

무심천 유역의 확률 홍수량

안상진* · 연인성** · 이상황*** · 연규방****

1. 서 론

수자원 계획 수립에는 수문자료의 분석이 선행되며 하절기 하천의 침수 및 범람 등을 고려한 치수 계획 수립시 수공 구조물의 규모를 결정하는 설계 기준으로 확률 홍수량을 산정한다.

빈도해석에 의한 확률 홍수량을 산정하고자 할 때 기록된 자료가 다량인 경우는 대상유역의 자료만을 이용하여 지점빈도해석을 할 수 있으며 관측된 홍수량 자료가 부족하거나 미계측 유역에서는 일반적으로 비교적 자료의 관측기간이 긴 강우량 자료를 사용하여 빈도해석을 한 후 얻어진 확률 강우량으로부터 확률 홍수량을 산정하거나 또는 대상지역 주변에 여러 관측소의 자료가 존재할 때 자료의 동질성이 확보된 지역의 자료를 이용하여 지역빈도해석을 실시하는 방법이 있다.

최근들어 지속적인 집중호우의 양상이 전개되면서 기존에 산정된 확률홍수량으로는 수공 구조물의 설계등의 판단 기준으로 사용하기 어려운 상황이 초래되어 홍수 다발 지역을 대상으로 확률 홍수량의 재산정이 요구되고 있다. 무심천 유역은 기왕자료만으로 확률 홍수량을 판단하기에 불확실성이 내포되어 있으나 82년부터 시간 수위기록과 유량측정에 의한 순간홍수량이 존재하여 비교적 많은 자료가 확보되어 있다. 따라서 과거에 산정 되어있는 무심천 유역의 확률 홍수량과 90년대 후반에 발생한 호우를 포함한 점 빈도 해석에 의한 확률 홍수량을 재산정하여 비교하고자 한다.

2. 확률 홍수량 산정

2.1 점 빈도해석에 의한 방법

점 빈도해석에 의한 방법은 빈도계수 산정방법과 확률 도시법에 의한 방법을 들 수 있다. 빈도계수법에 의한 방법은 빈도계수 K_T 는 재현기간 T와 확률분포형의 함수임을 이용하여 재현기간 T에 대한 수문변량 x_T 는 변량 x의 표준편차 s에 빈도계수(frequency factor) K_T 를 곱한 것으로 식 (1)과 같이 표시된다.

$$x_T = \bar{x} + s K_T \tag{1}$$

보다 정확한 빈도해석을 위해 사용하는 있는 각종 분포형에 따라 K_T 와 T관계가 수립되며 우선

* 정회원, 충북대학교 공과대학 교수
** 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료
*** 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정
**** 정회원, 충청대학 건설환경시스템과 교수

표본 자료에서 적용하고자하는 매개변수를 계산하고 특정 재현기간에 상응하는 수분변량 x_T 의 크기를 결정한다. 확률 도시법에 의한 방법은 확률지가 대표하는 이론적인 확률분포의 누가확률분포함수를 사용하여 자료점을 통과하는 이론직선을 그음으로서 장래에 발생할 특정빈도의 수문사상을 추정한다.

2.2 확률분포형

각종 수문사상의 통계학적 특성을 규명하기 위해 확률분포형이 사용되어 왔으며, 수문자료의 해석에 사용되는 확률분포형은 크게 이산형 분포(discrete distribution)와 연속형 분포(continuous distribution)로 나눌 수 있다. 이산형 분포 중에서는 어떤 크기의 강우나 홍수가 발생하는 시간간격, 어떤 사상이 일어나거나 혹은 일어나지 않을 확률 등을 결정하기 위한 이항분포 혹은 포아슨 분포 등이 많이 사용된다. 그러나 대부분의 수문사상은 연속적으로 발생하는 것이 사실이며 이의 확률론적 해석을 위해서는 연속형 분포형을 사용하는 것이 보통이므로 이중 수문해석에 가장 많이 쓰여지고 있는 분포형의 확률밀도함수 및 분포함수는 표 1과 같다.

표 1. 각 확률분포형의 확률 밀도함수 및 누가분포함수

확률분포형	확률밀도함수 및 누가분포함수
normal	$f(x) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$
Lognormal	$f(x) = \left(\frac{1}{\sigma_z\sqrt{2\pi}}\right) \frac{1}{x-x_0} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_z}{\sigma_z}\right)^2\right]$
Gamma	$f(x) = \left(\frac{1}{a\Gamma(\beta)}\right) \left(\frac{x-x_0}{a}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-x_0}{a}\right)$
Log-pearson type-III	$f(x) = \left(\frac{1}{a\Gamma(\beta)}\right) (1/x) \left(\frac{\ln x - z_0}{a}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{\ln x - z_0}{a}\right)$
Gumbel	$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-x_0}{a}\right)\right]$
Weibull	$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^a\right]$
GEV	$F(x) = \exp\left[-\left(1 - \frac{\beta(x-x_0)}{a}\right)^{(1/\beta)}\right]$
Wakeby	$x = m + a[1-(1-F)^b] - c[1-(1-F)^{-d}]$

주) $\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} z^{\beta-1} e^{-z} dz$: gamma 함수

2.3 적정 확률분포형 검정방법

Chi-Square 검정은 관측된 확률변량의 분포가 어떤 형의 이론확률분포에 적합한가를 판단하기 위한 검정방법이다. 확률변량에 대한 n 개의 관측치를 크기에 의해 k 개의 계급구간으로 나누고

각 구간에 대한 상대도수(relative frequency) 혹은 확률을 P_i 라 하면 Chi-Square 변량은 식(2)와 같이 정의된다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (2)$$

여기서, n_i 는 관측된 표본자료의 i 번째 구간에 속하는 관측치의 절대도수이며 np_i 는 전 관측치의 수 n 에 이론적인 발생확률 p 를 곱한 것으로 검정하고자 하는 이론확률분포에 기대되는 i 번째 구간의 절대도수이다

Kolmogorov-Smirnov 검정은 표본자료의 누가확률분포 ($S_n(x)$)와 가정된 이론 분포의 누가확률분포($F(x)$)를 비교하는 것으로서 양자의 최대편차가 표본의 크기와 유의수준에 따라 결정되는 한계치보다 크면 가정된 분포형은 기각된다.

Cramer-Von Mises 검정은 표본자료 X_1, X_2, \dots, X_N 이 누가분포함수 F_X 로 정의된 확률분포형을 모집단으로 갖는다는 가정을 검정하는데 사용된다.

PPCC 검정은 간단하고 편리하면서도 대상 표본자료가 정규분포인가를 판단하는데 좋은 것으로 알려져 있다. 정규분포 이외에 일반적으로 2개의 매개변수를 갖는 분포형에도 적합하다.

3. 적용

3.1 대상유역 및 자료

표 2. 무심천유역의 특성인자

수계명	1지류	2지류	3지류	유역면적 A(km ²)	유로연장 L(km)	유역평균폭 A/L	형상계수 A/L ²
금강	미호천	무심천		192.80	32.40	5.951	0.184
			한계천	13.75	6.00	2.292	0.382
			월운천	10.73	8.00	1.341	0.168
			미평천	16.92	7.70	2.197	0.285
			영운천	8.89	4.50	1.967	0.439
			명암천	7.63	5.50	1.387	0.252
			울량천	8.08	5.00	1.616	0.323

본 연구의 대상유역인 무심천 유역의 특성인자는 표 2와 같으며 청주시내를 통과하는 무심천 구간의 하상경사는 1/615~1/755로서 대체로 상류구간이 하류구간보다 경사가 급하고 청주 수위표 지점은 동경 127° 29' 06", 북위 36° 38' 35" 인 청주시 운천동 흥덕대교상에 위치하고 있으며

1981년 4월부터 자기 수위표로 관측을 하고 있다. 자료는 청주 수위표 지점의 년 최대 자기 수위 기록자료를 수집하여 이용하였고 홍수량은 유량 측정 성과를 바탕으로 작성된 연도별 채택 수위-유량곡선식에 의해 환산하였으며 최근 자료로 이용한 90년대의 연최대 수위 및 환산된 홍수량을 표 3에 나타내었다.

표 3. 90년대 연최대 수위 및 환산 홍수량

Year	High Water Level(m)	Peak Discharge(m ³)
1991	1.91	46.87
1992	2.01	58.21
1993	2.34	106.01
1994	1.68	25.95
1995	4.59	1166.95
1996	2.22	86.74
1997	3.82	666.25
1998	3.12	385.21
1999	2.47	200.79
2000	3.19	489.36

3.2 확률홍수량

각 확률분포형에 대한 적합도 검정결과는 다음과 같다. ①은 모멘트법, ②는 최우도법, ③은 확률가중 모멘트법을 이용하여 빈도계수를 산정한 경우이다. 공란은 매개변수 산정이 부적절하여 평가에서 제외된 것이며 채택은 O로 기각은 X로 표시하여 표 4에 나타내었다.

표 4. 적합도 판정

확률분포형	χ^2 -검정			K-S 검정			Cramer von Mises 검정			PPCC 검정		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
gamma-2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
gamma-3			O			O			O			O
GEV	X		X	O		O	O		O	O		
Gumbel	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
log-Gumbel 2			O			O			O			
log-Gumbel 3	X			O			O					
lognormal-2	X	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X
lognormal-3	X	X	X	O	O	O	O	O	O	X	X	X
log-Pearson type III	O		X	O		O	O		O			O
Weibull-2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Weibull-3	X		X	O		O	O		O	O		O
Wakeby-4			O			O			O			
Wakeby-5			O			O			O			

표 4에 나타난 바와 같이 적합도 판정 결과, 조건을 모두 만족하는 확률분포형은 gamma-2, Gumbel, Weibull-2의 3가지 분포형이며 유의수준 5%의 적합도 검정결과를 표 5에 나타내었다.

표 5. 확률분포형 적합도 검정결과(유의수준 5%)

확률분포형	χ^2 -검정		K-S 검정		Cramer von Mises 검정		PPCC 검정	
	계산값	표값	계산값	표값	계산값	표값	계산값	표값
gamma-2	0.80	3.84	0.16	0.41	0.04	0.45	0.99	0.94
Gumbel	0.40	3.84	0.20	0.41	0.08	0.45	0.96	0.91
Weibull-2	0.40	3.84	0.17	0.41	0.04	0.45	0.99	0.91

이상에서 선정된 Gamma-2, Gumbel, Weibull-2의 3가지 분포형에 의해 계산된 재현기간에 따른 빈도별 홍수량을 표 6에 기존의 빈도별 홍수량 자료와 비교하여 나타내었다.

표 6. 재산정된 빈도별 홍수량과 기존 빈도별 홍수량의 비교

빈도	재산정된 빈도별 홍수량			기존 빈도별 홍수량
	Gamma-2	Gumbel	Weibull-2	
2년	199.2	262.9	200.5	
5년	529.1	567.7	521	
10년	792.1	788.4	781.9	
30년	1219	1141.4	1216.7	
50년	1421.5	1310.6	1425.8	1220
80년	1680.1	1470.2	1621.4	1360
100년	1697	1547.3	1715.3	1430
200년	1974.3	1793.2	2010.8	

재산정된 빈도별 홍수량을 비교하여 보면 Gamma-2 분포형과 Weibull-2 분포형은 유사한 결과를 보인 반면 Gumbel 분포형은 다소 과소 산정된 경향을 보였으며 기존의 빈도별 홍수량에 가장 가까운 값을 나타내었다. 50년 빈도의 경우 Weibull-2, Gamma-2, Gumbel 분포의 순으로 큰 값이 산정되었으며 기존 빈도별 홍수량에 비해 각각 205.8CMS, 201.5CMS, 55.5CMS의 차이를 보였고, 80년 빈도의 경우 각각 261.4CMS, 248.1CMS, 51CMS의 차이를 보였고, 100년 빈도의 경우 각각 285.3CMS, 267CMS, 45.3CMS의 차이를 보였다. Gamma-2 분포형과 Weibull-2 분포형의 경우 재현기간이 증가할수록 차이가 증가하는 것으로 나타났다.

재산정된 Gamma-2, Gumbel, Weibull-2의 3가지 분포형에 의한 빈도별 홍수량을 기존의 빈도 홍수량 자료와 비교하여 그림 1에 나타내었으며 그림 2에 Gumbel 확률지상에서 확률도시법을 이용해 홍수량에 따른 확률을 도시화하여 확률홍수량 산정 결과를 나타내었다.

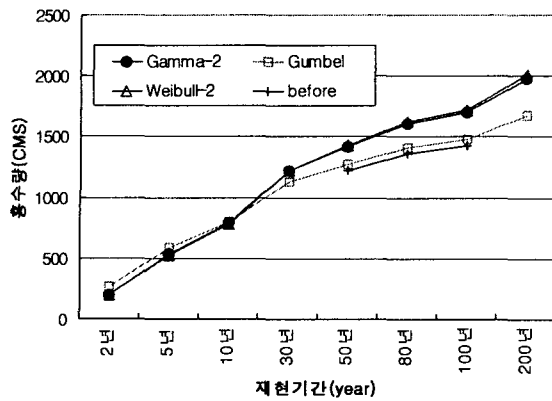


그림 1. 재산정된 빈도별 홍수량의 비교

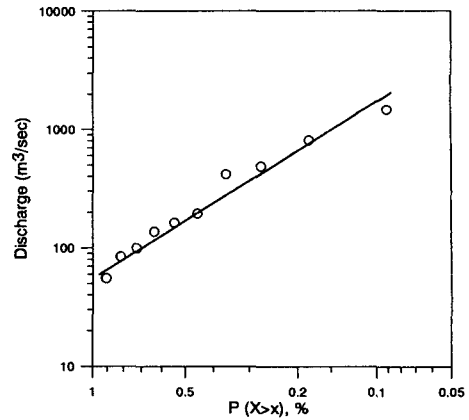


그림 2. 확률도시법에 의한 확률홍수량 산정

4. 결 론

최근 90년도에 많은 홍수가 발생함에 따라 수공구조물의 설계기준이 되는 확률 홍수량에 대한 재검토를 수행하였으며 13개 분포형에 대한 점 빈도해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

무심천 유역 홍수량 자료에 적합한 확률분포형은 Gamma-2, Gumbel, Weibull-2의 3가지 분포형이었다. 또한 최근 자료를 이용하여 확률 홍수량을 산정한 결과 가장 큰 값을 보이는 Weibull-2 분포형의 경우 기존의 산정된 홍수위에 비해 50년 빈도에서는 205.8CMS, 80년 빈도에서는 261.4CMS, 100년 빈도에서는 285.3CMS의 큰 차이를 보였다.

참고문헌

1. 강경석, 김형수, 서병하(1999), “매개변수 추정방법에 따른 확률갈수유량의 변화”, **대한토목학회 학술발표회 논문집(III)**, pp. 77~80
2. 곽소신(1988), 소유역의 강우강도식 유도, 충북대 석사학위논문
3. 김경덕, 허준행, 이동진, 조원철(1998), “한강유역 상류부 댐의 확률홍수량 재산정”, **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, pp. 26~31
4. 김민구(2000), “매개변수적 방법과 비매개변수적 방법에 의한 강우의 빈도분석”, 원광대학교 석사학위논문
5. 안동근(1997), “확률홍수량에 대한 불확실성 해석에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위논문
6. 안상진(2001), 수문학, 구미서관
7. Hosking, J. R. M.(1990), L-moments analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics, *J. of Royal Statistical Society*, 52(1):105-124