지역으로 2002년 루사, 2003년 매미

등과 같은 대형 태풍 내습 시 수많은 재산 및 인명 피해가 발생한 강원도를 선정하였다. 엄명진 등 (2009)에 의하면 강원도는 동절기에는 북쪽에서 발생하는 고기압 (시베리아 고기압, 오호츠크해 고기압 등)의 영향을 받고 하절기에는 남쪽에서 발생하는 해양성 기후 (북태평양 고기압, 온대성 저기압, 태풍 등)의 영향으로 강우의 계절적 불균형이 발생하고 있으며 면적의 대부분이 산악지형으로 태백산맥이 남북방향으로 형성되어 영동지방과 영서지방으로 분리하고 있으며 강원도 중부지역에는 차령산맥이 북동쪽에서 남서방향으로 형성되어 있어 강원도 북부와 남부의 기후에 영향을 주고 있어 강우의 공간분포를 예측하기 매우 어려운 조건을 지니고 있다. 그리고 강원도의 복잡한 지형에 의하여 일부 지역에서만 고도에 따른 산악형 강우 특성이 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 고도뿐만 아니라 주위 관측소, 방향면, 수원 등의 가중인자를 고려할 수 있는 PRISM을 강원도에 적용하여 강우량의 공간분포를 분석하기로 하였으며, 일반적인 분석 자료인 연강우량이 아닌 확률강우량을 대상으로 분석하여 활용도를 높이고자 하였다. 여기서 확률강우량은 지역빈도해석기법인 지수홍수법을 적용하여 산정하였다.

2. 이론분석

2.1 지역빈도해석

일반적으로 자료 보유 기간이 짧은 경우 지점빈도해석을 적용하는데 많은 문제점이 발생한다. 이러한 점을 극복하고 또한 좀 더 정확한 확률 수문량을 산정하기 위해서 Hosking and Wallis (1997)은 관측지점 주변의 자료를 이용할 수 있도록 지역빈도해석을 제안하였다. 지역빈도에 사용되는 여러 지점의 자료는 동일한 지역의 자료로 각 지점별로 규모는 다르지만 동일한 분포형으로부터 추출된 자료로 간주하여, 각 지역에 적합한 확률분포형을 선정하는데 이용된다. 특히, 본 연구에서 사용된 지수홍수법은 서로 다른 자료 표본들로부터 대표 통계량을 도출하는데 유용한 방법이다.

N 개의 지점을 보유한 지역에서 자료개수 n_i 를 갖는 지점 i 에 대하여 $Q_{i,j}, j=1, \dots, n_i$ 의 관측자료를 보유하고 있다고 가정하자. 여기서, $Q(F)$ ($0 \leq F \leq 1$)는 지점 i 에서 quantile 함수를 나타내며, 동일한 지역에 대해 quantile은 Eq. (1)과 같이 계산된다.

$$Q_i(F) = \mu_i q(F), \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

여기서, μ_i 는 지수홍수 (index-flood)로서 각 지점의 개별 규모함수이다.

2.2 면적강우량 산정방법

강우현상은 다른 기상요소(온도, 바람 등)와 달리 시공간적으로 연속적인 현상이 아니므로 다른 요소들에 비해 훨씬 큰 공간 변이를 가진다. 따라서 지점 강우 자료로부터 면적 강우 자료로 변환하는 다양한 기법들이 제안되어 왔다. 이러한 기법 들은 등우량선도와 Thiessen network 같은 작도법 (graphical method), 관측된 강우량과 고도, 경사 방향 등 관측점의 지형 특성 간 상관을 이용하는 지형통계법 (topographical method), 거리역산가중 (inverse distance weighting, IDW)과 Kriging과 같은 공간내삽법 (spatial interpolation) 등으로 구분할 수 있다 (정유란 등, 2009).

본 연구에서는 Daly et al. (1994)가 제안한 PRISM을 적용하여 강원도의 확률강우량 공간분포를 추정하기로 하였다. 미국에서는 격자형 기후자료의 필요성을 인식해 15년 전부터 PRISM을 이용한 기후 요소의 시공간 자료를 제공하고 있다. PRISM은 고도, 산악의 경사방향, 거리, 해양도 등을 이용하여 기후자료를 공간분포 시킬 수 있는 기법으로 수많은 연구를 통하여 그 유용성을 검증한 방법 이다 (Daly et al., 2002; Schwarb et al., 2001; Matthew et al., 2004). PRISM은 Eq. (2)와 같이 나타나며, 종속변수로 기후요소 (강우량, 온도 등), 독립변수로 관측소의 고도를 사용하고 각 격자별로 회귀모형을 구하는데 이를 위해 가중최소자승법을 적용한다.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_1 \hat{x} + \hat{\beta}_0 \quad (2)$$

여기서, $\hat{y}$ 는 종속변수 (강우량), $\hat{x}$ 는 독립변수 (고도), $\hat{\beta}_0$ 및 $\hat{\beta}_1$ 는 회귀계수이며 Eq. (3)과 같이 산정한다.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum w_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum w_i (x_i - \bar{x})^2}, \quad \hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (3)$$

여기서, $\bar{x} = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i}$, $\bar{y} = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i}$, w_i 는 격자별 가중계수로 Eq. (4)와 같다.

$$W = [F_d W(d)^2 + F_z W(z)^2]^{1/2} W(f) W(p) \quad (4)$$

여기서, F_d 는 거리가중치계수 0.8, F_z 는 고도가중치계수 0.2이며, $W(d)$, $W(z)$, $W(f)$ 및 $W(p)$ 는 각각 거리 가중치, 고도 가중치, 지향면 가중치 및 해안 가중치이다.

2.2.1 거리 가중치

강우의 유사성은 일반적으로 두 지점 사이의 거리가 멀어질수록 낮아지는데 이를 Eq. (5)와 같이 거리의 역제곱으로 나타내어 표현한다.

$$W(d) = 1, \quad d \leq 1 \\ W(d) = 1/d^a, \quad d > 1 \quad (5)$$

여기서, d 는 격자점과 관측소와의 거리 (km)이며 영향반경 내에 위치한 관측소들에 대해서만 산정하고, a 는 IDW와 같은 2이다.

2.2.2 고도 가중치

격자점과 관측소사이의 고도차가 커질수록 강우간의 유사성이 떨어지는 것을 이용하며, 일정 임계 고도차이상을 초과하면 유사성이 없는 것은 간주한다. 고도가중치는 Eq. (6)과 같이 나타낸다.

$$W(z) = 1, \quad \Delta z \leq \Delta z_m \\ W(z) = \frac{\Delta z_m}{\Delta z^b}, \quad \Delta z_m < \Delta z < \Delta z_x \\ W(z) = 0, \quad \Delta z \geq \Delta z_x \quad (6)$$

여기서, Δz 는 격자점과 관측소와의 고도차 (m), Δz_m 은 최소고도차 200 m, Δz_x 은 최대고도차 1500 m이고, b 는 1이다.

2.2.3 지향면 가중치

지향면은 원형상, 강우 그림자 등 국지적인 기후 특성에 많은 영향을 준다. 지향면은 8개 방향으로 구분하며, 동일 지향면일 경우에 가중치를 높게 주었으며, 격자와 관측소간의 장애물도 고려하여 가중치를 Eq. (7)과 같이 산정하였다.

$$W(f) = 1, \quad \Delta f \leq 1 \text{ and } B = 0 \\ W(f) = \frac{1}{(\Delta f + B)^c}, \quad \Delta f > 1 \text{ or } B > 0 \quad (7)$$

여기서, Δf 는 격자점과 관측소와의 지향면차, B 는 격자점과 관측소간의 장애물 수이다.

2.2.4 해안 가중치

해안 또는 큰 강으로부터의 거리는 수분을 공급하는 측면에서 강우에 많은 영향을 주는 인자 이다. 따라서 격자점과 관측소간의 해안으로부터의 거리는 강우량 산정에 가중치로서 반영되며, Eq. (8)과 같다.

$$W(p) = 1, \quad \Delta p = 0 \\ W(p) = \frac{1}{\Delta p^v}, \quad 0 < \Delta p \leq p_x \\ W(p) = 0, \quad \Delta p > p_x \quad (8)$$

여기서, Δp 는 격자점과 관측소와의 해양도차, p_x 는 최대 해양도차이다.

3. 대상지역 및 강우자료

3.1 대상지역

강원도는 면적의 대부분이 산지로 형성된 산악지형이며 태백산맥 동쪽(영동지방)은 경사가 급하여 해안평야의 발달이 취약하고, 태백산맥 서쪽(영서지방)은 경사가 완만하여 남·북한강의 대하천이 발달하고 곳곳에 산지가 분포되어 있다. 일반적인 기상특성을 보면 영동지방은 동해와 접하고 있어 해양성기후에 가까운 기상특성을 많이 보이고 있는 반면, 영서지방은 내륙에 위치해 있어 대륙성기후에 가까운 특성을 보이고 있다. 또한 산맥의 정상부를 중심으로 한 산악지방은 산악기후의 특성을 가지고 있어 복잡한 기상현상을 나타내고 있다(강원도청, 2009). 강원도 지역의 고도 및 경사도를 분석한 결과, Fig. 1과 같이 고도 300m 이하는 29.09%, 고도 300~500m는 23.91%, 고도 500~1000m는 41.91%, 고도 1000m 이상은 5.09%

Fig. 1. Elevation and Slope in Gangwon-do

로 나타났으며, 경사 10도 이하는 22.29%, 경사 10~20도는 34.63%, 경사 20~30도는 32.67%, 경사 30도 이상은 10.21%로 나타났다. 본 연구에서는 강원도 북부 지역은 북방한계선과 밀접하여 수치지도를 취득할 수 없어 CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org>) 자료를 이용하여 고도 및 경사를 분석하였으며 격자간격은 100m를 적용하였다.

3.2 강우자료

기상청은 강원도 내 관측소로 총 79개소(지상기상관측소 12개소, AWS (Auto Weather Station) 67개소)를 설치하여 운영하고 있으나, 본 연구에서는 2008년 자료까지 사용하였으며, 자료기간이 7년 미만인 곳을 제외한 지상관측소 11개소 및 AWS 55개소(총 66개소)의 시우량 자료를 사용하였다. 본 연구에 적용된 관측소의 분포도는 Fig. 2와 같다. 원덕 관측소는 강원도 DEM 밖에 위치하나 강원도 동남단의 관측소 밀도를 고려하여 본 연구에 포함시켰다.

4. 결 과

4.1 확률강우량 산정

본 연구에서는 확률강우량을 산정하기 위해서 강원도 내 기상청 관할 관측소중 자료기간이 7년 이상인 곳을 대상으로 선정하였으며, 확률강우량 산정결과는 엄명진 등(2009) 및 정창삼 등(2009)의 연구결과를 활용하였다. 선정된 관측소는 지상관측소 11개소와 AWS 55개소(총 66개소)이다. 각 관측소의 1시간, 6시간, 12시간, 24시간의 지속기간 4개에 대한 연 최대값 시계열 자료를 구축하여

Fig. 2. The Weather Stations in Gangwon-do

Fig. 3. The Precipitation Regions in Gangwon-do

지역빈도해석을 실시하였다. 지역구분은 K-means 방법을 이용하여 Fig. 3과 같이 5개 지역으로 구분하였다.

적정 분포형 선택하기 위하여 Generalized Logistic (GLO), Generalized Extreme Value (GEV), Generalized Normal (GNO), Pearson Type III (PTIII), Generalized Pareto (GPA) 등의 5가지 확률분포형을 적용하여 모수를 추정하고 적합도 검정을 수행하였다. Table 1과 같이 지속기간별 적합성 척도를 비교한 결과 GLO 분포형이 각 지역의 지속기간별에 대하여 적합도 척도 ($|Z_{DIST}| \leq 1.64$)를 대부분 만족시키는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 강원도 지역에 대하여 GLO 분포형을 이용하여 확률강우량을 산정하여 Table 2에 각 지역별 성장 곡선 값과 GLO 분포형의 모수를 정리하였다.

Table 1. Summary of Goodness-fit-measure

Duration		1hr	6hr	12hr	24hr
Region I	GLO	<u>-0.13</u>	<u>-0.09</u>	<u>-0.64</u>	<u>-0.57</u>
	GEV	<u>-1.06</u>	<u>-0.86</u>	<u>-1.59</u>	-1.71
	GNO	<u>-1.45</u>	<u>-1.37</u>	-1.93	-1.90
	PTIII	-2.15	-2.27	-2.57	-2.36
	GPA	-3.33	-2.87	-3.86	-4.25
Region II	GLO	<u>-1.18</u>	<u>0.27</u>	<u>0.10</u>	<u>1.28</u>
	GEV	-2.37	<u>-0.63</u>	<u>-0.79</u>	<u>0.25</u>
	GNO	-2.20	<u>-0.74</u>	<u>-0.89</u>	<u>0.19</u>
	PTIII	-2.26	<u>-1.03</u>	<u>-1.19</u>	<u>-0.08</u>
	GPA	-4.67	-2.60	-2.72	-1.95
Region III	GLO	<u>-1.30</u>	<u>-0.03</u>	<u>-1.32</u>	<u>-1.13</u>
	GEV	-2.27	<u>-0.99</u>	-2.23	-1.97
	GNO	-2.46	<u>-1.22</u>	-2.46	-2.25
	PTIII	-2.88	-1.70	-2.93	-2.79
	GPA	-4.44	-3.18	-4.33	-3.94
Region IV	GLO	-1.95	<u>-1.18</u>	<u>-1.31</u>	<u>-0.48</u>
	GEV	-2.86	-2.07	-2.37	<u>-1.45</u>
	GNO	-3.18	-2.40	-2.58	-1.73
	PTIII	-3.78	-3.03	-3.04	-2.28
	GPA	-5.02	-4.20	-4.76	-3.70
Region V	GLO	<u>-1.64</u>	<u>-0.86</u>	<u>-0.64</u>	<u>0.21</u>
	GEV	-2.40	<u>-1.54</u>	<u>-1.51</u>	<u>-0.84</u>
	GNO	-2.72	-1.92	-1.75	<u>-0.99</u>
	PTIII	-3.30	-2.59	-2.23	<u>-1.36</u>
	GPA	-4.25	-3.25	-3.52	-3.16

Table 2. Estimated GLO Distribution Parameters and Regional Growth Curve Estimates for Interested Durations (1-, 6-, 12- and 24-hour) and 100 Return-period Year

Region	Duration	GLO distribution parameters			Regional growth curve estimates for the 100 return-period year
		Shape	Scale	Location	
I	1 h	-0.2402	0.1993	0.9157	2.588
	6 h	-0.2402	0.1993	0.9157	2.801
	12 h	-0.2287	0.2078	0.9168	2.607
	24 h	-0.1852	0.2183	0.9308	2.513
II	1 h	-0.0723	0.1694	0.9797	1.903
	6 h	-0.1703	0.2007	0.9418	2.341
	12 h	-0.1708	0.1972	0.9427	2.319
	24 h	-0.1525	0.2081	0.9464	2.332
III	1 h	-0.1925	0.1722	0.9430	2.215
	6 h	-0.2029	0.1722	0.9397	2.247
	12 h	-0.2054	0.1772	0.9371	2.292
	24 h	-0.2257	0.1917	0.9244	2.471
IV	1 h	-0.2278	0.1750	0.9303	2.351
	6 h	-0.2331	0.1867	0.9237	2.460
	12 h	-0.1922	0.1866	0.9384	2.315
	24 h	-0.2144	0.2108	0.9215	2.572
V	1 h	-0.2407	0.1948	0.9174	2.554
	6 h	-0.2672	0.2034	0.9027	2.740
	12 h	-0.2124	0.2015	0.9258	2.494
	24 h	-0.1752	0.2125	0.9365	2.437

4.2 면적강우량 산정

지역빈도해석으로 산정된 확률강우량 값을 관측값을 간주하고 PRISM을 적용하여 강원도 지역의 강우 공간분포를 산정하였다. 대부분의 인자 산정 시 PRISM에서 제안된 방법을 적용하였으나 장애물 산정 시 Daly et al. (2002)는 대상 격자점과 관측소간의 직선에 위치한 격자점들과 관측소의 지향면차가 2 이상일 경우 장애물로 간주하였으나, 본 연구에서는 직선위의 격자점들이 연속적으로 장애물로 간주될 수 있기 때문에 장애물 수가 과대하게 산정되는 것을 방지하기 위해서 대상 격자점과 관측소 사이의 거리 1km마다 장애물이 하나 존재한다고 가정하였다. 또한 강원도는 태백산맥을 기준으로 좌우로 영동지방과 영서지방으로 나뉘며 강우도 확연히 다르게 나타나므로 영동지방의 해양도를 0, 영서지방의 해양도를 3으로 가정하였다. 그리고 가중회귀식 산정 시 격자점마다

최소 3개 이상의 관측소를 포함하는 반경인 40km를 영향반경으로 설정하였다.

산정 결과는 재현기간 100년에 대하여 지속기간 1, 6, 12 및 24시간에 대하여 Fig. 4에 도시하였다. 지속기간 1시간의 경우 영동지방의 연곡 및 설악동 인근과 영서지방의 두촌 인근에서 확률강우량이 크게 나타났고, 북한강 지역 중 철원, 사내 인근과 남한강 지역 중 하장, 상동 인근에서는 확률강우량이 작게 나타났다. 지속기간 6시간의 경우 영동지방의 연곡 및 설악동 인근이 확률강우량이 크게 산정되었으며, 북한강 지역이 남한강 지역보다 확률강우량이 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 경향은 지속기간 12시간 및 24시간에 대하여도 유사하게 나타났다. 그리고 지속기간이 길어질 경우 고도가 높아질수록 큰 확률강우량이 분포하며, 영동지방이 영서지방보다 큰 확률강우량을 나타냈다.

본 연구에서는 Fig. 4에서 산정된 확률강우량 분포의

Fig. 4. The Map of Quantile with the PRISM

Table 3. The Test Statistics between the Estimated Values of PRISM and the Values of Regional Frequency Analysis When the Each Station was Excluded from the Database

Duration (hr)	BIAS	RMSE	RBIAS	RRMSE
1	-0.453705	2.030685	-0.004448	0.023910
6	0.319089	6.377545	0.003075	0.023552
12	0.527181	9.945996	0.003273	0.027160
24	2.020529	16.025420	0.005698	0.034896

정확도를 검증하기 위하여 Eqs. (9)~(12)를 이용하였다. 검증 방법은 2가지로 수행하였다. 첫 번째, 각 관측소를 하나씩 제거하고 그 관측소에 대한 PRISM 추정값과 지역빈도해석 값을 비교분석하였고, 두 번째, 모든 관측소를 이용하여 PRISM으로 확률강우량을 추정된 값과 지역빈도해석 값을 비교분석하였다. 각각의 분석결과는 Fig. 5 및 Table 3, Fig. 6 및 Table 4에 나타내었다.

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (10)$$

$$RBIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i - O_i}{O_i} \quad (11)$$

Fig. 5. The Comparisons with the Estimated Values of PRISM and the Values of Regional Frequency Analysis When the Each Station Was Excluded from the Database

Table 4. The Test Statistics between the Estimated Values of PRISM and the Values of Regional Frequency Analysis When the All Stations were Applied

Duration (hr)	BIAS	RMSE	RBIAS	RRMSE
1	0.008144	0.066171	0.000096	0.000787
6	-0.006136	0.049854	-0.000019	0.000157
12	-0.002117	0.017197	-0.000005	0.000041
24	-0.028269	0.229683	-0.000052	0.000422

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i - O_i}{O_i} \right)^2} \quad (12)$$

여기서, P_i 는 각 관측소의 추정값, O_i 는 각 관측소의 관측값(지역빈도해석 값)을 나타내며, n 은 표본의 총수이다.

Table 3은 각 관측소를 하나씩 제외하고 그 관측소에 대한 PRISM 예측 값과 관측 값(지역빈도해석 값)을 비교하였을 경우의 검정 통계치이며, Fig. 5는 그 값들을 도시한 것이다. 그리고 Table 4는 모든 관측소를 이용하여 PRISM으로 예측한 값과 지역빈도해석 값을 비교했을 경우의 검

정 통계치이며, Fig. 6은 그 값들을 도시한 것이다. 각 관측소를 하나씩 제거하였을 경우는 RBIAS가 -0.004448~0.005698, RRMSE는 0.023552~0.034896으로 나타났으며, 대상 지속기간에 대하여 대부분의 관측소가 예측값과 관측값이 유사하게 도시된 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 적용한 PRISM을 교차 검증한 결과 그 정확도가 매우 우수한 것으로 판단된다. 또한 모든 관측소를 적용하여 예측한 경우에는 보다 작은 RRBIAS (-0.000052~0.000096) 및 RRMSE (0.000041~0.000787)를 나타냈으며 예측값과 관측값이 매우 유사하게 도시되었다.

(a) 100 yr-1 hr

(b) 100 yr-6 hr

(c) 100 yr-12 hr

(d) 100 yr-24 hr

Fig. 6. The Comparisons with the Estimated Values of PRISM and the Values of Regional Frequency Analysis When the All Station were Applied

5. 결 론

본 연구에서는 강원도의 지역인자를 이용하여 지점 강우량과 면적강우량의 관계를 규명하고자 하였다. 또한, 그 활용성을 높이기 위하여 지점빈도해석을 통한 확률강우량을 산정하여 분석에 적용하였다. 이를 위하여 강원도 인근의 기상관측소 66개소의 자료를 이용하였으며, 강우의 공간분포를 분석하기 위하여 PRISM을 적용하였다. 그 분석 결과들은 다음과 같다.

1. 지역빈도해석 결과 강원도는 5개의 강우지역으로 구분되었으며, GLO 분포형이 최적 분포형으로 선정되었다.
2. PRISM으로 확률강우량을 도정한 결과 지형 조건(고도 및 경사)과 지역적인 조건(영동 및 영서지방, 북한강 지역 및 남한강 지역)에 따라 적절하게 분포된 것으로 나타났다.
3. 교차검증 등을 통하여 산정결과를 분석하였는데 RRBIAS 및 RRMSE가 모두 0.1 이하의 낮은 값을 나타내어 PRISM 분석이 적절하게 되었음을 알 수

있었다.

따라서 본 연구에서 적용한 PRISM 모형이 강원도 내 확률강우량의 공간분포를 예측하는데 유용한 것으로 판단된다. 그러나 추후 적용인자들에 대한 민감도 분석 및 추가 적용인자들에 대한 검토가 필요하며, 고도 및 지역에 따른 기상 관측소의 보강 시보다 정확한 예측이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원(09-지역기술혁신 B-01-02, 수충부 및 토석류 방재기술 연구사업)에 의해 추진되었습니다.

참고문헌

강원도청 (2009). 자연환경, <http://www.provin.gangwon.kr>, 2009년 9월 접속.
신성철, 김맹기, 서명석, 나득균, 장동호, 김찬수, 이우섭,

- 김연희 (2008). "GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 강수량 추정." **한국기상학회논문집**, 제18권, 제1호, pp. 71-81.
- 엄명진, 조원철, 임해욱 (2007). "지속시간 및 표고에 따른 강수량 보정에 관한 연구." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제7호, pp. 511-521.
- 엄명진, 정창삼, 조원철 (2009). "공간분석을 이용한 강원도 지역의 강수분포 분석 (I)." **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제9권, 제5호, pp. 103-113.
- 유철상, 전경수, 김기욱 (2004). "한강유역 강수의 산지효과 추정 - I. 회귀분석 -." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제1B호, pp. 33-39.
- 윤혜선, 엄명진, 조원철, 허준행 (2009). "지역빈도해석 및 다중회귀분석을 이용한 산악형 강수해석." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제42권, 제6호, pp. 465-480.
- 정유란, 윤경담, 조경숙, 이재현, 윤진일 (2009). "복잡지형 고해상도 격자망에서의 PRISM 기반 강수추정법." **한국농림기상학회논문집**, 한국농림기상학회, 제11권, 제2호, pp. 72-78.
- 정창삼, 엄명진, 허준행 (2009). "공간분석을 이용한 강원도 지역의 강수분포 분석 (II)." **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제9권, 제6호, pp. 99-109.
- 홍기욱, 서명식, 나득근, 장동호, 김찬수, 김맹기 (2007). "GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 기온자료 추정." **한국기상학회논문집**, 한국기상학회, 제17권, 제3호, pp. 255-268.
- Basist, A., Bell, G.D., and Meentemeyer, V. (1994). "Statistical relationships between topography and precipitation patterns." *Journal of Climate*, Vol. 7, No. 9, pp. 1305-1315.
- Daly, C., Neilson, R.P., and Phillips, D.L. (1994). "A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 33, No. 2, pp. 140-158.
- Daly, C., Gibson, W., Taylor, G., Johnson, G., and Pasteris, P. (2002). "A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate." *Climate Research*, Vol. 22, pp. 99-113.
- Hosking, J.R., and Wallis, J.R. (1997). "Regional Frequency Analysis: An Approach based on L-Moments." Cambridge University Press.
- Marquinez, J., Lastra, J., and Garcia, P. (2003). "Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis." *Journal of Hydrology*, Vol. 270, pp. 1-11.
- Matthew, D., Daly, C., Smith, J., Gibson, W., Taylor, G., Johnson, G., and Pasteris, P. (2004) "High resolution 1971-2000 mean monthly temperature maps for the western United States." Proc., 14th AMS Conf. on Applied Climatology, American Meteorological Society, Seattle, WA, January pp. 13-16.
- Peck, E.L., and Schaake, J.C. (1990). "Network design for water supply forecasting in the west." *Water Resour. Bull.*, Vol. 26, pp. 87-99.
- Schermerhorn, V.P. (1967). "Relations between topography and annual precipitation in western Oregon and Washington." *Water Resour. Res.*, Vol. 3, pp. 707-711.
- Schwarb, M., Daly, C., Frei, C., and Schar (2001). "Mean seasonal precipitation throughout the European Alps, 1971-1990." *Hydrological Atlas of Switzerland, National Hydrologic Service*, Bern.
- Spreen, W.C. (1947). "A determination of the effect of topography upon precipitation." *Trans. Amer. Geophys. Union*, Vol. 28, pp. 285-290.
- Wotling, G., Bouvier, Ch., Danloux, J., and Fritsch, J.-M. (2000). "Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment." *Journal of Hydrology*, Vol. 233, pp. 86-101.

논문번호: 11-003	접수: 2011.01.06
수정일자: 2011.02.23	심사완료: 2011.02.23