

# 하천 홍수량에 대한 부분시계열 빈도분석

## Frequency Analysis of Partial Duration Series for Flood Discharge of Rivers

이규민\*, 전경수\*\*

Lee Gyu Min, Jun Kyung Soo

---

### 요 지

일반적으로 설계홍수량은 강우빈도 해석으로 설계강우량을 결정하고 이를 유역유출모형에 적용하여 계산된 유출량을 정상류모의를 통하여 산정하게 된다. 이러한 기존의 설계홍수량 산정방법은 설계강우량 산정에 있어 임의성을 포함하게 된다. 따라서 본 연구에서는 대상 하천 구간의 실측 수위자료를 사용하여 홍수량을 산정하는 방법을 제시하고자 한다. 분석대상 자료로서 남한강 여주지점의 실측 시유량을 선정하였으며 충주댐 완공 이후인 1988년부터 2007년까지의 기간을 대상으로 하였다. 빈도해석을 위한 분석 자료군을 연최대치 계열과 POT(Peaks Over Threshold) 계열의 두 가지 그룹으로 추출하여 홍수량을 추정하였다. 연최대치 계열 분석 결과 Weibull 분포를 적절한 분포형으로 선정하였으며 부분시계열 POT 빈도해석을 수집자료 전체와 기간을 전, 후 10년씩 나누어 세 그룹으로 나누어 수행하였다. 빈도별 확률홍수량 추정 결과 연최대치 계열을 사용한 결과가 부분시계열 POT 방법을 사용한 결과보다 크게 산정되었으며 자료 전체 기간에 대한 POT 빈도해석 결과보다 최근 10년간의 자료를 사용한 결과가 더 크게 나타나 홍수량의 증가 경향을 확인 할 수 있었다.

**핵심용어 : 홍수량, 빈도해석, 부분시계열분석, 남한강**

---

### 1. 서론

일반적으로 제방, 보 등의 하천 수공구조물의 설계홍수량을 산정하는 방법은 다음과 같다. 강우빈도 해석을 통하여 설계강우량을 추정하고, 이를 유역유출모형에 적용하여 유출량을 산정한 후 하도흐름에 대한 정상류모의를 통하여 설계홍수량을 산정한다. 그러나 이 방법은 설계강우량의 산정에 있어서 임의성을 포함하게 된다. 따라서 본 연구에서는 대상 하천 구간내에 실측 수위자료가 있는 경우 해당 자료로부터 홍수량을 산정하는 방법을 제시하고자 한다. 먼저 홍수량 빈도해석을 위한 자료계열로 연최대치(Annual Maximum)와 POT(Peaks Over Threshold) 계열을 추출하였다. POT 방법은 기준치(Threshold Level)를 결정하고 이를 초과하는 첨두치들(POT event)을 대상으로 하므로 홍수가 발생하지 않은 연도를 포함하는 연최대치를 사용하는 것보다 객관적이며 임계치를 넘는 홍수계열을 수집하여 좀 더 많은 홍수사상을 확보할 수 있다(Natural Environment Research Council, 1975). 대상 자료는 남한강 여주지점의 관측수위를 수위-유량관계 곡선으로부터 환산한 유량자료이다. 충주댐 완공 이후인 1988년부터 2007년까지의 20년간에 대해서 부분시계열 POT 빈도 해석과 연최대치를 사용한 빈도 해석을 수행하여 그 결과를 분석하였다.

### 2. 자료의 추출

홍수량 빈도해석을 수행하기 위하여 수집한 남한강 여주지점의 시유량 자료를 검토하면 기록시의 오류로

---

\* 정희원 · 성균관대학교 공과대학 건설환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : [greenbeing@skku.edu](mailto:greenbeing@skku.edu)

\*\* 정희원 · 성균관대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : [ksjun@skku.edu](mailto:ksjun@skku.edu)

---

의심되는 수치가 발견된다. 이와 같은 기록치는 발생 시점의 충주댐, 충주조정지댐의 방류량 및 남한강 여주지점 상류의 강수량 기록을 검토하여 적절치 않은 경우 삭제하였다. 수집 정리한 1988년부터 2007년까지의 남한강 여주지점의 시유량 자료를 시계열로 나타내면 그림 1과 같다. 홍수량 빈도해석을 위한 자료로써 이 시계열의 첨두치들 중에서 연간 시유량 자료 중 가장 큰 첨두치를 연최대치로 채택하였다. 또한 부분시계열 빈도해석을 위한 POT EVENT는 기준치(Threshold Level,  $q_0$ )이상의 홍수량을 대상으로 하였으며 2개 이상의 첨두치가 연속적으로 발생한 경우에는 해당 호우사상이 별개인 경우 독립적인 첨두치로 간주하여 모두 채택하고 그렇지 않은 경우에는 이들 중 가장 큰 첨두치를 채택하였다 (Kottegoda, 1980).

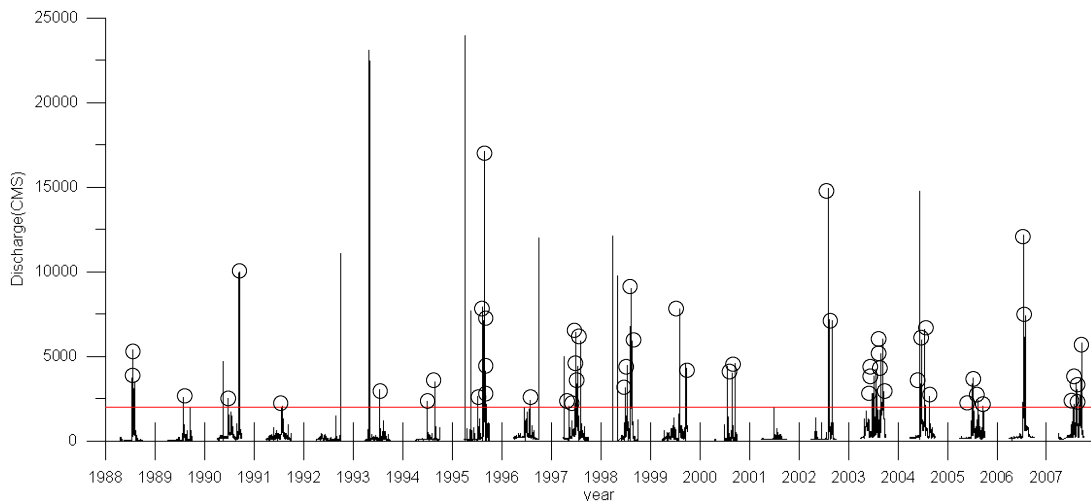


그림 1. 홍수통제소 여주지점 시유량(1988-2007) 중 첨두치 추출

### 3. 연최대치계열 빈도해석

수집자료의 연최대 시유량으로부터 빈도별 홍수량을 추정하기 위하여 Normal 분포, Gumbel 분포, Generalized Extreme Value 분포, Weibull 분포에 대하여 확률가중 모멘트법으로 매개변수를 추정하였다. 연최대치를 사용하여 추정한 확률분포형 중 어느 것이 수집한 관측자료를 적절하게 표현하는지는 probability paper를 사용한 방법과 적합도 검정법을 사용하여 판단할 수 있다. 적합도 검정은  $X^2$ (Chi-Square) 검정, K-S(Kolmogorov Smirnov) 검정, CVM(Cramer von Mises) 검정, PPCC(Probability Plot Correlation Coefficient) 방법 등이 있다. 이들 검정법을 사용하여 수집자료의 연최대치 계열을 사용한 확률분포형의 적합도를 판정하였다. 적합도 검정 결과 Normal 분포와 GEV 분포는 유의수준 5%에 대하여 PPCC 검정을 통과하지 못하는 것으로 판정되어 적합하지 않은 것으로 판단하였다. 또한 실측자료와 실측자료에 대응하는 추정된 분포형의 CDF를 probability paper에 도시하면 그림 2와 같다. 각 분포형별 CDF 그룹을 표본자료인 실측 연최대치와 비교하기 위하여 표본자료와 분포형의 CDF간의 편차를 구하여 가장 큰 값인 최대편차(Max deviation)와 편차를 제공하여 평균내고 그 제곱근인 RMSE(Root Mean Square Error)를 산정하여 나타내면 표 1과 같다. 이로부터 최대편차와 RMSE가 가장 작게 나타나는 Weibull 분포가 표본 그룹과 가장 근접하게 나타남을 알 수 있다. 따라서, 연최대치 계열분석의 확률분포형은 적합도 검정결과와 Probability Paper 도식결과를 검토하여 Weibull 분포형으로 선정하였다.

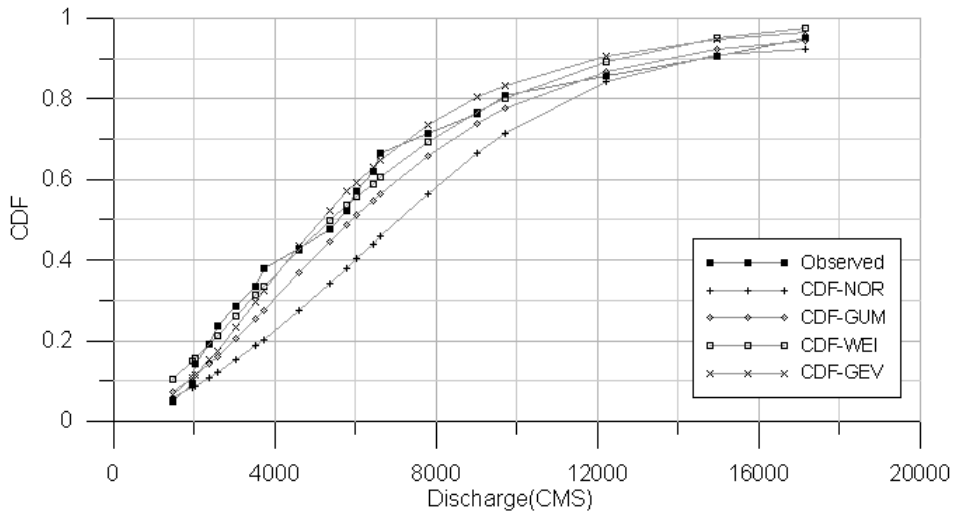


그림 2. 표본자료와 각 분포형별 CDF

표 1. 표본과 확률분포형 CDF의 최대편차와 RMSE

DISTRIBUTION	Max deviation	RMSE
Generalized Extreme Value	0.063	0.036
Normal	0.209	0.121
Gumbel	0.105	0.055
Weibull	0.060	0.031

#### 4. 부분시계열 POT 빈도 해석

기준치를 초과하는 홍수사상에 대해서 연평균  $\nu$  개의 첨두치를 선택하였다고 하면  $q_0$ 보다 큰 첨두치의 연간 발생 횟수  $N$ 은 확률 변수로서 Poisson 분포를 따르며 첨두치 발생 사이의 시간  $T$ 는 지수분포 (Exponential Distribution)를 따른다. 즉,

$$P_r \{T > t\} = e^{-\nu t} \quad (1)$$

한편,  $q$ 를 초과하는 홍수량  $Q$ 는 지수분포를 따르는 것으로 가정할 수 있으며  $q(T_r)$ 은  $T_r$ 년 빈도의 유량이다.

$$P_r \{Q > q(T_r)\} = e^{-\lambda[q(T_r) - q_0]} \quad (2)$$

$T_r$ 년 빈도의 홍수량은 평균적으로  $\nu \cdot T_r$ 번의 호우에 한 번 일어나는 강우강도의 크기이므로

$$e^{-\lambda[q(T_r) - q_0]} = \frac{1}{\nu \cdot T_r} \quad (3)$$

$$q(T_r) = q_0 + \ln(\nu \cdot T_r) / \lambda \quad (4)$$

여기서 기준치  $q_0$ 와 상수  $\nu$  및  $\lambda$ 의 값을 추정함으로써  $T_r$ 년 빈도의 첨두치  $q(T_r)$ 을 구할 수 있다.

NO	(5)	(6)	(7)
	$\nu = \frac{N}{Y}$	$\lambda = \{(N-1)/N\} / (\bar{q} - q_{(1)})$	$q_0 = q_{(1)} - \frac{1}{N \cdot \lambda}$

여기서  $Y, N, \bar{q}$  및  $q_{(1)}$ 은 각각 자료연수,  $Y$ 년간 발생한 POT Event의 수,  $N$ 개의 첨두치의 평균치 및  $N$ 개의 첨두치 자료 중의 최소치이다. 1988년부터 2007년까지 20년간의 시유량에 대한 부분시계열 POT 빈도해석을 수행하기 위하여 먼저 기준치(Threshold Level,  $q_0$ )를 연평균 4~5개의 첨두치를 포함하는 값인  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 결정하였다(Black, 1997). 수집한 자료로부터 식 (5), (6), (7)로 산정한 POT 매개변수를 표 2에 나타내었다. 1988년부터 2007년도까지의 자료군에 대한 매개변수를 식 (4)에 대입하여 빈도별 홍수량을 산정하고 CDF를 구하였다. 이를 연최대치 계열의 CDF와 함께 그림 3에 도시하였다.

표 2. 시유량 자료에 대한 POT 매개변수 추정결과

period	N	q	q(1)	v	$\lambda$	q0
(1988-2007)	89	3596	1058	4.45	0.000390	1030
(1988-1997)	36	3458	1192	3.6	0.000429	1127
(1998-2007)	55	3608	1058	5.5	0.000385	1011

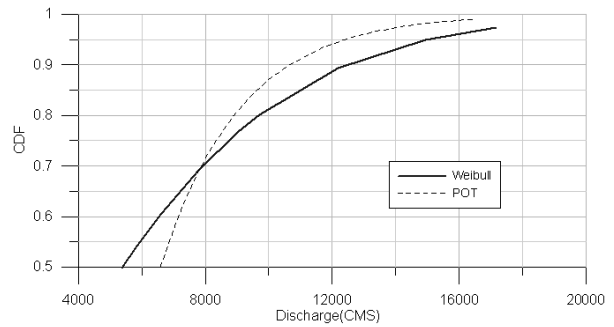


그림 3. 부분시계열 POT event 와 연최대치 계열 Weibull 분포형의 CDF

### 5. 확률홍수량 추정

분석자료 기간을 1988년에서 2007년, 1988년에서 1997년, 1998년에서 2007년의 세 구간으로 나누어 기준치  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 에 대한 POT event를 수집하고 홍수량을 추정하여 연최대치 계열을 사용한 Weibull 분포로 추정한 홍수량과 함께 그림 4에 나타내었다. 추정결과 부분시계열 POT분석 결과는 연최대치 계열 분석 결과보다 빈도별 추정 홍수량이 전반적으로 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 같은 부분시계열 POT 빈도해석방법으로 홍수량을 추정한 경우 최근 10년간, 즉 1998년에서 2007년까지의 자료군을 사용한 결과가 가장 큰 값을 나타내어 홍수량이 증가하고 있는 경향을 알 수 있다.

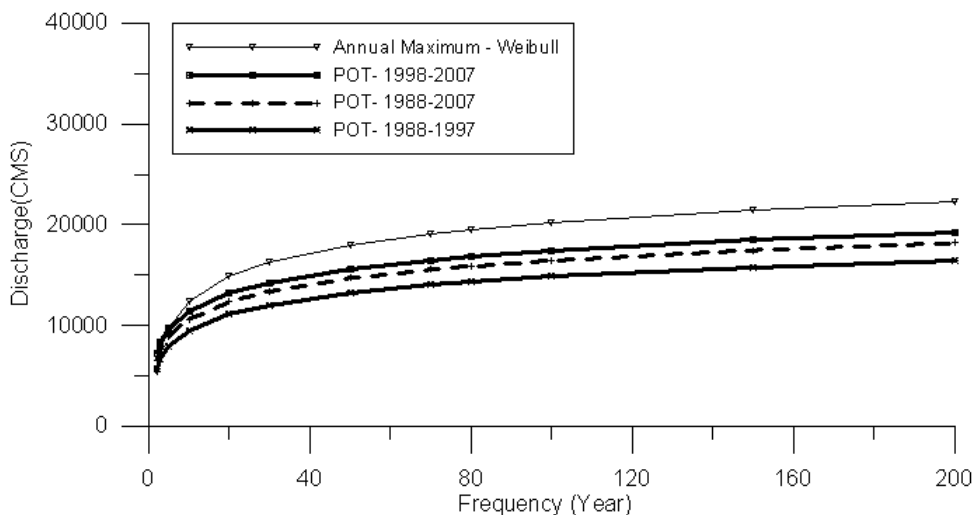


그림 4. 확률홍수량 추정 결과

## 6. 결론

남한강 여주지점의 1988년부터 2007년까지의 시유량 관측 자료로부터 연최대치 계열 홍수량 빈도분석을 수행하고 적합도 검정을 통해 Weibull 분포를 적절한 확률분포형으로 선정하였다. 또한 수집한 자료로부터 POT event를 추출하고 부분시계열 POT 빈도 해석으로 확률홍수량을 추정하였다. POT 빈도 해석은 수집 자료 전체 기간과 1988년부터 1997년, 1998년부터 2007년의 세 구간으로 나누어 수행하였다. 확률홍수량 산정 결과 부분시계열 POT 빈도해석으로 추정한 홍수량이 Weibull 분포형으로 추정한 결과보다 작은 값을 제시한다. 수위자료를 사용한 홍수량 빈도해석에 있어서 부분시계열 POT 분석 방법이 기준치의 크기에 따라 연도별로 평균 3-5건 정도의 홍수사상을 반영하며 기준치에 미달하는 경우의 연최대치를 분석대상에서 제외하는 것을 생각할 때 위와 같은 확률홍수량 추정 결과는 여주지점의 연최대치들이 다른 POT event에 비하여 상대적으로 큰 값을 가지는 것을 나타낸다.

현재 하천설계 기본계획 상의 남한강 여주지점의 설계 홍수량은  $16070 \text{ m}^3/\text{s}$  으로 본 연구에서 1988년부터 2007년까지의 자료로부터 추정한 확률홍수량과 비교하면 부분시계열 POT 방법으로 추정한 결과  $16683 \text{ m}^3/\text{s}$ , 연최대치 계열을 사용한 Weibull 분포형로 추정한 결과인  $20171 \text{ m}^3/\text{s}$  보다 작다. 또한 수집자료 기간내의 최대 실측홍수량은 1995년 발생한  $17145 \text{ m}^3/\text{s}$  으로 하천설계 기본계획 상의 설계 홍수량 보다 크다. 이와 같은 연최대치를 사용한 수문자료의 빈도해석시 확률강우량의 경우 30년 이상의 자료를 사용하여 추정하도록 권장하고 있는데, 본 연구에서는 20년간의 자료를 사용하였으므로 이로 인한 불확실성을 포함하고 있다. 그러나 관측연한이 긴 수위관측 자료도 댐, 보의 설치와 하천개수가 진행되는 과정에서 수집된 것이 많아 수집 연한 전체의 연최대치를 사용한 확률분포형으로 추정하기에는 무리가 있다. 따라서 자료의 개수를 확장하는 부분시계열 POT 빈도해석법 등의 적은 연한의 자료를 활용하여 빈도해석이 가능한 방법들을 고안하여 적용할 필요가 있다. 또한 강우빈도분석으로 유출량산정 후 정상류 모의를 통하여 홍수위를 추정하는 기존의 방법은 확률강우량 산정시의 임의성이 있음을 생각할 때 하천 수위자료를 사용한 홍수량 빈도해석 방법의 적용이 더 적절한 확률 홍수량을 제시할 수 있을 것으로 생각된다.

현재 진행중인 4대강 살리기 사업이 완공되면 다기능 보, 강변저류지 등의 수공구조물이 설치된다. 따라서 4대강 사업후의 하천에 대한 설계홍수량은 이러한 치수 구조물을 포함한 흐름계산이 가능한 수리학적 모형에 의하여 과거 홍수사상들에 대한 침투 홍수량을 산정하고, 이들을 이용한 POT 빈도해석에 의한 방법으로 산정이 가능할 것으로 생각된다. 따라서 이에 대한 연구를 추후 진행하고자 한다.

## 감사의 글

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

## 참고 문헌

1. Andrew R. Black, Alan Werritty(1997), "Seasonality of flooding: a case study of North Britain", Journal of Hydrology, Vol 195, Issue 1-4, pp. 1-25.
2. Natural Environment Research Council(1975), Flood Studies Report, London, NERC.
3. Alfredo H-S. Ang, Wilson H. Tang (1984), Probability Concepts in Engineering Planning and Design Volume I, II, JOHN WILEY & SON
4. Jack R. Benjamin, C. Allin Cornell (1970), Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill.
5. NT Kottegoda(1980), Stochastic Water Resources Technology, The MACMILLAN PRESS LTD.
6. 국토해양부 한강홍수통제소. 홍수정보. <http://hrfco.go.kr>.