

## 보청천 유역의 확률홍수량 산정

The Estimation of Frequency Based on Flood Discharge in Bocheong Stream Basin

안상진\* · 김진국\*\* · 전계원\*\* · 이무경\*\*\*

### 1. 서 론

홍수사상은 사회적 경제손실, 환경변화, 인명피해 등 경제적, 사회적, 정치적으로 막대한 악영향을 가져다 주기 때문에 홍수해석은 매우 중요한 과제이다.

수자원 계획 수립에는 수문자료의 분석이 선행되며 하절기 하천의 침수 및 범람등을 고려한 치수 계획 수립 시 수공 구조물의 규모를 결정하는 설계 기준으로 확률 홍수량을 산정한다.

최근들어 지속적인 집중호우의 양상이 전개되면서 기존에 산정된 확률홍수량으로는 수공 구조물의 설계 등의 판단 기준으로 사용하기 어려운 상황이 초래되어 홍수 다발 지역을 대상으로 확률 홍수량의 재산정이 요구되고 있다.

본 연구에서는 홍수가 빈번히 발생하고 있는 IHP 대표유역인 보청천 유역에 대한 확률홍수량을 빈도 해석을 통해 확률홍수량을 재산정하고 확률홍수량에 따른 주요지점별 홍수위를 검토하였다.

### 2. 확률홍수량 산정

#### 2.1 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 포아송 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 다음과 같다.

$$\cdot \text{Normal} : f(x) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1)$$

$$\cdot \text{Lognormal} : f(x) = \left(\frac{1}{\sigma_z\sqrt{2\pi}}\right) \frac{1}{x-x_0} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_z}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2)$$

$$\cdot \text{Gamma} : f(x) = \left(\frac{1}{a\Gamma(\beta)}\right) \left(\frac{x-x_0}{a}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-x_0}{a}\right) \quad (3)$$

$$\cdot \text{Log-pearson type-III} : f(x) = \left(\frac{1}{a\Gamma(\beta)}\right) (1/x) \left(\frac{\ln x - z_0}{a}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{\ln x - z_0}{a}\right) \quad (4)$$

$$\cdot \text{Gumbel} : F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-x_0}{a}\right)\right] \quad (5)$$

$$\cdot \text{Weibull} : F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^a\right] \quad (6)$$

$$\cdot \text{GEV} : F(x) = \exp\left[-\left(1 - \frac{\beta(x-x_0)}{a}\right)^{(1/\beta)}\right] \quad (7)$$

$$\cdot \text{Wakeby} : x = m + a[1 - (1-F)^b] - c[1 - (1-F)^d] \quad (8)$$

#### 2.2 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 상대빈도(relative frequency) 혹은 확률을  $P_i$  라 하면 Chi-Square 변량은 식(9)와 같이 정의된다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n p_i)^2}{n p_i} \quad (9)$$

\* 정희원, 충북대학교 공과대학 교수

\*\* 정희원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

\*\*\* 정희원, 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

여기서,  $n_i$ 는 관측된 표본자료의  $i$ 번째 구간에 속하는 관측치의 절대도수이며  $np_i$ 는 진 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.

### 3. 적용

#### 3.1 대상유역 및 자료

본 연구의 대상유역인 보청천 유역은 IHP 대표유역으로써 특성인자가 표 1과 같으며 이평균 수위표 지점은 동경 127° 43' 30", 북위 36° 29' 12" 인 보은군 보은읍 이평리에 위치하고 있으며 1982년 8월부터 자기 수위표로 관측을 개시하였다.

표 1. 보청천유역의 특성인자

| 수계명 | 1지류 | 2지류 | 3지류   | 유역면적<br>A(km <sup>2</sup> ) | 유로연장<br>L(km) | 유역평균폭<br>A/L | 형상계수<br>A/L <sup>2</sup> |
|-----|-----|-----|-------|-----------------------------|---------------|--------------|--------------------------|
| 금강  | 보청천 |     |       | 482.60                      | 53.9          | 10.250       | 0.256                    |
|     |     | 중곡천 |       | 16.25                       | 6.00          | 2.708        | 0.451                    |
|     |     | 향건천 |       | 62.23                       | 15.00         | 4.149        | 0.277                    |
|     |     |     | 거현천   | 17.56                       | 8.00          | 2.195        | 0.274                    |
|     |     |     | 중초천   | 15.50                       | 7.00          | 2.214        | 0.316                    |
|     |     | 오덕천 |       | 31.40                       | 8.86          | 3.544        | 0.400                    |
|     |     | 삼가천 |       | 134.42                      | 23.00         | 5.844        | 0.254                    |
|     |     |     | 적압천   | 50.38                       | 14.69         | 3.430        | 0.233                    |
|     | 한중천 |     | 27.37 | 8.69                        | 3.150         | 0.362        |                          |

이평균 지점의 수위 및 유량자료의 경우 일자료는 1982년부터, 시자료는 1990년부터 관측 및 기록되어 있다. 자료는 이평균 수위표 지점의 년 최대 자기 수위기록자료를 수집하여 이용하였다. 홍수량은 유량측정 성과를 바탕으로 작성된 연도별 채택 수위-유량곡선식에 의해 환산하였으며 1983~2000년(18년)간 연최대 수위 및 환산된 홍수량을 표 2에 나타내었다.

표 2. 보청천유역(이평균)의 연최대 수위 및 환산 홍수량

| Year | High Water Level(m) | Peak Discharge(m <sup>3</sup> /s) | Year | High Water Level(m) | Peak Discharge(m <sup>3</sup> /s) |
|------|---------------------|-----------------------------------|------|---------------------|-----------------------------------|
| 1983 | 2.05                | 306.56                            | 1992 | 0.78                | 21.00                             |
| 1984 | 0.94                | 39.77                             | 1993 | 1.77                | 106.87                            |
| 1985 | 1.12                | 48.32                             | 1994 | 1.24                | 52.30                             |
| 1986 | 0.96                | 77.87                             | 1995 | 1.34                | 59.81                             |
| 1987 | 1.65                | 148.52                            | 1996 | 2.32                | 191.94                            |
| 1988 | 1.85                | 177.84                            | 1997 | 2.50                | 213.71                            |
| 1989 | 2.07                | 196.52                            | 1998 | 5.08                | 892.71                            |
| 1990 | 1.63                | 99.60                             | 1999 | 1.86                | 115.83                            |
| 1991 | 1.04                | 38.34                             | 2000 | 2.31                | 186.40                            |

#### 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 3에 나타내었다.

표 3에 나타난 바와 같이 적합도 판정 결과, 조건을 모두 만족하는 확률분포형은 Lognormal-2, Log-Pearson type III, Weibull-2의 3가지 분포형이며 유의수준 5%의 적합도 검정결과를 표 4에 나타내었다.

표 3. 적합도 판정

| 확률분포형                | $\chi^2$ -검정 |   |   | K-S 검정 |   |   | Cramer von Mises 검정 |   |   |
|----------------------|--------------|---|---|--------|---|---|---------------------|---|---|
|                      | ①            | ② | ③ | ①      | ② | ③ | ①                   | ② | ③ |
| Gamma-2              | X            | O | O | O      | O | O | O                   | O | O |
| Gamma-3              |              |   |   |        |   |   |                     |   |   |
| GEV                  | X            | O | O | O      | O | O | O                   | O | O |
| Gumbel               | X            | O | O | O      | O | O | O                   | O | O |
| Log-Gumbel 2         |              |   | O |        |   | O |                     |   | O |
| Log-Gumbel 3         | X            |   |   | O      |   |   | O                   |   |   |
| Lognormal-2          | O            | O | O | O      | O | O | O                   | O | O |
| Lognormal-3          | X            | O | O | O      | O | O | O                   | O | O |
| Log-Pearson type III | O            | O | O | O      | O | O | O                   | O | O |
| Weibull-2            | O            | O | O | O      | O | O | O                   | O | O |
| Weibull-3            |              |   |   |        |   |   |                     |   |   |
| Wakeby-4             |              |   | X |        |   | O |                     |   | O |
| Wakeby-5             |              |   | X |        |   | O |                     |   | O |

표 4. 적합도 검정

| 확률분포형                | $\chi^2$ -검정 |      | K-S 검정 |      | Cramer von Mises 검정 |      |
|----------------------|--------------|------|--------|------|---------------------|------|
|                      | 계산값          | 표값   | 계산값    | 표값   | 계산값                 | 표값   |
| Lognormal-2          | 3.67         | 5.99 | 0.11   | 0.31 | 0.04                | 0.46 |
| Log-Pearson type III | 0.67         | 3.84 | 0.10   | 0.31 | 0.04                | 0.46 |
| Weibull-2            | 1.44         | 5.99 | 0.17   | 0.31 | 0.07                | 0.46 |

표 5. 재산정된 빈도별 홍수량과 기존 빈도별 홍수량의 비교

| 빈도   | 재산정된 빈도별 홍수량 |                      |           | 93년 보정전<br>하천정비기본계획 |
|------|--------------|----------------------|-----------|---------------------|
|      | Lognormal-2  | Log-Pearson type III | Weibull-2 |                     |
| 2년   | 98.9         | 107.8                | 113.2     |                     |
| 5년   | 214.1        | 234.5                | 266.1     |                     |
| 10년  | 320.8        | 355.1                | 382.7     |                     |
| 30년  | 532.9        | 603.1                | 568.5     | 315                 |
| 50년  | 652.2        | 746.6                | 655.2     | 354                 |
| 80년  | 774.8        | 897.1                | 735.1     | 390                 |
| 100년 | 837.7        | 975.2                | 773.1     | 408                 |
| 200년 | 1053.4       | 1247.5               | 891.3     |                     |

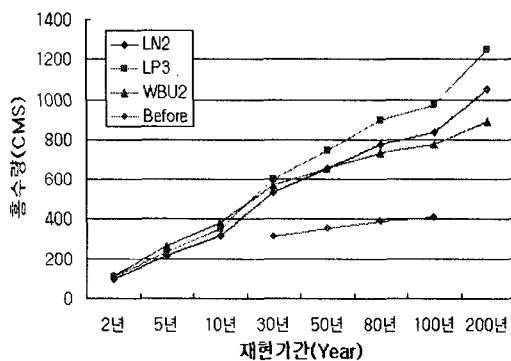


그림 1. 재산정된 빈도별 홍수량의 비교

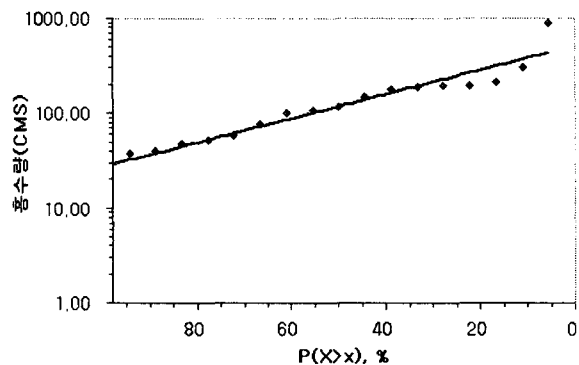


그림 2. 확률도시법에 의한 확률홍수량 산정

재산정된 빈도별 홍수량을 비교하여 보면 서로 약간 다른 경향을 보이고 있다. 30년빈도 이하에서는 Weibull-2, Log-Pearson type III, Lognormal-2 분포형 순으로 산정되었고, 30년~50년빈도에서 Log-Pearson type III, Weibull-2, Lognormal-2 분포형 순으로 산정되었으며, 50년빈도 이상에서는

Log-Pearson type III, Lognormal-2, Weibull-2 분포형 순으로 산정되었다.

재산정된 Weibull-2, Log-Pearson type III, Lognormal-2 분포형의 3가지 분포형에 의한 빈도별 홍수량을 기존의 빈도홍수량 자료와 비교하여 그림 1에 나타내었으며 그림 2는 확률도시법을 이용해 홍수량에 따른 확률을 도시화하여 확률홍수량 산정 결과를 나타내었다.

### 3.3 구간별 홍수위 산정

선정된 홍수량에 따른 정확한 홍수위를 산정하기 위해 이평교 수위표 지점에서 기록된 2000년 6월 30일 실측 홍수사상을 이용하여 HEC-RAS 모형을 보정하고, 홍수위에 대한 검정결과를 그림 3에서 나타내었다.

HEC-RAS 모형을 이용하여 산정된 확률홍수량에 대해 No.122+150(산성교)~No.101(항건천 합류전) 구간의 수위를 검토하였으며, 적용 확률홍수량은 재산정된 3가지 분포형중에 모의구간의 안전성을 검토하기 위해 가장 크게 산정된 Log-Pearson type III 분포형으로 적용하였다.

그림 4는 산정된 50년, 80년 빈도별 유량을 적용하여 만제가 일어난 주요 구간이다. 그림 5는 그림 4에서 나타난 구간중에 한 단면이다.

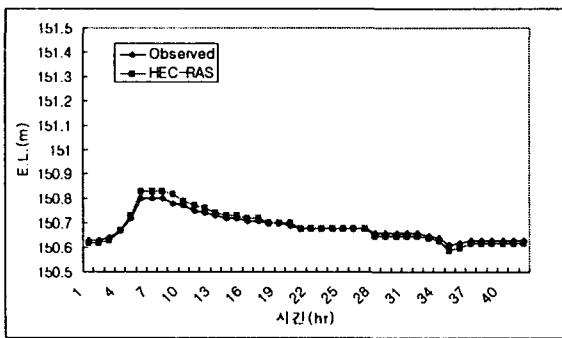


그림 3. 2000년 6월 30일

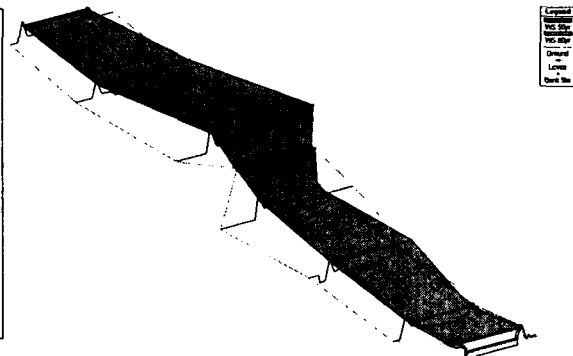


그림 4. No.116~No.113+055

## 4. 결과 및 논의

최근 1990년이후 많은 홍수가 발생함에 따라 수공구조물의 설계기준이 되는 확률 홍수량에 대한 재검토를 수행하였으며 13개 분포형에 대한 점 빈도해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

보정된 유역 홍수량 자료에 적합한 확률분포형은 Log normal-2, Log-Pearson type III, Weibull-2의 3가지 분포형이었다. 그리고 확률홍수량 산정결과 Log-Pearson type III, Lognormal-2, Weibull-2 분포형의 순으로 큰 값을 보였다. 또한 3가지 분포형이 기존의 산정된 홍수량에 비해 크게 산정되었는데 이것은 최근 90년도에 많은 홍수가 발생함에 따라 재산정된 홍수량이 기존의 산정된 홍수량보다 크게 산정되었다고 사료된다.

연구에서 산정된 확률홍수량을 이용하여 HEC-RAS

모형으로 보은을 통과하는 주요지점에 대해 모의한 결과 50년, 80년빈도 홍수량에 여러지점에서 만제가 일어난 것을 보였다.

추후 본 연구 결과를 바탕으로 HEC-FDA 모형을 적용하여 경제성 분석을 하고 홍수 피해대책을 저감시킬 수 있는 방안을 찾는 연구가 계속 행해져야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 김경덕, 허준행, 이동진, 조원철(1998), "한강유역 상류부 댐의 확률홍수량 재산정", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 26~31
2. 변관복(2002), "부실천 유역의 확률홍수량 산정", 충북대학교 석사학위논문
3. 안상진(2001), 수문학, 구미서관
4. 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