

〈論 文〉

地域化回歸模型을 利用한 流量觀測網의 計劃
Palnning of Streamflow Data Collection Network
by Regionalized Regression Model

趙 國 光* 權 純 國**
Cho, Kuk Kwang Kwun, Soon Kuk

Abstract

In this study, the effectiveness of existing streamflow data collection networks in the Han and the Nakdong River Basin is evaluated for various gaging plans of 5, 10, 15 and 20years planning horizons by the nonlinear integer programming method, and also a technique for adjustment and planning of the existing network is provided for the purpose of increasing the efficiency of the network in terms of economy. The objective function is minimization of the average sampling mean square error of regional regression model with regression parameters estimated by generalized least squares method.

要 旨

本 研究에서는 漢江 및 洛東江유역의 流量觀測網에 대하여 개발된 地域化回歸模型을 利用하여 模型이 지니는 平均標本誤差의 最少化를 目的函數로 하는 非線型 整數計劃法에 의하여 5, 10, 15 및 20年의 計劃年數를 갖는 각 운영계획에 따른 기존 관측망의 유효성을 평가하며, 경제적인 측면에서 관측망효율을 증가시킬 수 있도록 河川流量觀測網을 조정·계획하였다.

1. 緒 論

河川流量觀測網 분석의 목적은 기존 관측망이 河川流量資料에 관한 最適地域情報를 얻을 수 있는 능력에 관한 定量的인 평가를 하는 것이며, 관

측망 調整을 통하여 새로운 관측점들을 추가하거나 기존 관측점들을 삭제할때 발생하는 효과를 산정하고, 최소의 비용으로써 관측망을 개선할 수 있는 방법을 摸索하는데 있다. 또한 觀測網分析 結果는 책정된 관측망운영예산 내에서 효과적인 운영계획을 수립하고, 관측망운영예산을 감소 또

* 水原專門大學 土木科

** 서울大學校 農科大學 農工學科

는 증가시킴에 따라 잃거나 얻게 되는 정보를 예견하며, 그리고 동일한 예산으로 운영되는 효과적인 운영계획과 비교하므로써 제안된 관측망 운영계획을 평가하는데 이용될 수 있다.

Tasker¹¹⁾는 Stedinger and Tasker¹¹⁾¹²⁾¹³⁾가 개발한 一般化 最小自乘 알고리즘을 이용하여 구한 地域化 回歸模型이 지니는 平均標本誤差(average sampling mean square error)의 最小化를 目的函數로 하는 非線型 整數計算法(nonlinear integer programming)을 사용하여 기존 관측점들을 삭제하거나 새로운 관측점들을 추가하므로써 관측망의 유효성을 증가시키는 방법을 제안하였으며, Medina⁹⁾는 이 방법을 Kansas 洲에 적용하여 流量 觀測網을 조정한바 있다.

본 연구에서는 趙¹⁴⁾가 漢江 및 洛東江 유역에 대하여 개발한 地域化 回歸模型을 이용하여, 模型이 지니는 標本誤差의 最小化를 目的函數로 하는 非線型 整數計算法에 의하여 5, 10, 15 및 20년의 計劃年數를 갖는 각 운영계획에 따른 기존 관측망의 유효성을 평가하며, 경제적인 측면에서 관측망의 효율을 증가시킬 수 있도록 河川流量 觀測網을 조정·계획하는 기법을 발전시키는데 그 목적이 있다.

2. 觀測網 分析 理論

가. 基本 理論

Stedinger and Tasker¹¹⁾는 유역특성에 관한 유량특성치의 地域化 回歸模型을 구하기 위하여 一般化 最小自乘 加重行列(GLS weighting matrix) Λ 를 추정하기 위한 방법을 제안하였다. 加重行列은 유량특성치의 지점추정치들이 서로 다른 신뢰성을 가지며 그 추정치들은 지점 사이에서 상호상관될 수 있다는 사실을 설명하는데 사용된다. 근사방법에 의하여 가중행렬 Λ 를 추정하므로써 地域化 回歸문제에 GLS模型을 사용할 수 있으며 회귀계수는 다음의 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\beta} = (X^T \hat{\Lambda}^{-1} X)^{-1} \hat{\Lambda}^{-1} \hat{Y} \quad (1)$$

여기서 X 는 유역특성에 관한 $(N \times k)$ 행렬이고, β 는 회귀계수를 나타내는 $(k \times 1)$ 벡터이며, Λ 은 $(N \times N)$ GLS 加重行列의 추정치이고, \hat{Y} 은 유량특성치의 지점추정치를 나타내는 $(N \times 1)$ 벡터이며, N 은 관측치 수이다.

一般化 回歸分析이 지니는 중요한 특징은 그것이 어느 관측점에서의 推定 平均平方誤差(MSE_p)에 대한 信賴性 있는 推定值를 제공해 준다는 것이다.

MSE_p는 推定 回歸推定量 Y_R 에 의해서 推定 流量資料 Y 를 推定하는데 기인되는 誤差인 模型誤差成分과 標本 回歸推定量 \hat{Y}_R 에 의해 推定 回歸推定量 Y_R 을 추정하는데 기인되는 誤差인 標本誤差成分으로 나뉘어질 수 있다. 一般化 回歸分析에서는 단지 標本誤差成分만이 관측기록의 증가나 관측점의 신설 및 폐쇄에 의하여 영향을 받으므로 이 성분의 最小化를 目的函數로 하는 最適化 분석이 가능하다.

$x_j^T = (1, x_1, x_2, \dots, x_m)$ 을 관측점 j 에서의 유역특성을 나타내는 벡터라 하면, 관측점 j 에서의 標本誤差는 다음의 식(2)와 같이 구해진다.

$$\hat{V}_j = \hat{X}_j^T (X_w^T \hat{\Lambda}_w^{-1} X_w)^{-1} \hat{X}_j \quad (2)$$

여기서 w 는 一般化 回歸模型의 回歸係數 β 의 추정량들을 얻는데 사용될 수 있는 각각 다른 관측점 및 관측기록의 조합 즉, 각각 다른 운영계획들을 나타내는 指標이다. x_j^T 가 X 의 한 行이 될 필요는 없다. 地域情報에 관한 하나의 척도를 얻기 위하여 回歸分析에서 사용된 관측점들에 걸쳐서 V 의 평균을 취하므로써 운영계획 w 에 대한 平均標本誤差는 식(3)과 같이 구해진다.

$$\bar{V}_w = N_j^{-1} \sum_{j \in J} \hat{V}_j \quad (3)$$

여기서 J 는 回歸分析에서 사용된 관측점들의 집합이며, N_j 는 집합 J 내에 있는 관측점 수이다. 행렬 X_w 는 回歸分析에서 사용된 모든 관측점들과 새로이 추가된 관측점 혹은 다시 운영되는 舊 觀測點들을 網羅하는 모든 관측점들 중에서 운영계획 w 에서 운영될 관측점들에 상응하는 流域特性 및 降雨量資料의 添加行列이다. Λ_w 行列은 計劃年數 동안에 운영계획 w 에서 운영될 것으로 가정되는 각 관측점에 대하여 기록치를 추가하여 산정된 加重行列이다.

平均標本誤差를 最小化하기 위해서는 w 를 이용하여 구분이 되는 하나의 實行 가능한 운영계획을 찾아내야 하며 이 경우에 일부의 관측점들은 지점 고유의 자료수요로 인하여 계속해서 운영될 수도

있으며 地域化分析에 부적합한 관측점들은 운영을 중단할 수도 있으므로 행렬 X_w 가 어떻게 구성되는가에 따라 \bar{V}_w 가 달라질 수 있다. F가 운영대상으로 선택되거나 제외될 수도 있는 관측점들의 집합을 나타낸다고 하면 현재 운영되고 있는 관측점들, 과거에 운영되었던 관측점들 혹은 새로이 추가되는 관측점들로 F가 구성된다. S_w 가 운영계획 w에서 운영되는 관측점들의 집합이라면 S_w 는 F의 부분집합이 된다. 결국, 해결해야 할 문제는 식 (4)와 같이 되도록 \bar{V}_w 를 最小化하고 豫算限界 B이내에 있는 부분집합 S_w^* 를 찾는 것이다.

$$\sum_j s_w c_j \leq B \quad (4)$$

여기서 c_j 는 計劃年數동안에 관측점 j를 운영하는데 드는 限界費用이며 이것의 합은 부분집합 S_w 내에 포함된 관측점들에 걸쳐서 취해진다.

\bar{V}_w 에 대한 최적화는 매우 방대한 非線型整數計劃 문제가 되어 식 (4)를 만족시키는 F의 부분집합의 수는 매우 크게 될 수 있기 때문에 最適解에 가까운 實行可能解를 높은 확률을 가지고 찾을 수 있는 탐색방법을 적용한다. 두 가지 방법을 고려할 수가 있는데 하나는 確率探索過程(random search procedure)으로서 예산한계 내에서 無作為로 관측점을 선정하므로써 實行可能解를 찾는다. 이 방법에서는 최적에 가까운 하나의 관측망계획을 無作為로 선정하는 확률이 크게 되도록 충분한 횟수만큼 반복된다. 그러나 이 방법의 결점은 확률적으로 선정되는 각각의 관측망계획이 상대적으로 효율적이지 못하다는 것이다. 다른 하나의 방법인 段階의 後進探索過程(step-backward search procedure)은 모든 가능한 관측점들이 계속 운영되는 것으로 간주하여 분석을 시작한 후, 단위비용당 目的函數를 최소로 충족시켜주는 관측점들의 운영을 점차로 중단하는 것이다. 이러한 探索過程은 운영될 관측점들에 대한 모든 가능한 조합을 고려하지 않기 때문에 최적관측망 계획이 구해지리라는 보장은 없다.

나. 알고리즘

관측망 분석은 식(5)와 같은 非線型整數計劃法에 의한다.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \sum_i f_i(u_i) \\ & \text{subject to } \sum g_{ei}(u_i) \leq b_e, e=1,2, \dots, m \quad (5) \\ & u_i = [0, 1] \text{ for all } i \end{aligned}$$

여기서는 단 하나의 線型制約條件만이 존재하므로 문제를 단순화 시키기 위하여 加重行列 Λ 는 식 (6)과 같이 주어질 수 있다.

$$\lambda_{ij} = \begin{cases} \hat{\gamma}^2 + \hat{\sigma}_j^2 (n_i + u_i H)^{-1} (1 + 0.5 z_p^2) & \text{for } i=j \\ \hat{\rho}_{ij} \hat{\sigma}_i \hat{\sigma}_j (m_{ij} + u_i u_j H) (1 + 0.5 \hat{\rho}_{ij} z_p^2) & \\ [(n_i + u_i H) (n_j + u_j H)]^{-1} & \text{for } i \neq j \end{cases} \quad (6)$$

여기서 H는 計劃年數, u_i 는 H내에서 관측점 i가 운영되면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 가지며, n_i 는 관측점 i에서의 관측기록년수, m_{ij} 는 관측점 i와 j사이의 현재의 同時觀測記錄年數, ρ_{ij} 은 관측점 i와 j에서의 同時觀測流量들이 갖는 相互相關數 추정량, σ_j 은 관측점 j에서 유량의 標準偏差 추정량, γ 은 模型誤差 추정량이다. 이 중에서 ρ_{ij} 은 유역 평균치를 적용하며, σ_j 는 一般化回歸分析에서 유도한 標準偏差 回歸模型을 이용하여 구한다.¹⁴⁾

식 (6)에서 유량 또는 그것의 변환치들은 正規分布를 따르는 것으로 가정한다. u_i 를 제외하면?의 구성요소들은 그 값이 이미 알려져 있거나 혹은 一般化回歸分析을 통하여 추정되었으므로¹⁵⁾ 관측망 분석의 目的函數는 식(7)과 같이 나타낼 수 있으며, 이 문제는 식 (8)과 같이 주어지는 예산상의 制約條件에 從屬된다.

$$\text{Min } Z(u_i) = \sum_{j < i} \bar{x}_j^T (X^T \Lambda^{-1} X)^{-1} \bar{x}_j \quad (7)$$

$$\sum_j c_j u_j \leq B \quad (8)$$

여기서 c_j 는 H내에서 관측점 j를 운영하는데 드는 年間費用, B는 年間總運營豫算, J는 回歸分析에서 사용된 관측점들의 집합이며, 시물레이션은 관측망내의 모든 관측점들에 대해서 수행된다.

段階의 後進演算 探索은 식 (7)의 Z를 감소시키는데 최소로 기여하는 관측점을 예산상의 制約條

件이 충족되는 범위내에서 점차적으로 소거하므로써 하나의 관측망 설계를 만들어 내며, 段階的後進演算探索過程은 다음과 같이 진행된다.

- ① 모든 i 에 대해서 $u_i=1$ 로 놓는다.
- ② 예산상의 制約條件을 점검하여 조건이 충족되면 계산을 중단한다.
- ③ 관측중단대상이 될 수 있는 모든 i 에 대하여 단위비용당의 目的函數값인 Z_i/c_i 를 산정한다.
- ④ 가장 작은 Z_i/c_i 를 가진 관측점에 대하여 $u_i=0$ 으로 놓고 ②로 간다.

3. 既存 觀測網의 評價

地域化 回歸模型이 지나는 추정 分散中에서 標本誤差成分은 관측망의 운영기간을 연장하여 기록치의 길이를 증가시키므로써 감소될 수 있으므로 관측망 운영계획에 따른 計劃年數를 설정하여 그 기간 동안 관측망을 계속 운영할 경우 回歸模型의 標本誤差 감소에 각 관측점들이 기여하는 정도를 산정할 수 있다. 觀測網을 구성하는 관측점들 중에는 특정한 사업이나 연구를 목적으로 경제적인 면과는 무관하게 일정기간 동안 계속 운영해야 하는 것들이 존재할 수 있는데 분석대상이 되는 기존 관측망은 관측망 발전단계 중에서 초기단계에 해당되므로 특정 목적을 위한 분류가 사실상 모호하여 그러한 관측점들 구분하지 않았다. 本研究에서는 地域化回歸模型이 지나는 標本誤差의 最小化를 目的函數로 하는 非線型整數計劃法을 이용하여 5, 10, 15 및 20년의 4종류로 설정된 計劃年數에 따른 각 관측점들의 기여도를 산정하므로써 기존 관측망의 유효성을 평가하였다. 分析에 사용된 각 관측망내의 관측점들은 Table 1에서 보는 바와 같다.

관측망 평가를 위한 入力資料중 年 간 관측소 운영비용은 建設部의 1988年度 홍수량측정 예산을 측정예정 地點數로 나눈 값인 500만원을 일률적으로 적용하였으며, 각 유역의 관측망에 대한 分析結果를 標本誤差와 年 간 관측망운영 비용과의 관계로써 나타내면 Fig.1 및 2와 같다. 운영계획이 시행되기 이전인 현재의 상태는 計劃年數를 0(零)으로 간주할 수 있으며 그림의 종축상에 한점(x)으로 나타나 있다. 그림상에 동일한 기호로 플롯된 각 점들을 이으면 곡선을 이루는데 각 곡선의 가파른 부분은 주어진 計劃年數에 따라 관측

망을 계속 운영하였을 경우 標本誤差를 감소시키는데 효과적인 관측점들을 나타내며, 평탄한 부분은 標本誤差의 감소에 작게 기여하므로 관측망을 축소시킬 경우 관측중단대상이 될 수 있는 관측점들에 해당된다. Table 2와 3은 標本誤差의 감소에 기여도가 큰 관측점을 우선으로 하여 내림차순으로 순위를 부여한 것으로서 計劃年數를 加重因子로 하여 각 관측점의 계획년수별 순위를 加重平均하여 구한 것이다.

Table 1. Existing streamflow-gaging stations in the Han and Nakdong river basin

River basin	Station Name	
Han	1. Gwangjang	9. Geoun
	2. Goan	10. Moggye
	3. Yeosu	11. Ganhyeon
	4. Danyang	12. Chungjul
	5. Hongcheon	13. Chungju2
	6. Hoengseong	14. Yeongweoll
	7. Hupo	15. Jeongseon1
	8. Pyeongchang	16. Jucheon
Nakdong	1. Yeringyo	15. Imhal
	2. Jeongam	16. Imha2
	3. Changri	17. Bonghwa
	4. Gaejin	18. Hyunpung
	5. Goryeonggyo	19. Songriweon
	6. Dongchon	20. Goryeong
	7. Waegwan	21. Keumho
	8. Seonsan	22. Gimcheon
	9. Yonggok	23. Nakdong
	10. Ian	24. Andong1
	11. Jeomchon	25. Jindong
	12. Dalji	26. Susan
	13. Sanyang	27. Masuweon
	14. Weolpo	28. Habcheon

한강유역 관측망의 경우, Fig.1에서 보는 바와 같이 計劃年數가 클수록 標本誤差의 감소가 뚜렷이 나타나게 되어 기존관측망을 그대로 운영한다면 현재의 標本誤差에 비하여 각 계획년수별로 10.4%, 18.6%, 25.2% 및 30.7%의 감소가 있게 된다. 그러나 각 관측점의 직전 관측점에 대한 標本誤差 감소비율이 매우 작아지는 관측점들을 발견하게 되는데 이들은 Fig.1에서 각 곡선의 우측 끝에 나타나는 부분으로서 곡선의 기울기가 다른 부분에 비하여 상대적으로 평탄하여 운영예산의 증가에도 불구하고 標本誤差의 감소에 변화가 아주 작으므로 이들로부터 얻을 수 있는 情報의 유효성은 다른 관측점들에 비하여 상대적으로 작게

된다.

낙동강유역의 경우, Fig. 2에서 보는 바와 같이 計劃年數가 클수록 標本誤差의 감소가 뚜렷이 나타나므로 기존 관측망을 그대로 운영할 경우 현재의 標本誤差에 비하여 각 계획년수별로 6.7%, 11.7%, 15.5% 및 18.5%의 감소가 있다. 각 관측점의 직전 관측점에 대한 標本誤差 감소비율은 각 곡선의 중간 우측 부분에서 매우 작아지므로 이 부분의 관측점들로부터 얻게 되는 情報의 유효성은 상대적으로 작게 된다. 결국 경제적인 측면에

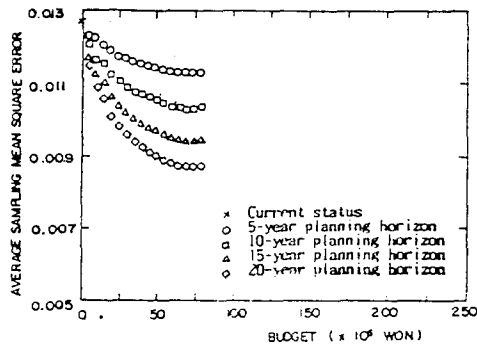


Fig. 1 Result of network analysis for existing stations in the Han river basin

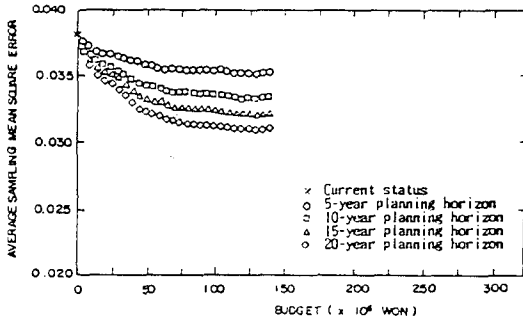


Fig. 2 Result of network analysis for existing stations in the Nakdong river basin

Table 2. Existing station ranking in order of importance in providing regional streamflow information in the Han river basin

St. No.	Station Name	Rank	St. No.	Station Name	Rank
6	Hoengseong	1	10	Moggye	9
7	Hupo	2	14	Yeongweoll	10
1	Gwangjang	3	16	Jucheon	11
11	Ganhyeon	4	5	Hongcheon	12
12	Chungjul	5	3	Yeoju	13
15	Jeongseon1	6	9	Geoun	14
2	Goan	7	8	Pyeongchang	15
13	Chungju2	8	4	Danyang	16

Table 3. Existing station ranking in order of importance in providing regional streamflow information in the Nakdong river basin

St. No.	Station Name	Rank	St. No.	Station Name	Rank
13	Sanyang	1	15	Inhal	15
10	Ian	2	27	Masuweon	16
9	Yonggok	3	8	Seonsan	17
21	Keumho	4	22	Gimcheon	18
14	Weolpo	5	6	Dongchon	19
2	Jeongam	6	24	Andong1	20
4	Gaejin	7	28	Habcheon	21
19	Songriweon	8	12	Dalji	22
17	Bonghwa	9	26	Susan	23
5	Goryeonggyo	10	1	Yerimgyo	24
3	Changri	11	25	Jindong	25
20	Goryeong	12	7	Waegwan	26
16	Imha2	13	18	Hyunpung	27
11	Jeomchon	14	23	Nakdong	28

서 유효성을 증가시키기 위하여 관측망을 축소시킬 경우 이 관측점들이 운영중단대상이 될 수 있다.

두 유역의 기존 관측망 分析結果를 비교해볼 때, 각 計劃年數에 따른 標本誤差 감소치는 한강유역의 경우 보다 낙동강유역 관측망이 더 크지만 낙동강 유역의 地域化回歸模型이 지니는 標本誤差가 한강유역의 경우 보다 더 크므로 標本誤差 감소비율은 한강유역 관측망이 더 크게 나타난다. 또한 한강유역 관측망은 25%의 관측점들이 관측망의 유효성 증가에 비효율적인데 비하여 낙동강유역 관측망은 더 큰 密度를 가지면서도 약 46%의 관측점들이 비효율적인 것으로 나타났다.

4. 觀測網의 調整 및 評價

既存 觀測網 分析 結果로부터 알 수 있듯이, 관측기간을 연장하므로써 標本誤差의 큰 감소를 확인할 수 있었으나 일부 관측점들은 기여도가 매우 미소하여 地域水文情報의 제공에 공헌하는 바가 적으므로 비효율적인 관측망 운영을 초래하게 된다. 따라서 이러한 관측점들을 새로운 것으로 대체하므로써 觀測網의 유효성을 증가시키는 방법을 검토할 수 있다.

가. 追加될 觀測點의 選定

觀測網의 유효성 증가를 위하여 새로이 추가될 관측점의 위치를 선정하는 일은 대단히 어렵다. 本研究에서는 실용적인 면을 고려하여 현재 운영되고 있거나 혹은 과거에 閉鎖된 水位觀測所 중에

서 集水面積이 비교적 작은 관측점들과 기록치 길이가 5年 미만이기 때문에 地域化回歸分析에서 제외되었던 유량관측점들을 追加對象 관측점으로 선정하였다. 관측점들이 가능한 한 균등하게 分布되도록 하였으며, 관측점들에 대한 期待效率를 예측할 수 없으므로 가능한 한 많은 수의 관측점을 선정하였다. 그 결과 Table 4에서와 같이 한강유역의 경우는 25개 지점이, 낙동강유역에서는 34개 지점이 선정되었다. 각 관측점들의 위치는 Fig. 3과 4에 주어져 있다.

나. 觀測網 計劃

앞에서 선정한 새로운 관측점들을 각 流域別로 既存 觀測網에 추가하고 既存 觀測網 分析의 경우와 동일한 방법을 적용하였다. 운영계획에 따른 計劃年數는 역시 5, 10, 15 및 20年의 4종류를 설정하였으며, 年間관측소 운영예산은 新·舊관측점 모두 기존 관측망의 경우와 동일한 500만원의



Fig. 3 Location of a existing and new streamflow-gaging stations in the Han river basin

Table 4. New streamflow-gaging stations in the Han and Nakdong river basin

River basin	Station Name	
Han	N1. Wonju	N14. Hwasangdae
	N2. Imgye	N15. Gongjeon
	N3. Jangpyeonggyo	N16. Daeya
	N4. Baekogpo	N17. Weolhyeon
	N5. Sangnami	N18. Gujeol
	N6. Bangrim	N19. Yongpo
	N7. Habanjeong	N20. Danweol
	N8. Toegyeweon	N21. Doweon
	N9. Seongnam	N22. Kyeongan
	N10. Aesan	N23. Munmak
	N11. Podong	N24. Cheongmi
	N12. Jangjeon	N25. Seomyeon
	N13. Jinbu	
Nakdong	N1. Gilan	N18. Cheongsong
	N2. Hyoryeonggyo	N19. Seogpo
	N3. Cheongdo	N20. Docheon
	N4. Taesu	N21. Isan
	N5. Sancheong	N22. Youngju
	N6. Aneui	N23. Jeongok
	N7. Geochang	N24. Mogok
	N8. Changcheon	N25. Heunggu
	N9. Gyesan	N26. Myeongjin
	N10. Gajang	N27. Doriweon
	N11. Yecheon	N28. Jindong
	N12. Youngyang	N29. Maejeon
	N13. Donggokgyo	N30. Ingyo
	N14. Gonogyo	N31. Dojeon
	N15. Miseonggyo	N32. Shinki
	N16. Byeongcheongyo	N33. Jeogpogyo
	N17. Museonggyo	N34. Jibo

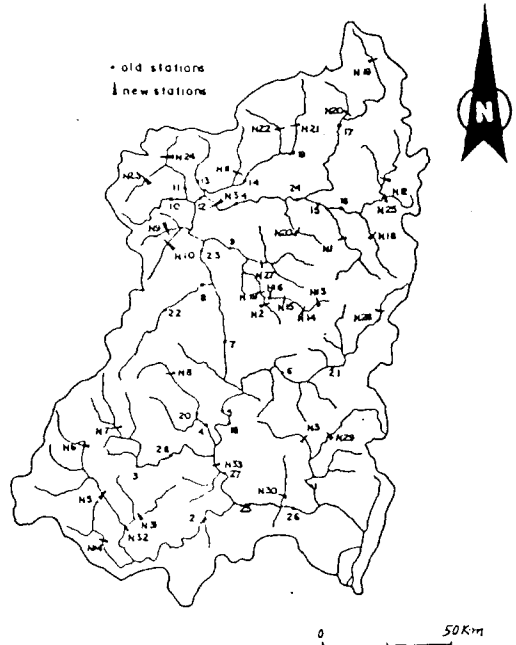


Fig. 4 Location of existing and new streamflow-gaging stations in the Nakdong river basin

로 하였다.

각 유역의 관측망에 대한 分析結果를 標本誤差와 年間 관측망 운영비용과의 관계로써 나타내면 Fig. 5 및 6과 같다.

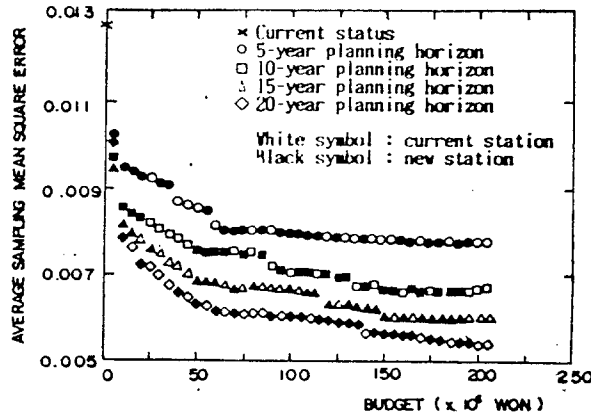


Fig. 5 Result of network analysis for existing and new stations in the Han river basin

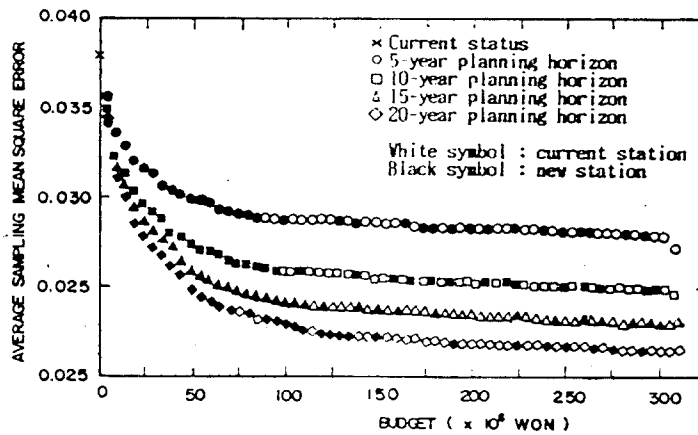


Fig. 6 Result of network analysis for existing and new stations in the Nakdong river basin

한강유역의 경우, Fig. 5에서 보는 바와 같이 새로운 관측점들을 추가시키므로써 標本誤差가 매우 크게 감소되고 計劃年數가 클수록 감소의 정도가 더욱 커지게 되어 현행예산을 고정시켜 16개 관측점만을 운영할 경우 地域化 回歸模型의 標本誤差에 비하여 각 計劃年數別로 36.5%, 40.7%, 47.2% 및 51.8%의 감소가 있었으며, 기존 관측점 16개 중에서 각 計劃年數別로 10, 9, 9 및 7개가 새로운 관측점으로 대체되므로 기록치의 길이가 길어질수록 추가된 관측점들의 유효성이 작아짐을 알 수 있다. 한편, 현행예산을 초과하여 모든 新·舊관측점들을 운영하더라도 標本誤差의 감소에 기여하는 바는 아주 작아서 地域化 回歸模型의

標本誤差에 비하여 각 계획年數별로 2.1%, 6.9%, 6.0% 및 5.4%의 감소가 더 있는 것으로 나타났다.

낙동강유역의 경우, Fig. 6에서와 같이 새로운 관측점들이 추가되므로써 標本誤差의가 크게 감소되고 計劃年數가 클수록 감소의 정도가 더욱 커지게 되어 현행예산을 고정시켜 28개 관측점만을 운영할 경우 地域化回歸模型의 標本誤差에 비하여 각 계획年數별로 24.6%, 32.4%, 37.4% 및 40.9%의 감소가 있었으며, 기존 관측점 28개 중에서 각 계획年數별로 20, 21, 22 및 24개가 새로운 관측점으로 대체되므로 기록치의 길이가 길어질수록 추가된 관측점들의 유효성이 커짐을 알 수

있다. 한편, 현행예산을 초과하여 모든 新·舊 관측점들을 운영하더라도 標本誤差의 감소에 기여하는 바는 아주 작아서 地域化 回歸模型의 標本誤差에 비하여 각 계획년수별로 3.8%, 2.7%, 2.1% 및 1.9%의 감소가 더 있는 것으로 나타났다.

Table 5와 6은 각 지역의 관측망에서 유효성이 큰 관측점들을 우선으로 하여 내림차순으로 순위를 부여한 것으로서 既存 觀測網의 경우와 동일한 방법으로 구하였다. 관측망운영예산이 책정되면 예산범위내에서 정해진 순위에 따라 관측점들을 포함시키므로써 하나의 새로운 觀測網을 계획할 수 있다.

그러나 각 관측점들에 대한 연간운영비용을 현실에 부합되게 적용한다면 순위가 바뀌어질 수도 있다.

5. 結 論

本 研究에서는 한강 및 낙동강유역에 대하여 개발된 地域化 回歸模型을 이용하여 모형이 지니는 標本誤差의 最小化를 目的函數로 하는 非線型 整數計算法에 의하여 5, 10, 15 및 20年の 計劃年數를 갖는 각 운영계획에 따른 기존 관측망의 유효성을 평가하고, 경제적인 측면에서 관측망의 효율을 증가시킬 수 있도록 하천유량관측망을 조정, 계획하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 既存 觀測網 分析 結果, 한강유역의 경우 計劃年數의 증가에 따라 標本誤差가 많이 감소하여 각 계획년수별로 0.00132, 0.00235, 0.00319 및 0.00389의 감소가 있었으며 75%의 관측점들이 地域水文情報 제공에 기여하고 있는 것으로 나타났다. 낙동강유역의 경우는 計劃年數 증가에 따른 標本誤差의 감소정도가 한강유역 보다 더 큰 0.00254, 0.00443, 0.00558 및 0.00704이지만 46% 정도의 기존 관측점들이 비효율적인 것으로 나타났다. 그러나 地域水文情報 제공에 기존 관측점들의 기여도는 절대적인 것이 아니며 적용되는 일반화회귀모형을 구성하는 독립변수에 따라 그 결과가 다를 수도 있다.
2. 새로운 관측점들을 추가하여 관측점을 分析한 결과 두 유역 모두 標本誤差의 현저한 감소를 보여주었다. 한강유역의 경우 현행예산을 고정시킬 경우 각 계획년수별로 0.00463, 0.00516,

0.00598 및 0.00656의 標本誤差의 감소가 있었고 計劃年數가 클수록 기존 관측점들의 유효성이 크게 나타났다. 낙동강유역 관측망은 현행예산을 고정시킬 경우 標本誤差의 감소정도가 각 계획년수별로 0.00934, 0.01230, 0.01422 및 0.01555로서 한강유역 보다 더 크게 나타났고 계획년수가 클수록 기존 관측점들의 유효성이 작게 나타났다. 그러나 기존 관측점들의 유효성은 모든 관측점들에 대한 연간운영비용을 현실에 부합되게 적용할 경우 다르게 나타날 수 있다.

3. 3년관측망운영예산이 책정될 경우 각 유역별로 地域水文情報 제공에 대한 각 관측점들의 기여도에 따라 정해 놓은 순위에 의하여 예산범위 내에서 觀測點들을 선정하므로써 효과적인 관측망을 계획할 수 있다.

감사의 글

本 研究는 韓國科學財團의 研究費支援에 의하여 수행되었으며, 지원해주신 韓國科學財團에 심심한 謝意를 표합니다.

약어 및 기호설명

- $\hat{\beta}$: 일반화회귀모형의 회귀계수 추정치
- $\hat{\gamma}^2$: 모형오차 추정량
- ρ_{ij} : 관측점 i와 j에서의 동시관측유량들이 갖는 상호상관계수 추정량
- σ : 관측점 i에서 유량의 표준편차 추정량
- Λ : 일반화최소자승 가중행렬
- $\hat{\Lambda}$: 일반화최소자승 가중행렬의 추정치
- Λ_w : 계획년수 동안에 운영계획 w에서 운영될 각 관측점에 대하여 기록치를 추가하여 산정된 가중행렬
- B : 연간총운영예산
- c_j : 계획년수 동안에 관측점 j를 운영하는데 드는 한계비용
- GLS : 일반화최소자승 (Generalized Least Squares)
- H : 계획년수
- J : 회귀분석에서 사용된 관측점들의 집합
- m_{ij} : 관측점 i와 j 사이의 동시관측기록년수
- MSE_p : 추정의 평균평방오차
- n_i : 관측점 i에서의 관측기록년수
- u_i : 계획년수 동안에 관측점 i가 운영되면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는 변수
- V_i : 관측점 i에서의 표본오차
- V_w : 관측망 운영계획 w에 대한 평균표본오차
- X : 유역특성을 나타내는 행렬

\bar{x}_j^T : 관측점 j 에서의 유역특성치를 나타내는 벡터
 X_w : 운영계획 w 에서 운영될 관측점들에 상응하는 유역특성을 나타내는 첨가행렬
 Y : 참유량자료
 Y_R : 참회귀추정량
 \hat{Y} : 표본회귀추정량

참 고 문 헌

1. Benson, M. A. and R. W. Carter, 1973. A national study of the streamflow data collection program, U.S. Geol. Survey Water Supply Paper 2028.
2. Cohon, J. L., 1978. Multiobjective Programming and Planning, Academic Press, New York.
3. Dawdy, D. R., H. E. Kubik, and E. R. Close, 1970. Value of streamflow data for project design-A pilot study, Water Res. Res., 6(4) : 1045-1050.
4. Dawdy, D. R., 1979. The worth of hydrologic data, Water Res. Res., 15(6): 1726-1732.
5. Draper, N. R. and H. Smith, 1981. Applied Regression Analysis, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
6. Hardison, C. H., 1969. Accuracy of streamflow characteristics in Geological Survey research, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 650-D: D210-D214.
7. Hardison, C. H., 1971. Prediction error of regression estimates of streamflow characteristics at ungaged sites, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 750-C: C228-C236.
8. Langbein, W. B., 1954. Stream gaging networks, IASH Publ. No. 38: 293-303.
9. Medina, K. D., 1985. Analysis of Surface-water data network in Kansas for effectiveness in providing regional streamflow information, U.S. Geol. Surv. Open-File Report 85-680.
10. Moss, M. E., 1979. Some basic considerations in the design of hydrologic data networks, Water Res. Res., 15(6): 1673-1676.
11. Stedinger, J. R. and G. D. Tasker, 1985. Regional hydrologic analysis, 1, Ordinary, weighted, and generalized least squares compared, Water Res. Res., 21(9): 1421-1432.
12. Stedinger, J. R. and G.D. Tasker, 1986a. Correction to "Regional hydrologic analysis, 1, Ordinary, weighted, and generalized least squares compared", Water Res. Res., 22(5): 844.
13. Stedinger, J. R. and G. D. Tasker, 1986b. Regional hydrologic analysis, 2, Model error estimators, estimation of sigma and Log Pearson Type 3 distributions, Water Res. Res., 22(10):1487-1499.
14. Tasker, G. D., 1986. Generating efficient gaging plans for regional information, in Proc. Integrated Design of Hydrological Networks, IAHS Publ. No. 158: 269-281.
15. 건설부, 1974. 한국하천조사서.
16. 건설부, 1974. 낙동강유역 조사보고서.
17. 건설부, 1977. 한강하천정비 기본계획.
18. 건설부, 1981. 하천편람.
19. 건설부, 1982. 한국하천일람.
20. 건설부, 1983. 홍수량측정조사 보고서.
21. 건설부, 1985. 홍수량측정조사 보고서.
22. 건설부, 1985. 하천시설기준.
23. 건설부, 1986. 홍수량측정조사 보고서.
24. 건설부, 1987. 홍수량측정조사 보고서.
25. 건설부 한강홍수통제소, 1985. 충주다목적댐건설에 따른 한강홍수예경보 프로그램 개선 보고서.
26. 건설부 한강홍수통제소, 1986. 낙동강 홍수예경보 프로그램 개발 최종보고서.
27. 건설부 한강홍수통제소, 1986. 낙동강 홍수량측정조사 보고서.
28. 건설부 한강홍수통제소, 1986. 한강홍수예경보 .
29. 건설부, 한국수문조사년보 (1964-1986).
30. 김계호, 1980. 수문관측과 수자원개발, 한국수문학회지, 13(3):8-12.

31. 노순안, 1981. 수문관측사업의 현황과 장래계획, 한국수문학회지, 14(3):10-14.
32. 박성현, 1981. 회귀분석, 대영사.
33. 조국광, 1989. 하천홍수량의 지역화회귀모형에 의한 유량관측망의 계획, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
34. 조국광, 권순국, 1990. 하천홍수량의 지역화를 위한 일반화회귀 모형의 개발, 한국수문학회지, 23(1): 인쇄중.
35. 최찬식, 1980. 앞으로의 수문관측방향, 한국수문학회지, 13(3):13-17.