

# 한강 인도교지점에서의 홍수빈도해석에 대한 고찰

## Flood Frequency Analysis at Indogyo Station in Han River Basins

이영석\* · 김경덕\*\* · 허준행\*\*\*

Young Seok Lee · Kyung Duk Kim · Jun-Haeng Heo

### 요 지

본 연구에서는 수도권을 포함하는 한강하류부에서 가장 중요한 측수지점중 하나인 인도교지점의 연 최대 홍수량 자료에 대해서 빈도해석을 시행하였다. 자료를 3개의 자료(자료 I : 1918~1940, 자료 II: 1952~2002, 자료 III: 결측치를 제외한 1918~2002)로 구분하였으며, 수문자료에 일반적으로 많이 사용하는 13가지 확률 분포형을 적용하여 매개변수를 추정한 뒤 적합성여부를 판정하였으며, 적합도 검정방법 및 도시적인 방법을 통하여 적정 확률분포형을 선정하였고, 채택된 분포형(gamma-3, GEV, Gumbel, Weibull-2)에 대하여 확률홍수량을 산정하였다. 또한, 위치도시공식(plotting position formula)과 역사적 홍수정보(historic information)를 이용한 빈도해석 결과와도 비교·분석하였다. 그 결과 확률분포형 가운데에는 GEV와 Gumbel 분포형이 인도교지점의 홍수빈도해석에 적합한 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 한강, 인도교, 빈도해석, 홍수량

## 1. 서 론

한강 하류부의 수문자료는 홍수시나 갈수시를 망라하고 수도 서울이 위치하고 있는 한강 하류부의 홍수관리나 용수관리면에서 중요한 기본 자료가 된다. 따라서, 이 지점의 연 최대 홍수량 자료에 대한 체계적이며 합리적인 홍수빈도해석을 실시하여 제현기간에 따른 확률홍수량을 산정하는 것은 때마다 막대한 홍수피해를 입고 있는 한강 하류부의 홍수계획 및 관리를 위해 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 본 연구에서는 연 최대 홍수량자료를 기본자료로 하여 13개 확률분포형(gamma-2, gamma-3, GEV, Gumbel, log-Gumbel-2, log-Gumbel-3, lognormal-2, lognormal-3, log-Pearson type III, Weibull-2, Weibull-3, Wakeby-4, Wakeby-5 분포형)을 적용하여 매개변수를 추정하고 이에 대한 적합도 검정을 통하여 적정 확률분포형을 선정하였다. 또한, 경험적으로 알려진 도시공식과 함께 결측된 자료의 보완을 위한 역사적 홍수정보를 이용한 빈도해석을 실시하여 비교·분석하였다.

## 2. 본 론

본 연구의 대상지점인 한강 인도교 지점의 연 최대 홍수량 자료는 1918년에서 1991년의 자료는 한강 인도교지점에서의 홍수빈도해석(I) (서규우 등, 1995)에 있는 자료를 사용하였으며 그 이후인 1992년부터 2002년까지의 자료는 건설교통부와 한강홍수통제서에서 매년 발행하는 한강홍수예경보를 참고로 하였다.

인도교지점의 홍수량자료는 1941년부터 1951년까지 결측되었으므로 1918년에서 1940년까지의 자료를 자료

\* 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정

\*\* 한국시설안전기술공단 진단2본부 땀방안실 과장, 공학박사

\*\*\* 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학과 교수, 공학박사

I, 1952년에서 1991년까지의 자료를 자료 II, 결측치를 제외한 1918년에서 1991년까지의 자료를 자료 III으로 구분하여 사용하였다. 자료 I과 자료 II 및 결측치를 제외한 전 자료에 해당하는 자료 III의 기본적인 통계값은 표 1에 나타낸 바와 같다. 표에서 보는 바와 같이 왜곡도 계수를 제외한 평균, 표준편차, 변동계수 값은 별다른 차이를 보이고 있지 않다. 또한, 인도교지점의 과거 홍수량자료의 경향성과 변동성을 표 2, 3에 나타내었다. 인도교지점의 홍수량자료는 어떤 경향성과 변동성도 보이지 않았다.

표 1. 홍수량자료의 기본적인 통계치

자 료	자료크기	평 균	표준편차	변동계수	왜곡도 계수
자료 I	23	14284.7	7298.3	0.511	0.414
자료 II	51	13897.1	7187.1	0.517	0.702
자료 III	74	14017.6	7173.9	0.512	0.601

표 2. 한강 인도교 지점의 연최대홍수량의 경향분석 결과

T-분석				HOTELING-PABST 분석				MANN-KENDALL 분석				SEN 분석			
계산값	표값	기울기	검사	하한값	상한값	계산값	검사	표값	계산값	검사	하한값	상한값	표값	검사	
0.700	1.996	X	X	52034.720	83015.280	58712.810	X	-1.115	1.960	X	-123.429	41.185	-47.669	X	

표 3. 한강 인도교 지점 연최대홍수량의 변동분석 결과

전반부 평 균	후반부 평 균	MANN-WHITNEY			SIGN 분석			Simple	수정	전반부 분 산	후반부 분 산	Simple	수정
		계산값	표값	검사	계산값	표값	검사	T 분석				F 분석	
								검사	검사			검사	검사
14284.710	13897.200	0.403	1.960	X	1.808	1.960	X	X	X	7298.258	7187.017	X	X

연 최대홍수량의 적정 확률분포형을 선정하기 위해서 현재 수문자료의 해석에 많이 사용되고 있는 13가지 확률분포형( $\gamma$ -2,  $\gamma$ -3, GEV, Gumbel, log-Gumbel-2, log-Gumbel-3, lognormal-2, lognormal-3, log-Pearson type III, Weibull-2, Weibull-3, Wakeby-4, Wakeby-5 분포형)을 적용하였으며, 매개변수 추정에 있어서 확률가중 모멘트법(probability weighted moment)을 사용하였다.

홍수량 자료의 통계적 특성을 가장 잘 나타내는 확률분포형을 알아보기 위한 기본적인 과정으로서 경험 확률밀도함수와 누가분포함수를 추정된 매개변수를 이용하여 적합된 확률밀도함수와 누가분포함수에 대하여 비교하였다. 그림 1과 2는 자료 III에 대한 확률밀도함수와 누가분포함수를 나타내고 있다. 이 중 log-Gumbel-2, log-Gumbel-3, log-Pearson type III은 적합성 검정을 만족하지 못함에 따라 도시적 해석에서 제외하였다.

그림에서 살펴보면 자료 I에서는 Gamma-3, GEV, lognormal-3 분포형이 잘 맞고, 자료 II에서는 Gamma-3, GEV, Gumbel, lognormal-3, Weibull-2, Wakeby-4 분포형이, 자료 III에서는 GEV, Gumbel, lognormal-3, Weibull-2, Weibull-3 분포형이 비교적 비슷하게 적합됨을 알 수 있다.

매개변수의 적합성 여부를 거친 후 확률분포형들의 적합도 검정을 위해 본 연구에서는  $\chi^2$  검정, Kolmogrov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정, Probability Plot Correlation Coefficient(PPCC) 검정 등 4가지 방법을 사용하여 실시하였다. 각 자료에 대해 5% 유의수준에 대한 적합도 검정결과, 자료 I에서는 3가지 방법에 대해 적용분포형이 모두 적합한 것으로 판정되었으나 자료 II에서는  $\chi^2$  검정과 PPCC 검정에서

log-Gumbel-2, lognormal-2, lognormal-3, Wakeby-4 분포형이 기각관정을 받았다. 자료 III에서는 log-Gumbel-2 분포형이 3가지 방법 모두에 대해 기각관정을 받았으며 Wakeby-4 분포형이  $\chi^2$  검정에서 기각관정을 받았다.

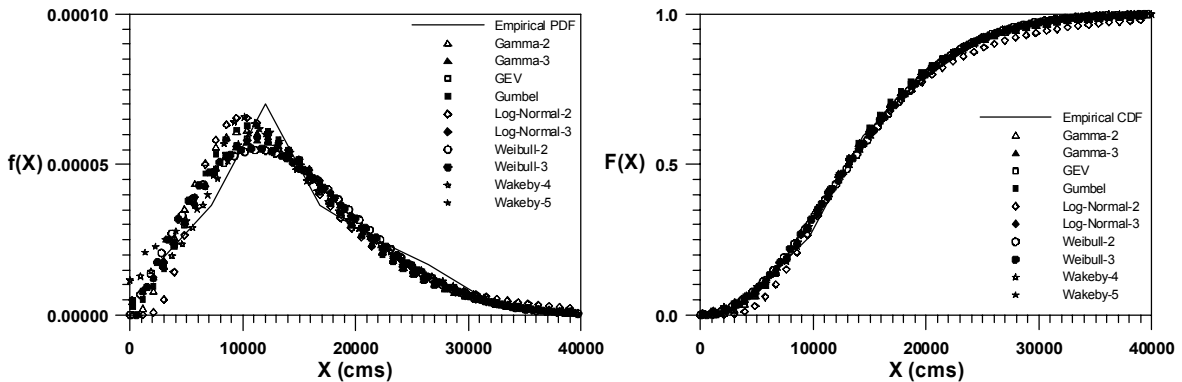


그림 1. 경험 및 적합 확률밀도함수(자료III)    그림 2. 경험 및 적합 누적분포함수(자료III)

적합된 확률밀도함수와 누적분포함수에서 도식적인 방법을 포함하여 종합적으로 살펴 볼 때, 11년간의 결측기간을 제외한 전체관측기간에 해당하는 자료 III에서는 gamma-3, GEV, Gumbel, Weibull-3 분포형이 비교적 잘 적합되는 것으로 나타났다. 다음 표 4는 비교적 한강인도교 지점에 적합하다고 판단되는 확률분포형에 따른 확률홍수량을 자료II를 가지고 확률홍수량을 산정한 결과와 비교한 것이다.

자료 II에서는 비교적 큰 재현기간에 대해 Gumbel, GEV, gamma-3, Weibull-2 분포형 순으로 크게 나타나고 있고, 자료 III의 경우에도 순서는 같다. 그러나 비록 결측치를 포함하고 있지만 자료수를 늘린 자료 III의 경우에 대해 각 분포형별로 살펴보면 gamma-3, GEV의 경우는 확률홍수량이 감소한 반면에 Gumbel 분포형의 경우에는 증가하였다.

표 4. 확률분포형에 따른 확률홍수량의 비교

(단위 : cms)

재현기간(년)	gamma-3		GEV		Gumbel		Weibull-2	
	1918-2002	1952-2002	1918-2002	1952-2002	1918-2002	1952-2002	1918-2002	1952-2002
2.0	13120.7	12736.3	13110.9	12748.8	12787.8	12666.9	13214.3	13073.2
3.0	16347.8	15993.3	16295.5	15896.3	15917.6	15797.8	16569.8	16432.9
5.0	19749.7	19525.4	19693.1	19363.7	19403.6	19285.0	19989.2	19864.1
10.0	23755.0	23787.7	23749.5	23664.5	23783.8	23666.7	23835.1	23730.8
20.0	27354.4	27695.9	27429.3	27731.8	27985.5	27869.8	27125.0	27043.9
30.0	29334.0	29871.6	29456.8	30046.2	30402.6	30287.7	28870.6	28803.6
50.0	31727.9	32525.9	31903.3	32913.3	33424.0	33310.2	30925.2	30876.3
70.0	33255.8	34232.2	33455.8	34777.6	35404.9	35291.8	32204.7	32167.8
80.0	33852.3	34899.3	34059.8	35512.7	36189.6	36076.7	32698.1	32665.9
100.0	34836.7	36007.9	35054.4	36735.6	37499.5	37387.0	33505.9	33481.7
200.0	37820.9	39378.8	38032.3	40493.1	41560.0	41449.0	35895.4	35896.1
300.0	39520.1	41308.9	39700.1	42664.4	43931.6	43821.4	37219.8	37235.0
500.0	41616.5	43705.4	41727.8	45373.8	46917.2	46808.0	38821.8	38855.3

본 연구에서는 결측된 자료를 보충하는 대신 역사적 홍수정보를 이용한 빈도해석 기법을 이용하여 인도교 지점에 대한 빈도해석을 실시하였다. 본 연구에서는 25,000 cms를 임의의 기준값으로 정하였다. 기준값이

25,000 cms인 경우 기준값보다 큰 홍수량의 수는 5개로 역사적 홍수정보에서 1개, 그리고 체계적인 자료기간에서는 4개로 나타났다. 표 5. 은 IACWD(1982)와 Hirsch(1987)가 제안한 방법에 의한 기존의 홍수량자료에 대한 재현기간을 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이 기준값 이상에서는 IACWD에 의한 값보다는 Hirsh에 의한 재현기간이 크게 나타남을 알 수 있다. 기준값 이하의 홍수량에 대해서는 두가지 모두 비슷한 재현기간을 나타내고 있다. 도시공식을 사용할 때에는 결측치가 없어야 하나, 자료 III에 Cunnane의 도시공식을 이용하여 구한 재현기간을 참고적으로 표에 나타내었다. 자료 III의 자료기간은 총 85년간이나 11년간의 결측치를 뺀 74년간의 자료를 가지고 산정된 값이므로 실제로는 표에 나타난 값보다 큰 재현기간을 가져야 한다. 그러므로, IACWD에 의한 재현기간은 과소 추정된 것이라 할 수 있다.

표 5. 도시위치공식과 역사적 홍수정보에 의한 확률홍수량(Censoring level 25,000 cms)

순위	홍수량 (cms)	IACWD		Hirsh		순위	홍수량 (cms)	Cunnane	
		CDF	재현기간	CDF	재현기간			CDF	재현기간
1	32986.1	.0116	86.0	.0069	145.7	1	32986.1	.0081	123.7
2	32971.8	.0233	43.0	.0183	54.6	2	32971.8	.0216	46.4
3	28836.3	.0349	28.7	.0297	33.6	3	28836.3	.0350	28.5
4	27409.4	.0465	21.5	.0412	24.3	4	27409.4	.0485	20.6
5	26431.3	.0581	17.2	.0526	19.0	5	26431.3	.0620	16.1
6	25723.0	.0698	14.3	.0641	15.6	6	25723.0	.0755	13.3
7	25000.0	.0814	12.3	.0755	13.2	7	25000.0	.0889	11.2
8	24430.0	.0973	10.3	.0945	10.6	8	24430.0	.1024	9.8
9	22338.0	.1174	8.5	.1148	8.7	9	23074.9	.1159	8.6
10	20707.0	.1376	7.3	.1351	7.4	10	22373.3	.1294	7.7
11	20463.0	.1578	6.3	.1554	6.4	11	22338.0	.1429	7.0
12	19399.8	.1779	5.6	.1757	5.7	12	21053.2	.1563	6.4
13	19048.9	.1981	5.0	.1960	5.1	13	20813.6	.1698	5.9
14	18874.6	.2182	4.6	.2163	4.6	14	20707.0	.1833	5.5
15	17517.6	.2384	4.2	.2366	4.2	15	20463.0	.1968	5.1
16	16365.3	.2585	3.9	.2569	3.9	16	19399.8	.2102	4.8
17	15922.2	.2787	3.6	.2773	3.6	17	19269.0	.2237	4.5
18	15531.4	.2988	3.3	.2976	3.4	18	19048.9	.2372	4.2
19	14811.6	.3190	3.1	.3179	3.1	19	18874.6	.2507	4.0
20	14767.5	.3391	2.9	.3382	3.0	20	17920.8	.2642	3.8

### 3. 결 론

선정된 확률분포형에 의한 확률홍수량과 역사적 홍수정보를 이용한 Hirsh의 방법을 비교할 때 일반적으로 확률분포형에 의한 확률홍수량이 약간 큰 것으로 나타났으며, 재현기간 100년인 경우 Hirsh 공식에 의한 홍수량이 전반적으로 작게 나온 것은 1순위와 2순위에 해당하는 홍수량 값이 거의 일치하기 때문으로, 이것은 도시공식 사용시의 단점이라 할 수 있다.

결측치를 갖고 있는 지점에 확률분포형을 적용한 문제점은 가지고 있으나 역사적 홍수정보를 이용한 홍수빈도해석 결과와 경험적 및 적합된 확률밀도함수 및 누가분포함수의 비교 결과를 고려할 때 확률분포형 가운데에는 GEV, Gumbel 분포형이 인도교지점 홍수빈도해석에 적절하다고 판단된다.

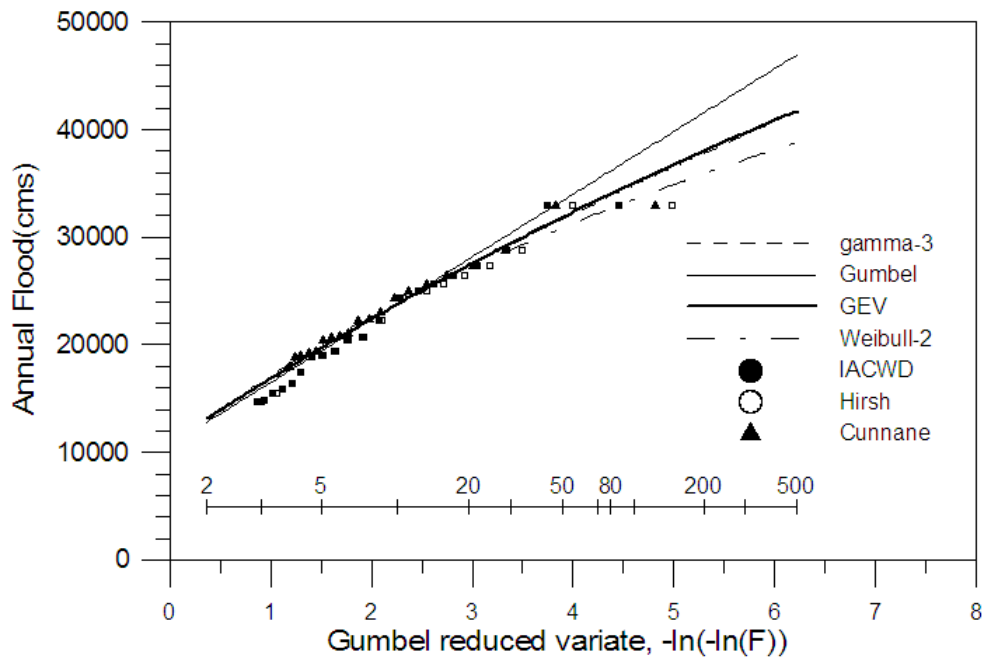


그림 3. 각 기법별 성장곡선(Gumbel 확률지)

### 참 고 문 헌

- 김경덕, 서규우, 허준행, 조원철(1996). “한강 인도교지점에서의 홍수빈도해석(II) -확률홍수량 산정-”, 대한토목학회논문집 제 16권 제 1호. pp. 23-32.
- 서규우, 김경덕, 허준행, 조원철(1995). “한강 인도교지점에서의 홍수빈도해석(I) -자료해석 및 적정 확률분포형 선정-”, 대한토목학회논문집 제 15권 제 6호. pp. 1697-1709.
- Cunnane, C. (1978) "Unbiased Plotting Positions - A Review." Jour. Hydrology, Vol. 37, pp. 205-222.
- Greenwood, J.A., Landwehr, J.M., Matalas, N.C. and Wallis, J.R.(1979). "Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form", Water Resources Research. Vol. 15, No. 5, pp. 1049-1054.
- Hirsh, R.M. and Stedinger, J.R. (1986) "Plotting Position for Historical Floods and Their Precision." Water Resources Research, Vol. 23, No. 4, pp. 715-727.
- Hirsh, R. M. (1987) "Probability Plotting position Formulas for Flood Records with Historical Information", Jour. Hydrology, Vol. 96, pp. 185-199.
- Interagency Advisory Committee on Water Data (IACWD). (1982) "Guidelines for Determining Flood Flow Frequency", Bulletin #17B, Hydrology Committee. U.S. Geological Survey, Reston, VA.