

엔트로피 이론을 이용한 수위관측망의 최적화 Optimization of Stream Gauge Network Using the Entropy Theory

유철상* / 김인배**
Yoo, Chulsang / Kim, Inbae

Abstract

This study has evaluated the stream gauge network with the main emphasis on if the current stream gauge network can catch the runoff characteristics of the basin. As the evaluation of the stream gauge network in this study does not consider a special purpose of a stream gauge, nor the effect from a hydraulic structure, it becomes an optimization of current stream gauge network under the condition that each stream gauge measures the natural runoff volume. This study has been applied to the Nam-Han River Basin for the optimization of total 31 stream gauge stations using the entropy concept. Summarizing the results are as follows. (1) The unit hydrograph representing the basin response from rainfall can be transferred into a probability density function for the application of the entropy concept to optimize the stream gauge network. (2) Accurate derivation of unit hydrographs representing stream gauge sites was found the most important part for the evaluation of stream gauge network, which was assured in this research by comparing the measured and derived unit hydrographs. (3) The Nam-Han River Basin was found to need at least 28 stream gauge stations, which was derived by considering both the shape of the unit hydrograph and the runoff volume. If considering only the shape of the unit hydrograph, the number of stream gauges required decreases to 23.

Key words : Stream gauge network, optimization, unit hydrograph

요 지

본 연구에서는 주어진 수위관측망이 유역의 유출특성을 효과적으로 잡아낼 수 있으나 하는 것에 초점을 맞추어 수위관측망을 평가하였다. 어떤 특수한 목적의 수위관측이나, 댐과 같은 구조물의 영향은 고려하지 않았으며, 단지 현존하는 수위관측소가 자연유량을 관측한다는 전제 하에 주어진 관측망의 최적화를 시도하였다. 본 연구는 남한강 유역 내 총 31개의 수위관측소를 대상으로 수행하였으며, 수위관측망의 최적화에는 엔트로피의 개념을 이용하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) 유역의 응답특성을 나타내는 대표단위도는 확률밀도함수로 변환하여 엔트로피의 개념에 효과적으로 적용할 수 있다. (2) 각 수위관측지점 대표단위도의 정확한 유도가 수위관측망의 평

* 고려대학교 토목환경공학과 부교수
Asso. Prof., Dept. of Civil and Env. Engr., Korea University, Seoul, 136-701, Korea
(E-mail : envchul@korea.ac.kr)

** 고려대학교 대학원 환경공학과 석사과정

가 과정에서 가장 중요한 역할을 하였으며, 본 연구에서는 관측된 강우 유출 기록을 이용하여 유도한 단위도의와의 비교를 통해 지형특성자료를 이용한 합성단위도의 이를 확인하였다. (3) 본 연구의 대상인 남한강 유역에는 대략 28개 이상의 수위관측소가 필요한 것으로 판단되며, 이 수는 단위도의 형상 및 유량의 크기를 모두 고려한 결과이다. 단위도의 형상만을 고려하는 경우에는 이보다 적은 23개의 수위관측소가 필요한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 수위관측망, 최적화, 단위도

1. 서론

수위관측소는 수위 관측이 필요한 지점 주변에 수위 관측의 적절한 여건을 갖춘 지점으로 결정하게 된다. 수위 관측 자체의 정도를 확보하기 위한 여러 가지 고려 사항들이 있으나, 부득이한 경우가 아니고는 수위관측이 필요한 지점에서 수위 관측을 수행하게 된다. 따라서, 지난 수십 년 동안 많은 수위관측소가 각각의 목적에 맞게 설치, 운영되어 오게 되었다.

그러나 개개 수위관측의 목적이 그 지점을 출구로 하는 유역의 유역특성을 파악하는 것인 것처럼 유역전체에 대해서도 이러한 목적의 수위관측소들이 필요하게 된다. 소유역의 경우에는 유역 출구에 있는 하나의 수위계만으로도 충분할 수 있지만 유역이 커질수록 유역 내에 위치시킬 여러 개의 수위계가 필요하게 되고, 이러한 수위계들은 당연히 적절한 위치에 놓여져야 한다. 특히 이수목적에 포함된 유역관리의 차원에서 보면 적절한 수의 수위계가 적절한 위치에 놓여져 있어야 함은 당연하다. 본 연구에서는 이러한 문제를 다루고자 한다.

물론, 앞서 언급한 바와 같이 수위관측소는 주어진 목적을 달성하고자 설치 운영되는 것이 많으므로 개개 수위계의 적절성을 임의로 판단하기는 어렵다. 아울러, 한번 설치된 수위계를 충분한 이유 없이 폐쇄하는 것도 바람직하지 않다고 판단된다. 본 연구에서도 이러한 점을 간과하기는 어려우며, 따라서 다음과 같은 분석의 전제조건을 제시하고자 한다.

먼저, 본 연구에서의 수위관측망의 평가는 주어진 관측망이 유역의 유출특성을 효과적으로 잡아낼 수 있는나 하는 것에 초점을 맞춘다. 따라서, 어떤 특수목적의 수위관측소라고 할지라도 본 연구에서는 고려되지 않으며 단지 유역의 유출 특성을 파악하는데 필요한지 아니지 만이 판단된다. 둘째는 현존하는 수위관측소의 수가 너무 많은지 아니면 부족한지의 판단이다. 이러한 내용은 과연 수위관측소의 추가 설치가 필요한지 아니면 그 수를 줄여도 무방한지에 대한 판단이다. 즉, 수위관측망의 최적화와 관련된 문제이다. 마지막으로 유역 내

수리구조물의 영향이 고려되지 않는다는 점이다. 특히 대규모 댐의 건설로 인해 수문특성이 변할 가능성이 크지만 이를 고려하는 경우 문제가 더욱 매우 복잡해지므로 고려하지 않는다.

본 연구에서는 이상과 같은 조건을 전제로 남한강 유역 내 총 31개 수위관측소에 대한 관측망 평가를 수행하였다. 관측망의 평가에는 정보이론(information theory)에서 자주 사용되는 엔트로피(entropy)의 개념을 이용하였다.

2. 엔트로피 이론에 근거한 수위 관측망 평가

2.1 엔트로피 이론

엔트로피는 일반적으로 무질서도 또는 불확실성의 척도로 알려져 있으나, 정보이론에서는 신호가 가지고 있는 정보용량으로 정의되고 있다(Shannon과 Weaver, 1949). 즉, 정보교환의 과정으로 신호(signal)가 보내질 때, 이 신호의 불확실성은 신호에 대한 정보가 불확실성을 제거할 정도로 많아지면 감소하게 되고, 따라서 불확실성의 감소정도로 신호에 대한 정보를 간접적으로 측정할 수 있는 것이다. 이러한 의미에서 정보와 불확실성은 이원적인 용어(dual terms)이며 서로 바뀌어서 사용되기도 한다(Ozkul 등, 2000).

이러한 엔트로피의 개념은 많은 분야에 응용되고 있으며 특히 수문분야에서는 관측망을 평가하는데 주로 이용되어 왔다. 예를 들어, Caselton과 Husain(1980)은 수문관측망 설계에 정보전달의 개념을 적용한 예가 있고, Chapman(1986)은 엔트로피를 이용하여 수문학적 자료들이 가지고 있는 불확실성을 추정하고 모델에 적용시켜 불확실성의 감소정도를 평가한 바 있다. Krstanovic과 Singh(1992)는 엔트로피를 이용하여 강우의 공간적인 변동성을 평가하고 루이지아나지역 관측망의 적합성을 검토하였으며, Yang과 Burn(1994)은 엔트로피 방법을 이용하여 최적인 관측망 설계를 시도하였다. Al-Zahrani와 Husain(1998)은 조밀한 관측망에서의 최적 관측소 개수와 밀도가 낮은 관측망에

서의 관측망 확장에 엔트로피 개념을 이용하였다. 국내의 경우, 유철상과 정광식(2002)은 강우의 간헐성을 고려하여 강우관측망을 최적화한 바 있다.

Shannon과 Weaver(1949)에 의하면 이산무작위변량(discrete random variable) X 에 대한 한계 엔트로피는 다음과 같이 정의된다.

$$H(X) = - \sum_{n=1}^N P(x_n) \ln P(x_n), \quad (1)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, N$$

여기서 $P(x_n)$ 은 x_n 의 발생확률이며, 한계엔트로피 $H(X)$ 은 X 가 가지고 있는 정보량 또는 불확실성을 의미한다.

만일 무작위 변량 x_n 과 관계 있는 $y_m(m=1, 2, \dots, N)$ 이 존재할 경우, y_m 으로부터 x_n 을 추정한다면 x_n 이 가지고 있는 불확실성을 감소시킬 수 있을 것이다. 이러한 원리에 의해 주어진 변량 Y 에 의해 무작위 변량 X 에 남아 있는 불확실성은 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$H(X|Y) = - \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N P(x_n, y_m) \ln P(x_n|y_m) \quad (2)$$

여기서 $P(x_n, y_m)$ 은 $X=(x_n)$ 와 $Y=(y_m)$ 의 결합확률을, $P(x_n|y_m)$ 은 주어진 Y 에 대한 X 의 조건확률을 의미한다. 따라서 $H(X|Y)$ 는 주어진 Y 에 대한 X 의 조건엔트로피이며, 이는 X 와 Y 간의 정보전달 사이에 손실되는 정보량을 나타내기도 한다 (Yang과 Burn, 1994).

주어진 Y 에 의해서 X 가 가지고 있는 불확실성의 감소정도 또는 X 와 Y 사이의 정보 전달량(공유되는 정보 혹은 중복되는 정보)은 다음과 같다.

$$T(X, Y) = H(X) - H(X|Y) \quad (3)$$

이러한 엔트로피의 개념은 수문학적 시계열 자료에 적용이 가능하다. 연속무작위변량(continuous random variable) X 가 확률밀도함수 $f(x)$ 를 따른다고 가정하면, X 의 범위를 Δx 의 간격으로 나눌 수 있으며, 이때 X 의 한계엔트로피는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(X; \Delta x) \approx - \int_0^{\infty} f(x) \ln f(x) dx - \ln \Delta x \quad (4)$$

만일 주어진 Y 에 대해서도 동일한 간격 Δx 로 나눌 수 있다면 Y 에 대한 X 의 조건엔트로피는 다음과 같이 계산된다.

$$H(X|Y; \Delta x) \approx - \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f(x, y) \ln f(x|y) dx dy - \ln \Delta x \quad (5)$$

특히 대수정규분포를 따르는 X, Y 에 대한 한계엔트로피, 조건엔트로피, 정보전달은 다음과 같이 유도된다 (Amorocho와 Espildora, 1973).

$$H(X; \Delta x) = \mu_z + 0.5 \ln(2\pi e \sigma_z^2) - \ln \Delta x \quad (6)$$

$$H(X|Y; \Delta x) = \mu_z + 0.5 \ln[(2\pi e \sigma_z^2)(1 - \rho_{zw}^2)] - \ln \Delta x \quad (7)$$

$$T(X, Y) = -0.5 \ln(1 - \rho_{zw}^2) \quad (8)$$

여기서, μ_z 와 σ_z 는 $z(=\ln x)$ 의 평균과 표준편차이며, ρ_{zw} 는 z 와 $w(=\ln y)$ 의 상관계수를 의미한다. 또한 Chapman(1986)은 일정하게 고정된 간격 Δx 대신 변수의 범위에 비례하는 간격 $\Delta x/x$ 를 적용시켜 한계엔트로피와 조건엔트로피를 다음과 같이 정의하였다.

$$H(X; \Delta x/x) = 0.5 \ln(2\pi e \sigma_z^2) - \ln(\Delta x/x) \quad (9)$$

$$H(X|Y; \Delta x/x) = 0.5 \ln[(2\pi e \sigma_z^2)(1 - \rho_{zw}^2)] - \ln(\Delta x/x) \quad (10)$$

2변수 대수정규분포를 따르는 X 와 Y 의 한계엔트로피와 조건엔트로피는 다음과 같이 정의된다 (Chapman, 1986).

$$H(X; \Delta x/x) = 0.5 \ln(2\pi e \sigma_z^2) - \ln(\Delta x/x) \quad (11)$$

$$H(X|Y; \Delta x/x) = 0.5 \ln[(2\pi e \sigma_z^2)(1 - \rho_{zw}^2)] - \ln(\Delta x/x) \quad (12)$$

유역 내 존재하는 관측망의 최적화는 관측소간의 중복되는 정보가 최소가 되도록 관측소의 수를 줄이고 아울러 유지되는 관측소들로부터 유역의 정보를 최대한 얻을 수 있어야 함을 의미한다. 즉, 최소의 관측소로부터 유역의 정보를 최대한 얻을 수 있어야 하며 따라서 최적화의 목적함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다 (Al-Zahrani와 Husain, 1998).

$$\text{MAX } T(X_1, X_2, \dots, X_m; X_k, X_l, \dots, X_p) \quad (13)$$

여기서, m 은 현재 유역 내에 있는 관측소의 총 개수이며, p 는 유지되어야 할 관측소 개수를 의미한다. 따라서 $T(X_1, X_2, \dots, X_m; X_k, X_l, \dots, X_p)$ 는 p 개의 관측소로부터 얻을 수 있는 유역의 정보를 의미한다. 식 (13)은 다음과 같이 나타낼 수도 있다.

$$\begin{aligned} & \text{MAX } \sum_{i=1}^m T(X_i; X_k, X_l, \dots, X_p) \\ & = \text{MAX} \left[H(X_k) + \dots + H(X_p) + \sum_{i=1}^{m-p} \right. \\ & \quad \left. \sum_{j=k}^p T(X_i, X_j) \right], i \neq j \end{aligned} \quad (14)$$

$H(X_k) + H(X_l) + \dots + H(X_p)$ 는 선택된 관측소 각각의 정보량을 합한 것이며, $\sum_{i=1}^{m-p} \sum_{j=k}^p T(X_i, X_j)$ 는 선택된 관측소와 선택되지 않은 관측소간의 정보 전달량, 또는 선택한 관측소로부터 얻을 수 있는 선택되지 않은 관측소의 정보량을 의미한다. 일반적으로 선택된 관측소의 수가 증가할수록 얻을 수 있는 정보량은 증가하나, 일정 수의 관측소를 초과하면 추가되는 관측소가 가진 고유한 정보량보다 관측소들 간의 중복되는 정보량이 많기 때문에 관측소로부터 얻을 수 있는 총 정보량이 감소하게 된다. 따라서 최적의 관측망이란 유역에 대한 정보량을 최대로 얻을 수 있는 관측소 조합을 의미한다.

2.2 엔트로피 이론을 이용한 수위 관측망 평가

앞서 설명한 것처럼 엔트로피란 기본적으로 확률밀도함수로 정량화 되는 자료의 특성을 정보량으로 변화시켜 나타낸 것으로, 확률밀도함수의 모양이 변하면 엔트로피도 달라지게 된다. 아울러, 두 자료집단간의 공유된 정보량은 각각의 확률밀도함수가 얼마나 유사한지를 판단하여 추정하게 된다.

최적 관측망은 주어진 자료를 이용하여 얻을 수 있는 정보의 양이 최대가 되는 조건을 이용하여 구할 수 있다. 만일 모든 지점이 고려되는 경우에 최대의 정보량을 나타낸다면 대상 유역에는 충분한 수의 관측지점이 확보되지 못한 것을 의미한다. 본 연구에서의 수위 관측망의 평가는 기존의 엔트로피 방법에 적용되는 확률밀도함수 대신 각 수위관측지점의 유출 특성을 나타내는 대표단위도를 이용하여 수행하였다.

그 구체적인 절차를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 각 수위관측지점을 출구로 하는 유역을 구성한다
- 2) 각 유역의 특성자료를 수집, 정리한다.
- 3) 이들 자료를 이용하여 유역의 대표단위도를 유도한다. 관측자료가 충분한 경우 이를 근거로 대표단위도를 구성할 수도 있다.
- 4) 각 대표단위도를 이와 형상이 유사한 확률밀도함수로 전환한다.
- 5) 엔트로피의 개념을 이용하여 관측망을 평가한다 (식 (14)를 목적함수로 하여 관측소를 결정).

3. 대상유역 및 자료

3.1 대상 수위관측지점 및 유역특성

본 연구에서 조사 및 분석대상으로 선정한 남한강 유역 내 수위관측소는 남한강 본류에 11개소(정선, 거운, 영월2, 영월, 영춘, 청풍, 충주댐, 목계, 강천, 여주, 양평)와 지류에 2개소(혹천교, 임계)가 있으며, 평창강에 10개소(이목정, 장평교, 백옥포, 상안미, 하반정, 방림교, 평창, 판운, 주천, 영월1), 섬강에 4개소(황성, 간현, 문막, 원주), 달천에 2개소(괴산, 달천), 청미천과 북하천에 각각 1개소씩(청미, 북하교) 총 31개소가 있다.

관할 기관별로는 건설교통부 관할이 23개소, 한국수자원공사 관할 8개소이다. 이들 외에도 각 지방자치단체 등의 수위관측설비가 있으나, 자료의 획득이 어렵고, 연속적인 측정이 이루어지지 않는 등의 문제점이 있어서 본 관측망 분석에서는 제외하였다.

대상 수위관측지점이 대표하는 유역의 지형 및 하천의 특성은 표 1과 같다. 유역특성을 이용하여 구한 도달시간(T_c) 과 저류상수(K)는 일관적인 값을 구하기 위해 각각 Kirpich, Sabol의 공식을 이용하였다(윤용남, 2001; 한국수자원학회, 2000). 이 공식들은 고려한 여러 공식들 중 관측자료의 특성에 가장 잘 부합된다고 판단한 것들이다.

3.2 대표단위도의 유도 및 확률밀도함수로의 전환

본 과업에서는 대표단위도를 유도하기 위해서 Clark의 합성단위도법을 이용하였다. 이 방법에서는 유역특성 외에 2가지 매개변수 즉, 도달시간(T_c), 저류상수(K) 등이 필요하며, 유도절차는 다음과 같다.

- 1) 각 수위관측소의 유역특성 자료를 수집, 정리한다.
- 2) 수집된 자료를 이용하여 매개변수인 도달시간(T_c)과 저류상수(K)를 구한다.

표 1. 남한강 유역의 지형 및 하천 특성

지점명	고도 (m)	하천장 합 (km)	경사	L2/A	유역면적 (km ²)	Tc		K	비고
						Kirpich	Sabol		
정선2	1215-294.8	93.1	0.00569	5.2	1682.1	4.8	4.7	남한강 본류	
거운	-196.5	142.2	0.00297	8.9	2272.1	9.2	13.3		
영월2	-189.8	147.8	0.00263	9.6	2287.9	10.14	15.9		
영월	-183.3	153.4	0.00254	5.5	4239.0	10.2	10.7		
영춘	-159.9	181.5	0.00162	7.2	4543.4	15.0	18.0		
청풍	-118.3	240.7	0.00126	10.7	5388.1	21.1	40.0		
충주댐	- 84.6	268.2	0.00126	10.8	6648.0	23.0	44.1		
목계	- 51.4	292.6	0.00126	10.2	8433.8	24.5	42.3		
강천	- 35.0	319.9	0.00117	9.5	10830.6	27.3	42.6		
여주	- 32.8	332.2	0.00105	10.0	11036.0	29.7	50.1		
양평	- 19.6	360.0	0.00097	10.7	12106.5	32.8	61.6		
임계	611-491.0	7.5	0.01042	0.1	457.5	0.5	0.4	남한강 지류	
흑천교	500- 32.1	38.6	0.00460	4.8	310.0	2.7	2.6	달천	
괴산	990-119.0	82.4	0.00261	10.1	671.0	6.4	11.1		
달천	- 71.2	114.4	0.00200	7.9	1650.0	9.5	12.2	청미천	
청미	240- 51.1	28.4	0.00214	1.5	523.8	3.1	2.4		
횡성	990-107.0	35.3	0.00511	2.7	445.2	2.4	2.0	섬강	
간현	- 61.4	67.8	0.00239	3.6	1273.7	5.8	5.0		
문막	- 50.9	75.6	0.00222	4.3	1336.0	6.5	6.0		
원주	610-120.0	14.7	0.01591	2.3	94.1	0.7	0.5	북하천	
북하교	190- 46.7	21.5	0.00028	1.5	303.0	7.1	5.3		
이목정	-592.0	18.7	0.01604	6.5	54.3	0.8	0.9	평창강	
장평교	-527.1	24.3	0.01214	5.6	104.5	1.2	1.2		
상안미	-385.5	49.3	0.00790	6.2	394.8	2.5	2.7		
방림	-355.0	54.3	0.00726	5.6	524.2	2.8	2.9		
평창	-287.0	76.9	0.00513	8.5	695.6	4.4	6.0		
관운	-243.0	101.2	0.00348	12.3	830.1	6.5	16.7		
영월1	-195.0	136.5	0.00250	13.3	1399.6	9.7	31.7		
백옥포	-505.9	21.8	0.00590	3.3	143.6	1.5	1.3		
하반정	-375.1	16.7	0.01420	3.4	81.4	0.8	0.7		
주천	840-239.5	73.2	0.00463	10.1	528.8	4.4	7.6		

- 3) 수집된 자료와 매개변수를 근거로 HEC-1을 이용하여 1시간 대표단위도를 유도한다.
- 4) 대표단위도와 그 형태가 가장 잘 부합되는 확률 밀도함수를 선정하고 그 매개변수를 추정한다. 본 조사에서는 2변수 대수정규분포(log-normal distribution)를 이용하였다.

위의 절차에 따라 유도된 대표단위도는 그림 1에 나타냈으며, 그 특성을 정리한 것이 표 2이다. 마지막으로 이 대표단위도에 가장 잘 부합되는 2변수 대수정규분포의 매개변수는 표 3과 같다. 2변수 대수정규분포의 매개변수 추정에는 모멘트법(Method of Moment)을 이용하였으며, 다음 두 식을 이용하였다.

표 2. 2변수 대수정규분포의 매개변수 추정결과

유역	지점	평균	표준편차
남한강 본류	정선2	1.77	0.53
	거운	2.68	0.62
	영월2	2.82	0.68
	영월	2.58	0.57
	영춘	3.05	0.58
	청풍	3.75	0.64
	충주댐	3.80	0.63
	목계	3.73	0.63
	강천	3.766	0.61
	여주	3.89	0.62
양평	4.04	0.62	
남한강 지류	임계	0.35	0.32
	후천교	1.32	0.53
달천	괴산	2.46	0.64
	달천	2.65	0.61
청미천	청미	1.27	0.48
섬강	횡성	1.15	0.50
	간현	1.96	0.54
	문막	2.10	0.55
	원주	0.35	0.32
북하천	북하교	2.05	0.52
평창강	이목정	0.35	0.32
	장평	0.62	0.46
	상안미	1.19	0.50
	방림	1.23	0.48
	평창	1.96	0.61
	관운	2.73	0.68
	영월1	3.32	0.71
	백옥포	0.72	0.44
	하반정	0.35	0.32
주천	2.10	0.63	

표 3. 유도된 단위도의 특성 비교

유역	지점	침투시간(hour)	침투율(무차원)
남한강 본류	정선2	5	0.1437
	거운	9	0.0553
	영월2	10	0.0487
	영월	10	0.0630
	영춘	14	0.0381
	청풍	23	0.0178
	충주댐	24	0.0167
	목계	24	0.0182
	강천	26	0.0177
	여주	29	0.0152
	양평	32	0.0128
남한강 지류	임계	1	0.5000
	흑천교	3	0.2285
달천	괴산	7	0.0674
	달천	9	0.0572
청미천	청미	3	0.2493
섬강	횡성	3	0.2668
	간현	6	0.1174
	문막	6	0.1033
	원주	1	0.5000
북하천	북하교	7	0.1091
평창강	이목정	1	0.5000
	장평	2	0.4371
	상안미	3	0.2603
	방림	3	0.2567
	평창	5	0.1133
	관운	7	0.0506
	영월1	10	0.0275
	백옥포	2	0.4136
	하반정	1	0.5000
주천	5	0.0973	

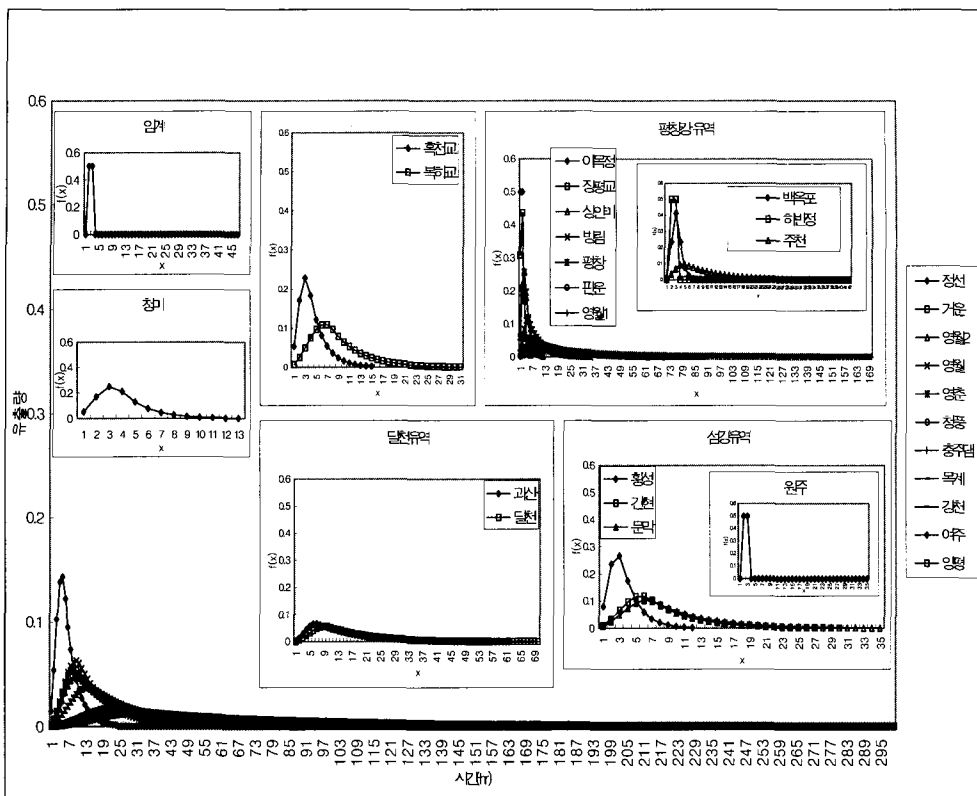


그림 1. 각 수위관측지점에 대해 유도된 단위도의 비교

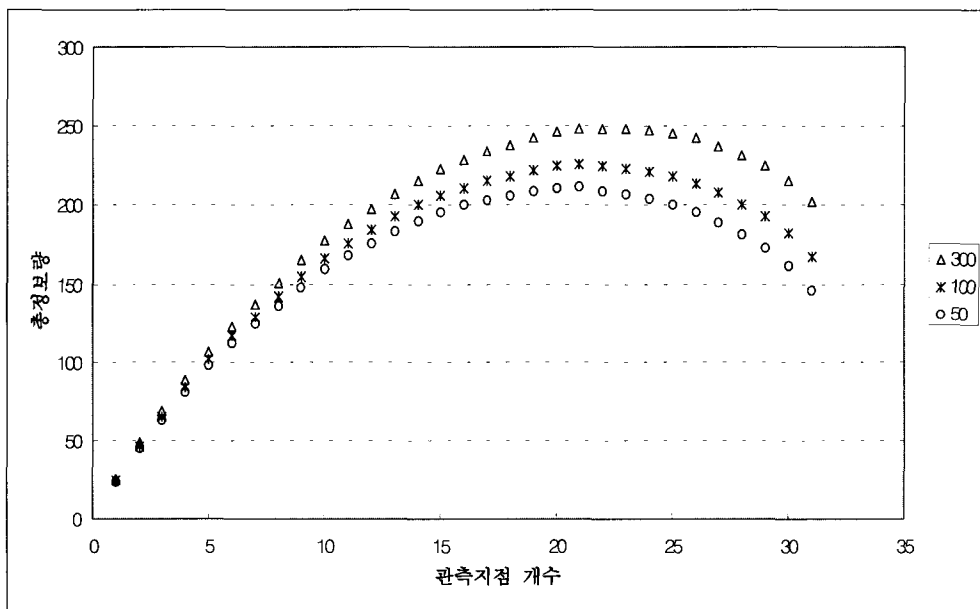


그림 2. 각 수위관측지점에서 얻을 수 있는 총정보량의 변화

표 4. 선정된 관측소 비교

순위	선정여부	단위확률도	선정여부	대표단위도
1	선정지점	임계	선정지점	주천
2		거운		상안미
3		목계		임계
4		주천		괴산
5		방림		관운
6		문막		흑천교
7		관운		충주댐
8		원주		간현
9		충주댐		장평
10		상안미		영월2
11		영월2		여주
12		정선2		영월1
13		여주		하반정
14		백옥포		평창
15		영월1		목계
16		흑천교		방림
17		간현		달천
18		양평		강천
19		장평		영춘
20		영월		백옥포
21		영춘		양평
22		괴산		북하교
23		횡성		영월
24	비선정지점	강천	비선정지점	원주
25		이목정		청풍
26		평창		청미
27		청미		정선2
28		북하교		거운
29		청풍		횡성
30		달천		이목정
31	하반정	문막		

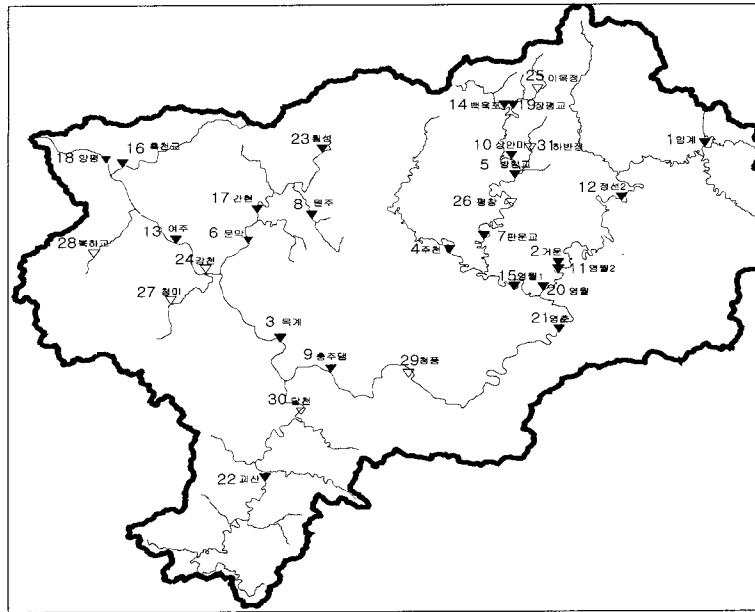


그림 3. 남한강 유역 최적 수위 관측소 위치(단위확률도를 이용하는 경우)

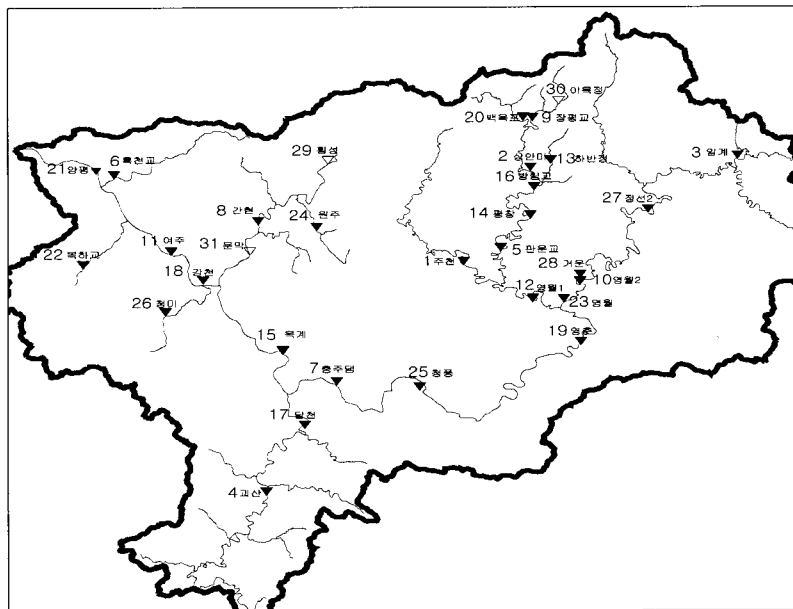


그림 4. 남한강 유역 최적 수위 관측소 위치 (단위유량도를 이용하는 경우)

$$\sigma_y^2 = \log\left(\frac{m_2}{(m_1)^2} + 1\right) \quad (15)$$

$$\mu_y = \log m_1 - \frac{\sigma_y^2}{2} \quad (16)$$

여기서, σ_y^2 와 μ_y 는 구하고자 하는 매개변수로서 $y (= \log x)$ 의 표준편차와 평균을 나타낸다. 또한 m_1 은 변량 x 의 평균을 나타내며, m_2 는 변량 x 의 분산을 나타낸다.

3.3 적용 결과

강우관측망의 최적화를 위해서는 유역내의 관측소로부터 유역의 강우정보를 최대로 얻을 수 있어야 한다. 즉, 관측소간의 중복되는 정보가 최소가 되면서, 선택된 관측소들로부터 유역의 정보를 최대로 얻을 수 있어야 한다. 본 연구에서는 계급구간의 수를 300, 100과 50인 경우에 대하여 평가하였다. 그림 2는 남한강 유역에 대하여 주어진 계급구간(유량자료로 주상도를 만드는 경우 필요한 계급의 구간)에 대해, 선택되는 관측소의 증가에 따른 정보전달량의 변화를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 유도된 대표단위도를 그대로 이용하는 경우와 대표단위도를 총 유출량으로 나눈 단위확률도를 이용하는 경우로 나누어 엔트로피 방법에 적용하였다. 대표단위도를 이용하는 경우는 대표단위도의 모양 및 유량이 고려되지만 단위확률도를 이용하는 경우에는 대표단위도의 모양만이 고려되게 된다. 이는 수위 관측지점간의 상관특성을 추정하는 경우 고려되는 사항이기도 하다.

본 연구의 결과 단위확률도를 고려하는 경우에는 총 23개 지점이 적절한 수의 수위관측소로 결정된 반면 대표단위도를 그대로 이용하는 경우에는 이보다 많은 28개의 수위관측지점이 필요한 것으로 나타났다. 즉, 단위도의 모양뿐만 아니라 유량의 차이를 고려해 주는 경우에 더 많은 관측소가 필요함을 나타내는 결과이다. 이러한 결과는 표 4에 정리하였고, 아울러 각각의 경우에 대해 선택된 수위 관측소의 위치를 그림 3과 4에 표시하였다.

표 4에서 살펴볼 수 있듯이 대표단위도를 이용한 경우와 단위확률도를 이용한 경우의 결과는 다소 상이하다. 그러나 대표단위도를 이용한 경우에 대해 중요하게 선정된 수위관측소는 단위확률도를 이용한 경우에도 대체로 중요하게 선정되었다. 두 경우에 대해 발생한 차

이는 가장 크게 각 지점 유량자료간의 상관특성이 상이하기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 주어진 수위관측망이 유역의 유출특성을 효과적으로 잡아낼 수 있는나 하는 것에 초점을 맞추어 수위관측망을 평가하였다. 어떤 특수한 목적의 수위관측이나, 댐과 같은 구조물의 영향은 고려하지 않았으며, 단지 현존하는 수위관측소가 자연유량을 관측한다는 전제 하에 주어진 관측망의 최적화를 시도하였다. 본 연구는 남한강 유역 내 총 31개의 수위관측소를 대상으로 수행하였으며, 수위관측망의 최적화에는 엔트로피의 개념을 이용하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 유역의 응답특성을 나타내는 대표단위도는 확률 밀도함수로 변환하여 엔트로피의 개념에 효과적으로 적용할 수 있다.
- (2) 각 수위관측지점 대표단위도의 정확한 유도가 수위관측망의 평가 과정에서 가장 중요한 역할을 하였으며, 본 연구에서는 관측된 강우-유출 기록을 이용하여 유도한 단위도와의 일치성을 기준으로 합성단위도의 매개변수를 결정하였다.
- (3) 본 연구의 대상인 남한강 유역에는 대략 28개 이상의 수위관측소가 필요한 것으로 판단되며, 이 수는 단위도의 형상 및 유량의 크기를 모두 고려한 결과이다. 단위도의 형상만을 고려하는 경우에는 이보다 적은 23개의 수위관측소가 필요한 것으로 나타났다.

서론에서 이미 언급한 것과 같이 본 연구의 결과는 모든 수위관측지점에서 자연유량을 관측한다는 전제 하에 이루어진 평가이다. 현재 남한강 유역에는 충주댐이 건설되어 있으므로 이러한 상황을 고려한 결과는 아니다. 아울러, 수질측정이나 기타 다른 목적의 관측과 관련하여서도 각 수위관측지점의 중요도는 크게 달라질 수 있다. 따라서, 본 연구의 결과는 수위관측망의 평가 시 고려할 수 있는 여러 인자 중의 하나일 것이며, 향후 연구에서는 다양한 인자들을 종합적으로 반영할 수 있는 수위관측망 평가기법의 개발이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

유철상, 정광식 (2002), 엔트로피 이론을 이용한 강우관측망 평가; 혼합분포와 연속분포의 적용 비교, 대한

- 토목학회 논문집, **대한토목학회 논문집**, 제22권 제4-B호, pp. 447-457.
- 윤용남 (2001). **공업수문학**, 청문각, pp. 607.
- 한국수자원학회 (2000). **제8회 수공학익삼 교재 (II. HEC-HMS를 이용한 설계홍수량 산정)**, pp. II-120.
- Amorcho, J. and Espildora, B. (1973). Entropy in the assessment of uncertainty in hydrologic systems and models, *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 6, pp. 1511-1522.
- Al-Zahrani, M. and Husain, T. (1998). An algorithm for designing a precipitation network in the south-western region of Saudi Arabia, *Journal of Hydrology*, Vol. 205, pp. 205-216.
- Casleton, W. F. and Husain, T. (1980). Hydrologic networks: Information transmission, *J. Water Resources Planning and Management Division*, ASCE, 106, WR2, pp. 503-529.
- Chapman, T. G. (1986). Entropy as a measure of hydrologic data uncertainty and model performance, *Journal of Hydrology*, Vol. 85, pp. 111-126.
- Krstanovic, P. F. and Singh, V. P. (1992). Evaluation of rainfall networks using entropy: II. Application, *Water Resources Management*, Vol. 6, pp. 295-314.
- Manabe, S., Stouffer, R. J., Spelman M. J., and Bryan, K. (1991). Transient responses of a coupled ocean - atmosphere model to gradual changes of atmospheric CO₂ Part I: Annual mean response, *Journal of Climate*, Vol. 4, pp. 785-817.
- Ozkul, S., and Harmancioglu, N. B., and Singh, V. P. (2000). Entropy-based assessment of water quality monitoring networks, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp. 90-100
- Shannon, C. E., and Weaver, W. (1963). *The Mathematical Theory of Communication*, The University of Illinois Press, Urbana, Ill.
- Yang, Y. and Burn, D. H. (1994). An entropy approach to data collection network design, *Journal of Hydrology*, Vol. 157, pp. 307-324.

(논문번호:02-73/접수:2003.09.16/심사완료:2003.02.17)