

면적평균강우량의 추정 및 추정오차 Estimation of Area Average Rainfall Amount and Its Error

유 철 상* / 정 광 식**
Yoo, Chulsang / Jung, Kwang Sik

Abstract

This study evaluates the errors involved in the area average rainfall amounts estimated by the arithmetic mean method, the Thiessen's weighting method, and the optimal weighting method from the estimation theory. This study was applied to the upstream part of Nam-Han river basin (upper part of Youngwal) and the following results could be obtained. First, in case the raingauges are located evenly over the basin, no obvious difference can be found in the area average rainfall amounts from the arithmetic mean method or from the Thiessen's weighting method. However, as these two methods cannot consider the spatial variability of rainfall, the estimation error could be higher when the spatial variability of rainfall is high. In our application the estimation error from the arithmetic mean method or the Thiessen's weighting method was also found to be higher than that from the method from the information theory, which considers the spatial variability of rainfall. Thus, we could conclude that for the rainy season of Korea or for the mountain area when and where the spatial variability of rainfall is high, a proper method of considering the spatial variability of rainfall should be used regardless of the basin size. The isohyetal method generally used for the large basins or the optimal weighting method from the estimation theory used in this study could be good alternatives for this case.

keyword : area average rainfall, estimation error, optimal weighting

요 지

본 연구에서는 산술평균법, Thiessen의 가중평균법 및 추정이론에 근거한 최적가중치를 이용하는 방법으로 면적평균강우량을 계산하고 각각의 경우에 대해 오차를 평가해 보았다. 본 연구에서는 남한강 유역의 영월 상류지역을 대상으로 하여 수행하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다. 먼저 유역 내 강우계가 균등하게 분포되어 있는 경우 산술평균법이나 Thiessen의 가중평균법을 이용한 결과에는 큰 차이가 없다. 그러나 이들 두 방법은 강우의 공간적 변동성을 고려하지 못하는 이유로 특히 강우의 변동성이 큰 경우 면적평균강우의 추정에 큰 오차를 내포할 수 있다. 이러한 추정오차는 강우의 공간적 변동성을 고려하는 추정이론에 근거한 방법에 비해 매우 큰 값을 나타냄을 확인하였다. 따라서, 우리나라의 여름철 강우처럼 그 공간적 변동성이 큰 경우에 기존의 산술평균법이나 Thiessen의 가중평균법은 상당히 큰 추정오차를 내포할 수 있음을 파악할 수 있으며 따라서 이를 고려할 수 있는 방법, 예를 들어 현재 대유역에 적용되고 있는 등우선법이나 본 연구에서 사용된 추정이론에 근거한 방법이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 면적평균 강우량, 추정오차, 최적 가중치

* 고려대학교 환경공학과 부교수

Asso. Prof., Dept. of Env. Engr. Korea Univ., Choong-nam, 339-800, Korea (E-mail : envchul@tiger.korea.ac.kr)

** 고려대학교 대학원 환경공학과 석사과정

Graduate Student, Dept. of Env. Engr. Korea Univ., Choong-nam, 339-800, Korea

1. 서론

강우-유출의 해석에 있어서 면적평균강우량의 적절한 추정은 유출 결과에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 부분이다. 일반적으로 면적평균강우량의 추정에 사용되는 방법으로는 산술평균법, Thiessen의 가중평균법(이하, Thiessen법) 및 등우선법을 들 수 있으며, 이중 산술평균법은 500km² 이하의 소유역에, Thiessen법은 500~5000km² 정도의 중규모 유역에, 등우선법은 5000km² 이상의 대유역에 적절한 것으로 알려져 있다(윤용남, 1998). 이때, 산술평균법은 각 강우계로 관측된 자료에 대해 동일한 가중치를 적용하여 평균하며, Thiessen법은 각 강우계의 지배면적을 가중치로 하여 가중 평균하고, 등우선법은 유사한 강우강도를 가지는 지역을 등우선으로 구분하여 각 등우선 사이의 면적을 가중치로 하여 가중 평균한 것이다.

위와 같은 방법이 대상유역의 크기에 따라 각각 달리 적용되는 이유는 근본적으로 강우장(rainfall field)의 공간적 변동성(spatial variability)에서 살펴볼 수 있다. 즉, 소유역이나 중규모 유역의 경우는 강우장의 공간적 변동성이 상대적으로 작아 이를 고려하지 않아도 면적평균강우량의 추정에 큰 오차가 포함될 여지가 적다는 것을 나타내므로 산술평균법이나 Thiessen법을 적용하며, 반대로 대유역의 경우에는 강우의 공간적 변동성이 매우 커서 이를 고려하는 것이 면적평균강우량의 적절한 추정에 유리하다는 것을 나타내므로 등우선법이 권장된다. 그러나 등우선법은 그 적용에 있어, 즉, 등우선도의 작성에 있어, 과거 관측치에 나타난 모든 강우사상을 고려하여 수행되는 것이 아니라 주어진 강우사상에 대해 개별적으로 작성되는 것이 일반적이므로 강우 관측망의 특성을 고려하는 방법이라고는 보기 어렵다. 오히려, 실무에서 일반적으로 사용되는 Thiessen법이 관측망의 특성을 고려하는 보다 유연한 적용성을 가지는 방법이라고 평가할 수 있다. 아울러, 유역 내 강우계가 대체로 균등하게 분포되어 있는 경우 산술평균법이나 Thiessen법은 그 적용에 있어 큰 차이를 발견하기는 어렵다. 특히, 소유역의 경우는 유역 내 강우계의 수가 매우 한정적이므로 산술평균법을 이용하여 추정한 면적평균강우량과 Thiessen법을 이용하여 추정한 면적평균강우량과의 차이는 크지 않게 된다.

그러나 실제 강우의 공간적 변동성은 그 어떤 수문 자료보다 크며 특히 산악지형의 경우 산지효과

(orographic effect)로 인해 그 정도가 더욱 심해진다 는 것이 일반적인 사실이다(Eagleson, 1970; Alpert, 1986; Ogura and Yoshizaki, 1988; Dore et al., 1992). 국내의 경우도 산악지형에서의 강우는 그 변동성이 평지에 비해 훨씬 크다고 알려져 있으나 강우계의 수는 지형적인 접근성 문제로 오히려 적은 것이 사실이다. 따라서 현재의 강우관측망을 이용하여 면적평균강우를 추정하는 경우 과연 그 오차가 얼마나 될 것 인지를 추정하는 것은 매우 의미 있는 일이며 아울러 현재 사용되고 있는 방법이 과연 최적인가 하는 것도 검토해 볼 필요가 있다.

즉, 상대적으로 작은 유역의 경우 적용되는 산술평균법이나 Thiessen법은 강우의 공간적 변동성에 의한 오차가 강우 관측망(raingauge network) 자체에 의한 오차에 비해 무시할 만한 것이라는 가정을 담고 있으나, 그 정도가 어느 정도인지를 확인해 볼 필요가 있다. 특히, 산악지역과 같이 강우의 공간적 변동성이 상대적으로 큰 경우 면적평균강우의 추정오차가 어느 정도인지를 파악하는 것은 앞으로 강우 관측망의 보완에도 중요한 지표로 사용될 수 있다. 이렇게 구한 면적평균강우량의 추정오차는 또한 유출 해석에 필연적으로 포함되는 오차의 정도를 가늠해 주는 척도로 이용될 수 있으며, 아울러 강우-유출 모형의 매개변수 추정 시 그 한계를 명확히 하는 데도 도움이 될 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 먼저 기존의 방법 중 소규모나 중규모의 유역에 적용되는 산술평균법과 Thiessen법에 대해 면적평균강우량의 추정법과 그 추정오차가 어떻게 나타나는지를 살펴보고, 아울러 추정이론(estimation theory)에 따라 각 강우계 자료가 가지는 변동성을 고려하여 면적평균강우량을 추정하는 경우 각 강우계가 가지는 가중치 및 추정오차가 어떻게 달라지는지를 평가해 보고자 한다. 본 연구는 상대적으로 그 변동성이 심한 남한강 유역의 영월 상류지역을 대상유역으로 하여 연구를 수행하였다. 이 유역에는 현재 19개의 지점에서 강우가 관측되고 있으며 그 자료 기간은 최대 24년에서 최소 6년까지로 다양하다. 본 연구에서는 최근에 관측된 특성이 다른 2개의 강우사상에 대해 분석을 실시하여 그 결과를 검토하였다.

2. 면적평균강우량 추정방법의 비교

추정이론(Bell, 1986; Hegerl and North, 1997; North and Stevens, 1998)에 의하면 산술평균법은

면적평균강우량의 추정 시 모든 강우계가 동일한 가중치를 갖는 경우로서 강우계간에 서로 상관(correlation)이 없거나 상관이 없을 정도로 충분히 떨어져 있고, 아울러 각 강우계가 관측한 강우의 변동성(variability)이 일정할 경우에 적용될 수 있는 방법이다. 즉, 각 강우기록이 서로 무상관이고 그 변동성(예를 들어 표준편차가)이 유사한 경우 적용될 수 있는 방법이다. 이러한 경우 면적평균강우 P_m 은 다음과 같이 표현되고

$$P_m = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n P_k \quad (1)$$

여기서, P_k 는 각 지점 강우를 나타내고 n 은 총 지점 수를 나타낸다. 이 때의 추정오차 ϵ 은 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon = \sqrt{E[(P_k - P_m)^2]} = \sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_{k=1}^n \sigma_k^2} \quad (2)$$

위 식에서 n 은 총 자료의 수를, σ_k^2 은 각 자료의 분산을 나타낸다. 앞에서 언급한 것처럼 산술평균법은 상대적으로 작은 영역에 적용되므로 각 관측지점의 강우기록은 유사한 변동성을 가지는 것으로 가정할 수 있다. 따라서, 식 (2)는 다음과 같이 간략화 될 수 있다.

$$\epsilon = \sqrt{\frac{n\sigma^2}{n^2}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} \quad (3)$$

여기서 σ^2 은 각 지점 강우의 평균적인 분산을 나타낸다. 위 식에서 살펴볼 수 있는 것처럼 만일 영역 내 강우계가 하나만 존재한다면, 그 추정오차는 관측된 강우기록의 표준편차와 같아지고 이는 강우의 변동성을 고려할 때 상당히 큰 양이 된다. 일반적으로 강우의 변동계수는 1.0이 넘게 나타나므로 최소한 추정된 면적평균강우량 만큼이 오차로 나타날 수 있다는 결과가 된다. 그러나, 그 추정오차는 강우계 수의 제곱근에 반비례하여 줄어들게 되며, 아울러 각 강우계가 강우의 공간상관거리 (spatial correlation length)이내에 위치할 경우 더욱 작아지게 된다.

Thiessen법을 이용하여 추정하는 면적평균강우량 및 그 추정오차도 위와 동일한 방법으로 각각 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_m = \sum_{k=1}^n \frac{A_k}{A} P_k = \sum_{k=1}^n \alpha_k P_k \quad (4)$$

$$\epsilon = \sqrt{\sum_{k=1}^n \alpha_k^2 \sigma_k^2} \quad (5)$$

이때 α_k 는 각 강우계가 가지는 가중치이며 이는 각 강우계가 대표하는 면적을 전체 유역면적으로 나누어 계산한다. 따라서, $A = \sum_{k=1}^n A_k$ 이다.

위 식에서 살펴볼 수 있는 것처럼, 만일 강우계가 유역 내 균등하게 분포되어 있다면 각 강우계의 가중치는 모두 같게 되고 따라서 산술평균법과 동일한 결과를 나타내게 된다. 따라서, Thiessen법의 경우도 그 추정오차는 일반적으로 강우계의 수가 증가함에 따라 감소하게 되나, 만일 어떤 강우계가 상대적으로 큰 면적을 대표하는 경우(즉, 강우계가 균등하게 분포되어 있지 않은 경우, 그 추정오차가 쉽게 줄어들지 않음도 아울러 파악할 수 있다.

위 식은 또한 앞서의 산술평균법과 마찬가지로 각 강우관측기록에 독립성이 가정되는 경우에 한한다. 만일 강우계 사이에 어떤 상관성이 존재한다면 관측오차는 위 식에 나타난 것보다 줄어들게 되며 이를 정량적으로 추정하기 위해서는 공간적인 상관성을 없애주기 위해 공간적으로 서로 독립인 직교성분(normal component)으로 재구성한 후 관측오차를 추정해야 한다. 이러한 분석에는 Singular Value Decomposition (SVD)이라는 방법의 적용을 통해 가능하며 아울러 이렇게 구한 직교성분을 흔히 EOF(Empirical Orthogonal Function)라 부른다(North, 1984; Shen et al., 1994).

마지막으로 주어진 관측망에 대해 관측된 강우의 변동성을 고려하여 관측오차를 추정하는 경우는 다음과 같다. 본 연구에서 제시하는 방법은 추정이론에 근거한 방법으로서 각 강우계의 최적 가중치를 제공한다. 이러한 추정이론의 적용은 먼저 강우계가 주어진 영역에 균등하게 분포되어 있다는 가정에 근거한다. 즉, 강우계의 공간적인 분포가 일양분포(Uniform Distribution)를 따른다고 가정할 수 있는 경우에 한정된다. 일반적으로 강우계는 공간적으로 균등하게 설치되는 것이 일반적이므로 이러한 가정은 어느 정도 타당성을 갖는다고 판단할 수 있다. 아울러 각 강우계

의 관측이 서로 독립이라는 가정 하에 면적평균강우량은 다음과 같이 계산된다(Stevens and North, 1996; North and Stevens, 1998).

$$P_m = \frac{1}{\eta^2} \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{\sigma_k^2} \quad (6)$$

여기서 $\eta^2 = \sum_{k=1}^n \frac{1}{\sigma_k^2}$ 이다. 아울러 추정오차는 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$\epsilon = \sqrt{\frac{1}{\eta^2}} \quad (7)$$

물론 이 경우도 각 강우관측기록의 독립성이 가정되는 경우에 유효한 식이며 만일 강우계 사이에 어떤 상관성이 존재한다면 관측오차는 위 식에 나타난 것보다 줄어들게 된다. 이런 경우 관측오차의 정량적인 추정은 공간적인 직교성분인 EOF를 이용하여 수행될 수 있다.

본 연구에서는 먼저 주어진 강우 관측망에 대해 그 공간상관이 무시될 수 있도록 강우 관측망을 재구성하여 즉, 강우계의 수를 적절히 축소하여, 산술평균법, Thiessen법, 및 추정이론에 근거한 방법에 대해 면적평균강우량 및 그 오차를 추정하고자 한다.

3. 적용 예

3.1 대상 유역 및 자료 특성

3.1.1 대상 유역

본 연구의 대상유역은 남한강 유역의 영월 상류지역으로 남한강은 오대산에서 발원하여 서쪽으로 흐르다가 충주 부근에서 북서쪽으로 흘러 북한강과 합류하며, 상류부는 고산지대로 V자형을 이루는 협곡으로 되어있다. 대상유역의 면적은 2,603km²로 중규모 유역에 해당하며 연평균 강우량은 1,116mm이다. 다음 그림 1과 표 1은 대상유역내의 강우관측소 현황 및 자료 보유기간 등을 나타내고 있다. 유역의 강우관측소는 건설교통부 산하의 자기우량관측소 5개와 한국수자원공사의 TM우량관측소 14개가 운영 중에 있다. 본 연구에서는 이중 한국수자원공사의 TM우량관측소 9개를 선정하여 이용하였다. 이는 강우계사이의 공간상관을 배제하기 위함으로, 평균적으로 강우계 하나는 약 300km²

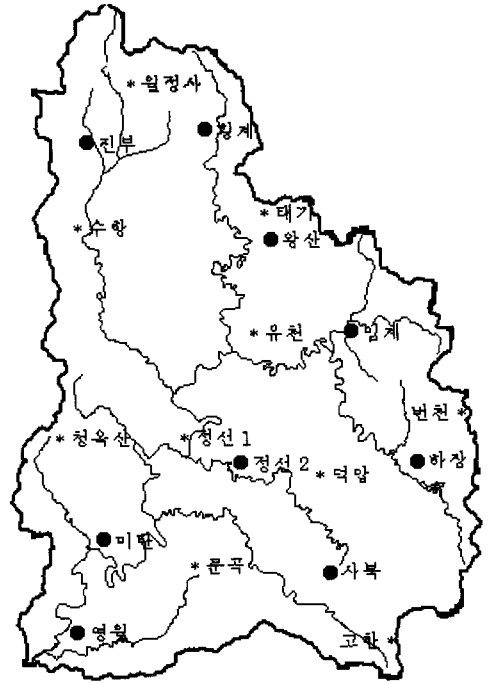


그림 1. 대상유역의 강우관측소 위치
(●: 사용된 강우관측소)

정도를 대표하며 각 강우계사이의 거리는 최소 10km에서 최대 약 60km 정도이다.

3.1.2 선택된 강우사상 및 그 특성

다음 그림 2는 본 연구에 사용된 두 개의 강우사상의 특성을 나타내고 있다. 첫 번째 강우사상은 1995년 8월 23일 16시~24일 10시의 강우로 홍수기에 해당된다. 이 강우사상으로 인해 발생한 유역의 총 강우량은 대략 85.67mm이며 24일 1시~3시 사이에 총 강우량의 38.8%인 33.22mm가 관측되었다. 두 번째 강우사상은 1995년 5월 20일 6시~18시까지의 강우자료이며 유역의 총 강우량은 대략 16.44mm이고 7시~10시 사이에 총 강우량의 73.0%인 12mm가 관측되었다.

아울러 두 강우사상은 그 특성이 상이한데, 8월의 호우사상은 복합호우사상을 5월의 호우사상은 단순호우사상을 나타내고 있다. 또한 강우의 공간적 변동성도 전자의 경우가 훨씬 크며 후자의 경우는 상대적으로 작은 변동성을 가지고 있음을 살펴볼 수 있다. 면적평균강우량 추정의 관점에서 볼 때 후자의 경우가 상대

표 1. 대상유역의 강우관측소 현황

관측소명	자료기간(년)	소 속	비 고	관측소명	자료기간(년)	소 속	비 고
월정사	1983~1991	건교부	-	정선2	1975~1998	수공	사용
진부	1975~1998	수공	사용	덕암	1993~1998	수공	-
황계	1984~1998	수공	사용	하장	1984~1998	수공	사용
태기	1983~1991	건교부	-	번천	1983~1991	건교부	-
왕산	1984~1998	수공	사용	미탄	1984~1998	수공	사용
수항	1993~1998	수공	-	문곡	1993~1998	수공	-
유천	1982~1998	수공	-	사북	1984~1998	수공	사용
임계	1975~1998	수공	사용	영월	1975~1998	수공	사용
청옥산	1993~1998	수공	-	고한	1983~1995	건교부	-
정선1	1976~1998	건교부	-				

* 건교부 : 건설교통부, 수공: 한국수자원공사

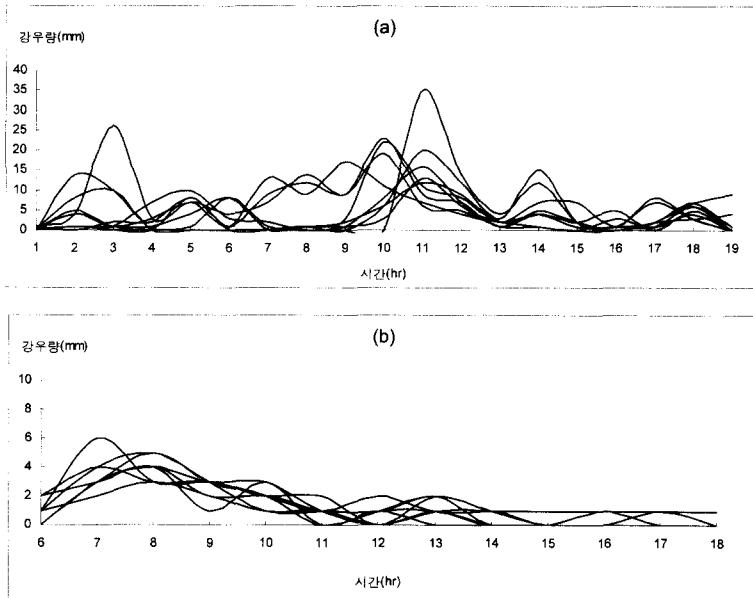


그림 2. 강우사상의 특성비교
 ((a) : 1995년 08월 23일 16시~08월 24일 10시, (b) : 1995년 05월 20일 06시~18시)

적으로 작은 관측오차를 나타낼 것임은 당연하다. 표 2에서는 본 연구에서 사용한 두 강우사상의 관측소별 평균, 분산 및 변동계수를 비교하고 있다. 먼저, 8월의 강우사상은 5월의 강우사상에 비해 상대적으로 큰 평균과 분산을 나타내고 있다. 아울러, 각 관측소별 평균의 차이도 매우 커서 8월 강우사상이 공간적 변동성을 크게 가지고 있음을 쉽게 파악할 수 있다. 그러나 평균강우량이 클수록 분산 역시 큰 값을 나타내고 있어 변동계수의 변화는 상대적으로 작은 편이다. 반대

로, 5월의 강우사상은 상대적으로 작은 평균 및 분산을 나타내고 있으며 아울러 각 관측소별 평균, 분산 및 변동계수의 차이도 작은 편이다. 8월과 5월의 강우사상을 비교할 경우 각 관측소별 평균 및 분산의 차이는 크나 반대로 변동계수에는 큰 차이가 없는 것이 특이하다. 따라서 두 사상 모두 시간적 변동성은 유사하다고 판단할 수 있으나, 반대로 공간적 변동성에는 매우 큰 차이가 있다고 판단할 수 있다(그림 2 참조). 마지막으로, 전장에서 유도된 면적평균강우량 및 그

표 2. 관측소별 평균 및 분산

관측소	8월 강우사상			5월 강우사상		
	평균(mm)	분산	변동계수	평균(mm)	분산	변동계수
영월	3.158	18.585	1.365	1.461	1.934	0.952
미탄	5.052	29.608	1.077	1.846	2.141	0.792
정선2	3.263	12.093	1.066	1.154	1.641	1.110
사북	5.368	39.023	1.164	1.154	1.974	1.217
진부	6.105	45.988	1.111	1.462	2.603	1.104
왕산	5.526	31.485	1.015	1.154	2.641	1.408
횡계	4.421	25.479	1.142	1.231	2.692	1.333
임계	2.894	11.099	1.151	1.154	2.307	1.316
하장	4.947	72.941	1.726	0.769	1.026	1.317

추정오차 식을 적용하기 위해서는 각 강우계사이의 공간상관이 무시할 수 있을 정도로 작아야 한다는 가정이 포함되므로 이를 확인할 필요가 있다. 본 연구에서는 선택된 두 개의 강우사상에 대해 각각 공간상관도(spatial correlogram)를 작성하였으며 이를 그림 3에 나타내었다. 여기서 공간상관도는 두 지점사이의 상관계수를 거리의 함수로 나타낸 것이다.

먼저, 8월 강우사상의 경우 각 강우계 사이의 공간상관은, 그림에서 확인할 수 있는 것처럼, 주어진 강우사상의 큰 공간적 변동성을 반영하여 어떤 일정한 형태로 나타나지 않고 넓은 범위에 무작위하게 분포되어

나타나고 있다. 사용된 강우자료의 수가 19개임을 고려하면 대략 그 유의수준(95%)은 0.45 정도로 계산되며, 따라서 공간상관의 추세로 볼 때 대략 20km 정도면 강우계사이의 공간상관은 무시할 수 있는 정도라고 판단할 수 있다. 그러나 5월 강우사상의 경우는 8월의 강우사상에 비해 훨씬 더 일관된 형태의 공간상관을 나타내고 있으며 그 값 자체도 8월의 경우에 비해 훨씬 크게 계산되었다. 5월 강우사상의 경우 사용된 자료의 수가 13개임을 고려하면 그 유의수준(95%)은 0.55 정도로 계산되고, 따라서 거의 모든 경우에 있어 공간상관이 유의수준 이상임을 확인할 수 있다. 이는 5

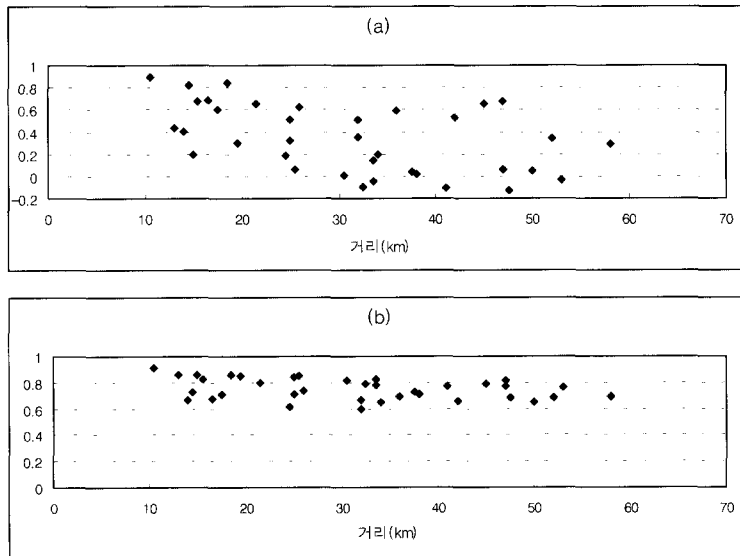


그림 3. 강우사상별 공간상관도((a) : 8월 강우사상, (b) : 5월 강우사상)

표 3. 각 추정방법에 사용된 가중치 비교

관측소	가 중 치			
	산술평균법	Thiessen법	추 정 이 론	
			8월 강우사상	5월 강우사상
영월	0.1111	0.0554	0.1373	0.1113
미탄	0.1111	0.1473	0.0862	0.1006
정선2	0.1111	0.1396	0.2109	0.1313
사북	0.1111	0.1605	0.0654	0.1091
진부	0.1111	0.1173	0.0555	0.0828
왕산	0.1111	0.0859	0.0810	0.0816
횡계	0.1111	0.0871	0.1001	0.0800
임계	0.1111	0.1199	0.2298	0.0933
하장	0.1111	0.0871	0.0350	0.2100

월의 강우사상에 대해서는 전 장에서 유도된 관측오차 추정식을 신뢰도 있게 적용할 수 없다는 결론이 되며, 아울러 이를 단순히 적용하여 계산된 오차는 실제 오차에 비해 상당히 과장된 값일 수 있다.

그러나 본 연구에서는 위의 두 강우사상 모두에 대해 전 장에서 유도된 식을 적용하여 면적평균 강우를 추정하였으며, 아울러 그 추정오차도 평가하였다. 이는, 특히 강우 사상별 공간상관 구조가 상이하여 보편적으로 적용될 수 있을 정도로 강우계를 줄이는 경우 그 수가 너무 작아지며, 아울러 5월의 강우사상처럼 단일 호우사상이며 그 공간적 변동성이 매우 작은 경우는 여전히 유의한 공간상관이 존재할 것이기 때문이다. 각 강우계간에 유의한 공간상관이 존재할 경우 위 식을 이용한 추정오차는 가능한 오차의 상한정도로 이해될 수 있을 것이다.

3.2 면적평균강우량의 추정 및 오차 계산

3.2.1. 가중치의 결정

표 3은 본 연구에서 고려하는 세 가지 면적평균강우량 추정방법에 대해 각각 그 가중치를 정리한 것이다. 각 방법의 특성상 산술평균법은 강우계의 수를 고려한 일정한 가중치를, Thiessen법은 각 강우계가 대변하는 면적의 상대적인 비를 고려함으로써 강우사상의 특성에 관계없이 일정한 가중치를 가지나, 추정이론에 근거한 방법에서는 각 관측소 강우기록이 가지는 분산을 고려함으로써 강우사상별로 다른 가중치를 나타내고 있다. 아울러, 본 연구의 대상구역 내 강우계는 대체로

균등한 분포로 배치되어 있어 산술평균법을 이용하는 경우나 Thiessen법을 이용하는 경우 가중치의 차이는 크지 않음도 발견할 수 있다. 따라서 다음절에서 계산하게 될 면적평균강우량이나 그 추정오차도 이 두 방법의 경우는 크게 다르지 않을 것임을 예상할 수 있다.

3.2.2 면적평균강우량 비교

그림 4와 5는 산술평균법, Thiessen법 및 추정이론에 근거한 방법을 이용하여 추정된 면적평균강우량을 강우사상 별로 나타낸 것이다. 강우량 자체가 작을 뿐 아니라 그 공간적 변동성이 작은 5월 강우사상의 경우는 추정방법에 따른 면적평균강우량의 차이가 크지 않으나, 강우량 자체도 크며 아울러 그 공간적인 변동성도 상대적으로 큰 8월의 강우사상에서는 추정방법에 따른 면적평균강우량의 차이가 큰 것으로 나타났다. 아울러, 추정이론에 근거한 면적평균강우량이 산술평균법이나 Thiessen법에 의한 결과보다 일반적으로 작게 나타난 것도 특이하다. 그러나 이는 본 연구에서 사용된 두개의 강우사상에 나타난 결과일 뿐 일반적인 사항으로 결론지을 수 있는 것은 아닌 것으로 판단된다.

3.2.3 추정오차 비교

그림 6은 두 강우사상에 대하여 각 추정방법에 따른 추정오차를 비교하여 나타낸 것이다. 추정이론에 근거한 방법의 오차가 다른 두 방법(산술평균법, Thiessen법)에 비해 작게 나타나고 있으며, 산술평균법 및 Thiessen법에 의한 면적평균강우량 추정시의 오차는 서로 비슷하게 나타나고 있음을 파악할 수 있다. 그러

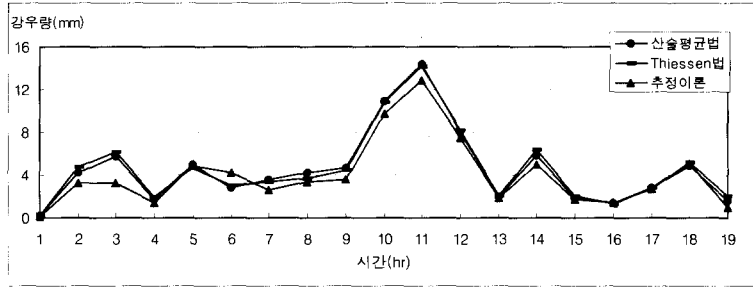


그림 4. 추정된 면적평균강우량 비교 (8월 강우사상)

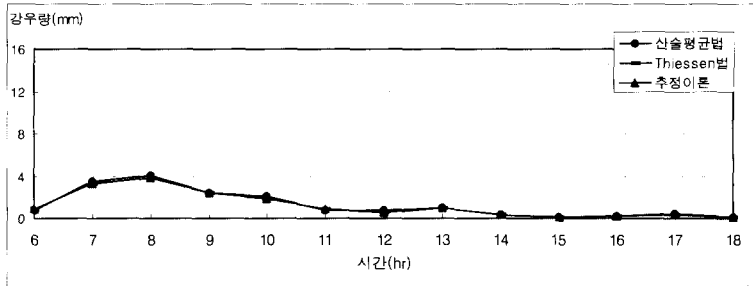


그림 5. 추정된 면적평균강우량 비교 (5월 강우사상)

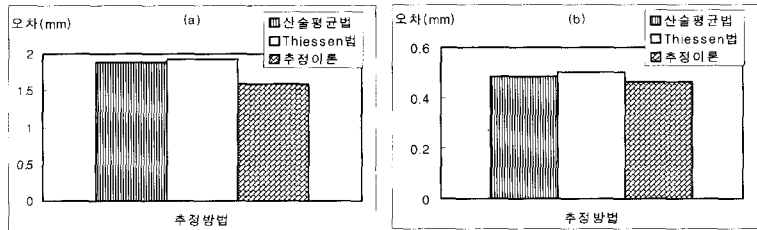


그림 6. 강우사상별 추정방법에 따른 관측오차 비교((a) : 8월 강우사상, (b) : 5월 강우사상)

나, Thiessen법의 추정오차는 산술평균법에 의한 추정오차보다 일관되게 약간 크게 나타나고 있으며 이는 유역 내 강우계가 완벽히 균등하게 분포되어 있지 않아 일부 강우계의 가중치가 다른 강우계의 가중치보다 크게 산정되어 있기 때문이다. 그러나 그 차이는 미미하며 대체로 본 연구의 대상유역 내 강우계는 거의 균등히 배치되어 있다고 판단할 수 있다. 이러한 결과는 표 3에서 추정된 각 강우계의 가중치가 두 방법에 대해 큰 차이를 나타내지 않는다는 것에서도 쉽게 예측할 수 있다.

각 강우사상별로 추정오차를 비교해 보면, 먼저, 8월의 강우사상처럼 강우의 공간적 변동성이 매우 큰 경우에 대해 추정이론에 근거한 방법이 상대적으로 작은

관측오차를 제공하고 있다는 것에 주목할 만 하다. 즉, 신약지역처럼 강우의 공간적 변동성이 매우 큰 경우 그러한 변동성을 고려할 수 있는 면적평균강우량 추정 방법 또는 충분한 수의 강우계 확보가 필요함을 나타내는 결과로 이해할 수 있다. 특히, 본 연구의 대상유역이 중규모임에도 불구하고 Thiessen법에 의한 추정오차가 제일 크게 나타나고 있으며, 따라서, 이러한 경우 강우의 공간적인 변동성을 고려할 수 있는 등우선법이 보다 효과적인 방법이 될 수 있음을 파악할 수 있다. 아울러, 실제 유역 내 강우계가 대체로 균등하게 분포되어 있다면 본 연구에서 사용한 추정이론에 근거한 방법이 등우선법보다 쉽게 적용할 수 있는 방법임을 아울러 파악할 수 있다. 8월의 강우사상의 경우 추

정오차는 대략 평균강수량의 절반정도로 나타나고 있다.

그러나, 본 연구의 5월의 강우사상처럼 강우의 공간적 변동성이 작은 경우 그 추정오차는 그 절대량에 있어서 뿐만 아니라 상대적으로도 아주 작게 나타나고 있음을 파악할 수 있다. 아울러 5월 강우사상이 유의할만한 공간상관성을 나타내고 있는 점을 고려하며 그 추정오차는 실제 오차에 비해 과장되어 있는 값이며, 따라서 5월의 강우사상은 8월의 강우사상에 비해 훨씬 작은 추정오차를 나타냄을 파악할 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 산술평균법, Thiessen법 및 추정이론에 근거한 방법으로 면적평균강우를 계산하고 각각의 경우에 대해 추정오차를 평가해 보았다. 본 연구에서는 남한강 유역의 영월 상류지역을 대상으로 하여 수행하였으며 각각의 경우에 대해 각 강우계의 가중치를 계산하고 이를 이용하여 면적평균강우량을 추정하였다. 유역 내 강우계가 거의 균등하게 분포되어 있어 산술평균법이나 Thiessen법을 이용한 결과에는 큰 차이를 나타내지 않고 있음을 파악할 수 있었다. 그러나 이들 두 방법은 강우의 공간적 변동성을 고려하지 못하는 이유로 특히 강우의 변동성이 큰 8월의 강우사상에 대해서는 면적평균강우의 과대추정을 나타내고 있고 아울러 그 추정오차도 강우의 공간적 변동성을 고려하는 추정이론에 근거한 방법에 비해 매우 큰 값을 나타내고 있음을 파악할 수 있었다.

그러나 이러한 차이는 본 연구의 5월 강우사상처럼 강우의 공간적 변동성이 작은 경우 매우 작아지며 모든 경우에 거의 유사한 면적평균강우량을 추정하고 있음을 파악할 수 있었다. 따라서, 우리나라의 여름철 강우나 산악지역의 강수처럼 그 공간적 변동성이 큰 경우에 기존의 산술평균법이나 Thiessen법은 상당히 큰 추정오차를 내포할 수 있음을 파악할 수 있고 따라서 이를 고려하는 방법의 도입이나 아니면 이를 고려할 수 있을 정도의 강우계 확충이 필요함을 지적할 수 있다. 즉, 본 연구에서처럼 유역의 규모는 중규모이나 강우의 공간적 변동성이 심한 경우에는 Thiessen법보다는 등우선법을 적용하는 것이 필요하다는 것을 지적할 수 있다. 아울러, 본 연구에서 사용된 추정이론에 근거한 방법도 유용하게 적용될 수 있으리라 판단된다.

마지막으로 밝혀두고자 하는 것은 본 연구에서는 대상유역 내 강우계 중 일부만을 사용하였다는 것이다.

현재 이 유역에는 총 19개의 강우계가 운영되고 있으나 본 연구에서는 이 중 9개만을 사용하였다, 따라서 이들 자료를 모두 이용할 경우 면적평균강우량의 추정시 추정오차는 크게 줄어 들 것임은 자명하다. 강우계사이의 상관성을 고려하지 않고 개략적으로 추정오차를 계산하며 그 양은 본 연구에서의 추정치의 약 70% 정도가 될 것이다. 이러한 추정치는 단순히 강우계의 수를 고려한 값이며 아울러 강우계가 유역 내 균등하게 분포되어 있다고 가정하는 경우이다. 앞에서도 언급한 바와 같이 강우계사이의 공간상관을 고려하여 면적평균강우의 추정오차를 계산하기 위해서는 강우자료를 공간적으로 서로 독립인 직교성분으로 재구성해야 하는 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 이러한 과정은 현재 본 연구의 범위를 넘는 부분이며 이는 추후의 연구과제로 남긴다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(2000-2-31100-005-2) 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 윤용남 (1998). 공업수문학, 청문각.
- Alpert, P. (1986). Mesoscale indexing of the distribution of orographic precipitation over high mountains, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 25, pp. 532~545.
- Bell, T. L. (1986). Theory of optimal weighting of data to detect climate change, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 43, pp. 1694~1710.
- Dore, A. J., Choularton, T. W., Brown, R. and Blackall, R. M. (1992). Orographic rainfall enhancement in the mountains of the Lake District and Snowdonia, *Atmospheric Environment*, Vol. 26A, No. 3, pp. 357~371.
- Eagleson, P. S. (1970). *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill, New York.
- Hegerl, G. C. and North, G. R. (1997). Comparison of statistically optimal approaches to detecting anthropogenic climate change, *Journal of Climate*, Vol. 10, pp. 1125~1133.

- North, G. R. (1984). Empirical orthogonal functions and normal modes, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 41, No. 5, pp. 879~887.
- North, G. R. and Stevens, M. J. (1998). Detecting climate signals in the surface temperature record, *Journal of Climate*, Vol. 11, No. 4, pp. 563~577.
- Ogura, Y. and Yoshizaki, M. (1988). Numerical study of orographic-convective precipitation over the Eastern Arabian Sea and the Ghat Mountains during the summer Monsoon. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 45, No. 15, pp. 2097~2122.
- Shen, S. S. P., North, G. R. and Kim, G.-Y. (1994). Spectral approach to optimal estimation of the global average temperature, *Journal of Climate*, Vol. 7, No. 12, pp. 1999~2007.
- Stevens, M. J. and North, G. R. (1996). Detection of the climate response to the solar cycle, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 53, pp. 2594~2608.
- (논문번호:00-073/접수:2000.12.18/심사완료:2001.06.21)