

## 강수의 계절성과 면적평균강수량의 추정오차

### Rainfall Seasonality and Estimation Errors of Area-Average Rainfall

유철상\*  
Yoo, Chul Sang

#### Abstract

This study evaluates the variation of estimation error of area-average rainfall due to rainfall seasonality. Both the cases considering and not considering the spatial correlation are compared to derive the characteristics of estimation error. Similar cases with different accumulation time without considering the rainfall seasonality are also investigated. This study was applied to the Geum-river basin with total 28 rain gauge measurements having more than 30 years of daily rainfall measurements. As results of the study we found that: (1) The absolute estimation error of monthly area-average rainfall show strong seasonality like the total rainfall amount. However, the relative estimation error normalized by its mean was estimated to have similar values about 5 to 8% except January and December. (2) The relative estimation error of annual area-average rainfall estimated was found to have the estimation error about 3% of its annual mean. (3) However, the relative estimation error normalized by the standard deviation remains almost the same for both monthly and annual rainfall amounts, which was estimated about 11% of its standard deviation. (4) Finally, the estimation error without considering the spatial correlation was found to become almost twice the estimation error with considering the spatial correlation.

**keywords** : seasonality, area average rainfall, estimation error

#### 요 지

본 연구에서는 강수의 계절성에 따라 면적평균강수량의 추정오차가 어떻게 달라지는지를 평가하였다. 공간상관을 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우 모두를 다루었으며, 각각의 경우에 대해 추정오차의 변화를 살펴보았다. 유사한 경우로서 계절성을 무시하고 누가시간을 증가시켜 추정오차가 어떻게 변하는지도 살펴보았다. 본 연구는 금강유역에 적용하였으며 30년 이상의 일 강수 기록을 가진 28개 지점의 자료를 이용하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다: (1) 월 단위의 면적평균강수량에 대한 추정오차는 대체로 강수량에 비례하여 나타나며, 따라서 강한 계절성을 나타낸다. 그러나 이를 평균 강수량으로 나눈 상대오차는 1월과 12월을 제외하면 대략 5 - 8% 정도로 유사한 값을 보인다. (2) 연 강수량에 대한 추정오차는 연강수량의 3% 정도인 것으로 나타났다. (3) 그러나, 강수량이 아닌 강수량의 표준편차를 기준으로 삼는 경우 면적평균강우의 추정오차는 월 단위 및 년 단위에서 동일하게 표준편차의 11% 정도로 계산된다. (4) 마지막으로, 공간상관을 고려하지 않는 경우의 추정오차는 고려하는 경우의 2배 정도까지 커짐을 확인할 수 있었다.

**핵심용어** : 계절성, 면적평균강수량, 추정오차

\* 성균관대학교 토목환경공학과 부교수 (cyoo@skku.ac.kr)

## 1. 서론

우리나라의 경우에서처럼 강수의 강한 계절성은 수 자원의 효율적인 이용을 가로막는 가장 큰 원인이 된다. 강수-유출해석을 포함한 수문 해석의 경우에도 큰 문제를 야기하게 되는데 이는 기본적으로 면적평균강수량의 정확도(accuracy)가 강수량의 시-공간적 변동성과 관계 있기 때문이다. 일반적으로는 강수량이 증가에 따라 강수의 시-공간적 변동성이 커지는 것으로 알려져 있다. 아울러 강수의 특성은 강수의 생성원인에 따라 달라지기도 하는데, 우리나라의 경우는 대류성 강수(convective storm), 장마(frontal storm), 및 태풍(typhoon, or cyclonic storm)이 교차하는 복잡한 양상을 나타낸다.

면적평균강수(area-average rainfall)와 관련된 문제는 여러 연구에서 찾아볼 수 있다. 김성준 등(2002), 유철상 등(2002)의 연구는 면적평균강수가 유출 결과의 신뢰도에 어떤 영향을 나타내는지 설명하고 있으며, 윤용남 등(2002)의 연구도 유사한 결과를 보여주고 있다. 면적평균강수량을 추정하는 방법 및 이에 따른 오차의 추정은 공간상관을 고려하지 않는 경우(유철상과 정광식, 2001)와 고려하는 경우(유철상 등, 2002)에서 각각 살펴볼 수 있다. 그들의 결과는 먼저, Thiessen의 가중 평균법은 강수계가 공간적으로 등 분포되어 있는 경우 산술평균법과 유사한 추정오차를 나타내지만 그렇지 못한 경우에는 더 큰 오차를 나타낼 수 있다는 것이며, 둘째 공간상관을 고려하는 경우 추정오차가 크게 줄어드는 것이다. 최근 Yoo와 Ha(2002)는 그 추정오차의 크기가 산술평균한 강수의 표준편차와 유사함을 유도한 바 있다.

본 연구는 이러한 연구의 연장으로 강수의 계절성에 따른 추정오차의 변화 양상을 다루어 보고자 한다. 특히, 강수의 계절성은 그 평균뿐만 아니라 시-공간적 변동성의 차이도 포함하는 것으로 강수의 비선형성(non-linearity)을 나타내는 현상이기도 하다. 따라서, 강수의 선형성(linearity)을 근거로 한 유철상 등(2002)의 연구를 근거로 한 추정오차는 비정상적으로 커질 가능성도 배제할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 매년 동일한 일, 주 또는 월 강수량 자료를 각각 이용하여 강수의 시-공간적 변동정도를 유사한 수준으로 제한하는 것이다.

본 연구와 유사한 연구를 Yoo(2001)에서 살펴볼 수 있는데, 격자형태의 강수관측망에 대한 경우를 다차원

강수모형을 이용하여 적용한 것에 해당한다. 그의 연구에서는 이상적인 경우에 대한 이론적인 해를 제시하고 있으며, 관측된 강수의 통계특성을 이용하여 얻은 해로부터 다차원 강수모형의 매개변수를 추정하고, 이를 이론적으로 유도된 추정오차 식에 적용하여 오차를 계산하는 형태이다. 한강유역에 적용된 이 연구는 산술평균된 유역 강수 시계열의 표준편차로 정규화 된 추정오차는 5 - 10월의 적용기간에 대해 대체로 유사한 값을 갖는다는 것이다.

본 연구에서는 Yoo(2001)의 연구결과를 관측강수를 직접 사용하여 확인해 보고자 한다. 추정오차를 계산하는 기본 식은 유철상 등(2002)의 것이며, 기존의 식이 강수계 사이의 공간상관을 고려하지 못한다는 단점을 해결한 방법이다(유철상과 정광식, 2001). 본 연구는 금강유역에 적용하였으며, 30년 이상의 일 강수기록을 가진 28개 지점을 고려하였다.

## 2. 면적평균강수량의 추정오차

유철상 등(2002)에 따르면 면적평균강수량의 추정오차는 다음과 같이 유도할 수 있다. 먼저 면적평균 강수의 참값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{P}_t(t) = \frac{1}{A} \int_A P_t(\vec{r}, t) dA \quad (1)$$

이때,

$$P_t(\vec{r}, t) = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau/2}^{t+\tau/2} P(\vec{r}, t) dt \quad (2)$$

위 식은  $\tau$ 시간 동안의 평균강수량을 나타내는 것으로, 사용 가능한 자료가 1시간 또는 1일 단위로 누가되어 있는 것을 고려하기 위한 것이다. 마지막으로  $P(\vec{r}, t)$ 는  $\vec{r}$ -지점,  $t$ -시간에서의 강수강도를 나타낸다.

먼저  $\tau$ -시간 동안의 강수량 평균에는 편의가 없다고 가정하자. 즉 각 지점의 관측 자체에는 오차가 없다는 것을 전제로 한다. 아울러 대상 유역에는  $N$ 개의 강수관측소가 존재한다고 하자. 주어진 관측자료를 이용하여 면적평균 강수량을 구하는 방법은 각 지점의 관측 기록에 어떤 방식으로 가중인자를 주느냐에 따라 다양한 방법이 있을 수 있다. 만일 각 관측지점에 각각 다른 가중인자  $w_j$  ( $j=1, \dots, N$ )가 주어진다면 면적평균 강수량은 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{P}_t(t) = \sum_{j=1}^N w_j P_t(\vec{r}_j, t) \quad (3)$$

만일  $E[P_r(\vec{r}, t)]$ 가 주어진 유역 내에서 크게 다르지 않다고 하면, 위 식이 불편(un-biased) 추정량이 되기 위한 조건은 다음과 같이 간단히 유도된다.

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1.0 \quad (4)$$

따라서, 산술평균법, Thiessen의 면적가중법, 등우선법 등과 같이 수자원분야에서 일반적으로 사용되는 면적평균 강수의 추정방법은 모두 불편 추정량을 제공한다.

면적평균강수량의 추정오차(의 제곱)는 다음과 같이 정의된다. 즉,

$$\begin{aligned} \epsilon^2 &= E[(\bar{P}_r - \bar{P}_r)^2] \\ &= E\left[\left(\frac{1}{A} \int_A (1-A) \sum_{i=1}^N w_i \delta(\vec{r} - \vec{r}_i) P_r(\vec{r}, t) dA\right)^2\right] \end{aligned} \quad (5)$$

위 식을 풀어 쓰면 다음과 같고,

$$\begin{aligned} \epsilon^2 &= \int_A \int_{A'} \left[ \frac{1}{A^2} - \frac{2}{A} \sum_{i=1}^N w_i \delta(\vec{r} - \vec{r}_i) + \sum_{i,j=1}^N w_i w_j \right. \\ &\quad \left. \delta(\vec{r} - \vec{r}_i) \delta(\vec{r}' - \vec{r}_j) \right] \rho_r(\vec{r}, \vec{r}') dA' dA \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,  $\delta(\cdot)$ 는 Kronecker delta function으로 ( ) 안의 조건을 만족할 때 1의 값을, 그렇지 못한 경우에는 0의 값을 갖는 것으로 정의한다. 아울러

$$\rho_r(\vec{r}, \vec{r}') = E[P_r(\vec{r}, t) P_r(\vec{r}', t)] \quad (7)$$

즉, 두 지점 사이의 공분산(covariance)를 나타낸다. 식 (6)의 각 항을 풀면 다음과 같이 간단한 형태의 추정오차 식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \epsilon^2 &\approx \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i w_j \rho_r(\vec{r}_i, \vec{r}_j) - \frac{2}{N-1} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \\ &\quad w_i \rho_r(\vec{r}_i, \vec{r}_j) \end{aligned} \quad (8)$$

유역 내 관측지점의 수가  $N$ 이므로  $N \times N$  공분산 행렬이 면적평균 강수의 추정오차 계산에 이용된다.

식 (8)는 다음과 같은 두 가지의 특별한 경우를 통하여 그 적용성을 살펴볼 수 있다. 첫 번째 경우는 유역 내  $N$ 개의 강수관측기록이 모두 서로 독립(즉, 교차상관계수=0)인 경우이다. 만일, 산술평균법(Arithmetic Average Method: AA)을 이용하여 면적평균강수량을 구한다면 그 추정오차는 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{AA}^2 \approx \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \rho_r(\vec{r}_i, \vec{r}_i) \quad (9)$$

두 번째로, Thiessen의 가중평균법을 적용하게 되면, 즉, 각 강수관측소에 각각 다른 가중치를 적용한다면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\epsilon_{TA}^2 = \sum_{i=1}^N w_i^2 \rho_r(\vec{r}_i, \vec{r}_i) \quad (10)$$

위의 결과 역시 유철상과 정광식(2001)의 연구결과와 일치한다. 마지막으로, 대상 유역 내 강수장이 완전한 공간상관(fully spatially correlated)을 나타낸다면, 관측자료를 이용해 얻은 공분산행렬은 모든 행과 열에 대해 아주 유사한 값을 갖게 되고, 따라서, 식 (8)에 의하면 추정오차는 거의 "0"에 가까운 값을 나타내게 된다.

### 3. 적용 예

#### 3.1 대상유역 및 자료 특성

본 연구는 대청댐이 있는 금강유역을 대상으로 하였다. 금강유역은 한반도의 중서부에 위치하며 충청남도, 충청북도의 약 절반과 전라북도의 약 1/4을 점하고 경기도 및 경상북도 일부를 점하는 유역 면적 9,886km<sup>2</sup>의 대유역으로서 대략 남한면적의 1/10정도인 남한 제3의 유역이며 본류의 유로 연장이 393.9km에 이른다(한국수자원공사, 1992). 현재 금강유역 내에는 30년 이상 일강수 기록이 있는 28개 지점(강경, 고산대, 공주, 덕산, 모서, 무주, 반포, 병천, 부강, 안내, 안성장, 연산, 예산, 옥천, 용담, 임피, 장수, 전주, 정산, 정안, 진안, 진천, 청산, 청양, 추풍령, 함열, 홍산, 홍성)을 선정하여 연구에 이용하였다. 사용된 자료는 1965 - 1996년까지의 자료이며 각 지점의 월별 및 연평균강수량은 표 1과 같고 표준편차는 표 2에 정리하였다.

#### 3.2 누가시간에 따른 면적평균강수량의 추정오차

그림 1은 금강유역 28개 지점 자료를 이용하여 산술평균으로 추정된 금강유역 평균강수량의 추정오차를 도시한 것이다. 고려한 누가시간은 각각 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 및 365일이다. 그림 1의 첫 번째 그림은 강수의 계절성을 고려하지 않고 분산이나 공분산을 추정하는 과정에 동일한 평균(일 자료의 년평균)을 적용한 경우이고, 두 번째 그림은 강수의 계절성을 고려하여 각각의 평균(일 자료의 월평균)을 고려한 경우이다. 그러나 분산의 경우는 정규화하지 않고 그대로 사용하였다. 즉, 평균은 "0"으로 정규화 되었지만 분산은 그렇지 않아 강수의 비선형성이 여전히 존재하는 경우가 된다.

표 1. 금강유역 각 지점의 월별 및 연평균 강수량

site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1	26.9	39.5	62.8	100.0	90.4	230.1	234.9	220.2	93.1	49.9	37.7	28.4	1213.8
2	33.6	46.3	56.4	69.8	72.0	212.0	198.3	184.3	75.5	44.6	46.4	31.9	1071.0
3	29.9	45.6	71.5	108.7	107.7	245.7	271.0	254.3	103.3	56.5	44.5	23.8	1362.5
4	18.0	35.6	58.8	89.1	93.6	193.5	234.8	210.6	88.6	43.1	35.2	17.9	1118.8
5	27.8	41.2	56.3	78.8	92.3	189.7	258.4	253.7	82.8	50.6	40.9	25.4	1198.0
6	25.4	37.2	63.4	81.2	82.0	196.1	186.2	181.4	76.1	40.0	31.7	20.9	1021.7
7	24.6	43.5	57.6	82.0	93.2	197.2	244.3	242.5	88.9	49.5	40.3	26.8	1190.3
8	29.5	45.7	62.9	93.3	83.2	213.4	209.9	199.4	85.8	44.7	40.8	23.4	1132.0
9	20.3	36.8	58.8	99.2	94.3	193.5	250.4	276.8	81.5	51.6	33.8	23.5	1220.7
10	26.4	42.6	61.1	99.8	98.2	220.7	252.6	253.9	93.6	47.6	37.5	23.7	1257.6
11	29.1	45.0	63.7	110.0	97.2	230.7	229.8	227.9	82.4	49.4	47.4	26.7	1239.3
12	28.9	32.3	56.7	98.8	85.1	210.3	225.5	199.0	86.0	42.1	43.2	23.2	1131.2
13	22.6	40.1	59.7	94.6	89.9	200.8	243.0	234.8	83.6	52.1	55.0	28.3	1204.6
14	22.1	38.5	49.5	82.5	90.9	153.9	228.7	234.3	64.0	45.1	36.0	22.9	1068.3
15	27.8	39.3	67.8	93.6	92.4	240.7	223.2	207.9	86.6	47.2	46.6	28.6	1201.7
16	35.3	49.2	70.9	96.7	100.2	216.5	229.5	219.2	93.6	54.4	50.7	31.4	1247.6
17	36.0	49.2	68.7	96.5	96.1	219.4	222.0	201.3	84.9	55.4	51.2	29.4	1210.0
18	29.6	38.5	52.2	95.4	95.1	189.6	265.5	254.5	84.9	48.4	35.4	24.9	1213.9
19	25.6	41.7	48.6	80.9	88.9	195.6	241.9	255.2	73.1	44.3	31.5	19.7	1146.8
20	30.9	46.4	62.3	99.0	92.6	226.3	250.6	264.6	88.0	50.6	39.9	26.7	1278.0
21	27.1	34.7	57.6	87.5	83.6	183.2	202.6	181.6	74.3	42.6	36.2	21.0	1031.8
22	50.8	44.2	66.6	99.0	87.8	225.7	216.1	202.1	77.2	46.4	35.1	25.5	1176.2
23	28.9	44.3	62.4	81.2	78.9	211.1	208.2	183.3	79.5	46.7	38.6	24.6	1087.7
24	24.6	38.9	52.2	83.4	84.7	168.3	239.8	244.7	73.9	50.0	39.9	19.4	1119.8
25	32.7	44.6	65.6	93.5	92.0	209.2	199.8	215.3	82.9	54.6	50.3	35.2	1175.8
26	31.4	44.2	62.0	93.0	88.2	227.4	233.2	224.9	92.0	46.3	41.4	23.8	1207.7
27	29.5	44.4	70.6	86.9	89.0	228.7	189.5	178.8	84.4	50.7	47.9	32.2	1132.5
28	25.2	41.5	57.6	92.2	79.7	221.5	222.8	236.2	74.9	44.0	38.7	22.7	1156.9
avg	28.6	41.8	60.9	91.7	90.0	209.0	229.0	222.9	83.4	48.2	41.2	25.4	1172.1

따라서 면적평균강수의 추정오차는 우리가 생각하는 이상으로 크게 추정되었다. 두 경우의 비교에서 후자의 경우에 더 작은 추정오차를 나타냄은 당연하다.

이러한 현상은, 특히, 누가시간이 커져서 월 단위 이상이 되는 경우에 더욱 뚜렷하다. 궁극적으로는 추정오차의 계산 시 이와 같은 비선형성은 배제하는 것이 바람직하며, 아울러 강수의 공간상관을 고려하는 경우 추정오차가 크게 감소함을 파악할 수 있다.

### 3.3 월별 강수량에 대한 면적평균강수량의 추정 오차

월별 강수량 자료에 대하여 면적평균강수의 추정오차를 도시한 것이 그림 2이다. 그림 2의 첫 번째 그림은 강수량의 계절성, 즉 강수량의 증감에 따른 추정오차의 증감을 살펴볼 수 있는 결과로서 추정오차의 명백한 계절성을 나타내고 있다. 그러나 이 추정오차를 강수의 월평균으로 나누어 정규화 한 경우(그림 2의 두

번째 그림)의 결과는 상이하다. 대략 2 - 11월 사이의 상대오차는 월 평균강수의 약 5 - 8% 정도로 유사하며, 단지 1월과 12월의 경우가 20% 10% 정도로 크게 나타난다. 그러나 이 결과는 특히 겨울철의 강수(강설)가 국지적이고 아울러 그 양이 작음에서 기인하는 것임을 알 수 있다.

그림 2에서 13월은 연 강수량 자료에 해당하는 것인데, 추정오차의 절대 크기는 30 - 40mm 정도로 나타나고 있고 연 강수량을 고려하면 대략 3% 정도에 해당하는 크기가 된다.

### 3.3 월 강수량과 면적평균강수량의 추정오차

그림 3은 월 강수량과 각 월의 면적평균강수의 추정오차를 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 추정오차는 강수량에 대해 선형의 관계를 나타내고 있어 매월 강수량의 변동정도는 강수량의 크기에 비례하고 있음을 판단할 수 있다. 추정오차의 크기는 선형추세선의 기울

표 2. 금강유역 각 지점의 월 및 연 강수량의 표준편차

site	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1	28.4	26.0	47.8	71.1	59.5	144.1	155.3	117.7	85.3	34.1	19.0	25.6	437.8
2	24.8	31.9	38.9	44.6	41.5	107.6	86.4	97.7	68.6	32.4	26.5	26.3	241.4
3	28.4	32.7	47.5	47.8	63.1	143.2	156.6	125.9	87.3	42.1	25.9	17.2	342.3
4	20.1	25.4	44.2	41.4	72.0	101.0	136.8	109.0	74.6	31.7	29.2	16.1	247.9
5	25.7	22.8	38.6	37.0	52.7	107.5	131.0	109.4	63.7	33.5	29.3	20.7	232.7
6	24.5	24.2	60.5	51.4	57.4	99.0	101.4	101.1	68.7	28.6	21.0	16.0	259.4
7	28.9	32.5	41.8	49.7	61.3	116.6	120.4	103.3	65.4	37.2	32.9	30.2	240.1
8	24.7	23.6	40.2	49.2	41.3	102.7	77.2	89.5	66.0	30.9	25.7	17.2	215.1
9	19.6	29.1	44.1	54.3	79.0	112.8	135.2	142.9	66.3	33.0	34.4	22.7	235.2
10	25.3	33.2	46.0	54.0	63.1	134.4	127.6	107.0	78.2	33.4	28.4	18.5	286.4
11	26.7	28.1	44.5	71.8	62.0	130.6	119.7	98.4	74.7	33.4	30.2	17.6	312.7
12	35.6	23.9	41.4	58.9	52.5	112.2	128.6	107.6	71.3	29.5	30.2	20.4	269.3
13	22.2	21.0	53.5	62.6	64.3	122.9	171.9	121.5	68.4	33.3	42.8	19.8	348.1
14	27.1	39.4	42.2	53.8	61.9	100.1	144.4	120.5	51.1	47.2	35.4	24.1	267.3
15	22.2	28.4	50.5	53.5	55.0	123.9	135.0	111.8	82.6	36.4	35.6	24.8	373.8
16	26.0	24.9	40.4	46.5	52.7	125.2	106.2	87.5	69.1	33.1	29.5	18.4	264.9
17	28.1	29.8	47.1	57.6	68.9	120.4	120.5	110.7	73.8	42.0	34.1	16.0	380.5
18	32.2	25.0	38.1	50.8	55.6	96.7	132.4	127.6	61.6	35.3	27.5	22.9	228.3
19	27.5	25.3	34.8	45.2	53.9	104.3	116.2	114.6	68.2	35.9	22.0	17.1	253.1
20	39.7	32.6	50.1	62.1	56.7	143.0	131.2	109.5	71.7	39.9	28.5	26.3	259.5
21	25.4	26.4	54.6	49.2	47.3	106.5	129.2	105.0	56.4	31.4	29.9	12.7	265.6
22	128.9	30.3	48.2	61.6	55.4	111.9	87.2	101.8	59.6	33.2	21.8	24.2	320.1
23	26.2	27.6	39.9	42.5	43.7	105.2	99.1	106.7	70.9	33.1	25.9	15.7	265.2
24	27.3	27.6	36.6	50.7	56.2	100.9	146.7	103.9	61.4	44.6	36.8	15.3	193.8
25	23.8	28.2	45.7	49.7	59.3	120.0	97.9	117.0	60.3	42.4	31.7	21.2	283.5
26	29.5	26.7	45.7	45.4	42.0	111.0	116.3	116.3	74.5	33.0	27.1	18.9	258.8
27	26.6	25.6	46.7	46.8	52.3	123.1	101.5	90.5	64.7	39.1	34.2	22.3	290.6
28	23.1	25.7	49.7	52.3	50.8	130.8	127.1	127.9	67.9	41.1	32.3	22.9	306.2
avg	30.3	27.8	45.0	52.2	56.5	116.3	122.8	110.1	69.0	35.7	29.6	20.4	281.4

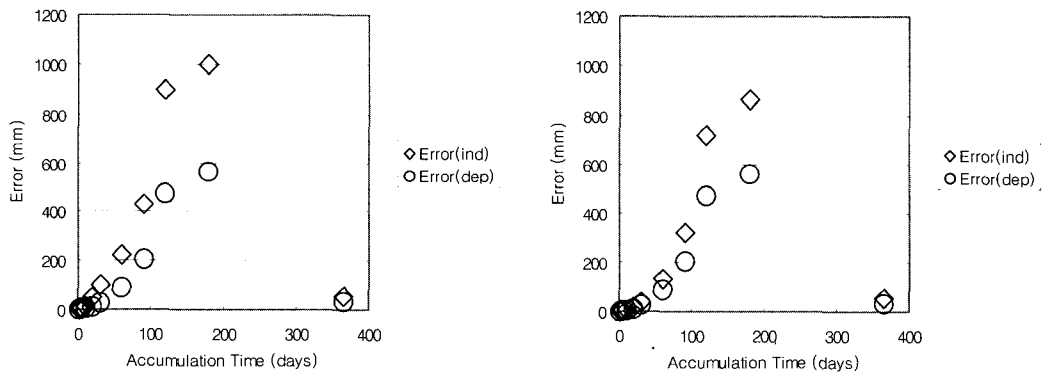


그림 1. 누가시간에 따른 면적평균강수의 추정오차 (위 그림은 강수의 계절성을 고려하지 않고 분산이나 공분산을 추정하는 과정에 동일한 평균을 적용한 경우이고 아래의 그림은 강수의 계절성을 고려하여 각각의 평균을 고려한 경우이다)

기에서 알 수 있듯이 공간상관을 고려하지 않는 경우는 강수량의 10% 정도를, 공간상관을 고려하는 경우는 강수량의 약 6% 정도로 나타나고 있다. 아울러, 이 정도의 추정오차는 각 지점 월 강수량의 표준편차의 20%와 10% 정도가 된다.

Yoo와 Ha(2002)의 연구에서는 각 지점 월 강수량을 산술평균한 유역평균 월 강수량의 표준편차를 이용하였으므로 본 연구의 경우와는 다르다. 그러나, 아주 간단히 살펴보면 어떤 자료의 표준편차는 자료수의 제곱근에 반비례하므로, 본 연구에서처럼 28개의 자료를 사용한 경우 그 산술평균의 표준편차는 각 자료의 표준편차의  $1/\sqrt{28}$ , 즉 19% 정도로 계산된다. 이는 본 연구에서 강수계사이의 공간상관을 고려하지 않는 경우의 결과와 일치하는 것이기도 하다.

연 강수량의 경우는 월 강수량의 경우보다 크게 작은 추정오차를 보여 주고 있다. 공간상관을 고려하지 않는 경우의 추정오차는 연평균의 4.6%를 공간상관을 고려하는 경우는 연평균의 3% 정도로 계산되었다. 즉, 월 강수량의 변동보다 연 강수량의 변동이 상대적으로 (강수량을 고려 할 때) 작다는 것을 나타낸다. 특히, 1월과 12월 강수의 상대적 변동이 다른 월에 비해 상대적으로 크게 나타나고 있어 선형 회귀식의 결정계수를 떨어트리는 결과를 가져왔다. 그럼에도 불구하고 선형 회귀식의 결정계수는 0.9이상으로 추정되어 면적평균강수와 그 추정오차사이의 높은 상관성을 나타내고 있다.

그러나 연 강수량의 평가기준을 표준편차로 사용하는 경우 면적평균강수의 추정오차는 공간상관을 고려하지 않는 경우 연 강수량의 표준편차(각 지점 자료)의

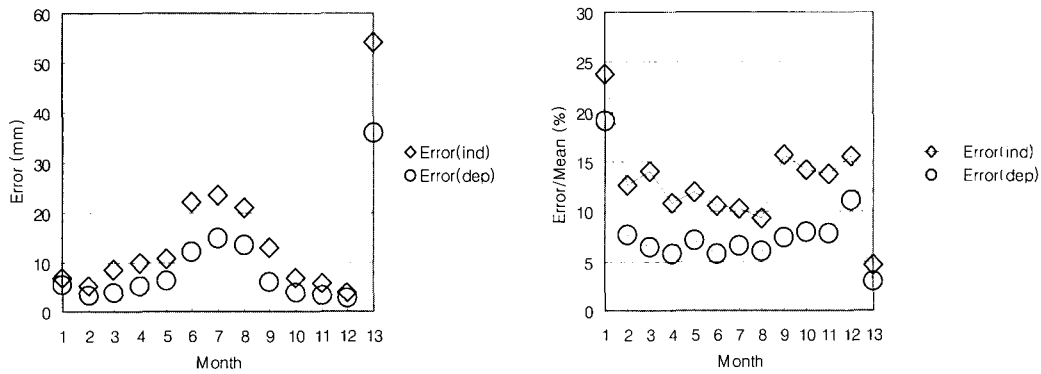


그림 2. 월별 강수량에 대한 면적평균강수의 추정오차 (위 그림은 추정오차의 절대량을 아래 그림은 이를 월 평균으로 정규화 한 것이며, 13월에 해당하는 것은 연 강수량이다)

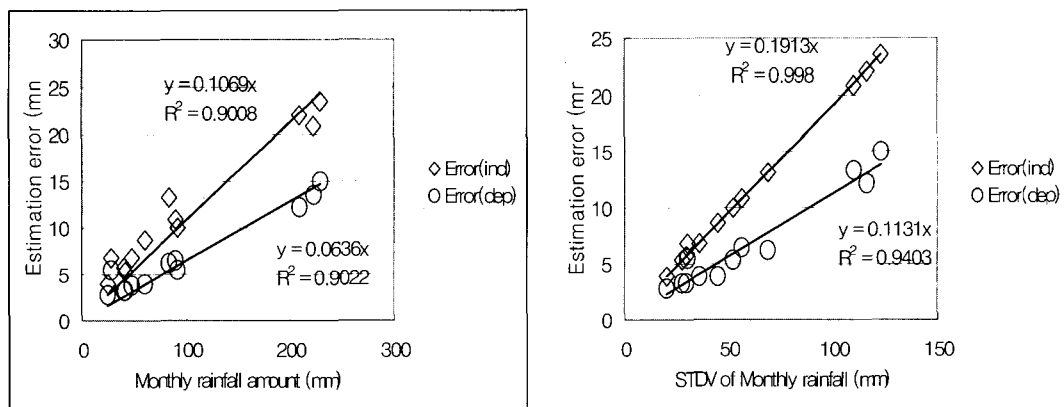


그림 3. 월별 강수량과 추정오차 사이의 관계

19% 정도를 공간상관을 고려하는 경우는 약 12% 정도로 나타나 월 강수량의 경우와 동일한 규모로 나타남을 알 수 있다. 아울러, 그림 3의 아래 그림에서 살펴볼 수 있듯이 월 강수량의 표준편차와 면적평균강수의 추정오차 사이에는 0.95 이상의 결정계수를 나타내고 있다. 이는 강수량 자체를 사용한 경우보다 월등히 높은 결정계수로서, 면적평균강수의 추정오차가 강수의 시-공간적 변동성을 고려하여 계산됨에 따른 당연한 결과이기도 하다. 따라서 다양한 누가시간을 고려하는 경우 추정오차의 평가에는 평균보다는 표준편차가 더 좋은 기준이 됨을 파악할 수 있다.

참고로 우리나라의 연 강수량은 전국 60여개 지점의 최근 30년 기록을 근거로 산정된다. 따라서, 강우계 밀도는 본 연구의 대상인 급강유역에 비해 훨씬 낮으며, 따라서 공간상관 정도는 훨씬 약할 것이다. 이 경우에 우리나라 연강수량의 추정오차는 지점 년 강수량의 표준편차의 최대  $13(=1/\sqrt{60} \times 100)\%$ 에 이를 것으로 판단된다. 즉, 연 강수량 약 1300mm에는 최대 35mm 정도의 오차가 포함되어 있다고 할 수 있고, 이는 연 평균 강수량의 2.8% 정도에 해당하는 값이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 강수의 계절성에 따라 면적평균강수의 추정오차가 어떻게 달라지는지를 평가하였다. 공간상관을 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우 모두를 다루었으며, 각각의 경우에 대해 추정오차의 변화를 살펴 보았다. 유사한 경우로서 계절성을 무시하고 누가시간을 증가시켜 추정오차가 어떻게 변하는지도 살펴보았다. 본 연구는 급강유역에 적용하였으며 30년 이상의 일 강수 기록을 가진 28개 지점의 자료를 이용하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 월 단위의 면적평균강수량에 대한 추정오차는 대체로 강수량에 비례하여 나타난다. 따라서 면적평균강수량의 추정오차에는 강한 계절성이 나타난다. 그러나 이를 평균 강수량으로 나눈 상대오차는 1월과 12월을 제외하면 대략 5 - 8% 정도로 유사한 값을 보인다. 1월과 12월의 경우는 각각 20%, 10%의 큰 상대오차를 보이고 있다.
- (2) 연 강수량에 대한 추정오차는 연강수량의 3% 수준으로 계산되었다. 이는 월 강수량의 경우보다 훨씬 작은 규모이다.
- (3) 그러나, 강수량이 아닌 강수량의 표준편차를 추

정오차의 비교기준으로 삼는 경우 면적평균강수의 추정오차는 월 단위 및 년 단위에서 동일하게 표준편차의 11% 정도로 계산된다. 아울러, 표준편차와 추정오차 사이의 상관정도가 강수량과 추정오차사이의 상관정도 보다 높게 나타나고 있으며, 이는 면적평균강수의 추정오차가 강수의 시-공간적 변동성을 고려하여 계산됨에 따른 당연한 결과이기도 하다. 따라서 다양한 누가시간을 고려하는 경우 추정오차의 평가에는 평균보다는 표준편차가 더 좋은 기준이 됨을 파악할 수 있다.

- (4) 마지막으로, 공간상관을 고려하지 않는 경우의 추정오차는 고려하는 경우의 2배 정도까지 커짐을 확인할 수 있었다.

#### 5. 사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 M101KI010001-01K0901-01016)에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- 김성준, 권형중, 유철상, 하은호 (2002). 강수오차와 유출오차: 1. 유출모형의 매개변수 추정 및 민감도 분석", 심사중, 대한토목학회 논문집.
- 유철상, 정광식 (2001). 면적평균강수량의 추정 및 추정오차, 한국수자원학회논문집, 제34권 제4호, pp.317-326.
- 유철상, 김상단, 하은호, 김성준 (2002). 강수오차와 유출오차: 2. 강수모의 및 오차해석, 심사중, 대한토목학회논문집.
- 윤용남, 김중훈, 유철상, 김상단 (2002). 공간 분포된 강수를 사용한 유출 매개변수 추정 및 강수오차가 유출계산에 미치는 영향분석, 한국수자원학회 논문집, 제35권, 제1호, pp. 1-12.
- 한국수자원공사 (1992). 전국하천조사서.
- Yoo, C.(2001). Rainfall seasonality and sampling error variation, *Water Engineering Research*, Vol. 2 No. 1, pp. 63-72.
- Yoo, C. and Ha, E. (2002). Basin Average Rainfall and Its Sampling Error, accepted to the *Water Resources Research* (논문번호:02-39;접수:2992.6.10/심사완료:2002.09.23)