

홍수방어를 위한 중소하천의 수위관측망 최적화 연구

A Study on Optimization of Steam Gauge Network for Flood Prevention in Small to Medium Scale Watershed

주홍준*, 김수전**, 김형수***, 전환돈****

Joo Hong Jun, Kim Soo Jun, Kim Hung Soo, Jun Hwan Don

요 지

최근 수재해는 중소하천을 부근에서 주로 발생하고 있는 것이 사실이며 중소하천에서 수재해 발생 여부를 선제적으로 파악하여 비상시 피해를 최소화할 수 있는 적절한 수위관측망의 설치가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 중소하천에서 최적 수위관측망을 구성하기 위한 방법론으로 각 소유역의 단위도를 유도하여 확률밀도함수를 이용한 후 엔트로피 이론을 적용하였다. 또한 재해에 취약한 재해위험지구를 분류하여 수위관측소의 설치가 필요하다고 판단되는 지점을 우선적으로 선택할 수 있도록 방법론을 설정하여 낙동강 유역의 중소유역을 대상으로 적용하였다. 적용 결과 각 중소하천에서의 소수의 수위관측소들이 비선정된 것을 제외하고 대다수가 선정되었다. 이와 같은 방법론은 방재측면을 고려한 수위관측망을 구성하기 위하여 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 수위관측망, 엔트로피, 단위도, 최적화

1. 서론

수위관측소는 홍수 예경보, 수해방재 등과 같은 치수적인 측면과 하천운영, 용수공급, 국토개발 등과 같은 이수적인 측면, 그리고 용수이용과 생태계 보존을 위한 수질관리계획 등의 목적을 달성할 수 있도록 설치·운영된다. 그러나 수위관측망의 평가방법은 도시화나 댐 건설과 같은 인위적인 변동성을 가지고 있기 때문에 명확하게 제시되고 있지 못하고 있다(건설교통부, 2006).

기존 수위관측망 연구는 기존의 수위관측망을 평가하는 기법들이 대부분이며 새로운 수위관측망을 설계하기 위한 기법들은 최근에 국가하천을 중심으로 하는 ‘국가수문관측망 구축(국토해양부, 2009)’이라는 연구 사례를 제외하고는 거의 전무한 실정이다.

본 연구는 유역의 국가하천 이외에 중소하천에 추가로 설치되어야 할 수위관측소의 개소수와 그 위치를 결정하는 데에 그 목적이 있다. 엔트로피 방법은 국가하천뿐만 아니라 중소하천까지 여러 수위관측지점을 대안으로 하여 적정 관측망의 선정이 가능하다. 또한 수위관측망이 단지 최적의 수위관측만을 실현하는 것에 그치지 않고 홍수측면을 고려한 수위 관측망 최적화를 위한 방법론 및 적용성에 대하여 검토하였다.

* 정회원 · 인하대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 석사과정 · E-mail : engineer1026@nate.com

** 정회원 · 인하대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 박사 · E-mail : soojuny@empal.com

*** 정회원 · 인하대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수 · E-mail : sookim@inha.ac.kr

**** 정회원 · 서울과학기술대학교 공과대학 건설공학부 조교수 · E-mail : hwandonjun@nate.com

2. 수위관측망평가를 위한 엔트로피 이론

엔트로피는 일반적으로 무질서도 또는 불확실성의 척도로 알려져 있으나, 정보이론에서는 신호가 가지고 있는 정보용량으로 정의되고 있다 (Shannon과 Weaver, 1949). 즉, 정보교환의 과정으로 신호가 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. 본 연구에서는 각 소유역의 유도된 단위도가 가장 잘 부합하는 확률밀도함수를 선정하고 매개변수(평균, 표준편차)를 추정하기 위해 이들 확률밀도함수를 단위도와 비교한 결과 그 형태와 가장 잘 부합하는 2변수 대수정규분포(2-parameter log-normal distribution)를 채택하였다.

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

$$H(X; \Delta x/x) = 0.5 \ln(2\pi e \sigma^2) - \ln(\Delta x/x) \quad (1)$$

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

최적화의 목적함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{MAX}_{i=1}^m T(X_i; X_k, X_l, \dots, X_p) \quad (3) \\ & = \text{MAX} \left[H(X_k) + \dots + H(X_p) + \sum_{i=1}^{m-p} \sum_{j=k}^p T(X_i, X_j) \text{RIGHT} \right], i \neq j \end{aligned}$$

$H(X_k) + \dots + H(X_p)$ 는 선택된 관측소 각각의 한계엔트로피를 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. 선택된 관측소의 수가 증가할수록 얻을 수 있는 정보량은 증가할 것이며 어느 시점 이후에는 관측소들 간의 중복되는 정보량에 의해 선택된 관측소로부터 얻을 수 있는 정보량이 감소하게 된다(유철상 2003). 따라서 최적의 관측망이란 유역에 대한 정보량을 최대로 얻을 수 있는 관측소 조합을 의미한다.

3. 최적 수위관측망 구축

3.1 연구절차

수위관측 위치를 결정하기 위한 방법론으로 다음과 같은 방안을 마련하였다. 우선 기존에 대한천을 중심으로 설치되어 있는 수위관측소 현황을 파악하고 홍수지역이라고 판단되는 주요 중소하천 구간에 수위관측소 설치 위치를 마련한 후 수위관측지점의 유출 특성을 나타내는 대표 단위도를 확률밀도함수로 변환한다. 마지막으로 대상유역내에서 기존 관측소와 홍수지역을 고려한 임의의 관측소를 포함하여 국가하천에 연계한 중소하천을 중심으로 유역 분할 후 각 설치 위치 및 관측소 개수에 대하여 최적 수위관측망을 구성한다.

3.2. 대상유역의 설정 및 기초자료 조사

본 연구에서는 낙동강 유역의 중소하천을 대상유역으로 설정하였다. <표 1>는 낙동강 유역의

중소하천 즉, 1차 직류에 설치된 수위관측소 및 신설관측소(홍수위협지구)를 보여주고 있다.

표 1. 낙동강 유역 국가하천의 1차 직류에 설치된 수위 관측소 및 고려된 홍수지구

Code	Name	Type	Note	Code	Name	Type	Note
1	월포	건설교통부	수위관측소	20	구룡천합류후		홍수위협지구
2	죽전		홍수위협지구	21	안의	건설교통부	수위관측소
3	도산		홍수위협지구	22	금성천 합류후		홍수위협지구
4	김천	건설교통부	수위관측소	23	사천천 합류후		홍수위협지구
5	선산	건설교통부	수위관측소	24	합천조정지댐	수자원공사	수위관측소
6	산내천합류후		홍수위협지구	25	합천	수자원공사	홍수위협지구
7	정암	건설교통부	수위관측소	26	판문	수자원공사	수위관측소
8	진동	건설교통부	수위관측소	27	진주	수자원공사	수위관측소
9	임하댐	수자원공사	수위관측소	28	북방천 합류점		홍수위협지구
10	임하댐방수로	수자원공사	수위관측소	29	산청	수자원공사	수위관측소
11	임하조정지댐	수자원공사	수위관측소	30	태수	수자원공사	수위관측소
12	안동댐	수자원공사	수위관측소	31	봉화	건설교통부	수위관측소
13	임하	수자원공사	수위관측소	32	지보	건설교통부	수위관측소
14	안동조정지댐	수자원공사	수위관측소	33	동춘	건설교통부	수위관측소
15	안동	수자원공사	수위관측소	34	금호	건설교통부	수위관측소
16	성서	건설교통부	수위관측소	35	단포교		홍수위협지구
17	화원	건설교통부	수위관측소	36	밀양1	건설교통부	수위관측소
18	거창	수자원공사	수위관측소	37	밀양		홍수위협지구
19	달지	수자원공사	수위관측소				

3.3 대표단위도 결정 및 지점 단위도별 확률밀도함수의 추정

본 연구는 유역특성 인자를 이용하여 Clark 단위도의 도달시간(T_c)과 저류상수(K)는 일관적인 값을 산정하기 위해 각각 Kirpich 공식 및 Sabol 공식을 이용하였다. 유도된 매개변수(T_c , K)는 보정을 거쳐 HEC_HMS를 이용하여 대표단위도를 결정하였다. 결정된 대표단위도는 단위도와 가장 잘 부합하는 확률밀도함수인 2변수 대수정규분포를 이용하여 매개변수(평균, 표준편차)를 추정하였으며 모멘트법을 이용하였다. 이렇게 나타난 유역특성은 <표 2>에 매개변수는 <표 3>, 단위도는 <그림 1>에 나타내었으며 선정 지점은 <표 4>에 나타냈다.

표 2. 낙동강 유역 1차 직류 수위관측소, 홍수위협지역의 Clark 단위도 매개변수

Name	Tc (hr)	kr (hr)	비고	Name	Tc (hr)	kr (hr)	비고
월포	11.65	9.32	낙동강 최상류 유역, 반변천, 내성천	금호	5.25	3.64	황 강
죽전	4.64	3.21		단포교	5.46	4.27	
도산	2.17	1.5		산내천 합류후	1.19	0.82	
임하댐	0.62	0.42		거창	2.72	1.97	
임하댐방수로	9.89	7.63		금성천 합류후	0.41	0.28	
임하조정지댐	0.46	0.32		사천천 합류후	6.07	4.35	
안동댐	10.19	7.43		합천조정지댐	3.24	2.23	
임하	1.75	1.2		합천	5.79	4.05	
안동조정지댐	0.56	0.38		밀양1	11.84	9.16	
안동	1.01	0.69		밀양	2.7	1.85	
달지	0.21	0.14		정암	13.18	9.31	
봉화	8.57	7.2		구룡천합류후	0.88	0.61	
지보	7.5	5.23		안의	2.16	1.55	
김천	4.16	2.9		판문	9.47	6.79	
선산	11.79	9.43	진주	2.77	1.9		
진동	2.16	1.48	북방천 합류점	2.35	1.64		
성서	5.53	3.83	산청	4.37	3.05		
화원	2.29	1.57	태수	1.37	0.95		
동춘	10.9	7.66				남강, 덕천강, 함양위천	

표 3. 낙동강 각 소유역 2변수 대수정규분포의 매개변수 추정 결과

지점	평균	표준편차	유역	지점	평균	표준편차	유역
월포	2.65	0.51	낙동강최상류	구룡천합류후	0.96	0.22	남강/덕천강/함양위천
죽전	1.86	0.42	낙동강최상류	안의	1.34	0.35	남강/덕천강/함양위천
도산	1.3	0.38	낙동강최상류	금성천 합류후	0.94	0.21	황강 유역
김천	1.74	0.41	금호강 유역	사천천 합류후	2.05	0.45	황강 유역
선산	2.7	0.49	금호강 유역	합천조정지댐	1.6	0.38	황강 유역
산내천 합류후	1.0	0.27	황강 유역	합천	2	0.45	황강 유역
정암	2.72	0.49	남강/덕천강/함양위천	판문	2.43	0.48	남강/덕천강/함양위천
진동	1.3	0.37	금호강 유역	진주	1.48	0.37	남강/덕천강/함양위천
임하댐	0.94	0.21	낙동강최상류	북방천 합류점	1.38	0.36	남강/덕천강/함양위천
임하댐방수로	2.5	0.49	낙동강최상류	산청	1.8	0.41	남강/덕천강/함양위천
임하조정지댐	0.92	0.19	낙동강최상류	태수	1.1	0.31	남강/덕천강/함양위천
안동댐	2.5	0.49	낙동강최상류	봉화	2.4	0.5	낙동강최상류
임하	1.2	0.34	낙동강최상류	지보	2.22	0.46	낙동강최상류
안동조정지댐	0.93	0.19	낙동강최상류	동촌	2.55	0.48	금호강 유역
안동	0.98	0.24	낙동강최상류	금호	1.91	0.43	금호강 유역
성서	1.97	0.43	금호강 유역	단포교	2	0.44	금호강 유역
화원	1.35	0.36	금호강 유역	밀양1	2.66	0.5	황강 유역
거창	1.48	0.37	황강 유역	밀양*	1.46	0.36	황강 유역
달지	0.94	0.21	낙동강최상류				

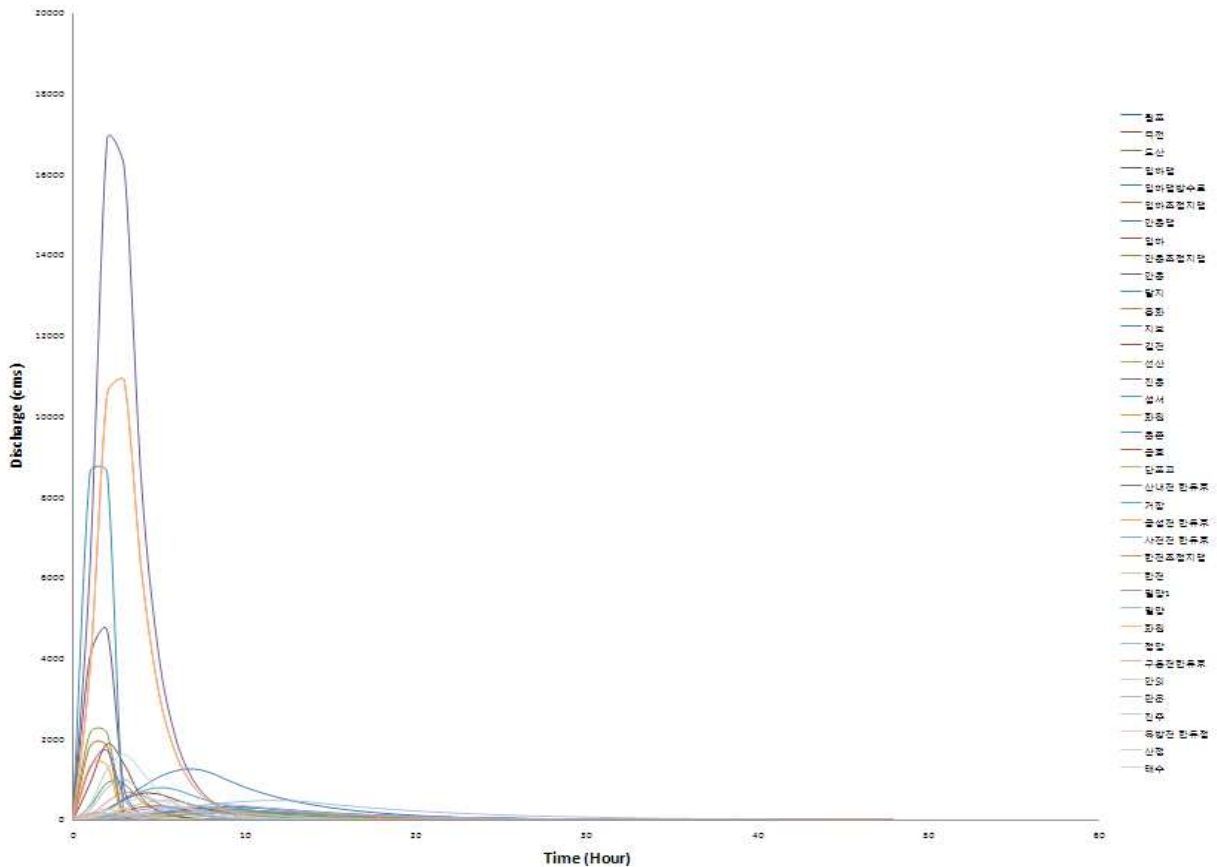


그림 1. 각 수위관측지점에 대해 유도된 단위도

표 4. 낙동강 중소하천 유역별 우선순위와 선정결과

우선순위	관측소명	선정여부	우선순위	관측소명	선정여부	
1	죽전	선정	1	단포교	선정	
2	도산		2	동촌		
3	월포		3	금호		
4	임하 조정지댐		4	김천		
5	안동댐		5	선산		
6	임하		6	진동		
7	안동		7	화원		
8	달지		8	성서		비선정
9	봉화					
10	지보					
11	임하댐	비선정				
12	임하 방수로					
13	안동 조정지댐					
(1) 낙동강 최상류 유역			(2) 함호강 유역			
우선순위	관측소명	선정여부	우선순위	관측소명	선정여부	
1	산내천 합류후	선정	1	구룡천 합류후	선정	
2	금성천 합류후		2	북망천 합류점		
3	사천천 합류후		3	판문		
4	합천		4	태수		
5	밀양		5	진주		
6	합천조정지댐		6	정암		
7	밀양1		7	안의		
8	거창	비선정	8	산청	비선정	
(3) 황강 유역			(4) 남강, 덕천강, 함양위천			

4. 결과

본 연구는 낙동강 유역의 중소하천에서 수위관측소와 홍수위험지구를 고려하여 최적화를 실시하였다. 각 중소하천에서의 수위관측소들이 중요한 역할을 하고 있기 때문에 소수의 수위관측소들이 비선정된 것을 제외하고 대다수가 선정된 것이라 사료된다. 수위관측망이 수위관측소만의 위한 것에 국한하지 않고 홍수 방어를 고려한 최적의 수위관측망을 구성하는 방안을 검토함으로써 향후 수위관측소의 신설 및 유지관리 방안의 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 건설교통부, 통일부 (2006). 임진강유역조사3, 수리·수문조사 보고서
2. 국토해양부 (2009), 국가수문관측망 구축 1차년도 연구
3. 유철상, 김인배, “엔트로피 이론을 이용한 수위관측망의 최적화”, 한국수자원학회논문집, 제36권, 제2호, pp. 161~172, (2003).
4. 전환돈, 김중훈, 윤용남, “HEC-1 모형의 대하천 유역에서의 적용”, 한국토목학회 학술발표대회 논문집, pp. 185~188, (1994).
3. Chapman, T.G. (1986). “Entropy as a measurement of hydrologic data uncertainty and model performance”, *Journal of Hydraulic Engineering, Vol 85, pp. 307~324.*
4. Shannon, C.E. and Weaver, W. (1963). The mathematical theory of communication, The University of Illinois Press, Urbana, Illinois, USA.