

결측 강우량 보정방법에 관한 연구: 1. 방법론 및 가중치 산정

김응석^{1*}

A Study on the Interpolation of Missing Rainfall : 1. Methodologies and Weighting Factors

Eung-Seok Kim^{1*}

요 약 강우자료는 수문시스템 해석에 있어 가장 기본이 되는 입력자료이며, 강우측정시에는 다양한 원인에 의해 결측이 발생하게 된다. 따라서, 이러한 자료를 보정하기 위한 다양한 방법들이 제시되어 있으나 적용성이나 오차정도에 대한 평가 없이 사용되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 기존에 사용중인 산술평균법, 정상연강우량법, 수정정상연강우량법, 역거리법, 선형계획법, 크리깅방법 등의 강우량 보정방법을 비교 평가하였다.

Abstract Rainfall is the most basic input data to analyze the hydrologic system. When we measure the rainfall data, the rainfall data can be missing due to various reasons. Therefore, various interpolation methods are available for compensating the missing data. However, the interpolation methods were used without considering their applicability and accuracy. This study compares the interpolation methods such as the arithmetic mean method, normal ratio method, modified normal ratio method, inverse distance method, linear programming, Kriging method to estimate the existing rainfall correction method.

Key Words : hydrologic system, interpolation methods, linear programming, Kriging method

1. 서 론

강우량 자료는 이·치수의 계획 및 관리를 위해 필요한 가장 기본적인 자료이다. 따라서 우량계 및 기타 설비 등의 문제로 인해 강우량 자료의 결측이 발생하는 경우 이를 보정하기 위한 정량적 방법이 필요하다. 강우자료의 보정은 강우관측소의 강우량 자료가 결측된 경우 이를 보완하는 것을 의미하며 다양한 보정 방법들이 제안되어 사용되고 있다. 즉, 수문해석을 위한 수문시스템은 강우를 입력 자료로 이용하여 홍수 및 가뭄 등의 수문해석을 정량적으로 산정하는 일련의 과정을 의미한다. 강우량은 최초의 입력 자료로서 그 영향이 수리·수문 시설 규모에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 그러나 우량계를 이용한 관측에 있어 실제 강우량과 우량계에 측정되는 관측강우

량의 차이는 우량계 개구부의 크기, 방향, 돌출정도, 바람(풍속)효과, 주변시설물과의 이격거리, 증발 등의 다양한 인자에 의해 영향을 받는다[1]. 강우의 공간분포 특성은 유역의 지형학적 특성과 더불어 유출에 지대한 영향을 미치나 강우의 특성을 파악하기 위한 연구는 주로 강우의 시·공간적 분포에 관해 호우발생 수, 총 강우량, 지속기간, 강우강도의 특성 등에 대해 수행되었다[2, 3, 4, 5]. 그러나 강우의 결측 발생시 보정에 관한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 결측 강우량 보원을 위해 현재 사용하고 있는 여러 가지 방법을 적용하여 각 방법의 특징 및 적용성에 관해서 비교 분석하였다. 본 연구(I)에 사용되어진 방법은 기존에 실무에 많이 적용되는 대표적인 4가지 방법인 산술평균법(arithmetic average method, AA), 정상연강우량법(normal ratio method, NR), 수정정상연강우량법(modified normal ratio method, MNR), 역거리법(inverse distance method, ID)과 최적화 기법의 선형계획법(linear programming, LP), 크리깅방법(kriging method, KM)이다[6, 7, 8].

이 논문은 2005년도 선문대학교 교내학술연구비 지원을 받았음.

¹선문대학교 토목공학과

*교신저자 : 김응석(hydrokes@sunmoon.ac.kr)

강우량 보정을 위해 기존의 방법 및 최적화 및 크리깅 기법을 강원도 평창강 유역을 대상으로 이들 방법을 적용하였다. 즉, 임의 강우관측소를 결측 지점으로 가정하고 인근의 주변 강우관측소로부터 각각의 방법을 적용하여 실측된 강우관측소 지점을 중심으로 단계별로 실측 강우관측소의 개수를 증가시켜 주변의 관측소에 영향 정도를 파악하기 위해 가중치를 방법별로 산정하였다.

2. 강우량 보정 방법

강우량 보정 방법은 결측된 강우량 관측소를 중심으로 주변의 결측된 동일 기간동안 실측된 강우량 관측소의 시간 혹은 일 강우량 자료를 수집하여 결측된 강우량 관측소의 강우량을 보정하는 것으로 본 연구에서는 기존에 실무에서 많이 적용하는 앞에서 언급한 4가지 방법을 비교분석 하고, 강우량 결측시 보정의 정확도를 보다 향상시킬 수 있는 방법으로 최적화 기법을 이용한 선형계획법 및 크리깅 방법을 기존의 결측 보정공식 방법과 비교 분석하였다.

2.1 기존 보정공식

각각의 방법을 설명하면 다음과 같다. 첫째, 산술평균법은 결측 기간 동안 실측된 주변의 강우량 관측소의 강우량 자료 값을 평균하여 이를 가중치로 산정하여 보정하는 방법이며, 둘째 정상연강우량법은 실측 및 결측된 강우량 관측소의 30년 동안의 평균값을 이용하여 이를 바탕으로 보정하는 방법이며, 셋째 수정정상연강우량법은 정상연강우량법을 수정하여 결측 강우량 관측소와 실측 강우량 관측소의 거리의 함수로 가중치를 산정하여 보정하는 방법이며, 마지막으로 역거리방법은 결측 강우량 관측소에서 관측 강우량 관측소에 대한 거리의 반비례로 가중치를 산정하여 보정하는 방법이다[6, 9, 10].

다음의 식(1)에서 식(4)는 위에서 설명한 보정 방법의 수식을 나타내었다. 또한, 식(3)과 식(4)에서 사용된 각 방법별 지수 z 값은 산악지역에서 보정방법을 적용하기 위한 계수 값으로 미국에서 적용한 지역별 계수값 1.5~2.0의 범위를 가지며 본 연구에서는 지수값을 a 와 b 로 구분하여 각각 1.5와 2.0으로 2가지 값을 적용하였다[11].

(1) 산술평균법(AA)

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

(2) 정상연강우량법(NR)

$$R = \frac{N_x}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{N_i} \right) \quad (2)$$

(3) 수정정상연강우량법(MNR)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^{(1/z)} \left(\frac{N_x}{N_i} \right)}{\sum_{i=1}^n D_i^{(1/z)}} \quad (3)$$

(4) 역거리법(ID)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{D_i^z} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^z} \right)} \quad (4)$$

여기서, P_i 는 관측지점의 강우량, N_x 는 결측지점의 연평균 강우량, n 은 인근 관측지점의 개수, D_i 는 결측 관측지점에서 인근 관측지점까지의 거리, N_i 는 인근 관측지점의 연평균 강우량이다.

2.2 선형계획법

본 연구에서 사용된 선형계획법의 목적함수 식 (5)와 같다. 즉, 구하고자 하는 값의 편차 합이 최소가 되는 것을 의미하는 것으로 실측 강우와 보정한 결측 강우량 값의 편차가 최소 되는 것을 나타낸다. 제약조건 식 (6)은 가중치 a_i 값에 의한 각 지점별 결측 강우량과 실측 강우량의 값이 같음을 의미한다. 또한, 제약조건 식 (7)은 각 지점별 가중치 a_i 의 전체 합은 "1"이 되며, 이때 각 지점별 가중치 값은 "0"보다 큰 값을 가진다[12].

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n (U_j - V_j) \quad (5)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^n a_i P_{ij} - U_j + V_j = P_{bj}, \quad j=1, \dots, K \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1.0 \quad i=1, \dots, n \quad (7)$$

여기서, $a_i \geq 0$, $U_j \geq 0$, $V_j \geq 0$, 이고, U_j 와 V_j 는 각각의 결측관측지점의 여유변수(slack variables)이며, P_{ij} 는 각각의 관측지점에서의 시간 강우량, P_{bj} 는 결측지점에서의 시간 강우량, a_i 는 각각의 관측지점의 가중치,

K는 관측된 강우의 총 개수이다.

2.3 크리깅 방법

크리깅 방법은 분산이 최소가 되도록 불편의된 가중치들을 구하는 선형기법이다[13, 14]. 어떤 지점들 x_1, x_2, \dots, x_n 에 있어서 변수 z에 대한 n개의 관측치가 있을 때 이의 선형조합에 대한 추정치는 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\widehat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (8)$$

여기서, \widehat{Z}_0 는 참값 Z_0 의 추정치이며 λ_i 는 지점 x_i 의 관측치에 대한 가중치이다. 불편의를 나타내는 식은 참값과 추정치의 차이에 대한 기대치가 "0"인 경우이며 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E[\widehat{Z}_0 - Z_0] = 0 \quad (9)$$

여기서 E는 기대치를 나타낸다. 그리고 분산이 최소가 되도록 하는 것은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다

$$\text{Minimize } E\left[\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) - Z_0\right)^2\right] \quad (10)$$

또한 불편의 조건을 만족하기 위하여 가중치들은 식 (11)의 조건을 만족해야 한다.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (11)$$

추정치와 참값의 차이로부터 발생하는 추정오차는 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$e = \sum_{i=1}^n (\lambda_i Z(x_i) - Z_0) \quad (12)$$

크리깅 기법은 식(11)을 제한조건으로 식 (10)을 최소화 하는 것이다. 최소화를 위한 필요조건은 식 (13)와 같이 미지 값과 함께 n+1개의 식을 갖는다.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i - x_j) = \gamma(x_i - x_0) + \mu, \quad i = 1, \dots, n \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (14)$$

식 (13)에서 $\gamma = E[Z(x_i) - Z(x_j)]^2$ 는 준변이도(semivariogram)를 나타내며, μ 는 Lagrange multiplier이다. 식 (13)과 (14)를 풀어 최적 가중치들을 얻을 수 있으며, 추정치에 대한 분산은 식(15)과 같이 주어진다.

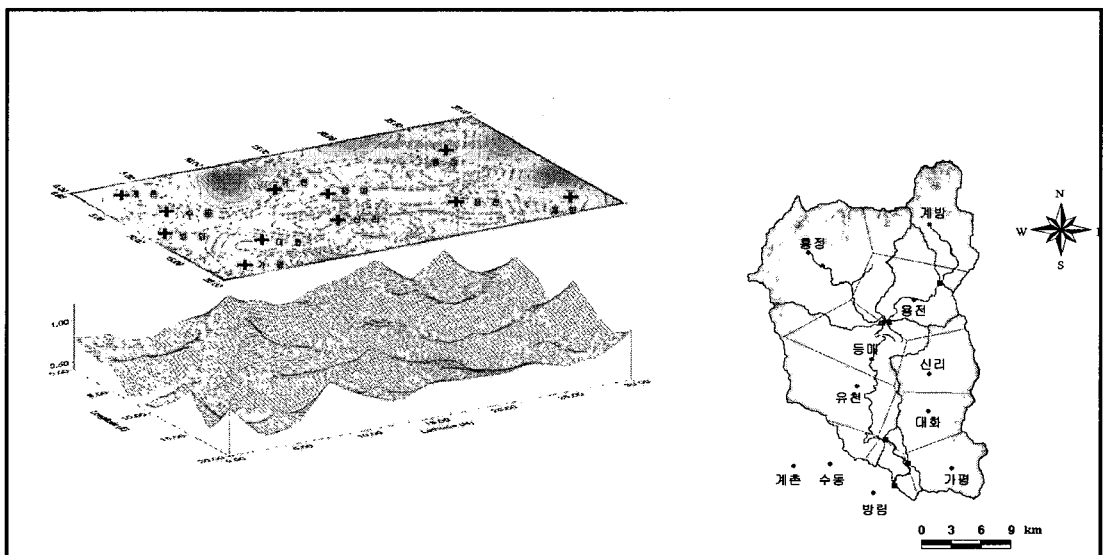


그림 1. 평창강 유역도

$$\sigma^2 = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i - x_0) \quad (15)$$

여기서 x_0 가 x_i 와 일치할 때 시스템의 해는 λ_i 가 "1"이 되며, 이는 x_i 에 있어서 $\hat{Z}_0 = Z(x_i)$ 이고 $\sigma^2 = 0$ 임을 의미한다.

3. 방법별 적용 및 결과

3.1 대상구역 선정

본 연구에서는 태백산맥지역의 한강수계의 평창강 유역을 대상으로 적용하였다. 이 지역은 국제수문개발계획(IHP) 지역으로 총 11개 관측소가 위치하고 있다. 그림 1은 대상 유역도를 나타내었다.

강우량 관측 개시일은 방림과 대화는 1964년 6월이며, 이외의 9개 관측소는 모두 1982년 7월부터 관측되기 시작하였으며 자기우량계가 설치되어 있다. 방법별 가중치 산정을 위해서 11개 강우관측소 중 유역의 중심에 위치한 등매 강우관측소 지점을 가상의 결측 관측소로 가정하고 나머지 관측소로부터 등매 관측소에 대한 각각의 방법을 이용하여 가중치 값을 산정하였다. 가중치 산정에 필요한 각 관측지점별 거리를 산정하여 표 1에 나타내었다.

3.2 적용 및 결과

결측 강우량 보정을 위한 가중치 산정을 위해 등매 관측지점을 결측 지점으로 가정하고, 표 1의 강우 관측지점 간의 거리 및 10년간 평균 강우량 값을 이용하여 가중치를 산정하였다. 강우기록 자료는 11개 관측지점의 강우 기록 시점이 모두 다르므로 본 연구에서는 자료의 동일성을 고려하여 1984년에서 1993년까지의 자료를 적용하였다. 우선 등매 관측지점 주변의 5개(방림, 수동, 신리, 계방, 흥정) 지역을 중심으로 가중치를 산정하고, 또한 결측 지점과 가까운 거리의 순서로 1개씩 관측지점을 증가하여 가중치 값을 구하는 방법으로 가중치 값을 산정하였다. 그림 2~그림 7은 각각의 강우관측 지점의 개수 및 가중치 방법별 결과를 나타내며, 여기서 방법별로 사용된 지수 값 a 와 b는 각각 1.5와 2.0을 사용하였다.

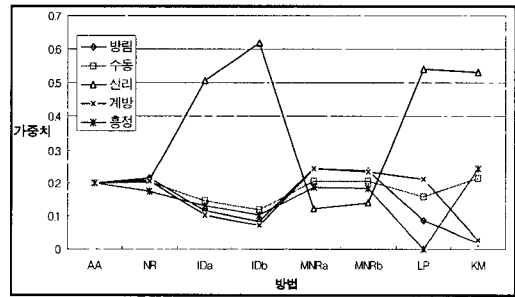


그림 2. 5개 관측지점에 대한 방법별 가중치

표 1. 강우 관측지점간의 거리 (단위: km)

| 구분 | 방림 | 가평 | 수동 | 계촌 | 대화 | 신리 | 유천 | 등매 | 용전 | 계방 | 흥정 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 방림 | - | 8.30 | 5.05 | 7.45 | 9.90 | 13.40 | 12.80 | 13.7 | 20.05 | 27.90 | 25.35 |
| 가평 | 8.30 | - | 12.10 | 15.75 | 6.00 | 10.20 | 16.70 | 14.05 | 17.80 | 25.10 | 26.55 |
| 수동 | 5.05 | 12.10 | - | 3.70 | 11.10 | 13.45 | 8.65 | 11.65 | 18.75 | 26.45 | 21.80 |
| 계촌 | 7.45 | 15.75 | 3.70 | - | 14.45 | 16.40 | 8.80 | 13.50 | 20.80 | 28.20 | 21.95 |
| 대화 | 9.90 | 6.00 | 11.10 | 14.45 | - | 4.60 | 12.30 | 8.30 | 11.95 | 19.55 | 20.70 |
| 신리 | 13.40 | 10.20 | 13.45 | 16.40 | 4.60 | - | 11.70 | 5.90 | 7.60 | 15.10 | 17.75 |
| 유천 | 12.80 | 16.70 | 8.65 | 8.80 | 12.30 | 11.70 | - | 6.50 | 13.25 | 20.00 | 13.25 |
| 등매 | 13.70 | 14.05 | 11.65 | 13.50 | 8.30 | 5.90 | 6.50 | - | 7.30 | 14.80 | 12.55 |
| 용전 | 20.05 | 17.80 | 18.75 | 20.80 | 11.95 | 7.60 | 13.25 | 7.30 | - | 7.85 | 11.70 |
| 계방 | 27.90 | 25.10 | 26.45 | 28.20 | 19.55 | 15.10 | 20.00 | 14.80 | 7.85 | - | 12.60 |
| 흥정 | 25.35 | 26.55 | 21.80 | 21.95 | 20.70 | 17.75 | 13.25 | 12.55 | 11.70 | 12.60 | - |

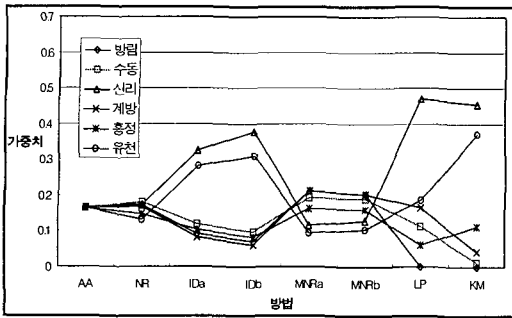


그림 3. 6개 관측지점에 대한 방법별 가중치

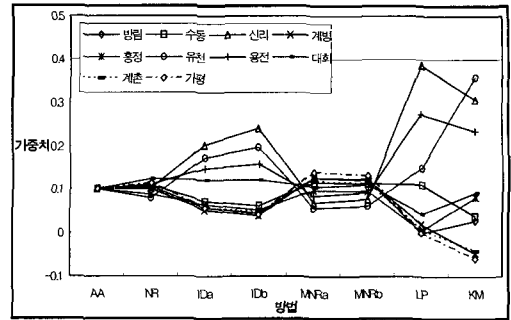


그림 7. 10개 관측지점에 대한 방법별 가중치

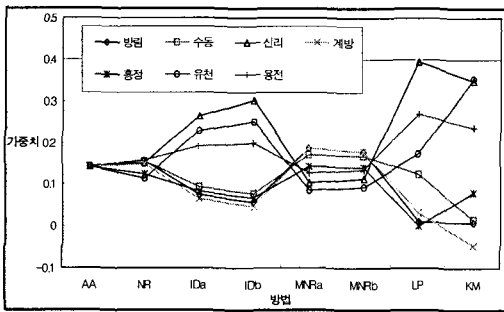


그림 4. 7개 관측지점에 대한 방법별 가중치

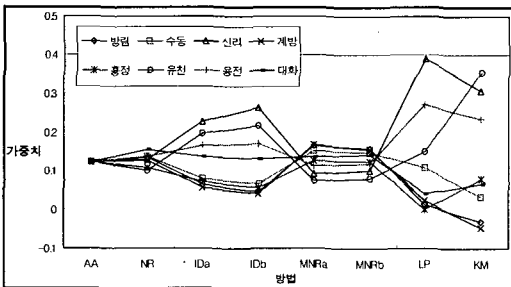


그림 5. 8개 관측지점에 대한 방법별 가중치

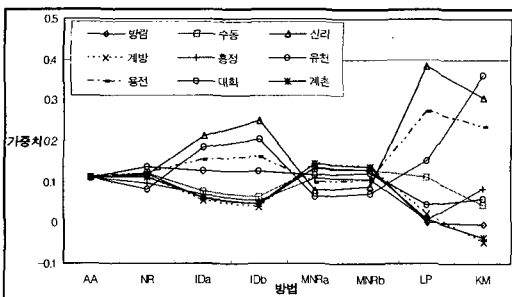


그림 6. 9개 관측지점에 대한 방법별 가중치

관측소의 개수 증가에 따른 가중치 산정 결과를 살펴 보면 다음과 같다. 산술평균법은 관측소의 개수 증가에 따라 모두 한 개의 가중치 값으로 수렴하고 있다. 이는 관측소의 개수를 단순히 산술평균한 값이 가중치 값으로 적용되고 있기 때문이다. 정상연강우량법은 관측소의 개수 증가에 따라 가중치 값이 차이는 그림 2에서 보듯이 0.174~0.215와 같이 큰 차이는 나타내지는 않았다. 이는 주변의 관측소와 결측된 지점의 관측소의 10년 평균강우량 값의 차이가 크지 않기 때문으로 판단된다. 역거리법은 수식에 적용된 지수 a와 b값에 따라 서로 다른 결과 값을 나타내었으며, 특히 결측지점과 가까운 거리에 위치한 신리의 경우는 관측소의 개수 증가와 관계없이 높은 가중치 값을 나타내었다. 즉, 그림 2에서 신리의 가중치 값은 0.506이며, 이는 다른 주변의 관측소 값이 0.102~0.114의 값을 보이는 것과 대조적으로 월등한 가중치 값을 나타내었다.

수정정상연강우량법은 결측지점을 기준으로 주변관측소의 정상연강우량법의 강우자료 중심의 방법에 역거리법의 거리비례를 포함하는 방법으로 관측소의 증가에 따라 정상연강우량법과 역거리법(ID)와 비교해서 전혀 다른 결과를 보여주었다. 또한, 지수 a와 b에 따른 결과 값도 다른 서로 다른 결과를 나타내었다. 선형계획법은 관측소의 개수의 증가에 따라서 가중치 값의 차이는 확연히 다른 결과를 나타내었다. 특히 그림 2에 홍정관측소 및 그림 7에서 가평관측소의 가중치 값은 "0"으로 나타났으며 이는 관측소의 개수의 증가와는 무관하게 결측관측소와 주변관측소의 실제 강우자료의 오차에 따른 가중치 산정의 결과로 기인한 것으로 판단된다. 크리깅방법은 그림 4, 5, 6, 7에서 (-)값을 보이는 가중치 결과를 보여주었다. 특히 관측소의 증가에 따라서 5개~6개 까지는 음(-)값을 가지는 가중치 값이 없었으나, 주변의 관측소가 7개부터 음의 결과를 보였다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 기존에 강우량 결측시 많이 적용되는 보정방법인 산술평균법, 정상연강우량법, 역거리법, 수정 정상연강우량법과 본 연구에서 제안한 선형계획법 및 크리깅방법을 평창강 유역을 대상으로 방법별 가중치를 적용하여 비교 분석하였다. 방법의 적용은 임의 관측지점을 결측지점으로 가정하여 주변의 관측소의 개수를 증가시켜 각 방법별 가중치를 산정하였다.

방법 적용에 따른 결과로 산술평균법, 정상연강우량법, 역거리법, 수정정상연강우량법은 주변의 강우관측소의 개수가 증가함에 따라 가중치 값이 지점별로 작아지는 것으로 알 수 있으나, 선형계획법 및 크리깅 방법은 주변 관측소의 증가와 더불어 특정 관측지점의 가중치 값이 음(-)의 값이나 "0"의 값으로 산정되었다. 즉, 그림 4에서 보듯이 주변 관측 지점의 개수가 6개 이하인 경우 크리깅방법에서 개방관측소의 경우 가중치 값이 음(-)의 값은 나타내었다.

이러한 결과는 강우량 보정을 위해 결측 관측지점과 상당 거리 이상 떨어진 관측소의 강우량 값은 가중치 값에 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다. 또한, 현재 적용하고 있는 기존의 보정방법에서 보정을 위해 필요한 주변의 관측소 개수 기준은 크리깅방법 및 선형계획법의 결과에서 보듯이 7개 까지가 적절한 범위임을 판단할 수 있었다.

참고문헌

[1] Dingman, S. L. (1994). Physical Hydrology, Macmillan College Publishing Company, pp. 97~107.

[2] 김도진, 장대원, 서병하, 김형수 (2005). 퍼지-유전자 알고리즘을 이용한 결측 강우량 보정, 한국습지학회지, 제7권, 제4호, pp. 99-109.

[3] 이동률, 정상만 (1992). 한강유역 강우의 시공간적 특성, 한국수자원학회 논문집, 제25권, 제4호, pp. 75~84.

[4] 차은정, 최영진 (2000). 한반도 여름철 집중호우의 시간-공간 변동 특성, 한국수자원학회, 학술기사, 제33권, 제4호, pp. 47~56.

[5] Jacobs B.L. and Eagleson P. S. (1987). "Stochastic Modeling of Precipitation Events in Space and Time : Parameter Estimation and Scales of Fluctuation" R.M. Parsons Laboratory, Journal of Hydrology and Water Resource System, Report number 314, July

[6] 권오현 (1996). "수자원공학" 새론출판사

[7] 김응석, 김형수, 김중훈 (1999). 점 강우량 결측시 보정방법에 관한 비교 연구, 한국수자원학회, 학술발표회 논문집, pp. 374~381.

[8] 안상진, 최병만, 연인성, 김기석 (2000). 신경망을 이용한 강우 결측지점의 보완과 강우 예측, 한국수자원학회, 학술발표회 논문집, pp. 347~352.

[9] Dean, J. D. and Snyder, W. M (1997). "Temporally and Areally Distribution Rainfall", Journal of Irr. and Drain Div., Proc. of ASCE 103(IR2), pp. 221-229.

[10] Kruizing and Yperlaan(1978). "Spatial Interporation of Daily Total of Rainfall", Journal of Hydrology 36, pp. 65-73.

[11] Tung, Y. K. (1983). Point Ranifall Estimation for a Mountaious Region, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, No. 10, pp.1386-1398.

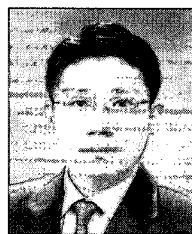
[12] Brook, A., Kendrick, D., and Meeraus, A. (1992). Release 2.25 GAMS user guide, The Scientific Press.

[13] Delhomme, J. P. (1978). Kriging in Hydrosiences, Journal of Advances in Water Resources, Vol. 1, No. 5, pp. 251-266.

[14] Kitanidis, J. (1983). Statistical Estimation of Polynomial Generalized Covariance Functions and Hydrological Applications, Journal of Water Resources Research, Vol. 19, No. 4, pp. 909-921.

김 응 석(Eung-Seok Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 동국대학교 토목공학과 (공학사)
- 997년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2006년 8월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 조교수

<관심분야>

수자원시스템, 상하수도시스템