

미계측 관측 강수 자료 생성을 통한 제주도 지역의 수문총량 추정 Estimating the Total Precipitation Amount with Simulated Precipitation for Ungauged Stations in Jeju Island

김 남 원* / 엄 명 진** / 정 일 문*** / 허 준 행****

Kim, Nam Won / Um, Myoung-Jin / Chung, Il Moon / Heo, Jun-Haeng

Abstract

In this study, the total precipitation amount in Jeju Island was estimated with the simulated precipitation for ungauged stations missing precipitation data using the spatial precipitation analysis. The missing data were generated through the modified multiple linear regression in this study, and the analysis of spatial precipitation was conducted with the PRISM (Parameter-elevation Regression on Independent Slope Model). The generated data with modified multiple linear regression model have similar pattern with original data. Thus, the model in this study shows good applicability to estimate the missing data. The difference of annual average precipitation between Case 1 (original data) and Case 2 (modified data) appears very small ratio which is about 1.5%. However, the difference of annual average precipitation according to elevation shows the large ratio up to 37.4%. As the results, the method of estimating missing data in this study would be useful to calculate the total precipitation amount at the low station density area and the places with the high spatial variation of precipitation.

Keywords : missing data, multiple linear regression, spatial precipitation, total precipitation amount

요 지

본 연구에서는 미계측 강수자료를 생성하여 공간 해석함으로써 제주도의 정확한 수문총량을 산정하였다. 미계측 강수자료는 본 연구에서 제시된 수정된 다중회귀선형 모형으로 생성하였으며 공간강수량은 PRISM을 적용하여 구하였다. 수정된 다중선형회귀 모형에 의한 미계측 강수자료의 추정 값들은 기존의 강수 패턴과 유사한 양상을 나타내어 모형의 정확도가 우수한 것으로 나타났으며, 공간강수량의 해석 결과는 Case 1(원자료)과 Case 2(미계측 강수자료를 보완한 자료)의 연평균 강수량이 약 1.5%의 미미한 차이를 나타내었으나 고도별 연평균 강수량 차이는 최대 37.4%가 증가하는 것으로 산정되었다. 따라서 본 연구에서 제안한 미계측 관측 자료 생성방법은 현재 관측소의 밀도가 낮은 곳과 국지적으로 강수량의 변화가 큰 곳에서의 수문총량의 산정시 유용할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 미계측 자료, 다중선형회귀, 공간강수, 수문총량

* 한국건설기술연구원 선임위원 (e-mail: nwkim@kict.re.kr)
Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology, Korea

** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사
Ph. D., Dept. of Civil Eng., Yonsei Univ., Seoul 120-749, Korea

*** 한국건설기술연구원 연구위원
Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology, Korea

**** 교신저자, 연세대학교 토목공학과 교수 (e-mail: jhheo@yonsei.ac.kr, Tel: 02-2123-2805)
Corresponding Author, Professor, Dept. of Civil Eng., Yonsei Univ., Seoul 120-749, Korea

1. 서론

강수자료는 수문총량 산정에서 매우 중요한 기후요소이다. 수문총량을 산정하기 위한 수문모형을 구성하기 위해서는 일정 기간 이상의 강수자료가 꾸준히 수집되어야 한다. 그러나 장기간의 수집기간동안 자연재해, 인적사고 등으로 강수를 계측하지 못하는 경우가 종종 발생할 수 있다. 따라서 미계측 강수자료를 생성 및 보완하기 위한 연구가 오래전부터 수행되어왔으며, 단순평균법(Arithmetic mean method), 정상비율법(Normal ratio method), 역거리 방법(Inverse distance or reciprocal distance method) 등이 널리 이용되어 왔다. 한국건설기술연구원(1990)에 의하면 단순평균법은 계산방법은 단순하나 호우의 집중성 또는 지형특성을 고려하지 않는 단점이 있으며, 역거리 방법은 관측소간의 거리에 가중을 두어 미계측 강수자료를 생성하는 방법으로 홍수예경보 시스템에서 적용하는 신뢰도 있는 방법이라 서술하였다. 오재우 등(2008)은 신경망 기법을 이용하여 결측 수문자료를 보완하였다. 대상지역으로는 소양강댐을 선정하였으며 역거리법과 산술평균법과의 비교를 통하여 신경망 기법의 우위를 주장하였으며, 유주환(2010)은 미계측 기간 15년을 포함하는 철원관측소에 대하여 주변 5개 관측소 자료와 선형회귀법을 적용하여 결측 강수자료를 보완하였다.

국외 연구동향을 살펴보면 Silva et al. (2007)은 스리랑카의 미계측 강수 문제를 해결하기 위하여 4가지 방법을 선정하여 비교 검토 하였는데, 그 방법은 단순평균법, 정상비율법, 역거리방법과 면적 강수 비율 방법(Aerial precipitation ratio method)이다. 이를 위하여 스리랑카의 7개 Agro-ecological zones의 주요 관측지점의 월 강수자료를 수집하였으며, 강수기간은 15년부터 28년까지 적용되었다. 각 관측소의 자료들은 4가지 통계적 방법에 의하여 자료를 생성하고 각각 통계적 오차 등을 통하여 검증하였다. 검증결과 대다수의 지역에서 역거리 방법이 가장 적합하게 나타났다. Teegavarapu (2009)는 공간보정기법에 근거한 Association rule mining 기법을 제안하였다. 이 기법은 추계학적 공간 보정기법과 3개의 결정론적 가중 방법으로 구성되었으며, 미국 켄터키 지방의 15개 관측소 자료를 이용하여 검증하였다. Firat et al. (2010)은 터키의 267개 관측소를 대상으로 미계측 관측값 분석 및 동질성 검정을 수행하였다. 1968년부터 1998년까지의 월 및 연강수자료를 이용하여 분석을 수행하였으며, 기대치 최대화 방법(Expectation maximization method)을 이용하여 결측자료를 추정하였으며, 연강수량 자료는 월강수량 자료로부터

계산되었다. 동질성 검정은 Standard normal homogeneity test, Runs test 및 Pettitt homogeneity test를 통하여 이루어졌다. Simolo et al. (2010)은 일 강수자료를 추정하기 위한 이웃 관측소의 군집으로부터 정보를 획득하는 2단계 알고리즘 방법을 제안하였다. 이 방법은 기존의 통계학적 특징(확률 분포 및 장기간 통계특성 등)을 보존하는 특징이 있다. 이를 위해 이탈리아의 36개 관측소 자료를 이용하였다. 또한 건기와 우기를 구분하여 방법을 적용하여 그 정확도를 높였다고 주장하였다.

본 연구에서는 대상지역으로 지하수 개발이 활발히 이루어지고 있는 제주도지역으로 선정하였다. 제주도지역은 현재 많은 양의 지하수를 이용하고 있는 실정으로 현실성 있는 수문총량의 산정은 지하수 개발에 있어서 매우 중요한 문제이다. 그러나 제주도 지역의 강수관측소들의 강수자료는 관측소마다 보유기간이 다른 문제가 있으며 최근에 관측을 시작한 곳도 상당수에 이르는 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 미계측 관측자료에 대하여 합리적으로 강수자료를 생성하고 강수의 공간분석을 수행하여 제주도 지역의 총괄적인 수문총량을 산정하고자 한다.

2. 미계측 강수자료 생성 방법

미계측 강수자료에 대한 추정 방법은 다양한 방법들이 연구되어 왔으며, 그 중 대표적인 방법은 단순 평균법(Arithmetic mean method), 정상 비율법(Normal ratio method), 역거리 방법(Inverse distance method) 및 다중 선형회귀 방법(Multiple linear regression method) 등이 있다. 본 연구에서는 그 중 여러 관측소의 관측값들의 상관관계를 효율적으로 이용할 수 있는 다중선형회귀 방법을 적용하였다. 또한, 기존의 다중선형회귀 방법에서 자주 발생하는 통계적 오류를 최소화하기 위하여 변수선택법 중 단계선택법(Stepwise method)과 다중공선성 검사(Test of multicollinearity)를 적용하여 보다 합리적인 분석을 수행하였다. 다음 절에는 각 방법에 대하여 간략하게 이론을 정리하였다.

2.1 단순 평균법

Chow et al. (1988)에 의하면 단순평균법은 주변 관측소의 연강수량들이 대상 관측소의 연강수량의 10% 범위 이내일 경우에 적용되는 방법이다. 이 방법은 주위의 모든 관측소에 동일 가중치를 주며, Eq. (1)과 같이 주변 관측소의 강수기록의 단순 평균을 적용한다(Tabios and

Salas, 1985).

$$P_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i \quad (1)$$

여기서, P_x 는 해당 관측소의 결측 추정치, P_i 는 주변 관측소의 계측값, m 은 주변 관측소의 개수이다.

2.2 정상 비율법

정상 비율법은 주변 관측소의 연강수량이 해당 관측소의 연강수량 보다 10% 이상 클 경우 적용한다. 이 방법의 가중치는 각각의 주변 관측소의 연강수량을 고려하여 산정하며(Singh, 1994), 결측치는 Eq. (2)와 같이 산정한다.

$$P_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left[\frac{N_x}{N_i} \right] P_i \quad (2)$$

여기서, P_x 는 해당 관측소의 결측 추정치, P_i 는 주변 관측소의 계측값, N_x 는 해당 관측소의 연강수량, N_i 는 주변 관측소의 연강수량, m 은 주변 관측소의 개수이다.

2.3 역거리 방법

역거리 방법은 해당관측소와 주변 관측소 사이의 역거리를 이용하여 결측치를 추정하는 방법이며(Lam, 1983), 결측치는 Eq. (3)과 같이 산정한다.

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^m (P_i/d_i^2)}{\sum_{i=1}^m (1/d_i^2)} \quad (3)$$

여기서, P_x 는 해당 관측소의 결측 추정치, P_i 는 주변 관측소의 계측값, d_i 는 주변 관측소와 해당 관측소 사이의 거리, m 은 주변 관측소의 개수이다.

2.4 다중선형회귀 방법

다중선형회귀방법은 대상 관측소와 주변관측소의 상관성을 이용하는 방법으로 대상 관측소의 자료와 주변 관측소의 자료의 상관성을 이용하여 Eq. (4)와 같이 선형회귀 모형을 구성하는 방법이다.

$$P_x = a_0 + a_1 P_1 + \dots + a_m P_m \quad (4)$$

여기서, P_x 는 해당 관측소의 결측 추정치, P_i 는 주변 관측소의 계측값, a_i 는 회귀계수, m 은 주변 관측소의 개수이다.

2.5 수정된 다중선형회귀 방법

본 연구에서 적용한 수정된 다중선형회귀 방법의 기본 방정식은 Eq. (4)와 동일하다. 하지만 기존의 선형회귀 방법에서는 변수 선택에 대한 자율성이 없이 모든 주변관측소의 관측 값(종속 변수)들을 포함시켜 왔다. 이는 다음과 같은 문제점들을 발생시킨다고 할 수 있다.

- 1) 추정하기 위한 자료 수집이 방대해지고 처리 비용이 높아짐.
- 2) 많은 독립변수들이 추정 값에 대한 더 높은 정확도를 보장하지 않음.
- 3) 다중공선성의 문제로 회귀계수들에 대한 신뢰에 문제가 발생함.
- 4) 종속변수와 낮은 관련의 독립변수의 사용은 추정 값의 분산을 증가시킴.

여기서 다중공선성이란 독립변수들 사이의 선형종속의 관계로 정의되는데, 이는 독립변수들 사이에 강한 상관관계가 있는 것을 뜻한다. 다중공선성이 존재하는 경우에 다른 독립변수들의 상호작용으로 영향을 받는 독립변수는 회귀모형 내에서 독자적인 정보를 제공하지 못하고 결정계수는 커지더라도 대부분의 회귀계수들이 유의하지 않는 경우가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 효율적인 변수선택과 다중공선성의 문제들을 피하기 위하여 변수선택법 중 단계별 선택법을 적용하였으며, 변동 팽창요인(Variance inflation factor, VIF)을 산정하여 다중공선성 문제를 극복하였다. Myers (1990)에 의하면 VIF는 10 이하일 경우에 회귀모형이 유효한 것으로 제시되었으며, 본 연구에서는 이를 수용하여 적용하였다. 여기서 단계선택법에 대한 산정 절차는 Fig. 1과 같으며 VIF는 Eq. (5)와 같이 산정한다.

$$Tolerance = 1 - R_i^2, \quad VIF = \frac{1}{tolerance} \quad (5)$$

여기서, R_i^2 는 독립변수 i 에 대한 회귀 결정계수이다.

본 연구에서는 위의 검증 절차들을 각 관측소별로 적용하여 순차적으로 독립변수들을 선택하였으며 결정계수를 산정하여 결정계수가 1에 제일 근접한 다중선형회귀 모형을 최적모형으로 결정하였다. 결정계수는 Eq. (6)과 같이 산정하였다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (6)$$

여기서, SSR 은 회귀제곱합, SST 는 총제곱합이다.

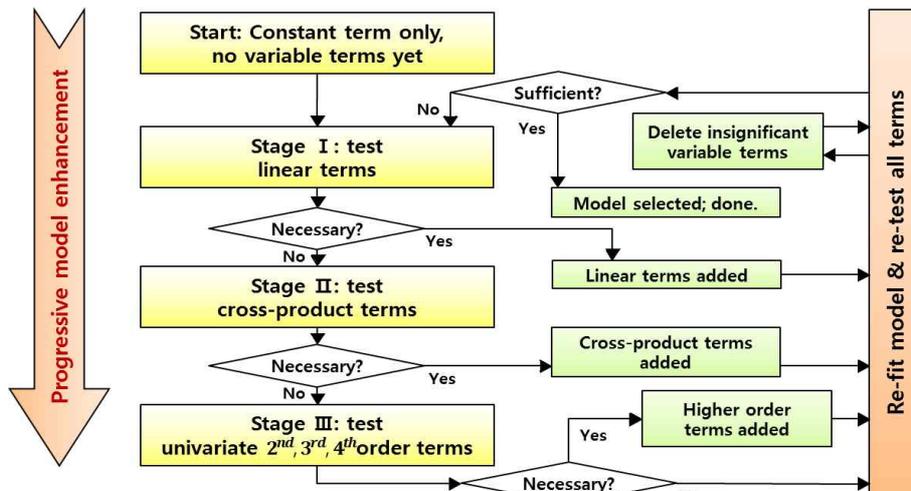


Fig. 1. The Process of Stepwise Method (Wikipedia, 2012)

3. 강수의 공간해석

강수의 공간해석은 Thiessen network 같은 작도법을 기본으로 하여 역거리 가중법, Kriging 방법, PRISM 등의 다양한 방법으로 수행가능하나, 본 연구에서는 Daly et al. (1994)가 제안한 PRISM을 적용하여 제주도 강수의 공간 해석을 수행하였다. 이는 제주도가 중앙에 한라산이라는 높은 고도의 지형을 가지고 있으므로 강수이외의 인자에 효과적으로 적용 가능한 방법인 PRISM이 공간해석 방법으로 타당하다고 판단하였기 때문이다. PRISM의 기본 방정식은 Eq. (7)과 같으며, 종속변수로 강수량, 독립변수로 고도를 적용하고 각 격자별 회귀방정식을 추정한다.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_1 \hat{x} + \hat{\beta}_0 \quad (7)$$

여기서, \hat{y} 는 강수량, \hat{x} 는 고도, $\hat{\beta}_0$ 및 $\hat{\beta}_1$ 는 회귀계수이며 Eq. (8)과 같이 산정한다.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum w_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum w_i (x_i - \bar{x})^2}, \quad \hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (8)$$

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. (9)와 같다.

$$w_i = [F_d w_d^2 + F_z w_z^2]^{1/2} w_f w_p \quad (9)$$

여기서, F_d 는 거리가중치계수, F_z 는 고도가중치계수이며, w_d , w_z , w_f 및 w_p 는 각각 거리 가중치, 고도 가중치, 지향면 가중치 및 해안 가중치이다. Daly et al. (2002)에서는 F_d 는 0.8, F_z 는 0.2를 제안하였으며, 신성철 등(2008)은 한

국 지형에 대하여 F_d 는 0.85, F_z 는 0.15를 제안하였다. 본 연구에서는 Daly et al. (2002)이 제안한 값을 채택하였다. 가중치별 자세한 산정과정은 엄명진과 청창삼(2011)을 참조하기 바란다.

4. 대상지역 및 강수자료

4.1 대상지역

우리나라 최남단에 위치한 제주도는 총 면적 1,848 km²이며 동서방향 장축이 남북방향 단축보다 약 2.4배가 긴 타원 형태(동서: 73 km, 남북: 31 km, 해안선: 254 km)로 장축이 위도에 대하여 북동방향에서 남서방향으로 약 15° 가량 기울어져 있다. 섬 중앙에 화산분출로 인해 형성된 한라산(EL.1,950 m)을 정점으로 하여 남쪽은 경사가 심한 반면 북쪽은 완만하고(8.8~17.6%), 동서쪽은 비교적 높은 지대이면서 평탄하다(5.2~8.8%). 특히 돈내코를 중심으로 남남동 지역은 경사도가 가장 크다. 해안지역(EL.200 m 이하)은 1,013.5 km²로 전체 면적의 54.9%를 차지하고 있으며 EL.200~500 m인 중산간지역은 496.98 km²로 26.9%, EL.500~1,000 m의 지역은 253.34 km²로 13.7%, EL. 1,000 m 이상인 고산지역은 87.77 km²로 전체 면적의 4.5%를 각각 차지한다. 원추형으로 생긴 300여개의 기생화산이 산 정상에서 해안까지 분포되어 있으며, 특히 EL.600m 이하 고도에 약 80%가 골고루 산재되어 있어 기상현상의 지형적인 특징으로 작용한다. ArcGIS를 이용하여 제주도의 고도와 경사를 분석하여 Fig. 2에 도시하였다(윤혜선 등, 2009).

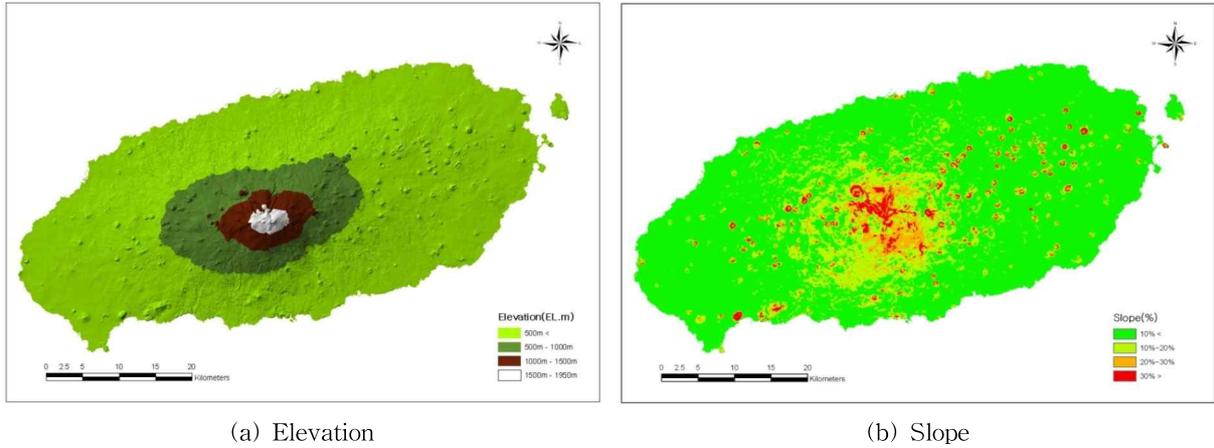


Fig. 2. Elevation and Slope in Jeju Island (윤혜선 등, 2009)

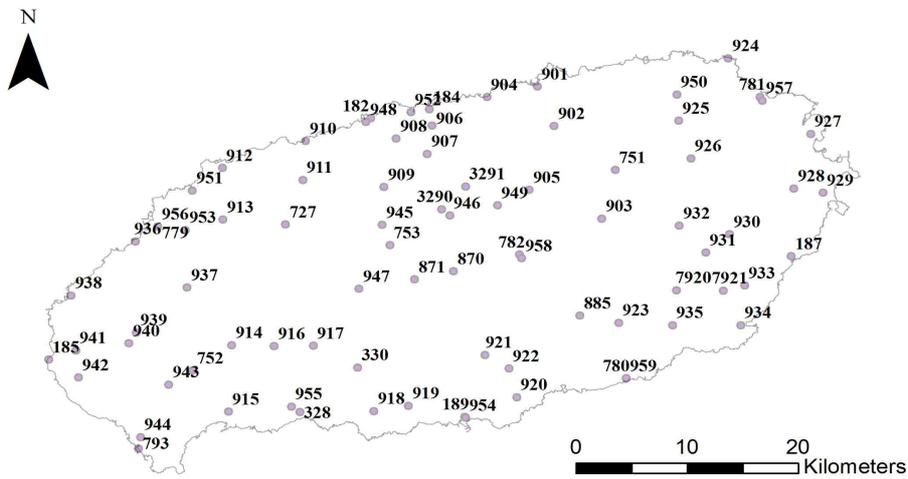


Fig. 3. The Weather Stations in Jeju Island

4.2 강수자료

제주도 기상청은 제주도내 기상관측을 위하여 4개 관서(제주, 서귀포 성산포, 고산)와 악기상 연속감시를 위한 AWS (Auto Weather Station) 19개소를 설치하였으며 현재 4개 관서 및 17개 AWS를 운영하고 있다. 그리고 재난본부에서도 효율적인 강수 관측을 위하여 59개 관측소를 설치하였으며, 그 중 54개 관측소가 현재 운영 중이다. 따라서 제주도내 총 관측소는 82개소가 설치되었으며 현재 75개 관측소(4개 관서, 17개 AWS, 54개 재난본부)가 운영 중이다. 대상 관측소의 위치 및 현황은 Fig. 3과 Table 1과 같으며 Fig. 3의 숫자는 관측소 번호를 뜻하며 Table 1에는 각 관측소별 자료기간 및 이름을 정리하였다.

5. 결 과

본 연구의 대상지역은 제주도 지역이며, 분석기간은 1992년부터 2010년까지로 선정하였다. 대상관측소 82개소 중 44개 관측소는 관측 자료를 모두 보유하고 있었으며, 나머지 38개 관측소는 최소 2년부터 최장 17년의 자료가 미계측 된 것으로 조사되었다. 이러한 미계측 자료를 본 연구에서 제시한 수정된 다중선형회귀모형을 이용하여 강수자료를 생성하였다. 또한 수정된 다중선형회귀모형을 계절별로 구분하여 적용하여 그 정확도를 향상시켰다. Table 2에는 관측소 182 (Jeju (Gong)) 지점에 대한 산정 결과를 수록하였으며, 다른 지점들에 대하여도 동일한 방법으로 수정된 다중선형회귀모형을 계절별로 산정하였다. Table 2를 살펴보면 계절별로 관측소 182 지점과 상관성이 높은 관측소들을 대상으로 관측소의 수를 늘려

Table 1. Summary of Stations in Jeju Island

Station no.	Station	Period of data (Start ~End)	Station no.	Station	Period of data (Start ~End)	Station no.	Station	Period of data (Start ~End)
184	Jeju	1992~2010	906	Jeju-CityHall	1992~2010	934	Pyoseon (Disaster)	1992~2008
189	Seogwipo	1992~2010	907	Odeung-dong	1992~2010	935	Tosan1-ri	1992~2010
187	Seongsan	1992~2010	908	Sinjeju	1992~2010	936	Hyeopjae	2009~2010
185	Gosan	1992~2010	909	Nohyeong	1992~2010	937	Geumak	1992~2010
182	Jeju (Gong)	2007~2010	910	Hagwi	2009~2010	938	Sinchang	1992~2010
3290	Odeung	2002~2008	911	Hangpadu-ri	1992~2010	939	Cheongsu	1992~2010
3291	Ara	2009~2010	912	Aewol	1992~2010	940	Sannyang	2009~2010
727	Yusuam	1998~2010	913	Eoem	1992~2010	941	Gosan2-ri	1992~2010
751	Seonheul	1997~2010	914	Donggwang	1992~2010	942	Sindo	1992~2010
330	Hawon	2002~2010	915	Hwasun	1992~2010	943	Gueok	1992~2010
328	Jungmun	2002~2010	916	Sangcheon	1992~2010	944	Daejeong	1992~2010
780	Namwon	1997~2010	917	Saekdal	1992~2010	945	Eoseungsaeng	1992~2010
752	Seogwang	1997~2010	918	Daecheon	1992~2008	946	Gwaneumsa	1992~2010
885	Typoon-center	2008~2010	919	Beophwan	1992~2008	947	Cheonbaekgoji	1992~2010
779	Hallim	1997~2010	920	Hyodon	1992~2010	948	Dodu-dong	2009~2010
793	Moseulpo	2000~2010	921	Donnaeko	1992~2010	949	Hallasaengtaesup	2009~2010
781	Gujwa	1997~2010	922	Harye	1992~2010	950	Manjanggal	2009~2010
7920	Gasi	2000~2008	923	Sumang	1992~2008	951	Geumseong	2009~2010
7921	Pyoseon-myeon	2009~2010	924	Haengwon	2009~2010	952	Yongdam 2-dong	2009~2010
753	Eorimok	2000~2010	925	Deokcheon	2009~2010	953	Sangdae	2009~2010
782	Seongpanak	1999~2010	926	Songdang	1992~2010	954	Songsan (Disaster)	1992~2010
871	Witsoeureum	2003~2010	927	Jongdal	2009~2010	955	Yerae (Disaster)	1992~2010
870	Jindallaebat	2003~2010	928	Susan1-ri	1992~2010	956	Hallim (Disaster)	1992~2010
901	Jocheon	1992~2010	929	Seongsan (Goseong-ri)	1992~2010	957	Gujwa (Disaster)	1992~2010
902	Daeheul	1992~2010	930	Nansan	2009~2010	958	Seongpanak (Disaster)	1992~2010
903	Gyora	1992~2010	931	Seongeup1-ri	1992~2010	959	Namwon (Disaster)	1992~2010
904	Samnyang	2009~2010	932	Seongeup2-ri	1992~2010			
905	Bonggae	1992~2010	933	Sinpung	1992~2008			

가면서 다중선형회귀모형을 산정하였다. 산정된 모형들에 대해서 결정계수를 제시하였으며, 다중공선성 검사를 위한 VIF도 나타내었다. 모형들을 산정하다가 VIF가 10이 넘어가면 결정계수가 커지더라도 독립변수들 간의 신

뢰에 문제가 발생하므로 VIF가 10보다 낮은 모형 중 결정계수가 가장 큰 모형을 최적의 모형으로 선택하였다. 위와 같은 방법으로 관측소 182 지점에 대하여 계절별로 다중선형회귀 모형을 제시하였으며 모형의 방정식은 Eqs. (10)~

Table 2. Summary of Multiple Linear Regression Model at 182

Station no.	Season	Model	R Square	Std. Error of the Estimate	Max of VIF of coefficients	Optimal Model
182	Spring	1	0.9298	1.9432	1.00	
		2	0.9492	1.6553	1.57	
		3	0.9533	1.5910	4.09	⊙
		4	0.9559	1.5492	50.39	
		5	0.9574	1.5256	52.36	
		6	0.9593	1.4938	67.07	
	Summer	1	0.9754	1.6929	1.00	
		2	0.9841	1.3648	9.26	⊙
		3	0.9858	1.2936	11.14	
		4	0.9876	1.2110	22.10	
		5	0.9884	1.1749	22.64	
	Fall	1	0.9058	5.4630	1.00	
		2	0.9126	5.2711	2.17	
		3	0.9196	5.0642	4.70	
		4	0.9311	4.6975	5.63	
		5	0.9430	4.2810	9.82	⊙
		6	0.9497	4.0282	12.54	
		7	0.9527	3.9119	12.95	
		8	0.9555	3.8032	15.36	
	Winter	1	0.8506	7.2492	1.00	
		2	0.9156	5.4618	2.23	
		3	0.9265	5.1098	6.89	⊙
		4	0.9401	4.6285	19.08	
		5	0.9456	4.4198	27.59	
6		0.9495	4.2702	27.82		

(13)과 같다.

$$P_{182} = -0.1882 + 0.7564P_{184} + 0.2431P_{920} - 0.1941P_{913} \quad \text{for spring} \quad (10)$$

$$P_{182} = 0.1004 + 0.5931P_{911} + 0.3945P_{902} - 0.1099P_{946} \quad \text{for winter} \quad (13)$$

$$P_{182} = -0.1376 + 0.6754P_{184} + 0.2705P_{911} \quad \text{for summer} \quad (11)$$

$$P_{182} = 0.0182 + 0.6495P_{184} - 0.3354P_{941} + 0.4099P_{185} - 0.1541P_{902} + 0.3964P_{908} \quad \text{for fall} \quad (12)$$

여기서, P_x 는 관측소 x 지점의 일강수량이다.

각 관측소별 선정된 최적 다중 선형회귀모형을 이용하여 38개소 관측소에 대하여 미계측 기간에 대하여 자료를 생성하였다. 여기서 추정된 강수 자료가 0 이하일 경우에는 0으로 가정하였으며, 또한 독립변수 관측소 강수 자료가 모두 0일 경우에도 추정 강수량을 0으로 간주하였다.

Table 3. Comparison of Annual Average Precipitation between Case 1 and Case 2

No.	Annual average precipitation (mm)		Difference (mm)	Ratio (%)
	Case 1	Case 2		
182	1332.5	1275.1	-57.3	95.7
3290	2641.6	2471.1	-170.5	93.5
3291	2029.0	1711.0	-318.0	84.3
727	2033.4	1962.9	-70.5	96.5
751	2541.4	2443.3	-98.1	96.1
330	2322.8	2277.7	-45.1	98.1
328	1653.8	1622.8	-31.0	98.1
780	2140.8	2102.1	-38.6	98.2
752	1486.4	1455.3	-31.0	97.9
885	2550.3	2649.0	98.7	103.9
779	1260.1	1188.6	-71.5	94.3
793	1227.5	1195.6	-31.9	97.4
781	1738.4	1651.5	-86.9	95.0
7920	2066.6	2127.0	60.4	102.9
7921	2295.0	2357.2	62.2	102.7
753	3060.4	3028.7	-31.6	99.0
782	4494.8	4194.7	-300.2	93.3
871	5023.1	5244.7	221.6	104.4
870	4957.7	4851.1	-106.6	97.9
904	1375.7	1362.3	-13.4	99.0
910	1219.3	1251.6	32.4	102.7
918	1933.8	1955.5	21.7	101.1
919	1764.0	1791.0	27.0	101.5
923	2110.3	2370.8	260.6	112.3
924	1466.7	1411.7	-54.9	96.3
925	1759.3	1847.1	87.9	105.0
927	1674.5	1722.4	47.9	102.9
930	2034.8	2053.2	18.4	100.9
933	2202.1	2198.1	-4.0	99.8
934	1970.0	1970.2	0.2	100.0
936	1166.8	1152.8	-13.9	98.8
940	1553.0	1475.8	-77.2	95.0
948	1448.2	1483.5	35.3	102.4
949	2969.3	2540.4	-428.9	85.6
950	1822.9	1703.1	-119.8	93.4
951	1267.0	1212.6	-54.4	95.7
952	1351.1	1375.9	24.8	101.8
953	1218.5	1042.0	-176.4	85.5

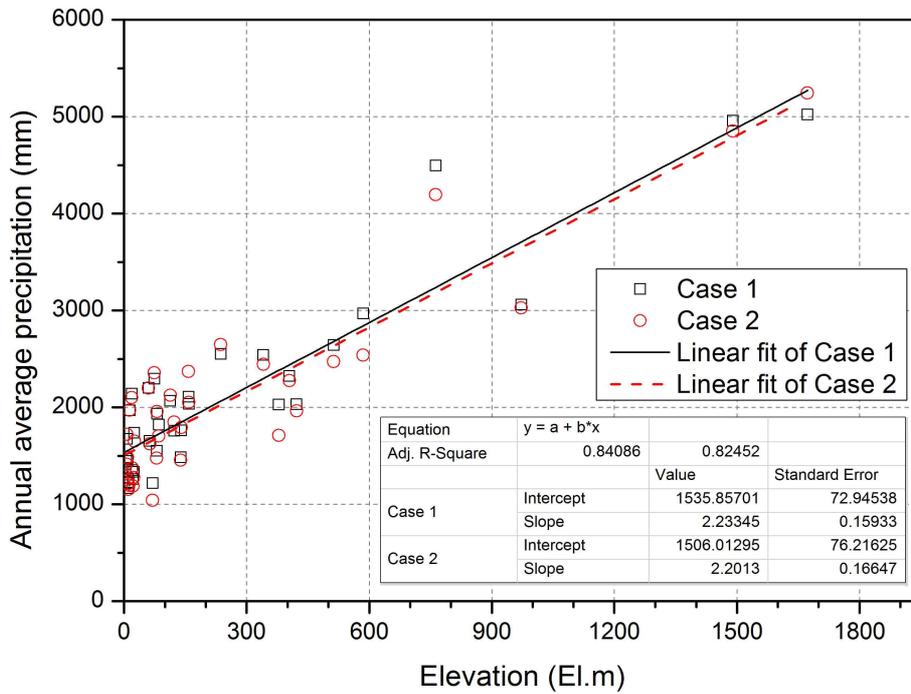


Fig. 4. The Relation between Case 1, Case 2 and Elevation

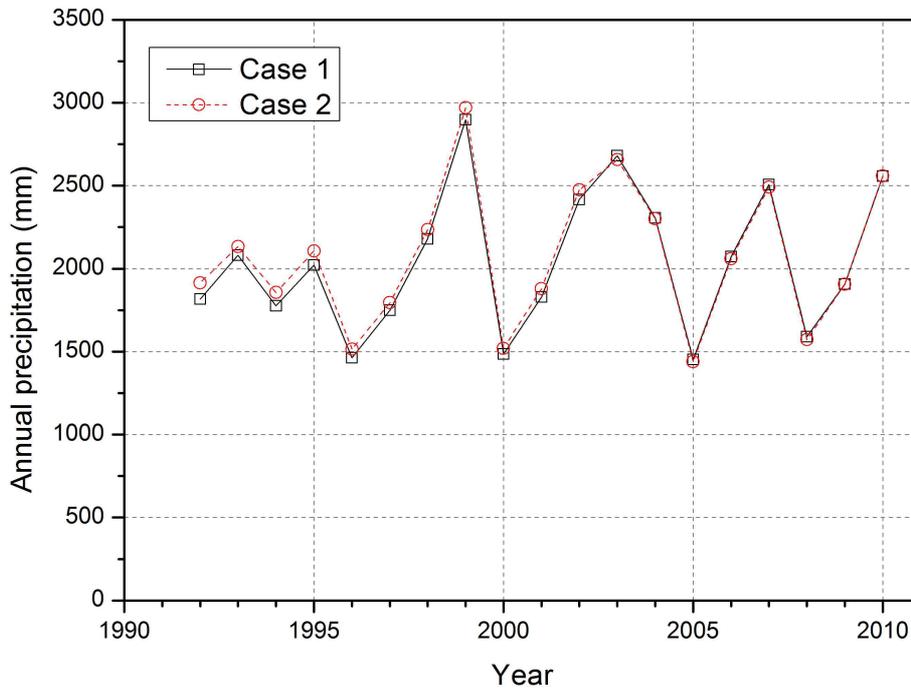


Fig. 5. The Trend of Annual Precipitation in Jeju Island

자료가 생성된 관측소에 대하여 자료 생성 전후(Case 1, Case 2)로 연강수량 자료를 Table 3에 나타내었다. 연평균 강수량의 Case 1에 대한 Case 2의 변화량은 -428.9~260.6 mm를 나타내었으며, Case 1에 대한 Case 2의 비율

은 84.3~112.3%를 나타내었다.

그리고 Fig. 4에 표고별 원자료 및 생성된 자료가 포함된 수정된 자료의 연평균강수량자료를 도시하였다. 또한 각각의 자료에 대하여 선형회귀를 실시하였다. 선형회귀분

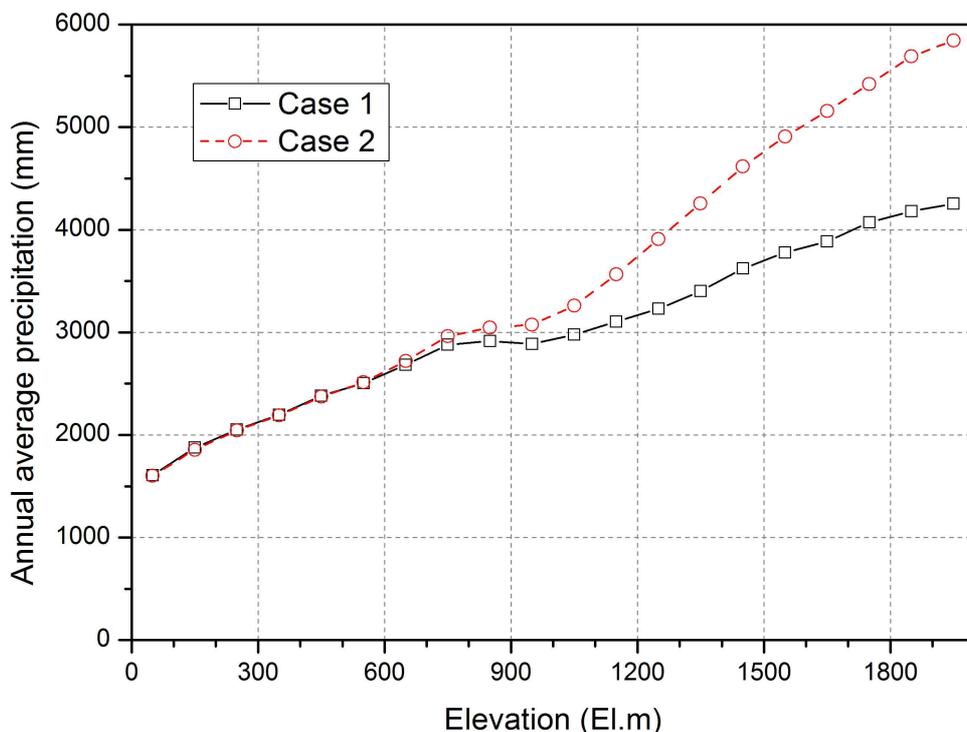


Fig. 6. Annual Average Precipitation according to Elevation in Jeju Island

석 결과 각각의 기울기는 2.23 및 2.20, 수정된 결정계수는 0.84 및 0.82로 나타났다. 또한, 고도에 따라 연평균 강수량이 다소 증가한 곳도 있으며 다소 감소한 곳도 있는 곳으로 도시되었다. 이는 본 연구에서 제안한 수정된 다중선형회귀 모형이 기존의 자료의 패턴과 상당히 유사하게 잘 모의하였다고 판단할 수 있다.

본 연구에서는 미계측 관측자료를 보정하지 않은 원자료 (Case 1)와 다중선형회귀모형을 이용하여 미계측 관측자료를 생성한 자료(Case 2)에 대하여 제주도지역에 PRISM을 적용하여 공간 강수를 산정하였다. 그 결과를 Fig. 5에 도시하였으며, 연평균 강수량은 Case 1이 2,041.7 mm, Case 2가 2,072.8 mm로 총량이 약 1.5% 증가하였다. 이러한 결과는 제주도 전체적으로 보았을 경우 미계측 관측자료 생성에 의한 수문총량의 차이가 미미하다고 판단할 수 있다. 하지만 Fig. 6을 살펴보면 고도별 연평균 강수량이 고도 600 m를 기준으로 Case 2가 Case 1보다 높게 산정되며 고도가 높아질수록 그 차이가 심해지는 것을 알 수 있다. 고도에 따른 수문총량의 차이가 심하지만 전체적으로 보았을 경우에 그 차이가 미미한 것은 고도가 높아질수록 제주도에서 해당 면적이 급격히 줄어들기 때문이다. 따라서 국지적으로 강수의 현상이 매우 다르게 나타나는 지역에서는 미계측 관측자료를 생성 및 반영하였을 경우에 수

문총량의 추정에 있어서 변화량이 크다고 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 제주도를 대상으로 미계측 강수 자료를 생성하여 공간 해석함으로써 수문총량을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 수정된 다중회귀선형 모형을 제시하였으며 PRISM을 적용하여 공간강수량을 산정하였다. 그 분석 결과들은 다음과 같다.

- 1) 수정된 다중선형회귀 모형은 미계측 강수 자료에 대하여 기존의 강수 패턴과 유사한 추정 값을 제시하였으며, 소수의 독립변수를 선택하여 모형의 효율성을 높였고 독립변수들 간의 다중공선성을 배제하는 최적의 회귀모형을 제시하였다.
- 2) PRISM으로 제주도 지역에 대한 수문총량을 계산한 결과 평면적으로 보았을 경우에는 Case 1(원자료)과 Case 2(미계측 강수자료를 보완한 자료)의 연평균강수량이 2,041.7 mm에서 2,072.8 mm로 31.1 mm (약 1.5%)의 미미한 차이를 보였다.
- 3) 고도에 의한 연평균 강수량의 차이는 고도가 높아질수록 차이가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 고도 500 m 이하에서는 Case 2의 연평균 강수량이 Case 1

의 98.9~99.97%로 미미하게 적거나 매우 유사하게 나타났으나, 고도 500 m에서 600 m 사이의 연평균 강수량이 Case 2가 Case 1보다 0.31% 증가하는 것으로 시작하여 고도 1,000 m 이상부터 급격히 증가하여 고도 1,900 m에서 1,950 m 사이에서는 최대 37.4%가 증가하는 것으로 산정되었다.

따라서 본 연구에서 제안한 미계측 관측 자료 생성방법은 현재 관측소의 밀도가 낮은 곳과 국지적으로 강수량의 변화가 큰 곳에서의 수문총량의 산정시 유용할 것으로 판단된다. 그러나 수정된 다중 선형 회귀 모형의 검증 및 공간적인 측면의 분석(유역별 강수현상 및 방향별 강수현상 등)에 대한 추가적인 해석이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부/한국건설교통기술평가원의 제주형 수자원 관리 기반 구축 연구단의 세부연구과제 ‘제주형 지표수-지하수 통합수문해석 기법 개발’연구(2차년도)의 성과로 지원에 감사드립니다.

참고문헌

신성철, 김맹기, 서명석, 나득균, 장동호, 김찬수, 이우섭, 김연희 (2008). “GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 강수량 추정.” **한국기상학회논문집**, 한국기상학회, 제18권, 제1호, pp. 71-81.

엄명진, 정창삼 (2011). “강원도 지역의 PRISM를 이용한 강우의 공간분포 해석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제44권, 제3호, pp. 179-188.

오재우, 박진혁, 김영국 (2008). “신경망을 이용한 결측 수문자료 추정 및 실시간 자료 보정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제10호, pp. 1059-1065.

유주환 (2010). “미계측 결측 강수량 보안을 위한 선형 계획법의 검증.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제43권, 제3호, pp. 257-264.

윤혜선, 엄명진, 조원철, 허준행 (2009). “지역빈도해석 및 다중회귀분석을 이용한 산악형 강수해석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제42권, 제6호, pp. 465-480.

한국건설기술연구원 (1990). **추계학적 방법에 의한 수문자료 확충모형 개발**.

Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*, Mc Graw Hill Book Company,

ISBN 0-07-010810-2.

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.

Firat, M., Dikbas, F., Koc, A.C., and Gungor, M. (2010). “Missing data analysis and homogeneity test for Turkish precipitation series.” *Sadhana*, Vol. 35, Part 6, pp. 707-720.

Lam, N.S. (1983). “Spatial Interpolation Methods review.” *The American Cartographer*, Vol. 10, pp. 129-149.

Myers, R.H. (1990). *Classical and Modern Regression with Application*, 2nd Edition. PWS-KENT, Boston.

Silva, R.P.D., Dayawansa, N.D.K., and Ratnasiri, M.D. (2007). “A comparison of methods used in estimating missing rainfall data.” *Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 3, No. 2, pp. 101-108.

Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M., and Nanni, T. (2010). “Improving estimation of missing values in daily precipitation series by a probability density function-preserving approach.” *International Journal of Climatology*, Vol. 30, pp. 1564-1576.

Singh, V.P. (1994). *Elementary Hydrology*: Prentice Hall of India: New Delhi.

Tabios, G.Q. III and Salas, J.D. (1985). “A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation.” *Water Resources Bulletin*, Vol. 21, No. 3, pp. 365-380.

Teegavarapu, R.S.V. (2009). “Estimation of missing precipitation records integrating surface interpolation techniques and spatio-temporal association rules.” *Journal of Hydroinformatics*, Vol. 11, No. 2, pp. 133-146.

Wikipedia (2012). “Stepwise regression.” http://en.wikipedia.org/wiki/Stepwise_regression, online access May 20, 2012.

논문번호: 12-055	접수: 2012.05.25
수정일자: 2012.06.14	심사완료: 2012.06.14