강우-유출 모형 적용을 위한 강우 내삽법 비교 및 2단계 일강우 내삽법의 개발

Comparison of Daily Rainfall Interpolation Techniques and Development of Two Step Technique for Rainfall-Runoff Modeling

황 연 상* / 정 영 훈** / 임 광 섭*** / 허 준 행****

Hwang, Yeonsang / Jung, Younghun / Lim, Kwangsuop / Heo, Jun-Haeng

Abstract

Distributed hydrologic models typically require spatial estimates of precipitation interpolated from sparsely located observational points to the specific grid points. However, widely used estimation schemes fail to describe the realistic variability of daily precipitation field. We compare and contrast the performance of statistical methods for the spatial estimation of precipitation in two hydrologically different basins, and propose a two-step process for effective daily precipitation estimation. The methods assessed are: (1) Inverse Distance Weighted Average (IDW); (2) Multiple Linear Regression (MLR); (3) Climatological MLR; and (4) Locally Weighted Polynomial Regression (LWP). In the suggested simple two-step estimation process, precipitation occurrence is first generated via a logistic regression model before applying IDW scheme (one of the local scheme) to estimate the amount of precipitation separately on wet days. As the results, the suggested method shows the better performance of daily rainfall interpolation which has spatial differences compared with conventional methods. And this technique can be used for streamflow forecasting and downscaling of atmospheric circulation model effectively.

Keywords : precipitation, two-step interpolation, distributed hydrologic model

요 지

분포형 수문 모형의 일강우 입력 자료는 불가피하게 불규칙하고 밀도가 낮은 관측망에서 기록된 값을 내삽해 사용하게 되나, 흔히 사용되는 대부분의 내삽법들은 실제 일강우의 다양한 공간적 분포를 잘 재현하지 못하는 문제가 있다. 본 연구에서는 널리 사용되는 다섯 가지의 강우 내삽 방법을 두개의 유역에 사용하여 비교하고 실제 공간적 분포를 보다 잘 나타낼 수 있는 2단계 내삽법을 제안하였다. 비교에 사용된 내삽법은 (1) 역가중치 방법(IDW), (2) 다중회귀분석(MLR), (3) 월강우를 이용한 다중회귀분석법(CMLR), (4) 국지가중치 다중회귀분석(LWP) 등이다. 보다 향상된 내삽을 위한 2단계 내삽법은 먼저 로지스틱 회귀분석으로 강우-비강우 지역을 구분하고 강우 지역에서만 기존의 내삽법을 적용하여 강우량을 구하는 방법이다. 기존 방법과의 비교결과 공간적인 편차가 심한 일강우의 특성을 2단계 내삽법에서 잘 표현하고 있는 것으로 나타났다. 제안된 방법은 수문모형에의 적용뿐만 아니라 유출량의 예보 및 대기 순환 모형의 다운

*아칸소 주립대학교 조교수 (e-mail: Yeonsang.Hwang@astate.edu)

Arkansas State University, Assistant Professor, P.O. Box 1740, State University, AR 72467, USA

** 연세대학교 토목환경공학과 박사과정 (e-mail: yhjung2000@yonsei.ac.kr)

Ph.D Student, School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

*** 한국수자원공사 K-water 연구원

Senior Researcher, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, 462-1 Jeonmin-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-730, Korea

**** 교신저자, 연세대학교 토목환경공학과 교수 (e-mail: jhheo@yonsei.ac.kr)

Corresponding Author, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

스케일링에도 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 강수, 2단계 내삽법, 분포형 수문모형

1. 수문 모델링에 있어서 입력자료 불확실성의 문제

입력자료의 불확실성을 야기하는 근본적인 원인중의 하나는 관측자료의 희소성이라고 할 수 있다. 주어진 저밀도의 강우 관측값을 바탕으로 사용하는 수문 모형에서 요구하는 입력자료를 추정하는 내삽법은 오랜기간동안 다양한 방법이 제안되었는데, 간단한 평균법(산술 면적 평균, 티센법 등 (Thiessen, 1911))으로부터 체감률을 이용하는 물리적인 접근법(Dodson and Marks, 1997), 보다 복잡한 통계적인 방법(다중회귀분석, 국지가중 다항식법, 크리깅, 최적화 내삽법 등)(Goodale et al., 1998; Rajagopalan and Lall, 1998; Chua and Bras, 1982) 등이 있으나, 내삽의 정확도는 자료의 시, 공간적인 규모에 따라 차이가 크고, 복잡한 방법이 반드시 우월한 결과를 제공하는것도 아닌 것으로 알려져 있다(Goodale et al., 1998; Hartkamp et al., 1999; Kurtzman and Kadmon, 1999; Parajka, 2000).

본 연구의 목적은 널리 이용되는 내삽법을 수문학적으로 상이한 2개의 유역(Fig. 1)에 적용하고, 일강우에 적용할 때 발생하는 문제점을 분석한 뒤, 이를 해결할 수 있는 간단한 2단계의 내삽법을 제안하여 손쉽고 정확하게 일강우를 추정하는데 있다. 역거리 가중치법(IDW), 다중회귀분석(MLR), 월강우 이용 MLR(CMLR), 국지가중 다항식을 이용한 회귀분석법(LWP)등을 검토하였으며, 흔히 사용되는 다른 내삽법으로 통계학적인 장점이 많은 크리깅은 장기간 일강우 관측자료에는 적당하지 않다고 판단되어 제외하였다.

Fig. 1. Map of the Study Basins (Observation Stations are Marked in White Dots)

2. 일강우 내삽법

일강우의 내삽을 위한 일반적인 기법 및 여러가지 다른 기법들에 대한 장단점은 앞서 소개된 기존의 문헌에서 많이 소개되었으므로 여기서는 비교적 생소한 기후보정 다중회귀 분석 및 국지가중 다항식법만 설명하며, 2단계 기법을 5절에 별도로 소개한다(Dingman, 1994; Dirks et al., 1998; Helsel and Hirsch, 2002; Lanza et al., 2001).

2.1 기후보정 다중회귀분석(CMLR)

기후보정 다중회귀분석은 MLR보다 안정적인 회귀모형을 얻기 위하여 선형 모형의 기울기는 월강우를 이용하여 미리 추정하여 고정하되 모형의 절편만 강우추정 대상일에 따라 변화하는 방법이다. 우선 유역의 월강우와 주어진 독립변수들을 이용하면 일반적인 MLR과 마찬가지로 해당월의 회귀모형이 만들어진다. 다음으로 일강우 모형의 절편을 추정하게 된다(Hay and McCabe, 2002). 기본적으로는 일강우 모형의 절편 β_0 를 이미 구해놓은 월강우 모형의 기울기 값인 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 을 이용해 계산해 내는 것인데, 이때 보다 정확한 모형을 얻기 위하여 미계측지점 주변 가까운 세 개의 관측점(셋 이상의 관측점은 정확도 향상에 기여하지 못함)만을 이용하여 최적 절편을 구하게 된다. 일강우에 맞는 최적 절편이 구해지면 미계측지점의 일강우값(P_{est})은 다음의 선형회귀모형을 이용해 얻을 수 있다.

$$P_{est} = \beta_{0,opt} + \beta_{1,mth} \cdot x + \beta_{2,mth} \cdot y = \beta_{3,mth} \cdot z \quad (1)$$

여기서, x, y, z 는 독립변수(경도, 위도 및 고도), $\beta_{1,mth}, \beta_{2,mth}, \beta_{3,mth}$ 는 유역의 월강우를 이용하여 구한 매개변수이고 $\beta_{0,opt}$ 는 일강우에 따른 최적 절편값이다.

2.2 국지가중 다항식법(LWP)

국지가중 다항식법은 조건에 따라 정해진 인근의 기지값들만을 가지고 회귀모형을 적용하는 비매개변수법으로 모형에 대한 가정이 없으며, 독립변수가 하나인 경우의 일반식은 다음과 같다.

$$p_i = \mu(x_i) + \epsilon_i \quad (2)$$

여기서, $\mu(x)$ 는 추정에 사용될 적정 차수의 다항식, ϵ_i 는 추정오차이다.

본 연구에서는 이 다항식에 1차식, 즉 선형 모델을 이용하였으며 (Loader, 1999), 최적 모형은 미지점 추정에 사용되는 기지점의 수에 따라 달라지는데, 기지점의 수는 GCV (General Cross Validation statistics)를 최소화 하도록 조정하였다 (최소 13개).

$$GCV = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{e_i^2}{n}}{\left(1 - \frac{m}{n}\right)^2} \quad (3)$$

여기서, e_i 는 오차, n 은 자료값의 수, m 은 매개변수의 수이다. 일강수의 추정에는 LOCFIT (Loader, 1999) 라이브러리를 통계해석 패키지인 R (<http://www.r-project.org/>, The R Project for Statistical Computing)을 통해 적용하였다.

3. 가상 관측값을 이용한 비교

먼저 내삽법들이 가지고 있는 기본적인 한계와 정확성을 세 가지의 가상 관측값을 대상으로 확인해 보았다. 사인곡선을 이용한 테스트는 2차원의 복잡한 지형을, 그리

고 계단형 함수로 구성된 평면과 양수정 테스트는 각각 급격한 고도의 변화 및 높은 고도의 지형으로 둘러싸인 경우를 단순화한 모형으로 생각하였다.

노이즈 (-2~2의 무작위 수)가 추가된 사인곡선을 이용

Fig. 2. Estimation of Noise Added Sine Curve Using MLR and LWP (50 Data Points in $x=0 \sim 2\pi$ Range)

Fig. 3. Estimation of Noise Added Step Function (300 m by 300 m Area with 5 m Grid). Two Surfaces Are 10 m Apart

한 테스트(Fig. 2)에서 국지 내삽법의 장점이 잘 표현되어 있다. 회귀분석법을 기본으로 하는 국지 내삽법인 LWP는 기본함수가 되는 사인곡선(실제의 상황이라면 강수량의 참값)을 거의 완벽하게 다시 재현해 내는 반면 주어진 구간(실제 적용예라면 해당 유역)의 모든 관측자료를 이용하는 MLR의 경우 심한 왜곡이 발생한다. 계단형 함수를 사용하여 만들어진 평면을 이용하면 이러한 차이가 실제 유역에서의 내삽에 어떻게 영향을 미치는지 잘 보여준다(Fig. 3). 20m의 고도차를 둔 두 평면은 급격한 지반고의 변화가 있는 유역을 가정하여 가로 300m, 세로 300m의 범위에 설정 하였다. 이 평면에 -10에서 10사이의 노이즈를 5m 간격으로 구성한 격자망에 추가함으로써 오차가 포함된 실제 일강우 입력자료를 만들었다. IDW 및 LWP

는 미세측지점 주변의 관측점들 중 전체의 약 20%만 이용하여 내삽하였다. 이 두 번째 예에서도 국지형 내삽법들이 좋은 결과를 보여주고 있다.

마지막으로 지하수 양수모델을 이용하여 좀 더 복잡한 관측값에 대한 시험을 하였다. 가상유역은 가로 300m, 세로 300m로 설정하였으며, 4개의 양수정으로 지하수를 끌어 올리는 것을 Theis공식(Todd and Mays, 2005)으로 계산하였다(Fig. 4). 이 시험에서도 MLR은 유역 전체의 관측값을 사용하는 기법의 문제점을 보여주고 있다. 반면, 국지 내삽법인 LWP는 평면의 변화를 잘 재현해 내고 있다. 이는 내삽 오차를 비교해 보아도 쉽게 알 수 있는데, LWP와 MLR의 평균 제곱근오차는 0.28과 0.5로 큰 차이를 보인다.

Fig. 4. Estimation of Noise Added Groundwater Draw Down Surface

4. 수치실험

4.1 대상유역

본 연구의 대상 유역은 콜로라도주 Durango에 위치한 Animas강 유역(이하 Animas) 과 조지아주 Statenville에 위치한 Alapaha강 유역(이하 Alapaha)이다 (Table 1, Fig. 1). Animas 유역은 겨울동안의 적설량과 강우 및 기온상승으로 인한 융설유출이 침투유량 및 시기에 영향을 미치는 지역이고, Alapaha 유역은 표고가 낮은 지역으로서 월강수량곡선에 2중 침투부 (1~3월 및 6~8월) 가 나타나지만 연중 비교적 고르게 발생하는 강수유출 (여름철의 높은 증발산율로 인해 월침투 유량은 1~3월에 발생) 이 주를 이룬다 (Fig. 5).

4.2 수문자료

기초 수문자료는 National Climate Data Center에서

관리하는 Cooperative (COOP) 관측망 그리고 Natural Resources Conservation Service에서 관리하는 SNOTEL (SNOWpack TELemetry) 관측망에서 얻었다. 두 관측망의 자료는 자체보정과 별도로 1) 이상치, 2) 자료내 일관성, 3) 비정상적으로 계속되는 동일값, 4) 일최대 기온 변동치, 5) 강수-강우 관계, 6) 비정상적인 기온변화 등을 점검하고 보정하였다 (Reek et al., 1992).

4.3 직접내삽에 따른 일강우 내삽의 문제점

직접내삽법들 간의 평균 제곱근오차 및 분산도 등을 1월과 7월의 자료를 통해 비교해본 결과 IDW와 LWP이 좋은 결과를 보였으며, CMLR의 경우 산악지형에서 (Animas 유역) 좋은 결과를 보였다. 평균 제곱근오차를 자세히 보면, IDW가 1월중 Alapaha 유역에서 7.34 mm로 다른 기법에 비해 (7.58~8.17 mm) 우수했고, 역시 Animas 유역에서도 4.24 mm로 가장 작은 오차를 보였다 (다른 기법은

Table 1. Study Basins

Basin	Stations	Sub-basins	Time series	Area (km ²)	Elevation (m)	Station Density (station/km ²)
Animas	37	121	1948.10~1997.4	1,792	2,000~3,700	0.021
Alapaha	28	180	1970.1~1997.9	3,626	40~125	0.008
Applied Interpolation Techniques				Number of Available Stations		
				>2	>4	>12
				1. IDW	1. IDW 2. MLR 3. CMLR	1. IDW 2. MLR 3. CMLR 4. LWP

Fig. 5. Average Daily Precipitation (1979–1996) of Animas and Alapaha Basins (45~55th Percentile, 25~75th Percentiles, and 5~95th Percentiles are Shown in Shaded Area)

4.52~4.57 mm). 이러한 양상은 7월 자료에서도 비슷했다. 분산도의 경우 국지내삽법인 LWP의 우수함이 잘 나타났는데, Alapaha 유역의 경우 1월에 -20.11 mm^2 로 다른 기법보다 우수 ($-28.0 \sim -40.88 \text{ mm}^2$)했으며, 7월에도 -44.99 mm^2 로 오차가 가장 작았다 (다른 기법은 $-55.76 \sim -64.97 \text{ mm}^2$). 산악지형인 Animas 유역에서 1월중 CMLR의 분산도 오차가 가장 적게 나타난 것 (-9.77 mm^2 , 다른 기법은 $-10.68 \sim -15.15 \text{ mm}^2$)은 주목할 만하다.

위의 수치상 내삽방법 간의 외형적인 차이는 크지 않음에도 불구하고, 직접내삽법의 실제적인 문제점은 Table 2에 잘 나타나 있다. 두 시험유역 모두에서 유역 전체에 걸친 강

수확률이 실제 관측값에 비하여 항상 높은 것을 알 수 있다 (Alapaha 유역 7월 강수의 경우 20% 이상). 이와 같은 문제는 모든 유역 및 계절에서 발견되었는데, 이는 내삽모형 자체가 기본적으로는 Smoothing 기법이기 때문이다.

일반적으로 Smoothing 기법이 이론상의 심각한 문제를 가지고 있는 것은 아니며 월강수를 비롯한 다양한 수문 및 기상 변수의 내삽에 효과적으로 사용될 수 있다. 하지만 본 연구에서 보인 것처럼 일강수와 같은 공간 및 시간적 변화가 심한 변수의 경우는 효과적인 내삽에 문제가 발생한다고 할 수 있겠다.

Table 2. Comparison of Probability of Precipitation

	Alapaha Basin					
	Observed	IDW	MLR	CMLR	LWP	2 Step
January	24.12	31.58	33.14	30.06	31.87	23.41
July	32.55	53.74	58.79	51.47	54.66	29.79
	Animas Basin					
	Observed	IDW	MLR	CMLR	LWP	2 Step
January	26.99	32.85	33.51	32.45	32.89	24.12
July	25.69	33.27	37.05	32.09	34.36	24.67

Fig. 6. Observed Precipitation on January 9, 1997 in Animas Basin. Gray Scaled Circles Show Observed Precipitation Amounts in Millimeter

5. 단계 일강우 내삽법

5.1 로지스틱 회귀분석

기존의 직접내삽법이 가지고 있는 문제를 해결하기 위해 강수의 발생과 강수량을 분리하여 추정하는 2단계 기법을 제안하였으며, 강수량의 추정은 내삽 정확도가 떨어지지 않으면서 적용과 이해가 쉽고 별도의 통계적인 이론이 필요하지 않은 IDW를 사용하였다.

본 연구에 사용한 2단계 내삽 과정에서는 먼저 Fig. 6의 Animas 유역에서와 같이 유역 전체에 걸쳐 발생한 공간적으로 비균질한 관측값으로부터 로지스틱 회귀분석을 통해 강수-비강수 상태를 추정한다. 먼저 관측된 강수 자료의 시계열은 강수/비강수 시계열 (비강수=0, 강수=1)로 변환한다. 이후 매일의 강수/비강수 자료를 독립변수가 x_k (관측점의 좌표) 이고 절편이 β_0 , 기울기가 β_k 인 회귀모형으로 구성하면,

$$p = 1 - \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k)} \quad (4)$$

Eq. (4)와 같이 된다 (Clark et al., 2004). 여기서 p 는 강수의 발생확률이다. 이렇게 구한 절편 및 기울기를 이용

하여 미계측지점의 강수 발생 확률을 추정하고, 이 추정된 강수확률이 무작위로 발생한 강수 확률값보다 큰 경우에만 강수가 발생하는 것으로 가정하고 해당 좌표에서만 강수량을 내삽한다. 강수의 발생을 판단하는 과정에서 비교대상 확률로 해당 지점의 과거 기록을 이용해 판단할 수도 있으나 분석 결과 정확도에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

5.2 내삽모형의 결과

Table 2의 맨 오른쪽 열을 보면 두 유역 모두에서 2단계 일강우 내삽법을 사용한 경우 강수발생추정의 정확도가 크게 향상된 것을 알 수 있다. 이는 강수량이 많았던 해나 적었던 해 모두 동일했으며, 관측값과 내삽결과의 강수확률을 비교하여 보면, 1월과 7월 모두 매우 근접해 있음을 알 수 있다 (예를 들어 Alapaha 유역의 경우 1월의 강수확률이 관측치 및 추정치 각각 24.12%와 23.41%이다).

2단계 내삽법의 장점은 Figs. 7 and 8에도 나타난다. Fig. 7에서는 Animas 유역의 1월 및 7월의 관측 및 추정 일강우 확률을 비교하였다. 두 계절 모두 유역 전체에 걸

Fig. 7. Comparison of the Probability of Precipitation Using Two-Step Interpolation Scheme in Animas Basin (a) Observed, January, (b) Estimated, January, (c) Observed, July, (d) Estimated, July

Fig. 8. Comparison of the Probability of Precipitation Using Two-Step Interpolation Scheme in Alapaha Basin, (a) Observed, January, (b) Estimated, January, (c) Observed, July, (d) Estimated, July

쳐 매우 양호한 강수확률을 보여준다. Alapaha 유역에서도 유사한 성과를 확인할 수 있으나 이 유역의 관측점 밀도 및 유역의 위치(높은 평균기온 및 저고도 지역)로 인해 국지적으로 강수 확률의 예측이 미흡한 부분을 확인할 수 있다. 위 강수 추정 성과는 모두 잭나이프 기법을 통하여 얻어진 결과로써 유역 내 다른 미세측지점에 대해서도 좋은 결과를 가져올 것임을 예측할 수 있겠다. 다만, 제안된 2단계 내삽법 자체가 가지고 있는 특성상 각 관측점에서의 실측값과 비교할 때 강수량의 분산도가 다소 축소되는 것을 볼 수 있다. 이는 내삽법의 세부적인 단계를 통계적으로 보완하여야 할 사항으로, 향후 대상 유역 및 강수량이 사용될 모형의 특성 등을 고려하여 일부 개선이 필요하다고 하겠다.

6. 결 론

본 연구에서는 기존에 널리 사용되고 있는 일강수의 공간적 내삽기법들을 비교 분석하고 그 정확도를 향상할 수 있는 간편한 2단계 내삽법을 제안하여 적용한 결과 다음

과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에서 적용한 직접내삽법들의 평균 제곱근오차 및 분산도를 비교검토한 결과 역거리 추정법(IDW)과 국지가중다항식법(LWP)이 다른 기법에 비하여 우수하고, 산악지형에서는 기후보정 다중회귀분석법(CMLR)이 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 직접내삽법을 이용하여 구한 강수확률의 경우에는 30~50%대로 관측 자료보다 비교적 높은 것으로 추정되었다
- 3) 본 연구에서 개발한 2단계 내삽법은 먼저 강수/비강수 지역을 로지스틱 회귀분석으로 결정하고 강수 지역에만 강수량을 추정함으로써 기존 내삽법에서 볼 수 있는 일강수의 강수확률 왜곡을 줄여 평균값 및 분산도를 개선하는 것으로 나타났다.
- 4) 2단계 내삽법을 이용하여 구한 강수확률은 관측값과 거의 유사한 20%대로 적용한 직접내삽법들에 비하여 우수한 것으로 나타났다.

본 연구에서 다룬 범위 이외에도 내삽기법의 선정 및 적용에는 추가적인 연구가 필요하다. 특히 관측값의 밀도

가 내삽의 정확도에 미치는 영향이 기법에 따라 어떻게 다른지 연구할 필요성이 있다. 또한 일강우는 유출 모형의 주요 입력자료이므로, 강우의 내삽이 유출량 모의에 미치는 영향도 함께 검토되어야 한다. 이는 어떤 내삽기법이 최고의 정확도를 가지는가를 떠나 입력자료에 내재하는 오차가 유출모의 과정에서 어떻게 영향을 미치는가를 이해하는데 필수적이라고 할 수 있다.

참고문헌

Chua, S.H., and Bras, R. (1982). "Optimal estimators of mean areal precipitation in regions of orographic influences." *Journal of Hydrology*, Vol. 57, No. 1-2, pp. 23-48.

Clark, M., Gangopadhyay, S., Hay, L., Rajagopalan, B., and Wilby, R. (2004). "The Schaake shuffle: A method for reconstructing space-time variability in forecasted precipitation and temperature fields." *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 5, No. 1, pp. 243-262.

Dingman, L.S. (1994). Physical hydrology, Macmillan Publishing Company, New York.

Dirks, K.N., Hay, J.E., Stow, C.E., and Harris, D. (1998). "High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island part II: Interpolation of rainfall data." *Journal of Hydrology*, Vol. 208, No. 3-4, pp. 187-193.

Dodson, R., and Marks, D. (1997). "Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region." *Climate Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-20.

Goodale, C.L., Aber, J.D., and Ollinger, S.V. (1998). "Mapping monthly precipitation, temperature, and solar radiation for ireland with polynomial regression and a digital elevation model." *Climate Research*, Vol. 10, No. 1, pp. 35-49.

Hartkamp, A.D., De Beurs, K., Stein, A., and White, J.W. (1999). Interpolation techniques for climate variables. Cimmyt, Mexico, D.F.

Hay, L.E., and McCabe, G.J. (2002). "Spatial variability in water-balance model performance in the con-

tinuous United States." *Journal of American Water Resources Association*, Vol. 38, No. 3, pp. 847-860.

Helsel, D.R., and Hirsch, R.M. (2002). Statistical methods in water resources, Techniques of Water-Resources Investigations Book 4, Chapter A3, U.S. Geological Survey.

Kurtzman, D., and Kadmon, R. (1999). "Mapping of temperature variables in Israel: A comparison of different interpolation methods." *Climate Research*, Vol. 13, No. 1, pp. 33-43.

Lanza, L.G., Ramirez, J.A., and Todini, E. (2001). "Stochastic rainfall interpolation and downscaling." *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 5, No. 2, pp. 139-143.

Loader, C. (1999) Local regression & likelihood, Springer-Verlag, New York.

Parajka, J. (2000). "Estimation of average basin precipitation for mountain basins in Western Tatra mountains." *ERB200-Monitoring and Modelling Catchment Water Quantity and Quality*, September, 27-29. Ghent: Belgium.

Rajagopalan, B., and Lall, U. (1998). "Locally weighted polynomial estimation of spatial precipitation." *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, Vol. 2, No. 2, pp. 44-51.

Reek, T., Doty, S.R., and Owen, T.W. (1992). "A deterministic approach to the validation of historical daily temperature and precipitation data from the cooperative network." *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 73, No. 6, pp. 753-762.

Thiessen, A.H. (1911). "Precipitation averages for large areas. A Subsection in the Climatology Data for July 1911, District No. 10, Great Basin." *Monthly Weather Review*, July, pp. 1082-1084.

Todd, D.K., and Mays, L.W. (2005). *Groundwater hydrology*, 3rd Ed., John Wiley and Sons, New York.

논문번호: 10-093	접수: 2010.11.04
수정일자: 2010.12.01	심사완료: 2010.12.01