

면적강우량 산정을 위한 관측망 최적설계 연구 Optimal Network Design for the Estimation of Areal Rainfall

이 재 형* / 유 양 규**
Lee, Jae Hyoung / Ryu, Yang Gyu

Abstract

To improve the accuracy of the areal rainfall estimates over a river basin, the optimal design method of rainfall network was studied using the stochastic characteristics of measured rainfall data. The objective function was constructed with the estimation error of areal rainfall and observation cost of point rainfall and the observation sites with minimum objective function value were selected as the optimal network. As a stochastic variance estimator, kriging model was selected to minimize the error terms. The annual operation cost including the installation cost was considered as the cost terms and an accuracy equivalent parameter was used to combine the error and cost terms. The optimal design method of rainfall network was studied in the Yongdam dam basin whose raingauge numbers need to be enlarged for the optimal rainfall networks of the basin.

keywords : rainfall network, optimal design, kriging, climatological variogram, stochastic variance, Yongdam dam

요 지

하천유역 면적강우량 산정의 정확도를 개선하기 위하여 기존 강우관측자료의 통계적 특성을 이용한 강우관측망의 최적설계방법을 연구하였다. 최적설계를 위한 목적함수는 면적강우량의 추정오차 및 지점강우량 관측비용의 항으로 구성하고, 그 값이 최소인 관측망을 선정하였다. 통계오차의 추정방법으로는 통계적 분산 산정방법인 크리깅 모형을 채택하였다. 비용은 강우관측소의 설치비와 연간운영비를 적용하고, 오차항과 비용항의 통합에는 등치매개 변수를 이용하였다. 연구된 최적설계방법을 댐 신설로 강우관측소 증설이 필요한 용담댐 유역에 적용하여, 대상유역의 최적 강우관측망을 제안하였다.

핵심용어 : 강우관측망, 최적설계, 크리깅, 기후학적 자기분산, 통계적 분산, 용담댐

* 전북대학교 토목환경공학부 교수

Professor, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Chonbuk National Univ., Chonbuk 561 756, Korea
(E mail : hyoung@moak.chonbuk.ac.kr)

** 전북대학교 토목공학과 박사과정수료

Doctoral Candidate, Dept. of Civil Engrg., Chonbuk National Univ., Chonbuk 561-756, Korea
(E-mail : ryuygu@chollian.net)

1. 서 론

지점강우량 관측자료로부터 면적강우량을 구하는 것은 수문해석과 수자원관리에서 중요한 과정이고, 집중호우로 인한 홍수피해가 빈번한 우리나라에서는 홍수에 대처 정도의 개선을 위해 특히 중요하다.

강우는 시간과 공간의 무작위함수이고, 총강우량은 공간 무작위함수이므로, 강우량의 공간 무작위성을 보다 잘 대변할 수 있는 강우관측망을 구성하여야 실제강우량의 공간분포에 부합한 면적강우량을 구할 수 있다. 기존 강우관측자료가 없는 지역의 강우관측망 설계에는 타지역의 경험에 의한 관측밀도와 면적비에 따른 배분을 기준으로 하는 것이 일반적이다. 그러나 강우관측자료가 축적되어지면, 실제 우량곡면을 보다 잘 파악할 수 있는 관측망으로 개선이 필요하다.

이는 지역특성을 반영한 복잡한 강우과정을 기상역학에 의한 물리법칙으로 해석하는 것이 매우 어렵고 불분명하여, 과거자료의 통계적 특성을 이용해야 하기 때문이다.

이러한 강우관측망 설계에 대한 국내의 연구는 거의 없고, Bras와 Rodriguez-Iturbe(1976)가 제안한 면적강우의 추정분산과 비용을 고려한 강우관측망 연구와 Pardo-Iguzquiza(1998)의 크리깅 시스템의 추정분산을 이용한 강우관측망 구성연구가 있는데, 이들은 강우관측소 증설보다는 기존관측망의 최적 부분집합 선정에 중점을 두었다.

기상레이다 또는 기상위성을 이용한 원격탐측 기술의 발달에 따라 지상 강우관측망 설계에 대한 연구를 불필요한 것으로 생각할 수 있으나, 이는 지상강우량에 의한 보정이 필수인 원격탐측 기술의 실용화를 위해 선결되어야 할 과제이다.

본 연구에서는 강우량의 공간변동을 2차원 무작위장으로 표현하여, 과거 강우관측자료의 무작위특성을 분석하고, 그에 따른 강우량곡면의 분포를 파악하기 용이한 지점을 신설우량국의 최적위치로 선정하는 강우관측망 설계방법을 연구하였다. 이 관측망 설계방법을 댐 신설로 강우관측소 증설이 필요한 용담댐유역에 적용하여 댐유역 면적강우량 산정의 최적관측망 구성방안을 제시하였다.

2. 강우무작위장(Rainfall random field)

강우는 시간과 공간의 무작위 함수(random function)이고, 총강우량은 공간무작위함수이다. 강우를 2차

원 무작위장(random field)으로 모형화하는 것은 시간적, 공간적으로 변하는 강우과정을 통계적인 방법으로 접근하게 한다. 2차원 공간 무작위장으로 표현되는 연속우량곡면과 실측자료로부터 특성을 파악해야하는 이산우량곡면의 특성과 이산우량곡면에 의한 추정오차의 개념은 다음과 같다.

2.1 연속형 평균

강우량의 공간분포를 반영한 2차원 무작위장은 평면상 임의지점 $X = \{x, y\} \in R^2$ 에서 임의시각 t 에 내린 강우량 곡면을 $p(t, X)$ 라 하면, 특정 강우사상 j 가 지속기간 t_j 동안 지점 X 에 내린 누가지점강우량 $p(j, X)$ 은 식(1)로 정의된다. 강우사상 j 동안 유역면적 $A \subset R^2$ 에 내린 면적평균강우량 $\bar{p}(j)$ 은 식(1)을 면적에 대하여 적분하고 총 면적으로 나누어 구한다.

$$p(j, X) = \int_0^{t_j} p(t, X) dt \quad (1)$$

$$\bar{p}(j) = \frac{1}{A} \int_A p(j, X) dX \quad (2)$$

$$j = 1, \dots, L$$

여기서, j 는 대상유역에서 관측된 L 개 강우사상의 순서를 나타낸다.

2.2 이산형 평균

실측강우량에 식(1)과 식(2)를 적용하기 위해서는 강우관측 현실을 고려한 이산화가 필요하다. 대상유역내 지점 $X_i = \{x_i, y_i\} \in R^2$ 에 있는 관측소 i 에서 특정시각 k 에 관측된 강우량을 $P(k, X_i)$ 라 하면, 강우사상 j 의 지속기간 t_j 동안 관측된 강우량 $P(j, X_i)$ 는 식(3)과 같고, 유역면적 $A \subset R^2$ 에 대하여 강우사상 j 의 면적평균강우량 $\bar{P}(j)$ 는 식(4)와 같이 정의된다.

$$P(j, X_i) = \sum_{k=1}^{m_j} P(k, X_i) \Delta t \quad (3)$$

$$\bar{P}(j) = \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} \cdot P(j, X_i) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{ij} = 1 \quad (5)$$

여기서, $t_j = \Delta t \cdot m_j$, m_j 는 대상유역에서 관측된 j 강우사상의 이산시간 수이고, n 은 관측소 수이다. 식(3)의 지점강우량 $P(j, X_i)$ 는 특정사상 j 가 X_i ; $i=1,$

..., n 에 따라 변하는 공간분포함수로서, 강우사상 j 에 대한 R^2 공간의 2차원무작위장이다.

2.3 추정오차

연속우량곡면의 면적평균강우량 $\bar{p}(j)$ 와 이산우량곡면의 면적평균강우량 $\bar{P}(j)$ 의 차이가 지상관측강우량을 이용한 면적강우량의 추정오차이다. 면적평균강우량 산정에서 가중치 $\lambda_i(t_j)$ 의 결정방법에 따라 산술평균법, 티센법, RDS법, 다중상관법, 크리깅방법 등이 있는데, 기존연구(정재성, 1996)에서 크리깅방법의 추정오차가 가장 적은 것으로 평가되었으며, 이에 대한 기본개념은 다음과 같다.

2차원무작위장에서 평균이 공간정상성(X 에 독립)을 가지고 크리깅 자기분산(Variogram)이 등방성과 공간정상성을 가진다면, 자기분산은 X_{i1} 와 X_{i2} 사이 거리의 함수이다. 이러한 가정으로 평균과 자기분산은 식(6) 및 (7)과 같이 표현된다(Bastin 등, 1984).

$$\bar{P}(t, X) = \bar{P}(t) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \gamma(t, X_{i1}, X_{i2}) &= \gamma(t, H_{i1,2}) \\ H_{i1} &= |X_{i1} - X_{i2}| \end{aligned} \quad (7)$$

크리깅방법은 가중치 λ_{ij} 에 따른 추정오차분산이 최소인 것을 선택할 수 있는 것으로 식(8)의 자기분산식을 이용한다. $\bar{\gamma}(t_j, H_{iA})$ 는 면적 A 내에서 특정 i 에 대한 변위벡터 H_{iA} 에 따른 자기분산의 평균으로 식(9)을 이용하여 근사 값을 구한다.

$$\begin{aligned} \bar{\gamma}(j, H_{iA}) &= \sum_{i=1}^M \lambda_{ij} \cdot \gamma(j, H_{i1,2}) + \mu(j) \\ \sum_{i=1}^M \lambda_{ij} &= 1, \quad j=1, \dots, m_j \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \bar{\gamma}(j, H_{iA}) &\approx \frac{1}{M} \sum_{o=1}^M \gamma(j, X_{i1}, X_{o1}) \\ X_{i1}, X_{o1} &\in A \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, $\mu(t_j)$ 는 라그랑지 매개변수(Lagrange parameter)이고, X_o 의 첨자 $0=1, \dots, M$ 이며, M 은 영역 내에 있는 전체격자의 수이다.

식(10)과 같이 표현되는 크리깅 방법의 추정오차분산 σ_E^2 은 자기분산 모형과 관측소의 수 n 및 위치 X_i 에 의해서만 변화하는 값으로 $\bar{p}(j)$ 의 추정치 $\bar{P}(j)$ 의

정확도를 나타내며, 관측소 최적위치 선정의 기본도구이다.

$$\begin{aligned} \sigma_E^2(j) &= \sum_{i=1}^N \lambda_{ij} \cdot \bar{\gamma}(j, H_{iA}) \\ &\quad - \bar{\gamma}(j, H_{AA}) + \mu(j) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, $\bar{\gamma}(j, H_{AA})$ 는 면적 A 에 독립적으로 표현되는 변위벡터 H 에 따른 평균 자기분산이다.

3. 관측망설계 모형

강우관측망 최적설계는 실제면적강우량에 가장 근접한 추정치를 구할 수 있는 관측소의 갯 수와 위치를 결정하는 것을 의미한다.

3.1 설계기준

강우관측망의 설계기준은 정확도와 관측비용의 함수로 구성할 수 있는데, 설계결과에 대한 이들 두 변수의 기여도에 따라 다양한 최적안이 도출될 수 있다.

유역의 총 강우량은 공간연속인 추계학적 사상으로, 공간변화에 따른 관측오차를 제거함으로써 산정된다. 또한, 강우관측망 설계에서 추정오차분산과 비용의 통합이 중요한 문제로 이 둘을 대등하게 하는 등치매개변수가 필요하다.

강우관측망 설계에서 모든 효용함수를 정의할 수는 없지만, 식(11)과 같이 대상유역내 관측소 설치가능 위치 X_i ($i=1, \dots, N$)에서 n 개관측소로 구성된 관측망의 조합에 따른 추정오차 δ 와 비용 C 의 향으로 목적함수를 정의하고 이를 최소화하는 모형을 생각할 수 있다.

$$\begin{aligned} \min O[\delta(n, X_i); C(n, X_i)] &= \\ \min\{\delta(n, X_i) + C_A \cdot C(n, X_i)\} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $\delta(n, X_i)$ 와 $C(n, X_i)$ 는 N 개의 검토대상 지점 X_i 에서 관측소 수 n 개를 선택하였을 경우에 실제 면적강우량에 대한 오차와 비용이고, C_A 는 비용항을 오차항과 대등하게 하는 등치매개변수이다.

3.2 관측망의 정확도

크리깅 방법을 이용한 관측망의 정확도 평가에서는 식(11)의 오차항 $\delta(n, X_i)$ 를 면적강우량의 추정오차분산 σ_E^2 으로 표현된다(Bras와 Rodriguez-Iturbe, 1975). 관측소망의 정확도에 대한 분산최소화는 추정

된 분산의 절대 값이 아니고, 자료구성의 변화에 따른 상대적 크기를 비교하는 것이다.

자기분산은 강우사상에 따라 변하므로 각 사상별로 분리하여 모의할 수 있지만, 강우사상에 따라 자기분산 매개변수가 변하면 매번 강우관측소 위치의 최적집합이 달라지는 문제가 있어 최적관측망을 결정할 수 없다.

이에 대한 대안으로 식(12)와 같이 조정된 기후학적 자기분산 $g(h, \beta)$ 을 이용하는 멱모형(Power model)이 있다(Deutsch 등, 1998).

$$\begin{aligned} \gamma(j, h) &= \alpha_j \cdot g(h, \beta) \\ g(h, \beta) &= h^\beta; \quad 0 < \beta < 2 \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, α_j 는 시간중속인 척도모수(scaling parameter), $g(h, \beta)$ 는 변위벡터 H 의 크기 h 와 공간중속 형상모수(shape parameter) β 로 정의되는 자기분산 모형이다. 이 경우, 강우사상 j 에 따른 시간 비정상성은 척도모수 α_j 에 집중되고 조정된 기후학적 자기분산 $g(h, \beta)$ 성분은 시간일정이다. 유사한 방법으로 식(11)의 추정오차분산을 식(13)과 같이 조정된 추정분산 ν_E^2 의 향으로 표현할 수 있고, ν_E^2 는 식(14)로 정의된다(Bastin et al., 1984).

$$\sigma_E^2(j) = \alpha_j \cdot \nu_E^2 \quad (13)$$

$$\nu_E^2 = \mu + \sum_{i=1}^N \lambda_i g(h_{iA}) - g(h_{AA}) \quad (14)$$

조정된 추정분산 ν_E^2 는 시간일정인 조정된 기후학적 자기분산과 강우관측소의 수 및 위치로 구성된 3개 인자에 따라 변한다.

분산최소화에 조정된 추정분산의 해가 적용되는 것은 모든 강우사상에 적합하게 조정된 기후학적 자기분산을 사용하여 최적설계를 할 수 있기 때문이다. 자기분산모형이 일단 고정되면, 추정분산은 관측소 수와 위치에만 종속이다. 그러므로 가상의 측정지점들로 구성된 임의의 집합에 대한 추정분산 ν_E^2 를 계산하여, 추정분산이 최소인 집합을 선택할 수 있다.

3.3 관측망의 비용

가능한 N 개의 대상위치에서 X_i 개의 최적조합을 찾는 설계과정은 그림 1과 같이 교환곡선(trade-off curve)의 특성을 갖는 등치매개변수 C_d 의 선정이 매

우 중요한 문제이다.

그림 1에서 곡선상의 각 점은 특정 값에 따른 정확도와 비용의 목적함수에 대한 기여도이며, 이 값의 변화에 따라 최적설계의 결과가 달라지므로, 강우관측망 설계의 목적과 예산을 고려하여 적절한 값을 선택해야 한다.

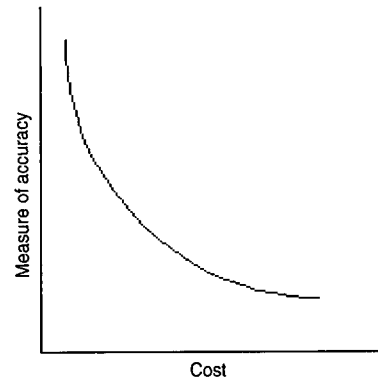


그림 1. 비용-정확도 변환곡선

강우관측망 설계를 위한 비용은 식(15)와 같이 n 개 개별 관측소 비용의 선형 합으로 표현할 수 있다. $C(X_i)$ 는 X_i 에 배치된 관측소의 연간 비용으로 관측소의 설치비, 유지보수 등의 운영비, 관측자료정리 및 관리비 등으로 구성된다.

$$C(n, X_i) = \sum_{i=1}^n C(X_i) \quad (15)$$

4. 최적설계의 적용

최적관측망 설계방법을 관측소 증설이 필요한 용담댐유역에 적용하였다. 기존 강우관측자료로부터 추정오차분산의 요소인 기후학적 자기분산을 산정하여, 기존 강우관측망의 최적구성을 검토하고, 증설 관측망의 최적구성방안을 제시하였다. 또한, 등치매개변수에 따른 최적관측소 수의 변화를 검토하였다.

4.1. 적용유역 현황

강우관측망 최적설계방법을 국내유역에 적용하기 위하여 댐 신설로 강우관측소 증설이 필요한 금강상류 용담댐유역을 선정하였다. 용담댐유역은 면적이 930km²로 금강유역 9,886km²의 약 9.45%를 점유하고 있으며, 연평균강우량은 1,236.7mm이다(한국수자원공사, 1990). 이 유역에는 기상청 1개소, 건설교통부 8개소, 수자원공

사 3개로 구성된 12개소의 관측소에 본 연구에 필요한 시우량관측자료가 보존되어있다. 대상구역의 강우관측소 현황과 위치를 표 1과 그림 2에 제시하였다. 수자원 공사에서는 용담댐 유역의 관리에 필요한 강우자료들을 수집하기 위하여 기존 관측소를 폐쇄하고 7개의 TM 관측소를 표 2와 같이 설치하였다.

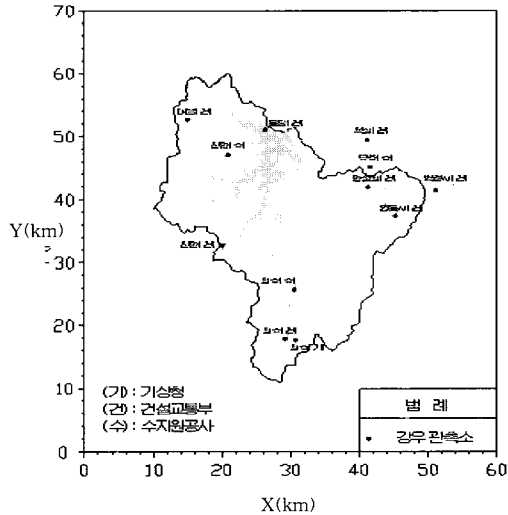


그림 2. 용담댐유역 강우관측 현황

표 1. 용담댐유역 강우관측자료 현황

기호	관측소명	관리청	관측기간	시자료 사용기간
a	장수	기상청	'88~현재	'89~'96
b	장수	건교부	'65~현재	'89~'94 '96
c	장수	수공	'89~'98	'89~'93
d	진안	건교부	'65~현재	'90~'96
e	진안	수공	'89~'98	'89~'93
f	부주	수공	'89~현재	'89~'93
g	백련사	건교부	'67~현재	'90~'95
h	원통사	건교부	'67~현재	'90~'93
i	용담	건교부	'67~'98	'89~'91 '93~'96
j	안성장	건교부	'67~현재	'90~'96
k	대불	건교부	'67~현재	'89~'96
l	적상	건교부	'67~현재	'89~'96

※ 건교부 : 건설교통부, 수공:수자원공사

표 2. TM 강우관측소 운영현황

번호	지점명	격자 좌표(km)		관측개시일
		x	y	
1	천천2	28.22	21.90	99.6.15
2	장계	36.00	25.58	99.6.15
3	상전	25.46	35.37	99.6.15
4	재북2	38.56	35.91	99.6.15
5	안천	30.98	42.42	99.6.15
6	부귀	17.85	41.78	99.6.15
7	주천	20.12	53.56	00.2.18

※ x,y는 그림2에 제시된 상대거리(km).

4.2. 자기분산(Variogram) 추정

용담댐 유역의 강우계측망 최적설계의 목적은 홍수-유출예측에 필요한 면적강우량 산정이므로 용담댐 지점 홍수도달시간 6~8시간을 고려하여 6시간 지속 최대강우량 자료를 사용하여 관측망의 추정분산 계산에 필요한 기후학적 자기분산을 구하였다. 자기분산 모형은 식(12)와 같은 먹모형을 사용하여 표 1의 시자료 보유기간에서 6월~8월동안 6시간 지속 유역평균 강우량이 20mm 이상이었던 강우사상을 선택하여 사상별 α , β 값을 구하였다. α 값의 범위는 0.10~0.43, β 값의 범위는 0.37~0.67을 보였는데, 이러한 변동은 Bastin 등(1984)의 주장과 같이 강우의 공간변동성에 의한 것이다.

6시간 지속강우량에 대한 강우사상별 자기분산의 사례와 모든 사상의 결과들을 적합한 대표 자기분산의 결정과정을 그림 3에 도시하였다. 그림 3(b)에 보인바와 같이 적합한 대표자기분산계수는 $\alpha = 0.193$, $\beta = 0.640$ 이다.

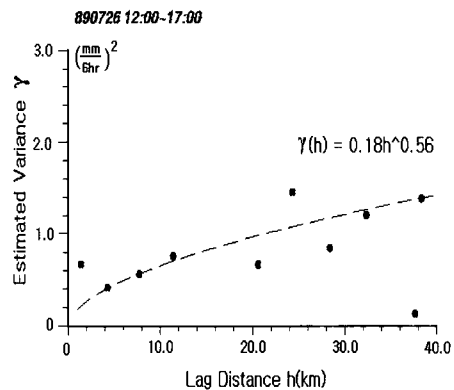


그림 3(a). 강우사상별 Variogram 사례

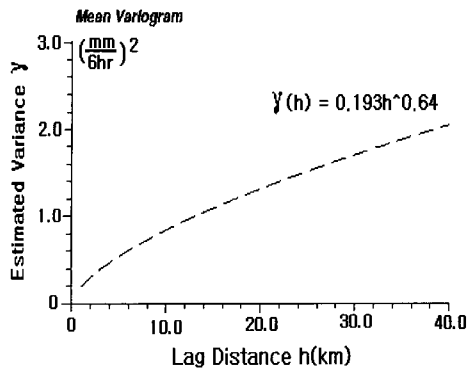


그림 3(b). 모든 사상에 적합된 Variogram

4.3. 강우관측망 최적설계

국내에서는 전체수계를 균일한 강우 발생구역으로 분할하거나 약 50km²구역으로 분할하여 각 구역마다 1개씩의 강우관측소 설치를 권장하고 있으므로(한국수자원학회, 2000), 대상유역에는 관측소 증설이 필요하다. 따라서, 기존 관측망의 최적부분집합 선정과 최적위치 선정 방안을 도출하고 장래 관측소 증설의 최적지점들을 추정하였다.

가. 최적 강우관측망 구성

최적 강우관측망과 현존 TM 강우관측망을 비교하기 위하여 면적강우량의 정확도를 고려하였다. 관측소 최적위치 결정을 위하여 유역을 2km×2km격자로 구성하였다. 격자좌표는 동경 127°12'04'', 북위 25°28'04''를 기준으로 경도방향을 X축, 위도방향을 Y축으로 한 상대좌표이다. 최적 관측망 구성을 위하여 관측소 설치가 가능한 격자점에서 모든 가능한 관측망 구성에 대하여 추정분산 값을 구하여, 추정분산이 최소인 관측망 구성에 대한 추정분산 값을 표 3에 제시하고, 추정된 최적관측망과 현존관측소의 최적부분관측망을 그림 4 및 그림 5에 도시하였다.

표 3에서 최적 강우관측망 구성의 경우가 현존관측망 최적구성에 비하여 분산비가 3.6%에서 9%까지 감소하여 평균적으로 최적관측망 구성이 7.2%의 정확도 개선효과가 있음을 보였다. 따라서 본 연구에서 수행한 방법이 강우관측망 최적 구성에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

표 3. 강우관측망 구성 현황

관측소수	최적관측망			현존관측망			분산비 a/b, %
	X	Y	분산a	X	Y	분산b	
1	28	36	0.799	25.46	35.37	0.829	96.4
2	22	46	0.321	36.00	25.58	0.353	90.9
	34	28		17.85	41.78		
3	20	46	0.185	28.22	21.90	0.203	91.2
	30	22		38.56	35.91		
	38	38		17.85	41.78		

※ X,Y 좌표는 격자 중심좌표(km).

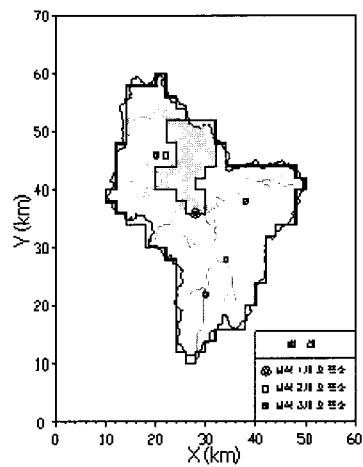


그림 4. 최적 강우관측망 구성

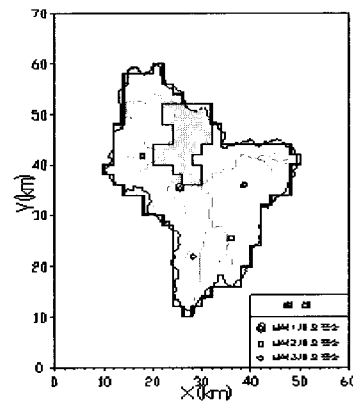


그림 5. 현존관측망의 최적 구성

나. 현존 강우관측망에 관측소 증설

용담댐유역 수자원관리의 효율을 증대하기 위하여 7개의 TM강우관측소를 표 2와 같이 설치운영하고 있으나, 강우관측망 권장밀도에는 미흡한 실정이므로 장래

에 관측소 증설이 필요하다.

목적함수의 비용항은 현존 관측소지점에서는 연간 운영비만을 고려한 3,850천원/개소로 가정하고, 증설고려 지점에서는 신규설치비 연간배분액 2,500천원과 연간운영비 3,850천원을 더한 6,350천원/개소로 가정하였다. 목적함수의 등치매개변수 C_d 는 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ 범위에서 검토하였다.

표 4는 관측소 수와 등치매개변수에 따른 목적함수 값의 변화를 나타낸 것이다. 표 4에서 목적함수가 최소로 나타난 관측소 수는 C_d 가 10^{-8} , 2×10^{-9} , 10^{-9} 일 때 각각 4, 9, 10개소였다.

그림 6은 관측소 수와 정확도의 추정분산의 관계를 도시한 것으로 관측소 수가 증가하면 분산값이 작아져 강우관측망의 정확도가 높아짐을 암시한다. 그림 7은 비용-목적함수관계에 대한 등치매개변수의 영향을 도시한 것이다. 이는 특정 등치매개변수에 대한 최적인 관측소 수를 결정할 수 있게 하고, 그에 따른 위치를 결정하면 최적관측망이 구성된다.

표 4. C_d 에 따른 목적함수 최소치 변화

관측소수	운영비 (백만원/년)	등치매개변수(C_d)		
		10^{-8}	2×10^{-9}	10^{-9}
4	15.40	0.291	0.168	0.152
5	19.25	0.299	0.145	0.126
6	23.10	0.314	0.130	0.106
7	26.95	0.341	0.125	0.098
8	33.30	0.391	0.125	0.092
9	37.15	0.419	0.122	0.085
10	41.00	0.451	0.123	0.082

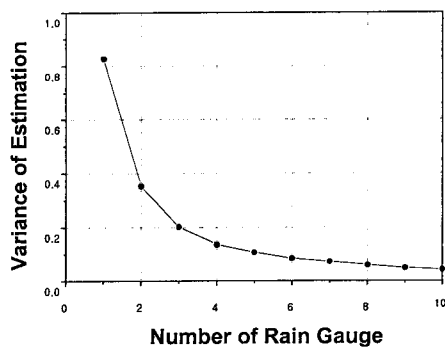


그림 6. 관측소수 - 추정분산 관계

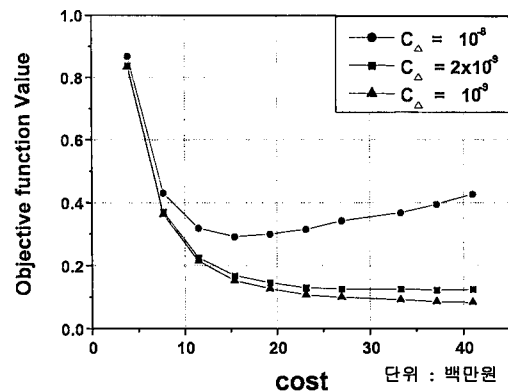


그림 7. 비용-목적함수 C_d 의 관계

그림 7의 등치매개변수의 특성검토에서 등치변수의 값이 작을수록 최적관측소 수가 증가하는 것은 비용에 대한 제약이 적을수록 많은 관측소를 운영할 수 있다는 사실을 반영한 결과이며, 용담댐 유역의 규모를 고려하여 TM관측소를 9개소까지 증설한다고 가정하면 용담댐유역에 적합한 등치변수는 2×10^{-9} 이나 이는 증설시점에서 용지비, 시설비, 운영비 등 제반비용을 보완해야 하는 부분이다.

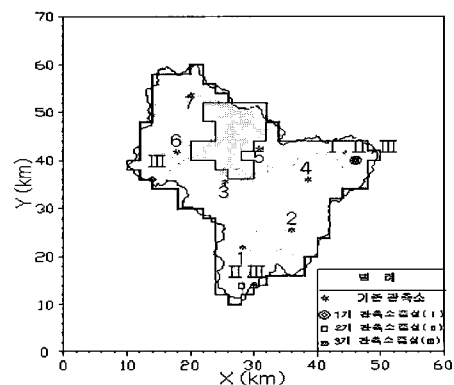


그림 8. 기존 및 관측소 증설

필요성이 예상된 증설지점 1~3개소의 위치결정을 위하여 용담댐 유역에서 관측소 설치 가능한 모든 지점에 대해서 목적함수 값을 구하고 그 결과가 최소인 지점을 결정하였다. 그림 8은 현존 TM관측망에 관측소를 1~3개 증설하는 경우에 대한 관측소 최적위치를 도시한 것이다.

다. TM관측망의 최적부분집합 선택

기존 관측장비의 정확도 개선과 유지보수에 대한 우선순위를 결정하여 관리하는 것이 관측소 운영에 매우 효과적이므로 관측소의 최적부분집합을 선택할 필요가 있다. 따라서 용담댐유역에서 운영되고 있는 TM관측소(표 2 참조)를 대상으로 최적의 관측소 부분집합을 선택하여 표 5에 정리하였다. 이는 관측자료를 이용하여 면적강우산정 등에도 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 5. 현존 TM관측망의 최적 부분집합

관측소 수	관측소 번호	비고
1	3	관측소번호는 표 2 참조
2	2,6	
3	1,4,6	
4	1,4,6,7	
5	1,4,5,6,7	
6	1,2,4,5,6,7	
7	1,2,3,4,5,6,7	

5. 요약 및 결론

강우관측망 설계를 위한 목적함수를 정밀함과 비용항으로 구성하여 용담댐유역의 최적강우관측망 설계를 시도하였다. 정밀함은 크리깅 기법에 의한 오차분산으로 구성하였고, 비용항은 관측소 설치비와 연간운영비를 고려하였다.

크리깅 기법에 의한 정밀함 구성을 위하여 대상유역의 시우량 자료로부터 유역도달시간에 상응하는 6시간 지속강우량에 대한 기후학적 자기분산을 강우사상별로 구하고, 전체 강우사상에 대해 적합한 자기분산을 결정하였다.

측정의 정확도만을 고려한 최적관측망 구성과 기존 관측망의 최적구성을 비교하여 검토한 결과 본 연구에서 적용된 최적관측망 구성방법이 7.2%의 정확도 개선을 보였다. 따라서 본 연구에서 수행한 방법이 강우관측망 최적 구성에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

정밀함-비용항 등치매개변수의 특성검토에서는 등치매개변수의 값이 작을수록 최적관측소 수가 증가하는 것으로 나타났고, 용담댐 유역의 관측소 수를 9개소로 할 경우, 등치매개변수의 적정치는 이었다.

이에 따라 필요한 증설지점을 대상유역의 관측소 설치 가능한 지점에서 목적함수 값이 최소가 되는 강우관측망을 결정하였다. 또한, 기존 관측소의 효과적인 운영을 위하여 기존 관측소의 최적부분집합을 선정하였다.

본 연구는 기존 관측자료를 이용한 강우관측망 최적설계를 연구한 것으로 소수의 관측소 증설을 검토할 때에는 유용하나 대규모 관측망 설계에는 계산시간 등의 문제로 적용이 어려운 점이 있어 개선이 필요하다.

참 고 문 헌

정재성 (1996). 실시간 기상자료와 신경망 이론에 의한 다지점 강우 예측모형 연구, 박사학위논문, 전북대학교.

한국수자원공사(1990). 용담다목적댐 타당성조사보고서

한국수자원학회(2000). 하천설계기준

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. 463~470.

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.

Bras, R.L., and Rodriguez-Iturbe, I., (1975). "Rainfall-runoff as spatial stochastic processes: Data collection and synthesis." *Technical Report No. 196, Ralph M. Parsons Laboratory of Water Resources and Hydrodynamics, M.I.T. Jan.*

Deutsch C.V., and Journel A.G., (1998) GSLIB (Geostatistical Software Library and User's Guide). *Oxford University Press*

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. 206~220.

(논문번호:01-081/접수:2001.12.12/심사완료:2002.03.07)