

## 섬진강댐 유역의 강우관측망 개량에 관한 연구

### The Improvement of the Rainfall Network over the Seomjinkang Dam Basin

이 제 형\* / 서 승 운\*\*

Lee, Jae Hyoung / Suh, Seung Woon

---

#### Abstract

This paper suggests the improvement of the Sumjin network for the estimation of areal averages of heavy rainfall events based on the optimal network and three existing networks. The problem consists of minimizing an objective function which includes both the accuracy of the areal mean estimation as expressed by the Kriging variance and the economic cost of the data collection. The wellknown geostatistical variance-reduction method is used in combination with SATS which is an algorithm of minimization. At the first stage, two kinds of optimal solutions are obtained by two trade-off coefficients. One of them is a optimal solution, the other is an alternative. At the second stage, a quasi optimal network and a quasi alternative are suggested so that the existing raingages near to the selected optimal raingages are included in the two solutions instead of gages of new gages.

**Keywords** : trade-off coefficient, Kriging system, SATS, optimal network

---

#### 요 지

본 논문은 3개의 강우관측망과 최적 강우관측망을 토대로 호우의 면적 평균강우량 산정용 섬진유역 강우관측망의 개량안을 제안했다. 강우관측망 설계문제는 면적평균강우량추정분산으로 나타내지는 정확도와 자료 수집비로 구성되는 목적함수를 최소화하는 것이다. 익히 알려진 분산경감법으로는 최소화 알고리즘인 SATS기법이 채용되었다. 첫 단계에서, 비용에 부과된 2개의 교환계수값에 따라 최적 관측망과 대안관측망이 얻어졌다. 다음 단계에서, 최적으로 선정된 우량국에 기존우량국이 인접해 있을 경우 그 기존국이 포함되는 준 최적관측망과 준 대안관측망을 제안했다.

**핵심용어** : 교환계수, 크리깅 시스템, SATS기법, 최적관측망

---

\* 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 전북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

## 1. 서론

면적강우량 산정의 정확도는 관측소의 개수나 위치에 좌우된다. 정확도를 높이려면 관측망을 조밀하게 구성하고, 강우의 공간변동을 잘 대표할 수 있는 곳을 선정해야 하지만 비용의 제약이 따른다. 따라서 강우관측망의 설계문제는 국가의 재정조건과 사용목적에 따라 달리 할 수밖에 없다. 미국, 영국 등에서 산지지역의 경우 관개시설이나 저수지 설계용 관측망 밀도로 1개소/7.7km<sup>2</sup>~1개소/5.4km<sup>2</sup>, 미국의 홍수예경보용 관측망 밀도로 1개소/64km<sup>2</sup>를 제안한 사례가 있다(David and Harry, 1993). 레이더관측 검보증과 임진강 유역 홍수예경보용 강우량 관측망밀도로 91km<sup>2</sup>당 1개소로 제안되기도 했다. 우리나라의 하천시설기준은 도시하천이나 댐 유역의 강우 관측망 밀도로 25km<sup>2</sup>이다(한국수자원학회, 2000).

우리나라는 서부 일부를 제외하고는 산악지형이어서 강우의 공간 변동이 심하고 곳에 따라 집중호우가 빈발하고 있으며 홍수피해규모도 커지고 있다. 따라서 홍수예보의 정확성이 절실히 요청된다. 그러나 섬진강 다목적댐의 경우 강우관측망의 밀도가 너무 낮아 유입량과 유출량의 균형도 맞지 않는다(이창엽, 2002). 이곳의 홍수예경보용 우량국은 총 4개국으로 세계기상기구(WMO)가 권장하는 일반 기준치에 해당하는 수준으로

홍수유출모형에서 채택하고 있는 소유역 7개소에도 못 미친다(홍수분석실무, 1991).

섬진강 다목적댐 유역의 홍수예경보용 강우관측망 밀도는 이러한 기준에 훨씬 미달하므로 홍수예보의 정확도를 높이기 위해서 기존 강우관측망의 개선이 필요하다.

## 2. 관측망 설계

기존관측망들은 각 기관의 독자적인 목적과 경험에 의하여 구성된 것이다. 이 들을 홍수예경보 목적에 부합되도록 기존관측소의 현황을 파악하고 설계기준을 설정하여 실현성이 있는 대안을 마련해 본다.

### 2.1 기존 관측소 현황

섬진강댐 유역 주변에 전주, 정읍, 남원, 임실 등의 주요 기상 관측소가 있다. 이들이 포함되도록 대상 구역을 설정하면 X축으로 경계 59km (경도 126°48' 21.64" ~127°34' 27"), Y축으로 위거 72.5km(위도 35°20' 19" ~35°51' 32")로 경계지워진다. 이 구역에 포함된 강우관측소는 63개소로 기상청 10개소, 지방자치단체(이하 지자체) 49개소, 한국수자원공사(이하 수공) 4개소이다. 유역내 강우 관측소는 총 20개소로 수공이 운영하고 있는 섬진강댐, 신평, 성수, 쌍치 등 이들 4개 TM우량국은 자기우량계로 측정하여 데이터베

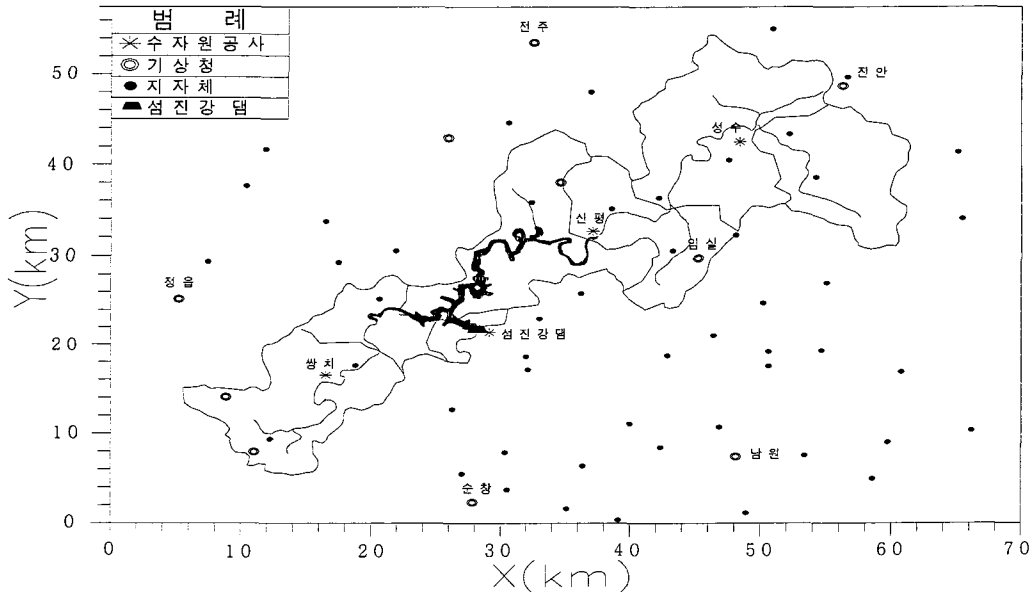


그림 1. 섬진강댐유역 내·외 강우관측소 현황

이스를 구축하고있다. 기상청은 섬진강댐, 신덕, 복흥, 내장산등 4개소에서 자동기상관측장비(AWS)로 1분간격으로 기상자료를 수집하고 있고, 임실 측후소는 1시간 간격으로 측정하고 있으며 전산관리하고 있다. 나머지 11개소는 지자체가 운영하고 있는 우량국이며 대부분 읍·면사무소에서 보통우량계를 사용하여 1시간마다 목측으로 관측하여 수기 한 다음 전산관리하고 있다. 그림 1은 동경 126°48'21.64", 북위 35°20'19"을 좌표원점으로 하여 63개 우량국을 도시 한 것이다.

## 2.2 설계기준

Gupta(1992)는 면적평균강우량의 산정에 대한 허용 오차와 강우량 변동계수만으로 최적 관측소 갯수를 정할 수 있다고 하였다. 문제는 관측소의 설치, 운영관리 비용인데 이 점을 반영하기 위하여 David 등(1993)의 사례연구를 토대로 미국 기상청(NWS)는 홍수도달시간, 유역면적, 강우량변동계수등으로 된 함수식을 활용하면 최적관측소 갯수를 정할 수 있도록 했다. 비용을 반영하는 문제에 대해서 범용성이 떨어질 뿐만 아니라 강우의 공간 변동성 반영 면에서도 낙후된 방법이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 그 응용이 입증된 Eulogio Pardo-Iguzquiza(1998)의 모형을 채택하였다.

단위기간을 기본으로 하여 k 구간으로 홍수기를 구분하여 j번째 사상을  $t_j(j=1, \dots, k)$ 라 하면, 지점  $X=(x, y)$ 의 누가 점강우량은  $p(t, x)$ 로, 위치가  $x_i = \{x_i, y_i; i=1, \dots, N\}$ 인 우량국의 우량계에서 관측한 누가점강우량은  $p(x_i, y_i)$ 로 나타낼 수 있다. 면적이 A인 유역의 평균강우량은

$$P(t_j) = \frac{1}{A} \int_0^{t_j} p(t, x) dt \quad (1)$$

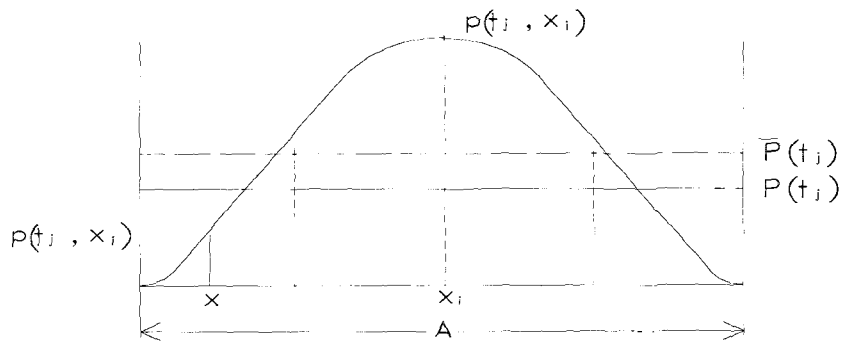


그림 2. 강우사상  $t_j$ 의 연속평균과 이산평균

N개의 우량계로부터 평균강우량을 산정하면

$$\bar{P}(t_j) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(t_j) \cdot p(t_j, x_i) \quad (2)$$

여기서,  $\lambda_i(\cdot)$ 는 크리깅(Kriging)가중치이며 그 합은 1이다. 참 값인 전자를 연속평균강우량, 추정치인 후자를 이산평균강우량이라고 부르기로 한다(그림 2).

그러면 추정치의 정확도인 추정값의 분산값  $\delta$ 를 정의 할 수 있고, 우량계의 개수와 위치의 함수이다. 즉,  $\delta = \delta(N, X_i)$  (Bras and Rodriguez-Iturbe, 1976). N 개의 우량계의 비용  $C(N, X_i)$ 을 고려하면 다음과 같이 목적함수(OF)를 구성 할 수 있다. 즉,

$$OF = \delta(N, X_i) + C_\Delta \cdot C(N, X_i) \quad (3)$$

강우관측망의 설계문제는 위의 목적함수가 최소가 되도록 우량계의 갯수와 위치  $X^o = \{x_i^o; i=1, \dots, N\}$ 를 선정하는 문제로 귀결된다. 이 식에서 알 수 있는 바와 같이 교환계수(trade-off coefficient)  $C_\Delta$ 가 영일 경우 추정치의 정확도만 고려하게 되고  $C_\Delta$ 가 커질수록 비용이 중요해진다. 즉, 최적해는  $C_\Delta$ 에 종속되게 되므로 요구되는 정확도와 허용되는 비용이 조화되어야 한다.

## 2.3 개선대안

섬진강댐 유역은 장방형으로 서남에서 동북방향 대각선으로 놓여있고 그 면적은 763km<sup>2</sup>이다. 섬진강댐유역은 대상구역면적 4277km<sup>2</sup>의 17.8%이다. 본 유역내 홍수예경보용 우량국의 지배면적은 191km<sup>2</sup>이다. 하천시설기

준에서 권장하고 있는 관측소 밀도로 배치한다면 31개소가 필요하다. NWS의 경험공식을 심진강택 유역에 적용하면 최적 관측소 개수는 28개소이다. 또, 임진강유역의 레이다 검보정용으로 검토한 강우량 변동계수 0.052와 허용오차 1%를 본 유역에 적용하면 최적 관측소 개수는 27개소이다. 본 유역의 홍수예경보용 강우 관측망을 27~31개소로 확장할 경우 요구되는 홍수 예보의 정확도와 경제성을 어느 정도 확보 할 수 있는가 하는 것이 관건이다. 이러한 관점에서 비용을 줄일 수 있는 방안은 허용 한도내에서 기존 관측소를 활용하는 것이다. 그 우선순위는 수공의 4개 우량국, 기상청의 4개 우량국 개량, 지자체 12개국 현대화, 기타 신설 등이다.

### 3. 관측망 설계 모형

관측망이 조밀할수록 면적강우량 추정치를 높일 수 있으나 비용의 한계가 있다. 설정된 설계기준을 실현시키기 위해서 정확도를 높일 수 있는 모형을 제시하고, 관측소 비용 조사결과를 소개한다.

#### 3.1 정확도

점강우량  $p(t, x)$ 를 2차원 무작위장에서의 확률변수라고 하자. 점강우량  $p(t, x_i)$ 는 유역내외에 있고 우량계의 관측강우량이며 강우사상  $p(t, x)$ 의 표본이라고 할 수 있다. 이 강우사상의 통계치가 공간 정상이고 시변수와 공간변수의 분리가 가능하다고 가정하면 (Bastin et. al, 1984), 평균  $m$ 과 배리오그램  $\gamma$ 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$m(t_j, x) = m(t_j) \quad (4)$$

$$\gamma(t_j, x_i, x_j) = a(t_j) g(h_{ij}) \quad (5)$$

여기서  $h_{ij}$ 는 점  $x_i = \{x_i, y_i\}$ 과 점  $x_j = \{x_j, y_j\}$  사이의 거리이다.

N 개의 강우관측망으로부터 산정한 이산평균강우량의 추정오차  $\sigma_E^2$ 는 크리깅가중치와 그 합이 1이 되도록 제약하고 라그랑지 곱수를 미지수로 하는 크리깅 시스템으로부터 다음과 같이 구할 수 있다(Journel and Huijbregts, 1978).

$$\sigma_E^2 = \mu(t_j) + \sum_{i=1}^N \lambda_i(t_j) a(t_j) \overline{g}(h_{iA}) - a(t_j) \overline{g}(h_{AA}) \quad (6)$$

여기서  $\overline{g}(h_{iA})$ 는 I번째 점과 면적A 사이의 평균 배리오그램이며 다음과 같이 근사값을 구할 수 있다. 또  $\overline{g}(h_{AA})$ 는 평균 배리오그램(Variogram)이다. 즉,

$$\overline{g}(h_{iA}) \approx \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M g(h_{ik})$$

$$\overline{g}(h_{AA}) \approx \frac{1}{M^2} \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^M g(h_{ik}) \quad x_i, x_k \in A \quad (2.7)$$

추정분산  $\sigma_E^2$ 는  $\overline{P}(t_j)$ 에 의한  $P(t_j)$ 의 추정 정확도이며  $\delta(x_i, N)$ 의 척도이다. 또 이 값은 표본위치의 최적 선정을 위한 분산 최소화기법의 기본 도구이다. 전 식에서 추정분산이 배리오그램, 우량계의 갯수N, 그리고 그 위치에만 종속되기 때문이다. 특정 사상  $t_j$ 에 대한 종속성은 배리오그램이 이 매개변수에 종속되는데 기인한다. 또 공간변동을 특징짓는  $g(h)$ 를 거리h의 멱함수( $h^\beta$ )로 모형화 할 수 있다고 가정한다(Bastin et al. 1984). 본 연구에서 채택한 배리오그램은 비정상성을 나타내고 변수와 공간 정상성을 나타내는 변수로 분리된 모형이다. 이 축약추정분산  $\nu_E^2$ (Scaled estimation variance)의 향으로 앞 식을 다음과 같이 변형 할 수 있다.

$$\sigma_E^2 = \hat{a}(t_j) \cdot \nu_E^2 \quad (8)$$

$$\nu_E^2 = \mu + \sum_{i=1}^N \lambda_i \overline{h^{\beta}_{iA}} - \overline{h^{\beta}_{AA}}; \beta \in [0, 2] \quad (9)$$

축약추정분산  $\nu_E^2$ 은 시간불변치인 정규 배리오그램, 우량계의 갯수 N과 위치에만 종속된다. 본 연구에서는 모든 강우 사상에 공통인 정규배리오그램을 사용해서 최적설계를 할 수 있는 축약 분산  $\nu_E^2$  최소화기법을 채용하였다. 일단  $\beta$ 만 고정되면 추정분산은 우량계의 갯수 N과 그 위치에만 종속된다. 따라서 목적함수식 3에서  $\delta(N, X_i)$ 로 가상 강우관측망의 추정 분산  $\nu_E^2$ 을 계산할 수 있고 이 값이 최소가 되는 관측망을 선택할 수 있다.

표 1. 연 관측소 비용 (육인화, 2002)

단위 : (×백만원)

대상 우량국	연간 운영비	신규 설치비			관측소 비용 $C(x_i)$
		관측 보조시설	관측 기구시설	T/M 시설	
수자원공사	3,850	—	—	—	3.85
중 설	3,850	0.85	1.00	0.65	6.35
기상청	3,850	—	—	0.65	4.50
지방자치단체	3,850	—	1.00	0.65	5.50

### 3.2 비 용

목적함수식에서 강우관측 비용  $C(N, X_i)$ 은 설치비와 유지·관리등의 운영비로 구성되며, 선택 위치와 갯수에 따라 달라진다. 수공에서 운영하는 4개 우량국은 관측 보조시설, 관측기구시설, T/M시설 등 신규설치비가 필요없으며 연간 운영비만이 발생한다. 신설할 경우 각 항목별비용이 모두 발생하여 1개 국당 연간 총 6,350천원 정도가 소요된다. 기상청이 운영하고 있는 우량국은 T/M시설만 갖추면 홍수예경보용으로 활용할 수 있으므로 연간 운영비를 합하여 1개국당 4,500천원 소요된다. 지자체가 운영하고 있는 우량국은 우량계 등 관측기구와 T/M시설비가 추가되므로 1개국당 연간 5,500천원 소요된다. 최적 강우관측망을 위해서 신설할 경우의 비용을 100으로 했을 때 수공의 우량국의 비용이 61%로 제일 적고, 다음으로 기상청의 우량국의 71.9%이며, 지자체의 우량국의 비용은 87%가 된다(표 1).

유양규(2002)에 의하면 교환곡선(Trade-off Curve)

성격을 갖는 교환계수  $C_{\Delta}$ 의 선정은 최적 강우관측망 설계에 중요한 요소이다. 그림은 용담댐 유역의  $C_{\Delta}$ 를 매개변수로 한 추정오차  $\delta$ 와 관측비용의 관계 그래프이다(그림 3). 비용에 대한 가중치의 의미로 해석할 수 있고 교환계수 값이  $10^{-7} \sim 10^{-10}$ 에 따라 우량계의 최적 갯수가 달라질 수 있다. 이 값이 매우 적은 값일 때 무한개의 우량계가 분포하게 되며 최저점이 발생하지 않는다. 또 너무 크면 너무 적은 개수에서 목적함수 값이 최저가 되어 홍수예보의 정확도가 낮아진다. 교환곡선에서 관측오차와 관측비용의 차수가 같게되는 교환계수 값은  $1 \times 10^{-7}$  정도이다. 설계기준으로 설정한 식 3에서 이 정도의  $C_{\Delta}$  값에서는 비용과 정확도가 같은 비중으로 작용한다고 볼 수 있다.

### 4. 자기분산 모형상수

대상구역내에 있는 총 63개 우량국중에서 3개국은 일 강우자료를, 나머지는 시간 강우자료를 제공하고 있다. 60개 우량국 중 전주국을 비롯한 4개국이 비교적

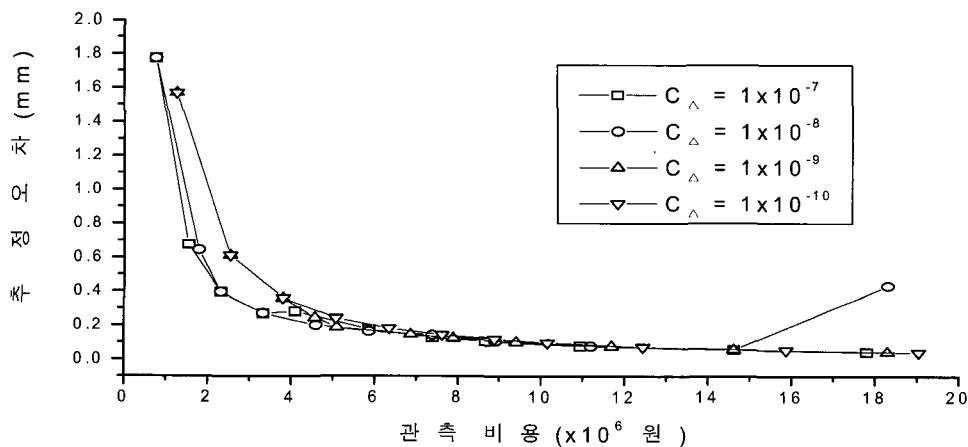


그림 3. 관측 비용과 관측오차 관계

장기간의 자료를 보유하고 있고 나머지는 그렇지 못하다. 60개 우량국이 시 우량자료를 제공하게 된 시기는 1999년 이후라고 할 수 있다. 따라서 이 기간의 자료가 공간분해능이 제일 양호하고 1997년 이전으로 거슬러 올라 갈수록 그렇지 못하다. 홍수예측의 정도를 높힐 목적에 부합되는 관측망 설계는 호우의 공간변동성의 반영이 무엇보다 중요하다. 호우의 공간특성을 분석하기 위하여 대상 호우사상을 선정하려면 그 기준이 필요하다. 독립 강우로서 시간당 30mm이상 또는 유역평균 강우량이 80mm를 초과하는 강우를 호우로 정의하여 9개 호우사상을 선정하였다(육인화, 2002). 섬진강댐 유역은 남서에서 북동으로 놓여있어 태풍, 전선, 저기압 등의 기상요란과 산악효과로 호우의 공간적 편향성을 보일 수 있고, 변동성의 규모도 다르다. 후자는 관측소 위치 선정에서 중요한 사항은 아니다. 문제는 공간변동 특성을 어떻게 관측망 설계에 반영 할 것인가 이다. 그 대표성을 찾아보기 위한 시도로 호우가 집중되는 시각을 중심으로 지속시간을 통일하도록 하였다. 즉, 침투홍수를 유발하는데 기여하는 호우로 한정했다. 섬진강댐의 홍수 도달시간이 사상마다 다르기는 하지만 경험에 의하면 6~8시간 정도이다(이창엽, 2002). 따라서 호우사상의 지속시간을 우량주상도의 중심시간에다 전후로 3시간을 합하여 7시간으로 하였다. 앞에서 제시한 역함수인 자기분산모형의 상수를 추정하였다. 그 결과  $\alpha$ 는 0.078~0.411로 그 폭이 크게 나타났고,  $\beta$ 의 경우는 0.319, 0.546, 0.770등 세가지 구룹으로 분류되며 유역

대표치는 0.640으로 채택하였다.

### 5. 적용 및 고찰

최적 관측망 설계 기준은 비용을 줄이고 정확도를 높히도록 하는 것이다. 즉 식 3으로 표현된 목적함수를 최소화하는 것이다. 전자의 경우 관측소의 위치가 정해지면 표 3.1에 의하여 비용이 정해지므로 이를 합산하기만 하면 된다. 그러나 후자의 경우 그렇게 단순하지 않은 않다. 목적함수의 최소화를 실현하기 위한 대상 지점이 무수히 많기 때문에 그 대상을 제한 할 필요가 있다. 가장 편리한 방법으로  $\Delta x = \Delta y$ 인 정사각형의 격자망을 구성하면 그 대상이 유한개 M으로 줄어든다. 격자의 규모가 커지면 계산시간은 단축되나 정확도는 감소 할 것이다. 그러므로 최적 설계의 목적에 부합되는 적절한 규모의 선택이 필요하다. 이 때 관측소의 위치가 문제인데 기존 관측소는 앞에서 주어진 좌표를 이용하고 신규 관측소의 위치는 격자의 중심으로 택하면 된다. 옥정호 위에 관측소를 설치하여 운영하는 것은 곤란하므로 대상에서 제외해야한다. 옥정호 구역을 섬진강댐 계획홍수위인 해발 197.7m수면으로 하였다. 용담댐 유역의 경우처럼(유양규, 2002) 2km×2km격자망으로 구성하면 본 유역은 193개의 격자로 구성되며 이 중 11개가 옥정호 수면에 해당한다. 따라서 관측소 설치가능 지점은 유역내 182개 지점과 유역외 787개점으로 총 980개 지점, 그리고 기설우량국이 선정대상 관측소이다(그림 4).

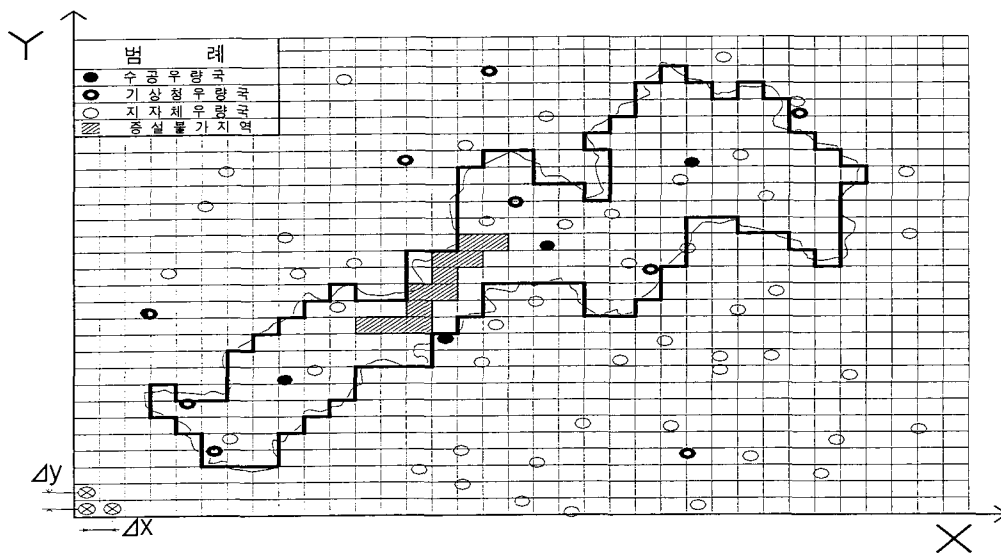


그림 4. 대상관측소지점

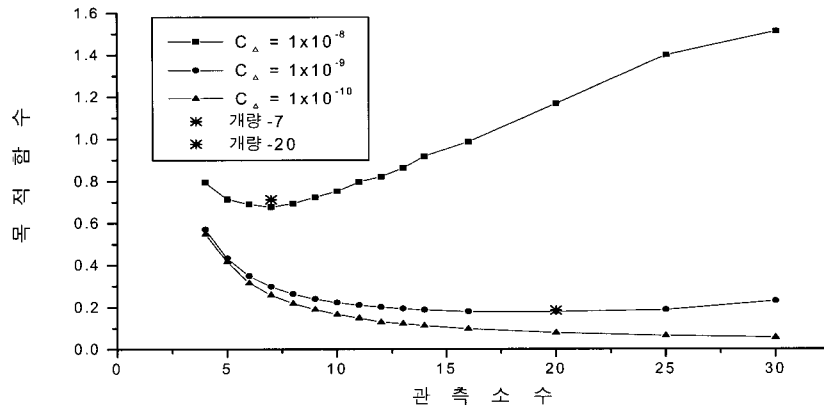


그림 5 교환계수(C)에 따른 최적 강우관측소 수

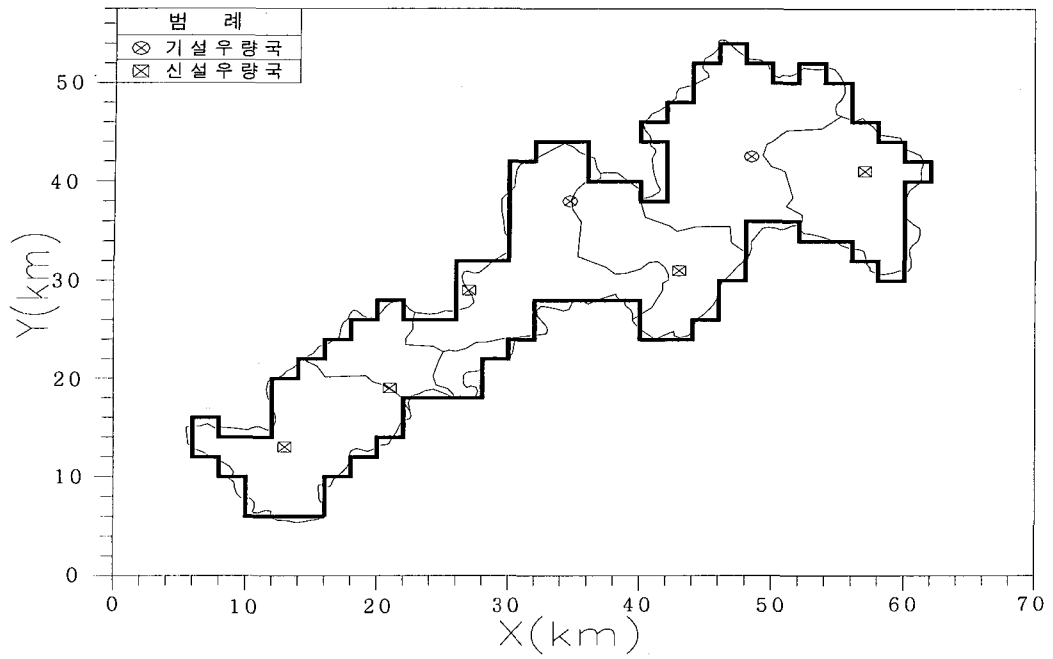
표 2. 최적관측망과 개량관측망의 목적함수값 비교

목적함수값	교환계수 $1 \times 10^{-8}$		교환계수 $1 \times 10^{-9}$	
	대안관측망	준대안관측망	최적관측망	준개량관측망
비용(천원)	40,100	30,900	120,150	104,500
분산값	0.2763	0.4031	0.05825	0.0797
목적함수	0.6773	0.7121	0.1784	0.1842

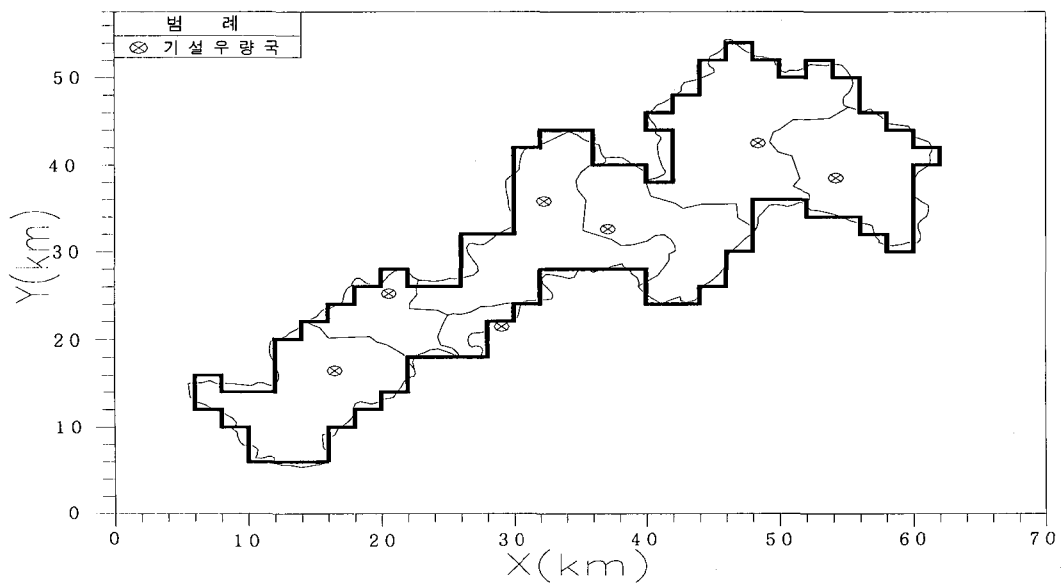
선정대상 지점 총 M개국 중에서 N개국을 선정하면 결정해야할 상수는  $\mu, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$  등 총 N+1개이다. 이 미지의 상수들은 크리깅 연립방정식의 해이다. 이 값들은 GSLIB(Clayton, 1998)를 이용하여 구하였다.  $\beta$ 와 함께 이 값들이 결정되면 목적함수 값이 평가될 수 있다. 어떤 관측망이 최적오차 인지는  $N C_n$ 개의 조합에 대하여 이러한 계산을 반복해보는 일이다. N값이 증가함에 따라 대상 관측망의 수가 폭발적으로 늘어나므로 그 해결 방법들이 제시되고 있다. 예를 들면 어닐링모의(Simulated Annealing)기법, 타부탐색(Tabu Search)기법, SATS(Simulated Annealing and Tabu Search)기법 등이다. 본 연구에서는 가장 효율적인 SATS법(유양규, 2002)을 채용하였다. 교환계수가  $10^{-6}$ 정도 일 때 공간변동성이 배제되고  $10^{-10}$ 정도 일 때 비용이 배제되므로 이 범위내에서 최적화를 시도하였다. 이와 같은 수치 실험 결과 등치매개 변수값이  $10^{-7}$  일 때 목적함수값이 상대적으로 크게 나타났으며, 이 값이 작아질수록 줄어들었다. 등치매개 변수값이  $1 \times 10^{-8}$ 일 때의 최적관측소 갯수는 7개이고, 여기에는 기존 관측소가 2개소 포함되었다. 교환계수가  $1 \times 10^{-9}$

일 때는 최적관측소 갯수는 수공에서 운영하는 2개 관측소, 기상청에서 운영하는 1개 관측소, 신설 관측소 17개로 모두 20개국이고 관측 비용은 120,150천원이다. 교환계수가  $1 \times 10^{-10}$ 일 때는 최소점이 나타나지 않았다. 20개국으로 구성된 관측망의 목적함수값이 0.1784로 7개국으로 구성된 관측망의 목적함수값 0.7121보다 적으므로 전자가 최적관측망이며 후자는 대안 관측망이라 할 수 있다.

위의 최적의 관측망에서 신설우량국을 기존우량국으로 대체하여 관측 부대비용이 발생하지 않는 제약을 모색할 수 있다. 교환계수가  $1 \times 10^{-8}$ 일 때 최적의 7개국으로 구성된 관측망을 홍수예경보에 적용되는 7개의 소유역을 고려하여 수공 우량국 4개국과 지자체 우량국 3개국으로 구성된 개량 관측망을 구성할 경우(그림6) 준대안관측망의 비용은 최적관측망에 비하여 30% 줄어드는 반면 정밀도는 31%떨어진다(그림5, 표2). 교환계수가  $1 \times 10^{-9}$ 일 때 즉, 준최적관측망의 경우 최적의 관측소 20개국 중 신설우량국 주변에 기설우량국으로 대체했을 때 비용은 41%줄어드는 반면 정밀도는 29.9%떨어졌다(그림7).



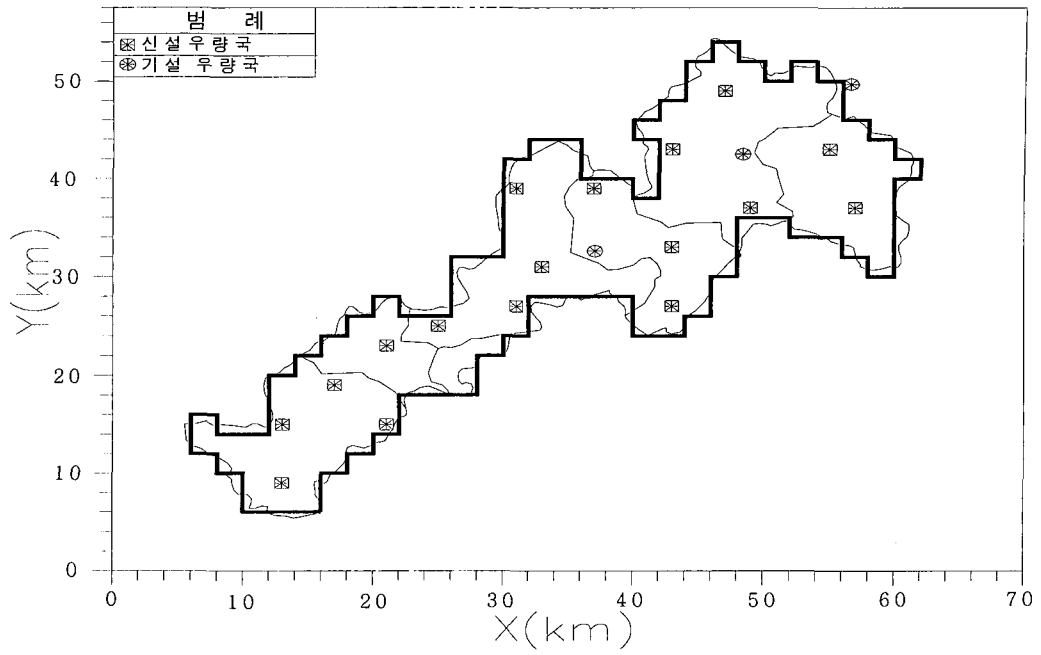
(a) 대안 강우관측망



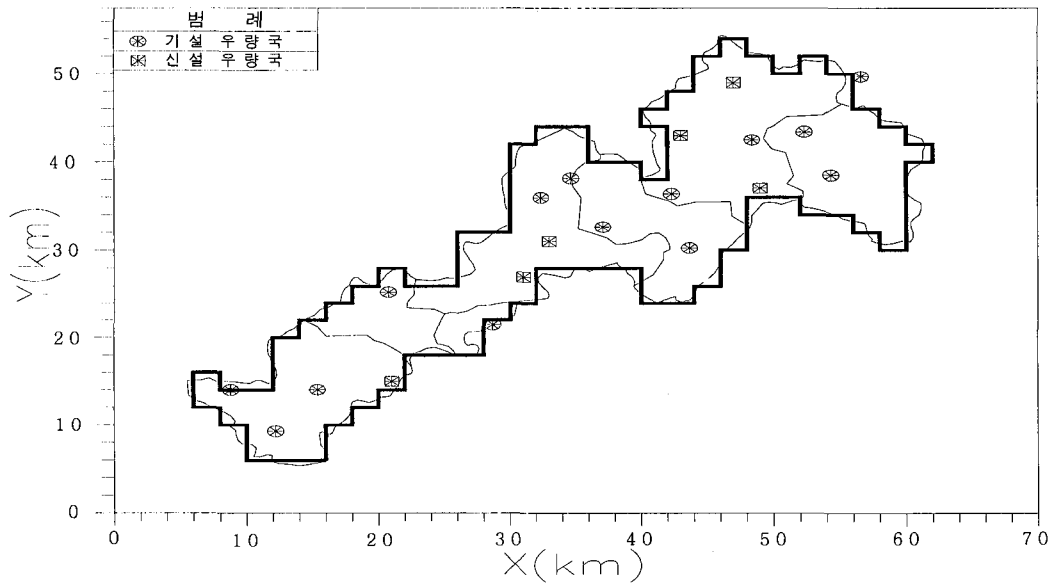
(b) 준 대안 강우관측망

그림 6. 대안 강우관측망과 준 대안 강우관측망 ( $C_{\Delta} = 1 \times 10^{-8}$ )





(a) 최적 강우관측망



(b) 준 최적 강우관측망

그림 7 최적 강우관측망과 준 최적 강우관측망 ( $C_{\Delta} = 1 \times 10^{-9}$ )

## 6. 결 론

강우 관측망의 밀도가 너무 낮아 유입량과 유출량 산정에 문제가 있는 섬진강댐유역의 관측망 개선을 위해 최적설계기법을 적용하였다. 면적평균강우량 산정을 위한 강우관측망 최적설계에서 목적함수를 오차항과 비용항으로 하였으며, 관측에 따른 부대비용을 고려하지 않는 최적 관측망을 도출하였고, 이를 토대로 이 비용을 감안한 개량관측망을 검토하였다. 비용에 따라 최적 관측망과 대안관측망, 관측소 신설을 줄이는 준 최적관측망과 준 대안관측망의 개량안을 검토하였다. 이에 대하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 최적관측망은 20개 우량국으로 구성된 관측망이다. 보다 값싼 대안 관측망은 2개 기설우량국과 5개 신설우량국 도합 7개 우량국으로 구성된 관측망이다.
2. 대안 관측망의 경우 우량국은 7개 소유역에 고루 분포되도록 하고 기설우량국만 선정되도록 개량했을 경우 비용은 30% 줄어드나, 정밀도는 31% 저하된다.
3. 최적관측망에서 20개 우량국 중 신설 12개 우량국을 인접한 기존우량국으로 대체하여 개량할 경우 준 최적 관측망의 비용은 최적관측망에 비하여 14% 줄어드는 반면, 정밀도는 29.9% 저하된다.

## 참 고 문 헌

1. David C. Curtis, Harry W. Dotson(1993). Rain Gage Network Size for Automated Flood Warning Systems, conference Proceeding of Engineering Hydrology, ASCE.
2. 이한구, 여운광, 최동규, 성영두(2000), “레이다 우량 자료의 검보정 및 임진강유역 홍수 예경보를 위한 우량관측망 설계”, 대한토목학회 논문집, 수공분과 (III) pp. 67-70
3. 이창엽 (2002), “섬진강댐 지점의 홍수 유출 분석”, 석사학위논문, 전북대학교, pp. 65-73.
4. 한국수자원공사 (1991), “홍수분석실무”, pp. 138-139.
5. 윤태훈 (1990), “응용수문학”, 청문각, pp. 65-68.
6. Gupta, R.S. (1992), Hydrology and Hydraulic Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y.
7. Eulogio Pardo-Iguzquiza, B.(1998), “Optimal selection of number and location of rainfall gauges for areal rainfall estimation using geostatistics and simulated annealing”, Journal of hydrology, 210, pp. 209-220.
8. Bras, R.L., and Rodriguez-Iturbe, I.(1976), “Network Design for the Estimation of Areal Mean of Rainfall Events”, Water Resource Research, Vol. 12, No. 6, pp. 1185-1195.
9. Bastin, G., Lorent, B., Duque, C., Gervers, M.(1984), “Optimal estimation of the average rainfall and optimal selection of rain gauge locations”, Water Resource Research, Vol. 20, No. 4, pp. 469-470.
10. Journel, A.G. (1978), Huijbregts, C.J., 1978. Mining Geostatistics. Academic Press, New York,
11. 유양규 (2002), “면적강우량 산정을 위한 강우관측망 최적설계 연구”, 박사학위논문, 전북대학교, pp.58-78.
12. 육인화, (2002), “섬진강댐 유역의 강우관측망 설계에 관한 연구”, 석사학위논문, 전북대학교, pp. 37-38,
13. Clayton, V.Deutch. (1998), “GSLIB”, Oxford University Press.
14. 이재형, 유양규, 정재성 (2002). “강우관측망 최적설계 기법 개선에 관한 연구.” 대한토목학회지, 제 22권, 제5-B호, pp. 671-677.

(논문번호:02-100/접수:2002.12.30/심사완료:2002.2.10)