임하댐 유역 강우의 공간적 특성에 관한 연구

A Study on Spatial Characteristics of Rainfall in Imha Basin

이상진*, 황만하**, 고익환***, 이배성****

Sang Jin Lee, Man Ha Hwang, Ick Hwan Ko, Bae Sung Lee

요 지

강우-유출분석에 있어서 적절한 면적평균강우량의 추정은 유출 결과에 직접적으로 영향을 미치는 매우 중요한 요소이다. 일반적으로 실무에서 가장 많이 이용되고 있는 면적평균강우량 추정방법으로는 산술평균법, Thiessen의 가중평균법 등이 있으며, 이와 같은 방법들은 강우관측소에서 관측한 지점우량 자료로부터 일정면적을 가진 유역 전체에 균일한 강우가 발생한다는 가정아래 면적평균강우량을 추정하는 방법이다. 그러나 강우는 시공간적으로 다양한 특성을 지니며, 특히 우리나라와 같이 강우의 계절성이 심하고 아울러 산악지형의 영향으로 강우의 공간적 변동성이 큰 지역에서 기존의 방법으로 지점강우량을 면적강우량으로 환산한다면 강우의 공간적인 연속을 나타내는 데는 많은 어려움이 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 강우의 공간적인 통계특성을 반영하기위해 크리깅 기법을 이용하여 면적평균강우량을 추정함으로써 유역강우의 공간적인 특성을 반영하였다. 또한 면적평균강우량 추정기법 중 기존 실무에서 널리 사용된 산술평균법 및 Thiessen의 가중평균법을 이용하여 면적평균강우량을 계산하고 각각의 경우에 대한 오차를 평가하였으며, 각 기법들로부터 추정된 면적평균강우 자료를 이용하여 강우-유출분석을 실시함으로써 유역강우의 추정오차가 유출계산에 미치는 영향을 분석하였다.

핵심용어 : 강우-유출, 면적평균강우, 크리깅

1. 서 론

강우-유출분석에 있어서 적절한 면적평균강우량의 추정은 유출 결과에 직접적으로 영향을 미치는 매우 중요한 요소이다. 일반적으로 실무에서 가장 많이 이용되고 있는 면적평균강우량 추정방법으로는 산술평균법, Thiessen의 가중평균법 등이 있으며, 이와 같은 방법들은 강우관측소에서 관측한 지점우량 자료로부터 일정면적을 가진 유역 전체에 균일한 강우가 발생한다는 가정아래 면적평균강우량을 추정하는 방법이다. 그러나 강우는 시공간적으로 다양한 특성을 지니며, 특히 우리나라와 같이 강우의 계절성이 심하고 아울러 산악지형의 영향으로 강우의 공간적 변동성이 큰 지역에서 기존의 방법으로 지점강우량을 면적강우량으로 환산한다면 강우의 공간적인 연속을 나타내는 데는 많은 어려움이 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 강우의 공간적인 통계특성을 반영하기위해 크리깅 기법을 이용하여 면적평균강우량을 추정함으로써 유역강우의 공간적인 특성을 반영하고자 한다. Abtew 등(1993)은 월강우량의 공간 분석을 통해 여러 가지 공간내삽법 중 크리깅 기법의 우수성을 입증하였으며, 윤용남 등(2002)은 강우의 관측오차와 이로부터 발생되는 유출오차를 정의한 후, 강우관측소의 밀도를 다양하게 변화시켜 강우의 관측오차가 유출해석에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 김흥태 등(2003)은 낙동강 유역을 중심으로 크리깅 기법을 이용한 지속시간별-재현기간별 확률강우량을 산정하여 유역단위로 구분함으로써 유역별 평균강우량을 산정하였다.

* 정회원・한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 선임연구원・E-mail : sjlee@kowaco.or.kr
** 정회원・한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 수석연구원・E-mail : hwangmh@kowaco.or.kr
*** 정회원・한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 연구소장・E-mail : ihko@kowaco.or.kr
**** 정회원・한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 위촉연구원・E-mail : ce407@daum.net

본 연구에서는 강우의 공간적인 통계특성을 반영하기위해 크리깅 기법을 이용하여 면적평균강우량을 추정함으로써 유역강우의 공간적인 특성을 반영하였다. 또한, 면적평균강우량 추정기법 중 기존 실무에서 널리 사용되고 있는 전통기법인 산술평균법 및 Thiessen의 가중평균법을 이용하여 면적평균강우량을 계산하고 각각의 경우에 대한 오차를 평가함은 물론, 강우-유출분석을 실시함으로써 유역강우의 추정오차가 유출계산에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 크리깅 기법의 기본이론

수문변수의 공간적인 변동성은 주로 공간상관(spatial correlation) 및 반분산(semi-variogram)으로 공간적인 상관성을 정략적으로 설명할 수 있으며, 이 두 함수들은 일반적으로 공간적인 의존성이나 상관성을 나태는 척도로 사용되고 있다. 이 두 공간함수들은 공간 오차 분석을 통해 면적 평균이나 공간적 내외삽 기법에 대하여 추정된 변수의 정확도 및 신뢰도를 평가할 수 있으며, 특히 대표적 지형통계 기법인 크리깅 기법은 반분산을 이용하여 공간상의 추정오차를 최소화하여 미계측 지점의 값을 내삽하는 방법이다.

일반적으로 반분산을 이용한 최적보간 기법을 크리깅 기법이라고 하며 공간현상에 대한 공간적인 변동성을 표현하기 위해 반분산을 이용한다. 크리깅 기법은 공간현상이 등방성의 반분산을 가지며 공간현상의 평균 및 분산도 공간적으로 균일하다는 가정을 포함한다. 크리깅 기법은 보통 일반 크리깅(ordinary kriging)이라고 부르며, 또한 범용 크리깅(universal kriging)은 불균일한 공간현상에 적용될 수 있다.

공간변수의 임의 지점 u_o에서 지점 추정치 $Z(u_o)$는 측정지점 $u_1, u_2, \cdots, u_m$에서의 관측값 $Z(u_1), Z(u_2), \cdots Z(u_m)$의 선형가중 조합으로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z(u_o) = \sum_{j=1}^{M} w_j Z(u_j) \tag{1}$$

여기서, w_j는 표본지점 u_j에서의 $Z(u_j)$에 대한 가중치, M은 표본지점의 총 수이며, 직각좌표계에서 $u=(x, y)$로 x는 수평, y는 수직방향의 좌표를 나타낸다. 식 (2)는 지점 추정에 사용되는 식이며 가중치 w_j를 산정하기 위해 다양한 기법들이 사용될 수 있다. 식 (1)에서 가중치의 무편향(unbiased) 최소 분산 추정치를 구하기 우해 가중치의 합은 1이 되어야 하며 평균제곱오차는 최소가 되어야한다. 무편향 조건을 만족하는 평균제곱오차는 다음 식 (2)와 같다.

$$MSE_p = 2\sum_{j=1}^{m} w_j \gamma(d_{oj}) - \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{M} w_i w_j \gamma(d_{ij}) \tag{2}$$

여기서, $\gamma(\cdot)$는 등방성 반분산이며, 라그랑지 방법을 이용하면 함수는 식 (3)과 같이 최소화된다.

$$F = 2\sum_{j=1}^{M} w_j \gamma(d_{oj}) - \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{M} w_i w_j \gamma(d_{ij}) - 2\lambda\left[\sum_{i=1}^{M} w_i - 1\right] \tag{3}$$

식 (3)의 함수를 가중치와 라그랑지 계수 λ에 관하여 미분하면 다음 식 (4)를 구할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{M} w_i \gamma(d_{ij}) + \lambda = \gamma(d_{oj}), j = 1, \cdots, M \tag{4a}$$

$$\sum_{i=1}^{M} w_i = 1 \tag{4b}$$

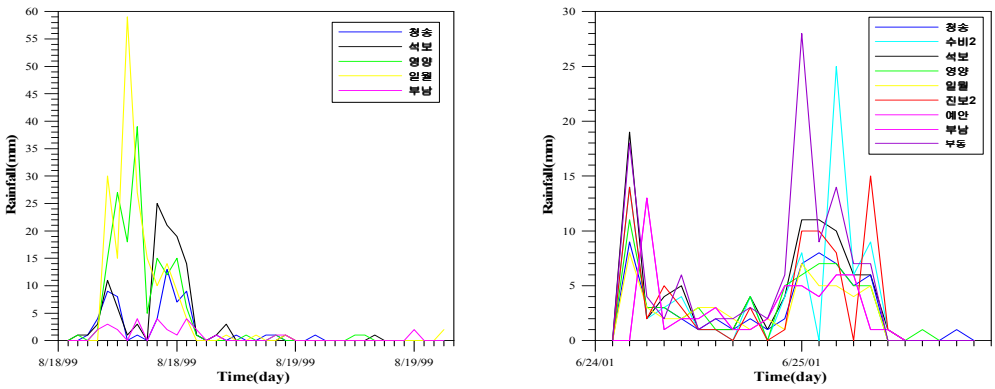
식 (4)는 $M+1$개의 방정식으로 최적가중치 w_j^*를 구하기 위해 동시에 계산할 수 있으며, 최소평균제곱오차는 계산된 최적가중치를 이용하여 식 (4)를 식 (2)에 대입함으로써 다음 식 (5)를 구할 수 있다.

$$MSE_p^* = \sum_{j=1}^{M} w_j^* \gamma(d_{oj}) + \lambda^* \tag{5}$$

3. 연구대상 유역 및 강우의 공간분포

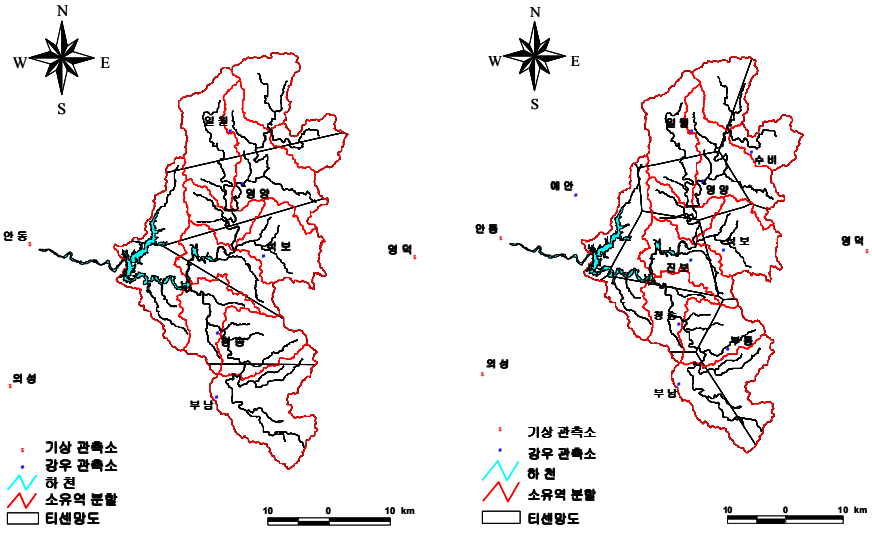
본 연구의 대상유역으로는 임하댐 유역을 선정하였으며, 임하댐유역의 유역면적은 1,361㎢이고, 유로 최대연장은 98.1㎞이다. 임하댐 유역의 년평균강수량은 댐이 준공된이후 1,050.6㎜로서 전국평균 1,283㎜의 81.9%에 해당된다.

본 유역 강우의 공간적 특성 분석위한 강우자료는 수자원종합정보시스템(WAMIS)으로부터 수집하였으며, 분석대상 호우로는 1999년 8월 호우(1999.8.18~8.20)와 2001년 6월호우(2001.6.24~6.26)으로 선정하였다. 그림 1은 분석대상 호우에 대한 관측소별 강우관측 자료를 도시한 것이다. 임하댐 유역내 강우 관측소 위치는 그림 2에 도시한 바와 같고, 티센망도를 작성하여 함께 나타내었다.



(a) 1999년 8월 호우 (b) 2001년 8월 호우

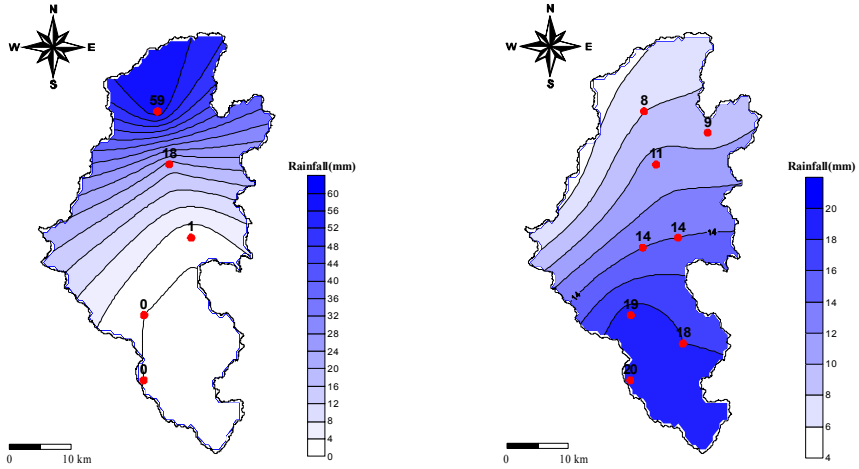
그림 1. 관측소별 강우관측 현황



(a) 1999년 (b) 2001년

그림 2. 임하댐 유역의 티센망도

임하댐 유역 강우의 공간적 특성을 분석하기위하여 대상유역을 70m×100m 크기의 격자 시스템으로 구성하였으며, 분석대상 호우에 대하여 강우 관측소간 거리에 따른 강우량의 상관성 및 반분산 분석을 실시하였다. 또한, 산정된 공간상관도 및 반분산도로부터 크리깅 기법의 매개변수를 산정하였다. 분석대상 기간에 대한 임하댐 유역 강우를 크리깅 기법을 이용하여 매시간 마다 공간 분포시켰으며, 공간 분포된 유역강우로부터 면적평균강우량을 산정하였다. 그림 3은 분석기간 동안에 면적평균강우량이 가장 크게 추정된 시점에서 유역내 강우의 공간분포를 나타낸 것이다.



(a) 1999년 8월 호우　　(b) 2001년 6월 호우

그림 3. 임하댐 유역 강우의 공간 분포도

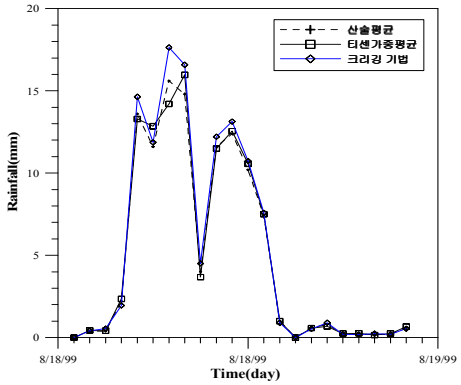
4. 면적평균강우량 산정 및 유출 분석

본 연구에서는 크리깅 기법을 이용하여 유역 강우의 공간적인 특성을 고려한 면적평균강우량을 산정하였고, 또한, 산술평균법 및 Thiessen의 가중평균법을 이용하여 면적평균강우량을 산정하였으며 계산결과는 다음 표 1 및 그림 4와 같다. 누가 면적평균강우량은 표 1에서 보는 바와 같이 산정기법에 따른 큰 차이가 나타나지 않았으나, 그림 4(a)의 1999년 8월 호우와 같이 일부 기간에서 공간적 분포 특성을 고려한 크리깅 기법이 다소 크게 산정되었다.

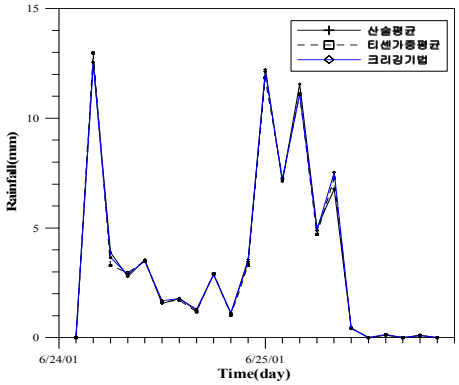
유역강우의 추정오차가 유출계산에 미치는 영향을 분석하기 위하여 위에서 산정된 면적평균강우량 산정결과를 이용하여 강우-유출분석을 실시하였으며, 결과는 그림 5와 같다. 본 연구에서 사용한 강우-유출분석 모형은 HEC-HMS 모형이다. 그림 5에서 보는 바와 같이 2001년 6월 호우의 경우, 면적평균강우량 산정기법별 유출계산오차는 작은 것으로 나타났으나, 1999년 8월 호우의 경우, 첨두유량 모의에서 산술평균과 Thiessen의 가중평균법의 유출계산오차는 각각 170.9cms, 76.2cms으로 과소 추정하였고, 크리깅 기법의 유출계산오차는 90.2cms으로 과대 산정하였다. 이와 같이 크링기 기법의 경우 유출계산 오차가 크게 나타난 이유는 그림 4에서 보는 바와 같이 면적평균강우량 산정값이 다른 기법들에 비해 크게 산정되었기 때문이다. 이로부터 면적평균강우량의 추정오차가 유출계산에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있었다.

표 1. 산정 기법별 누가 면적평균강우량

분석기간	누가 면적평균강우량(mm)		
	산술평균	티센가중평균	크리깅 기법
1999.08.18 03:00 ~ 08.20 06:00	110.60	111.5	117.9
2001.06.24 14:00 ~ 06.26 17:00	78.2	77.3	78.2

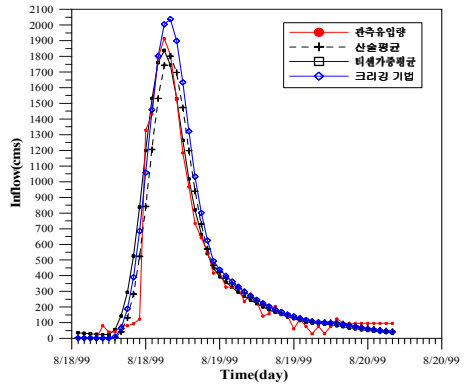


(a) 1999년 8월 호우

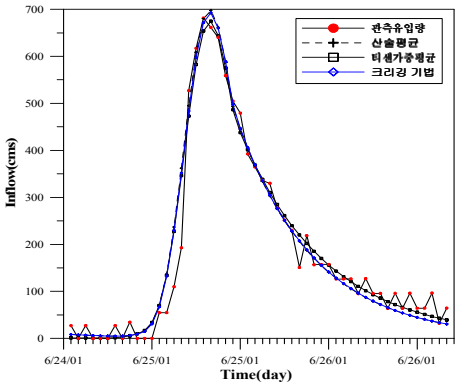


(b) 2001년 6월 호우

그림 4. 면적평균강우량 산정결과



(a) 1999년 8월 호우



(b) 2001년 6월 호우

그림 5. 강우-유출분석 결과

5. 결 론

본 연구에서는 임하댐 유역을 대상으로 강우의 공간적인 통계특성을 반영하기위해 크리깅 기법을 이용하여 면적평균강우량을 추정함으로써 유역강우의 공간적인 특성을 분석하였다. 또한 면적평균강우량 추정기법 중 기존에 실무에서 널리 사용된 산술평균법 및 Thiessen의 가중평균법을 이용하여 면적평균강우량을 계산하고 각각의 경우에 대한 오차를 평가하였으며, 각 기법들로부터 추정된 면적평균강우 자료를 이용하여 강우-유출분석을 실시함으로써 유역강우의 추정오차가 유출계산에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 김홍태 신현석 박용운(2003). 크리깅기법을 이용한 유역평균강우량 산정 방법에 관한 연구 -낙동강 유역을 중심으로-, 대한토목학회 2003년도 정기 학술대회 논문집, pp. 2148-2152.
2. 윤용남, 김중훈, 유철상, 김상단(2002). 공간 분포된 강우를 사용한 유출 매개변수 추정 및 강우오차가 유출계산에 미치는 영향분석, 한국수자원학회논문집, 제35권, 제1호, pp. 1-12
3. Abtew W., Obeysekera J., and Shih G.(1993). Spatial analysis for monthly rainfall in south Florida., Water Resources Bulletin, Vol. 29, No. 2, pp. 179-188.