

한강 인도교 지점의 계획홍수량 산정을 위한 지점빈도해석 Point Frequency Analysis for Determining the Design Flood at Indogyo Site

윤 용 남* / 원 석 연**

Yoon, Yong Nam / Wone, Seog Yeon

Abstract

A point frequency analysis is carried out for the Indogyo site at the Han river using 68 annual maximum flood data for the period of 1918~1992. Computed frequency discharges using the three parameter log-normal, type-I extreme value, type-III extreme value, and Pearson type-III distributions show the appropriate results, and the 100 and 200 year return period floods are computed as 35,500 m³/sec and 39,000 m³/sec, respectively, 33,500 m³/sec and 37,500 m³/sec of corresponding return periods are computed when the flood control effect of the dams are taken into account. The resulting flood discharge of 37,500 m³/sec is similar to the current design flood of 37,000 m³/sec in downstream reach of Han river, so, it could be desirable to keep the the current design flood, considering the increasing tendency of the flood due to the climate change.

keywords : frequency analysis, flood discharge, Han river

요 지

한강 인도교 지점의 1918년부터 1992년 간의 총 68년의 연최대 홍수량 계열 자료를 수집하여 지점빈도해석을 실시하였다. 3변수 대수정규분포, 제 1형 극치분포, 제 3형 극치분포 및 Pearson type-III분포에 의한 확률 홍수량의 값이 대체로 부합하는 결과를 보여주었으며, 100년 및 200년 빈도 홍수량의 값은 각각 35,500 m³/sec 및 39,000 m³/sec로 계산되었다. 또한 유역내에 설치되어 있는 각종 댐의 홍수조절효과를 고려하여 댐이 존재하는 경우를 기준으로 홍수량 계열을 수정한 후 빈도해석을 실시한 결과 빈도 홍수량은 33,500 m³/sec 및 37,500 m³/sec로 계산되었다. 200년 홍수량 37,500 m³/sec는 현 한강하류부 고시유량인 37,000 m³/sec와 비교하면 비슷한 값이며, 기후 변화에 따른 홍수량의 증가성향을 감안하면 현 고시유량의 고수가 바람직할 것으로 보인다.

핵심용어 : 빈도해석, 홍수량, 한강

* 고려대학교 토목환경공학과 교수

** 대우엔지니어링(주) 수자원부

1. 서 론

한강은 우리나라 최대의 하천으로 하류구간에 수도권이 위치하여 각종 시설 및 인구가 집중되어 있다. 하류구간의 계획홍수량은 수도권을 비롯한 한강 하류구간의 각종 하천 및 방재계획 수립시 기본이 되는 주요 수문량인 바, 현재 하류구간 홍수량 산정의 기준이 되는 한강 인도교 지점의 현 고시 계획홍수량은 과학적인 분석 없이 과거의 최대홍수량을 적용하고 있는 실정이다.

한강 인도교 지점은 1918년 보통수위계가 처음 설치된 이후 현재까지 꾸준히 수위 및 유량의 측정이 이루어져 있는 지점이나, 유역내에 건설되어 있는 각종 다목적 댐에서의 홍수조절로 인해 홍수량 자료가 일관성을 유지하고 있지 않을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 한강 인도교 지점의 각종 홍수자료(수위 및 유량 측정자료, 수위-유량 관계곡선)를 수집한 후, 댐에 의한 홍수조절효과를 고려하여 과거의 홍수자료를 현재의 댐의 홍수조절 영향을 받는 상태로 수정하여 빈도해석을 실시하였으므로, 추후 추가로 빈도해석을 실시할 경우 본 연구에서 제시된 인도교 지점의 연최대 수정홍수량 계열은 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 특히 최근에 제시된 새로운 홍수량 빈도해석 기법을 도입하여 보다 신뢰성 있는 빈도홍수량을 산정·제시 함으로써 궁극적으로 하천관리 행정의 일관성 유지에 기여하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 홍수량 계열

일반적으로 자료치계열은 전기간치 계열, 부분기간치 계열, 그리고 극치계열의 세가지로 대별될 수 있다. 부분기간치 계열에는 초과치 계열 혹은 비초과치 계열이, 극치 계열에는 최대치 계열과 최소치 계열이 있다. 빈도해석을 위한 자료로서 연최대치를 사용할 것인가 아니면 연초과치를 사용할 것인가는 빈도해석을 행하는 목적에 따라 결정되어야 한다(윤용남, 1986). 본 연구에서는 재현기간이 큰 빈도홍수량 산정을 목적으로 하고 있으므로, 연최대치 계열을 사용하여 빈도해석을 실시하였다.

2.2 확률분포형

홍수량 빈도해석을 위해서 가장 전통적인 분포인 정규분포로부터 최근에 개발된 Wakeby, Logistic 분포에 이르기까지 매우 많은 종류의 확률분포형이 사용되어 왔다. 각각의 확률분포형은 매개변수의 갯수로부터 그 형태에 이르기까지 서로 다른 특징을 가지고 있으므로, 어떤 확률분포가 가장 적절한 분포인지에 대한 의견은 분분하다. 지금까지 홍수량 빈도해석에 적용된 바 있는 확률분포형은 표 1과 같다.

2.3 확률분포의 매개변수 산정방법

확률분포형의 매개변수를 산정하는 방법에는 여러가

표 1. 확률분포형의 종류

Conventional Distributions	Gaussian Distributions	Normal Distribution, Two-parameter Lognormal Distribution, Three-parameter Lognormal Distribution
	Extreme Value Distributions	Extreme Value Type-I Distribution(Gumbel Distribution) Extreme Value Type-II Distribution Extreme Value Type-III Distribution(Weibull Distribution) General Extreme Value Distribution
	Gamma Distributions	One-parameter Gamma Distribution Two-parameter Gamma Distribution Three-parameter Gamma Distribution(Pearson Type-III Distribution) Log Pearson Type-III Distribution
	Logistic Distributions	Logistic Distribution Log Logistic Distribution Generalized Logistic Distribution
Nonconventional Distributions	Wakeby Distributions	4-parameter Wakeby Distribution 5-parameter Wakeby Distribution

지 방법이 있으며, 계산코자 하는 확률치는 확률분포형의 종류 뿐만 아니라 매개변수 산정방법에 따라 차이를 가지게 된다. 본 연구에서는 지금까지 가장 널리 사용되어온 전통적인 모멘트법(method of moments)과 최우도법(method of maximum likelihood), 그리고 최근에 WMO에서 추천한 방법인 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments)에 의해 매개변수를 산정하고자 하였다(Kite, 1978; Hosking, 1986).

2.4 적정분포형의 선정

적정 분포형의 선정을 위한 전통적인 방법으로 확률 도시법(graphical method) 및 적합도 검정법(goodness of fit test)을 들 수 있다. 이중 적합도 검정법은 단순히 가정한 이론 확률분포형이 표본자료의 확률분포형과 크게 벗어나는지의 여부를 확률적인 개념에 의해 확인하는 방법이다. 최근에는 변동계수(coefficient of variation; C_v), 왜곡도계수(coefficient of skewness; C_s) 그리고 첨도계수(kurtosis coefficient; C_k) 등 확률특성치의 및 이들을 도시한 모멘트비도(moment ratio diagram)의 비교를 통해 각 모형 즉, 확률분포형 및 매개변수 산정법(distribution and estimation; 이하 D/E)이 원자료의 통계 특성을 얼마나 잘 구현하는지를 상대적으로 평가하는 이른바 거동분석(behavior analysis)이라 불리는 방법, 그리고 모형의 유연성(flexibility)을 기준으로 그 적정성을 평가하는 robustness test에 관한 연구가 활발히 진행된 바 있으며, 이 방법들은 기존의 방법들에 비해 좀 더 객관적인 방법으로 평가되고 있다(Cunnane, 1989).

2.5 지점 빈도해석

2.5.1 빈도계수법

표본수문변량 x 는 일반적으로 그의 평균치 \bar{x} 에 평균치로부터의 x 의 편차 Δx 를 더한 값 즉, $x = \bar{x} + \Delta x$ 로 표시될 수 있다는 개념에 의해 확률치를 산정하는 방법이다. 여기서 편차 Δx 는 변량 x 의 표준편차 S_x 에 빈도계수(frequency factor) K_T 값을 곱한 것으로 표시된다(윤용남, 1986). 즉 확률치 x_T 는

$$x_T = \bar{x} + S_x K_T \quad (1)$$

여기서 K_T 는 재현기간 T 와 확률분포형의 왜도계수에 따라 결정된다.

2.5.2 직접계산법

확률밀도함수의 누가함수 즉 누가확률함수가 존재하는 확률분포로서 그 역함수가 존재할 경우에는 확률밀도함수의 역함수로부터 직접 특정 재현기간을 가지는 변량을 구할 수 있다. 즉,

$$\int_{-\infty}^{x_T} f(x) dx = F(x_T) = 1 - \frac{1}{T} \quad (2)$$

$$x_T = F^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right) \quad (3)$$

여기서 $f(x)$, $F(x)$ 는 확률밀도함수, 누가확률함수이다.

극치분포(Type-I, II, III, 일반형)와 Wakeby분포 그리고 Logistic분포등이 직접계산법의 적용이 가능한 대표적인 확률분포이다(Cunnane, 1989).

3. 자료의 수집

3.1 연최대 수위 자료

연최대 수위자료는 모두 68년간의 자료를 수집하였으며, 최소수위는 1939년의 1.98 m이며, 최대수위는 1925년의 11.76 m이다. 본 연구에서는 수문조사년보 및 조사서 그리고 월보에 기록된 순간수위와 홍수사상별 홍수위도로부터 연최대 순간수위를 구하였다.

3.2 수위-유량 관계곡선

기존에 제시된 인도교 지점에서의 수위-유량 관계곡선은 총 18개이며, 본 연구에서는 이 중에서 다른 곡선식과 현격한 차이를 보이는 곡선식과 자료의 출처가 명확하지 않은 총 6개의 곡선식을 우선적으로 제외하였다. 나머지 12개의 곡선식들을 표 2와 같이 연도별로 구분하여 각 기간별로 적정 수위-유량 관계곡선식을 일차적으로 선정하였다.

또한 인도교지점의 유량측정성과(총 525개)를 수집하여 앞에서 각 group별로 선정된 대표 수위-유량 관계곡선식과 해당기간 동안의 유량측정성과를 기준으로

표 2. 자료기간별 수위-유량 관계곡선식

적용기간	곡선식 출처(참고문헌)	채택치
~50년	#1	#1
51년~69년	#3	#3
70년~83년	#5, #6, #7, #8	#8
84년~93년	#10, #13, #14, #15, #17, #18	#17

※ 곡선식별 인용문헌

#1 : 조선하천조사서, 1929
 #3 : 한국수문조사년보, 1964
 #5 : 한국하천요람, 1958
 #6 : 한강수위관측지점 유량측정 및 조사측량보고서, 1978
 #7 : 홍수량측정조사보고서, 1982
 #8 : 홍수량측정조사보고서, 1983
 #10 : 한강홍수예경보, 1986
 #13 : 홍수량측정조사보고서, 1987
 #14 : 홍수량측정조사보고서, 1988
 #15 : 홍수량측정조사보고서(한강수역권), 1989
 #17 : 홍수량측정조사보고서, 1990
 #18 : 한강유역유량측정 및 유출분석 보고서, 1991

표 3. 인도교 지점의 수위-유량환산관계

No.	수위 (m)	유량 (m ³ /sec)	적용기간
1	0.1	83	초기 - 1950
	3.2	1700	
	5.5	7500	
	9.0	16000	
	18.0	100000	
2	0.2	20	1951 - 1969
	2.4	1000	
	7.0	8000	
	18.0	100000	
3	0.2	27	1970 - 1983
	6.0	6600	
	18.0	100000	
4	0.2	27	1984 - 현재
	2.0	2300	
	4.0	7000	
	9.0	19500	
	18.0	100000	

하여 표 3과 같은 인도교 지점의 수위의 대수치와 유량의 대수치간의 선형관계를 도출하였으며, 이를 이용하여 수위에 따른 유량을 산정하였다.

3.3 댐건설에 따른 홍수량의 변화

한강유역내에 위치하고 있는 댐중 홍수조절능력을 가지고 있는 댐은 화천댐, 소양강댐 및 충주댐의 3개 댐으로 볼 수 있다. 이상의 3개 댐들이 각각 건설됨으로 인하여 한강 하류부의 홍수량은 댐의 홍수조절로 영향을 받게 된다. 따라서 인도교 지점의 홍수량 빈도 해석을 위해서는 댐의 홍수조절효과를 제거한 자연상태의 홍수량 계열을 작성하여 빈도해석을 실시하는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 현재의 상태(댐의 홍수조절효과를 고려한 상태)로 홍수량 계열을 수정하여 빈도해석을 실시함으로써, 향후 시일이 경과한 이후에 별도의 빈도해석을 실시할 경우 추가로 발생한 연최대 홍수량자료를 포함하여 용이하게 빈도해석을 실시할 수 있도록 하고자 하였다.

이를 위하여 다음과 같이 3개 댐의 건설년도를 기준으로 하여 기간을 설정한 후 각 기간별로 한강 인도교 지점에 대한 홍수조절 효과를 추산하고자 하였다.

CASE-1(~'44) : 자연상태

CASE-2('44~'72) : (화천댐)+청평

CASE-3('73~'83) : (화천댐,소양강댐)+청평,괴산,의암,팔당

CASE-4('84~'93) : (화천댐,소양강댐,충주댐)+청평,괴산,의암,팔당

이상과 같은 각 적용기간별로 한강유역의 200년 빈도 설계 우량주상도(지속기간 : 2일)를 HEC-1모형(HEC, 1981)에 적용하여 인도교 지점의 침투홍수량을 각각 산정하였으며, 이때 설계 우량주상도는 한강유역 전체를 한강 본류 및 북한강 상류, 남한강 하류 및 북한강 하류, 남한강 상류의 3개의 중유역으로 나누어 각 중유역내에 위치한 우량관측소의 무차원누가곡선을 분석하여 Huff의 제 3구간 무차원 누가곡선의 50 % 누가곡선을 적용하였다. 또한 홍수량 규모별 댐의 홍수조절량의 비교를 위하여 200년 빈도 설계우량주상도의 5%~100%에 해당하는 우량주상도(총 20개)를 각각 적용하여 이에 따른 한강 인도교 지점의 침투홍수량을 계산하였다. 이때 댐의 홍수조절 효과를 고려하기 위하여 1984년과 1990년의 대홍수시의 각 댐의 저수위-방류량 자료로부터 댐의 저수위-유출량-저류량간의 관계를 설정하여 저수지 홍수추적을 실시함으로써, 간접적으로 각 댐의 홍수조절 효과를 고려하였다.

현재 상태에 대한 각 경우의 침투홍수량의 차이를

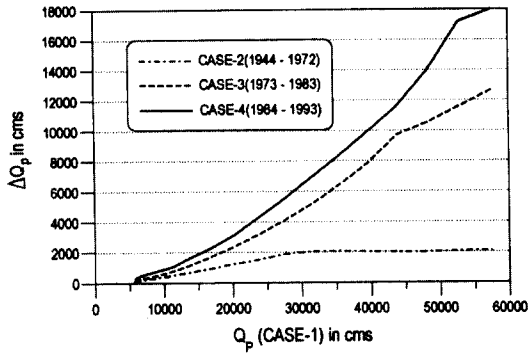


그림 1. 인도교의 침투홍수량 보정치 (Case4에 대한 Case1,2,3과의 ΔQ_p)

나타내기 위하여 그림 1과 같이 x축에는 CASE-4에 의해 결정된 침투홍수량을 y축에는 CASE-4에 대한 각 기간별 침투홍수량의 차이를 도시하였다. 즉,

$$\Delta Q_p = Q_{p(\text{Case}-1,2,3)} - Q_{p(\text{Case}-4)} \quad (4)$$

또한 자연 유하상태(CASE-1), 화천댐 건설후(CASE-2), 소양강댐 건설후(CASE-3)의 홍수량을 각각 현재상태(CASE-4)의 홍수량으로 환산하기 위하여 표 4와 같이 동일 강우에 대한 홍수량을 표로 작성하였다. 이때 CASE-1, CASE-2, CASE-3 및 CASE-4의 홍수량이 각각 5710, 5616, 5523 및 5424 m^3/sec 이하인 유량에 대해서는 그 차이가 매우 적으므로

표 4. 홍수량의 수정을 위한 댐의 홍수조절효과 표

강우비율 (%)	$Q_p(m^3/sec)$				$\Delta Q_p(m^3/sec)$		
	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-1	CASE-2	CASE-3
25	5,710	5,620	5,520	5,420	290	190	100
30	6,610	6,430	6,330	6,130	490	300	200
35	8,730	8,420	8,280	8,000	730	420	280
40	11,200	10,710	10,450	10,160	1,040	560	290
45	13,920	13,230	12,750	12,250	1,670	970	500
50	16,980	16,020	15,260	14,680	2,300	1,340	580
55	20,270	19,040	17,880	17,130	3,140	1,910	750
60	23,790	22,280	20,610	19,510	4,290	2,770	1,100
65	27,590	25,710	23,490	22,050	5,540	3,660	1,440
70	31,430	29,400	26,290	24,530	6,900	4,870	1,760
75	35,490	33,430	29,080	27,120	8,370	6,310	1,960
80	39,580	37,560	31,750	29,640	9,940	7,920	2,110
85	43,860	41,870	34,130	32,240	11,620	9,630	1,890
90	48,210	46,220	37,700	34,270	13,940	11,950	3,420
95	52,870	50,800	41,280	35,670	17,200	15,130	5,610
100	57,460	55,390	44,820	39,480	17,980	15,910	5,340

로 홍수조절효과를 무시하기로 하였다.

3.5 연최대 홍수량 계열의 작성

연최대 순간수위에 표 3의 수위-유량관계를 적용하여 연최대 홍수량 계열을 작성하였다. 이와같이 산정한 연최대 홍수량 자료는 댐의 홍수조절영향을 받은 결과로 발생한 것임은 주지의 사실이다. 댐의 홍수조절효과를 고려하여 현재의 댐군의 홍수조절 영향을 고려한 가상의 홍수량 값을 추정하였으며, 이를 수정홍수량이라 부르기로 한다. 표 5에 연도별 순간 최고수위와 그로부터 계산된 연최대홍수량자료(기초홍수량) 그리고 수정홍수량을 제시하였다.

4. 인도교 지점의 지점빈도해석

4.1 확률분포형 및 매개변수의 산정

본 연구에서는 12개의 확률분포형에 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법(혹은 L모멘트법)의 3가지 매개변수 산정방법을 기초홍수량 및 수정홍수량 계열에 각각 적용하여 각 분포형별로 매개변수를 산정하였으며, 이때 각 확률분포형별로 매개변수 추정방법이 알려져 있지 않거나 매개변수가 수렴하지 않는 방법은 분석에서 제외하였다.

4.2 적정 확률분포형의 선정

본 연구에서는 visual inspection 방법, 적합도 검정

표 5. 인도교 지점의 연최대 홍수량 자료 계열

일 시	기 초 홍수량 (m ³ /sec)	수 정 홍수량 (m ³ /sec)	홍수위 (EL.m)	비 고	일 시	기 초 홍수량 (m ³ /sec)	수 정 홍수량 (m ³ /sec)	홍수위 (EL.m)	비 고
1918 8/17	14,520	13,280	8.45		1956 7/20	14,750	13,980	8.80	일수위 결측
1919 7/ 7	14,360	13,150	8.39		1957 7/18	7,560	7,250	6.80	
1920 7/ 9	18,610	16,750	9.53		1958 9/ 6	17,600	16,530	9.40	
1921 7/ 7	9,650	8,970	6.48		1959 9/ 1	15,390	14,550	8.94	
1922 7/30	17,010	15,380	9.21		1960 6/30	8,000	7,670	7.00	
1923 8/ 1	11,810	10,920	7.39		1961 7/12	6,420	6,210	6.25	
1924 7/26	14,550	13,310	8.46		1962 9/ 9	8,790	8,420	7.25	
1925 7/18	32,450	28,150	11.76		1963 7/26	14,980	14,180	8.85	
1926 8/ 6	15,320	13,960	8.75	구용산에서 전이	1964 8/12	14,710	13,940	8.79	
1927 7/15	13,020	12,000	7.87		1965 7/16	25,510	23,570	10.80	
1928 9/ 5	4,880	4,880	4.70		1966 7/26	25,380	23,470	10.78	
1929 8/18	4,200	4,200	4.45		1967 7/20	7,140	6,860	6.60	구용산에서 전이
1930 7/14	15,670	14,250	8.88		1968 8/24	12,170	11,650	8.19	
1931 8/20	10,890	10,090	7.01		1969 7/31	17,700	16,620	9.42	
1932 8/31	11,670	10,790	7.33		1970 9/18	17,900	16,800	8.98	
1933 7/31	11,790	10,900	7.38		1971 8/12	8,140	7,800	6.53	
1934 7/24	10,510	9,750	6.85		1972 8/19	31,260	28,430	11.25	
1935 7/23	18,870	16,970	9.58		1973 9/ 1	4,890	4,880	4.98	
1936 8/12	21,080	18,860	9.99		1974 7/10	5,900	5,900	5.60	
1937 7/20	10,580	9,810	6.88		1975 7/26	11,280	10,990	7.45	
1938 9/ 5	8,360	7,800	5.90		1976 8/14	15,170	14,730	8.40	
1939 5/14	1,120	1,120	1.98	무홍수(갈수년)	1977 7/14	6,090	6,090	5.71	
1940 7/21	20,310	18,200	9.85		1978 8/20	17,220	16,690	8.84	
1941 7/ 4	9,360	8,700	6.35		1979 8/ 6	13,370	13,020	7.98	
1942 9/15	12,260	11,320	7.57		1980 7/23	12,310	12,020	7.72	
1943				강우, 수위 결측	1981 9/ 2	13,950	13,580	8.12	
1944				강우, 수위 결측	1982 8/15	4,900	4,900	4.99	
1945				강우, 수위 결측	1983 8/ 2	3,750	3,750	4.23	
1946					1984 9/ 2	31,500	31,500	11.03	
1947 8/ 7	15,590	14,730	8.85		1985 10/13	8,310	8,310	4.58	
1948 6/13	6,100	6,100	5.10		1986 8/29	9,400	9,400	5.05	
1949				수 위 결 측	1987 7/27	14,200	14,200	7.00	
1950				강우, 수위 결측	1988 7/21	10,950	10,370	5.46	
1951				강우, 수위 결측	1989 7/28	6,370	6,370	3.98	
1952 7/30	11,430	10,940	8.00		1990 9/11	33,140	33,140	11.27	
1953 7/ 7	9,720	9,320	7.53		1991 7/26	13,530	13,530	6.74	
1954 7/29	10,500	10,060	7.75		1992 8/28	7,220	7,220	4.10	
1955 7/ 4	8,150	7,820	7.05						

법, behavior analysis, robustness test 등을 실시하였으며, 그 결과를 종합하여 가장 적절한 분포형을 선정하고자 하였다.

4.2.1 Visual Inspection

Visual inspection 방법으로는 인도교의 연최대 자료치 계열을 계급구간별로 나누어 구간별 누가확률을 histogram으로 표시하고, 그를 이론확률분포와 함께 도시하는 방법을 사용하였다. 10개 분포에 대하여 그림

을 도시하였으며 그 결과는 그림 2와 같다.

그림 2에서 각 분포형별 인도교지점의 연최대 홍수량 자료계열 실측치의 도수분포도와 이론확률을 각각 비교한 바, 대체로 Three Parameter Lognormal, Type-I Extremal, Type-III Extremal, General Extremal, 및 Pearson Type-III 분포등 5개 분포의 확률밀도함수가 자료치의 확률분포와 비교적 부합하는 것을 볼 수 있다. 그러나 어떤 분포가 얼마나 더 실측치에 잘 부합하는가를 객관적으로 판단하기에는 무리가

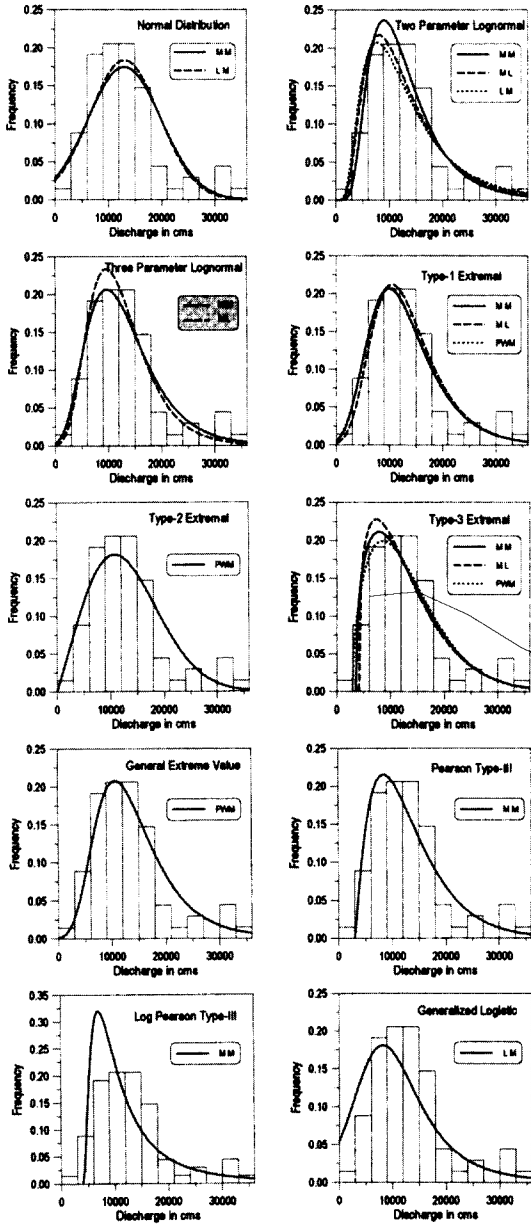


그림 2. 인도교 연최대 홍수량 계열의 실제확률분포와 이론확률분포의 비교

있다.

4.3.2 적합도 검정

확률분포형의 적합도 검정방법으로는 χ^2 -test와 Kolmogorov-Smirnov test가 가장 대표적인 방법이

라 할 수 있음은 2.4.2절에서 전술한 바와 같다. 한강 인도교 지점의 각 분포형별 검정 매개변수인 " χ^2 "값과 "Max|F_n-S_n|"값과 각 분포형별로 5%의 유의수준에 대하여 검정한 결과는 표 6에 제시된 바와 같다. 특히 χ^2 -test의 경우는 계급구간의 설정에 따라 χ^2 -test 값에 차이가 있으므로 본 연구에서는 계급구간을 각각 2000, 3000, 4000 m³/sec로 설정하여 검정을 실시하였다.

표 6에서 보는 바와 같이 모든 분포가 K-S test는 통과하였으나, χ^2 test 결과에서는 Normal, Type-2 Extremal, 그리고 Generalized Logistic 분포를 제외한 대부분의 분포가정이 받아들여지고 있음을 볼 수 있다. 그러나 분포형의 가정을 받아들일 수 있다고 해서 그 이론 분포형과 실제 자료의 확률분포형이 일치하는 것은 아니며, 대체로 검정 기준매개변수의 값이 영에 가까울 수록 실제자료에 근접한 것은 사실이나 이 또한 절대적인 기준은 될 수 없다.

4.3.3 Behavior Analysis

지금까지 널리 사용되어왔던 적합도 검정법외에 최근에는 원자료의 분산도, 왜곡도 및 첨도 등의 통계특성치의 직접적인 비교 및 상호간의 관계를 도식한 모멘트비도(moment ratio diagram)를 통하여 보다 광범위하게 원자료의 확률분포를 판단하는 기법이 제안되었으며, 이를 위하여 Monte Carlo Simulation 기법을 통해 원자료와 동일한 개수의 자료집단을 모의 발생하여 모의집단의 통계특성치와 원자료의 통계특성치를 비교함으로써 원자료(표본자료)의 통계특성치가 근본적으로 가지는 표본오차(sampling error)의 임의성을 간접적으로 비교하는 방법이 사용된 바 있다(Landwehr 등, 1978).

본 연구에서는 인도교 지점의 연최대 홍수량 계열 자료(총 68년자료)로 부터, 12개 확률분포형의 매개변수 값을 계산한 후, 이를 이용하여 각 분포형을 따르는 모의집단을 발생시켰으며 이때 모의집단의 발생을 위해서는 Monte Carlo Simulation 기법을 사용하였다(윤용남, 1986). 원자료의 자료년수가 68년 이므로, 모의 발생된 자료집단의 자료수도 68개가 되도록 하였으며, 각 분포형별, 매개변수 산정방법별로 이와같은 모의집단을 총 200개씩 발생시켰다.

이와 같이 발생된 모의집단의 변동계수, 왜곡도계수 및 첨도계수를 각각 구하였으며, 이를 그림 3 및 4와 같이 각 확률분포형별, 매개변수 산정방법별 모의집단

표 6. 확률분포형별 검정 기준치

확률 분포형	Δx	χ ² -test			K-S test
		2000 m ³ /sec	3000 m ³ /sec	4000 m ³ /sec	Max F _n -S _n
Normal	기준치	23.70	16.90	12.60	0.1649
	M M	55.44	40.54	32.28	0.1467
	L M	75.19	55.03	44.50	0.1336
2-para Log Normal	기준치	23.70	16.90	12.60	0.1649
	M M	97.27	16.11	7.60	0.0579
	M L	31.08	11.94	6.75	0.0823
	L M	25.68	12.18	7.77	0.0866
3-para Log Normal	기준치	22.40	15.50	11.10	0.1649
	M M	23.42	13.81	7.88	0.0579
	M L	24.17	14.22	8.04	0.0563
Type-1 Extremal	기준치	23.70	16.90	12.60	0.1649
	M M	22.99	13.78	7.85	0.0595
	M L	22.93	13.50	7.70	0.0802
	PWM	23.26	13.92	7.88	0.0584
Type-2 Extremal	기준치	23.70	16.90	12.60	0.1649
	PWM	34.09	23.07	16.52	0.0878
Type-3 Extremal	기준치	22.40	15.50	11.10	0.1649
	M M	22.74	13.76	10.38	0.0678
	PWM	23.92	19.67	9.16	0.0651
General Extremal	기준치	22.40	15.50	11.10	0.1649
	PWM	21.42	11.72	6.93	0.1072
Pearson typt-III	기준치	22.40	15.50	11.10	0.1649
	M M	21.99	13.10	8.85	0.0658
Log Pearson type-III	기준치	22.40	15.50	11.10	0.1649
	M M	29.72	18.16	12.11	0.1538
Generalized Logistic	기준치	22.40	15.50	11.10	0.1649
	L M	32.11	21.59	15.24	0.1335

M M : method of moments
M L : method of maximum likelihood
PWM : method of probability weighted moments
L M : method of L-moments

의 변동계수에 대한 왜곡도계수 및 왜곡도계수에 대한 첨도계수를 표시한 이른바 모멘트비도(moment ratio diagram)를 표시하였다(Cunnane, 1989).

그림 3 및 그림 4의 모멘트비도에서 굵은 점은 자료 집단의 변동계수, 왜곡도계수 및 첨도계수의 관계를, 가는 점으로 표시되어 있는 점들은 200개의 모의발생된 집단들의 특성계수간 관계를 표시하고 있다. 각 분포형별로 모의발생된 자료치들의 통계특성치와 원자료의 통계특성치를 모멘트비도를 통해 비교한 결과는 대체로 Normal, Type-2 Extremal, Log-Pearson Type-III, 그리고 Generalized Logistic 분포를 제외한 대부분의 분포에 의한 결과가 원자료의 통계특성치와 부합하는 것으로 판단된다.

4.3.4 Robustness Test

4.3.3절에서 모의발생된 200개 자료집단의 통계특성치를 계산하여 12개 분포형의 매개변수 산정방법별로 200년 빈도 확률홍수량을 산정하였다. 이와같이 산정된 확률홍수량들의 평균 및 표준편차를 구하였으며, 이 값들이 원자료로부터 산정한 확률홍수량에 대한 상대 평방근 오차합(RRMSE), 그리고 이 값들의 평균과 원자료로부터 구한 확률홍수량과의 차이(편의도)를 각각 계산하여 각 분포형별, 매개변수 산정방법별로 표 7에 제시하였다. 표에서 상대 bias는 2-parameter Lognormal 분포의 경우가 비교적 큰 것을 볼 수 있다. 상대 평방근 오차합을 보면 2-parameter Lognormal, General Extremal, Wakeby, 그리고

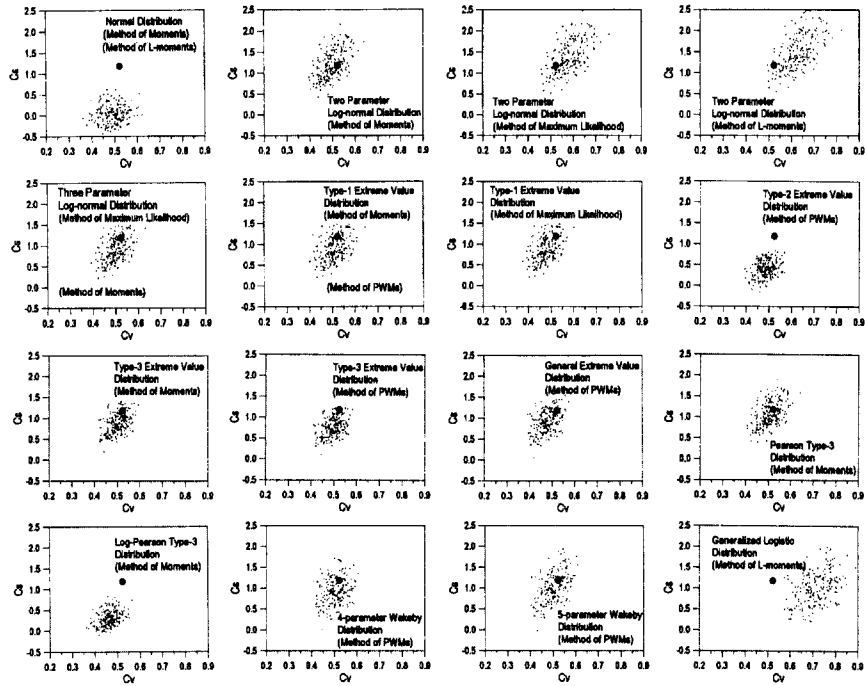


그림 3. 모멘트비도 ($C_v - C_s$ 관계)

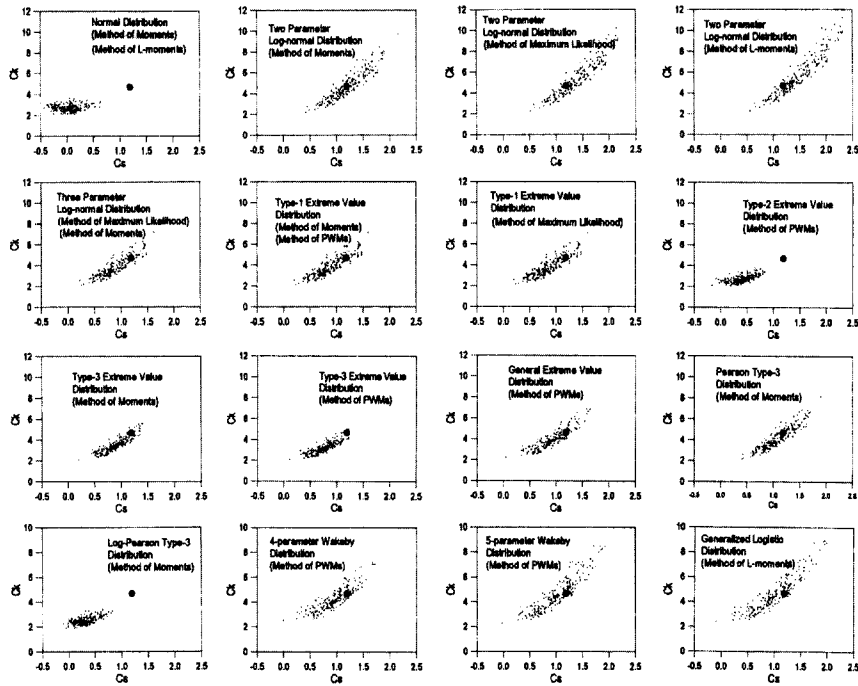


그림 4. 모멘트비도 ($C_s - C_k$ 관계)

표 7. Robustness Test 결과표

확률분포형		Mean : \bar{Q}_T	Standard Deviation: S_{Q_T}	Relative Bias : b_T	Relative Root Mean Square Error
Normal	M M	30,280	1,460	-0.017	0.050
	L M	29,620	1,440	-0.001	0.049
2-para Log Normal	M M	39,160	4,190	-0.052	0.114
	M L	47,690	5,780	-0.034	0.129
	L M	63,480	8,570	+0.157	0.221
	M M	35,640	3,580	-0.074	0.119
3-para Log Normal	M L	36,470	3,680	-0.039	0.104
	M M	37,200	2,830	-0.030	0.080
Type-1 Extremal	M L	35,780	1,930	-0.064	0.082
	PWM	40,560	3,030	+0.063	0.102
Type-2 Extremal	PWM	32,650	2,430	-0.002	0.075
Type-3 Extremal	M M	35,150	3,230	-0.071	0.111
	PWM	35,630	3,390	-0.016	0.095
General Extremal	PWM	35,090	17,560	+0.065	0.538
Pearson type-3	M M	37,490	3,970	-0.031	0.112
Log Pearson type-3	M M	29,980	3,540	+0.057	0.138
4-parameter Wakeby	PWM	38,240	5,080	-0.054	0.137
5-parameter Wakeby	PWM	39,710	6,320	-0.092	0.171
Generalized Logistic	L M	52,950	12,340	+0.048	0.249

Generalized Logistic 분포가 큰 오차값을 보여주고 있는 것을 볼 수 있다.

4.3.5 적정 분포형의 결정

한강 인도교 지점의 연최대 홍수량 계열 자료의 통계특성치를 가장 잘 구현하는 확률분포형을 결정하기 위하여 이상의 분석의 결과를 토대로 각 분포형별 적정성을 판단하기 위해 표 8과 같이 각 test별 결과를 종합하였으며, 본 연구에서는 Three-parameter Lognormal, Type-1 Extreme Value, Type-3 Extreme Value, Pearson Type-III Distribution의 4개 분포를 한강 인도교지점의 연최대 홍수량 계열에 적합한 분포로 선정하였다.

4.4 한강 인도교 지점의 빈도홍수량 결정

한강 유역은 현재 화천댐, 소양강댐 및 충주댐 등의 홍수조절능력을 가지고 있는 다목적댐군이 위치하고 있으며, 각 댐의 홍수조절 효과로 인하여 댐건설 전·후의 한강 하류의 홍수량은 변화하는 성향을 가진다. 따라서 본 연구에서는 4.3절에서 선정한 4개의 적정분포형에 대하여 빈도해석을 실시하되, 소양강댐의 건설 이전(1967년)과 이후의 연최대 홍수량자료에 대하여 각각 빈도해석을 실시하고 그 차이를 비교하여 최종 빈도홍수량을 산정하고자 하였다. 즉 1918년~1967년(기간-1), 1968

년~1992년(기간-2), 그리고 전기간에 대한 연최대홍수량 계열(전체)을 각각 사용하여 빈도해석하여 100년 및 200년 빈도 홍수량을 계산하였으며 그 결과는 표 9와 같다.

표 9에 총 8개의 확률분포형 및 매개변수 산정법(D/E)에 의해 산정된 빈도홍수량들의 평균치를 표시하였으며, 계획홍수량을 결정하기 위하여 각 D/E의 빈도홍수량중 가장 큰 값을 기준으로 대표치를 산정하였다.

한강유역에 존재하는 댐중 소양강댐과 충주댐의 홍수조절용량이 매우 크므로, 두 댐의 홍수조절 효과로 인해 일반적으로 댐 건설이후의 홍수량이 그 이전보다 감소할 것은 자명한 사실이다. 그러나 표 9에서 댐건설 이전(기간-1, 자료기간 43년)의 홍수량자료로부터 산정한 평균빈도 홍수량의 값이 100년 빈도의 경우 31,420 m³/sec 인데 반하여 댐 건설이후(기간-2, 자료기간 25년)의 자료부터 구한 빈도홍수량의 값은 39,110 m³/sec로 매우 크게 산정된 것을 볼 수 있다. 이것은 댐의 홍수조절효과로 인한 영향 보다는 1968년 이후에 대규모 홍수가 자주 발생한(1972년, 1984년 및 1990년) 때문인 것으로 판단되며, 특히 기간-2의 자료기간이 짧기 때문에 상대적으로 이 홍수들의 영향이 크게 고려된 때문인 것으로 판단된다. 따라서 한강 하류의 빈도홍수량 산정시 댐의 홍수조절효과를 고려하기 위해

표 8. 적정 확률 분포의 선정을 위한 test 결과 비교표

확률분포형		Visual Inspection	Goodness of fit Test		Behavior Analysis		Robustness Test
			χ^2 -test	K-S test	Cv - Cs	Cs - Ck	
Normal	M M	×	×	○	×	×	○
	L M	×	×	○	×	×	○
2-para Log Normal	M M	△	△	○	○	○	△
	M L	△	△	○	○	○	○
	L M	△	△	○	△	○	×
3-para Log Normal	M M	○	△	○	○	○	△
	M L	○	△	○	○	○	○
Type-1 Extremal	M M	○	○	○	○	○	○
	M L	○	○	○	○	○	△
	PWM	○	○	○	○	○	△
Type-2 Extremal	PWM	×	×	○	×	×	○
Type-3 Extremal	M M	○	○	○	○	○	△
	PWM	○	△	○	○	○	○
General Extremal	PWM	○	○	○	○	○	△
Pearson type-3	M M	○			○	○	○
Log Pearson type-3	M M	×			×	×	○
4-parameter Wakeby	PWM				○	○	△
5-parameter Wakeby	PWM				○	○	△
Generalized Logistic	L M	×	×	○	×	○	△

○ : Good, △ : Moderate, × : Bad

표 9. 각 자료기간별 인도교 지점의 빈도 홍수량 산정치

(단위: m³/sec)

분포형	계열		기초 홍수량			수정 홍수량		
			기간-1	기간-2	전 체	기간-1	기간-2	전 체
Three-parameter Lognormal	100년	MM	31,100	39,790	34,690	27,560	38,760	32,740
		ML	31,580	37,300	34,250	27,850	36,360	33,630
	200년	MM	33,970	44,720	38,480	29,930	43,640	36,460
		ML	34,600	41,730	37,950	30,310	40,750	37,640
Type-1 Extreme Value	100년	MM	32,060	38,930	34,640	28,800	37,680	32,200
		ML	31,880	34,850	34,600	28,560	33,620	31,480
		PWM	32,400	38,380	34,470	29,210	37,030	31,940
	200년	MM	35,350	43,380	38,360	31,690	41,970	35,750
		ML	35,170	38,650	38,230	31,460	37,260	34,790
		PWM	35,750	42,730	38,160	32,170	41,210	35,320
Type-3 Extreme Value	100년	MM	30,770	39,850	34,570	27,220	38,890	32,730
		PWM	29,670	41,180	33,320	26,550	39,770	30,930
	200년	MM	33,200	44,140	37,820	29,220	43,150	35,930
		PWM	31,800	45,950	36,210	28,360	44,360	33,590
Pearson Type-3	100년	MM	31,930	42,620	35,490	28,210	41,580	33,570
	200년	MM	35,010	48,470	39,380	30,730	47,390	37,370
평 균 치	100년		31,420	39,110	34,500	28,000	37,960	32,420
	200년		34,360	43,720	38,070	30,360	42,470	35,860
채 택 치	100년		32,000	42,500	35,500	29,000	41,000	33,500
	200년		35,500	48,500	39,000	32,000	47,000	37,500

서는 본 연구에서 실시한 바와 같이 원자료(기초홍수량) 및 홍수조절 효과를 고려한 홍수량(수정홍수량)을 각각 구하여 이로부터 빈도해석을 실시하는 것이 바람직한 방법인 것으로 사료되며, 댐군의 홍수조절 효과는 재현기간 100년 이상인 홍수의 경우 약 2,000 m³/sec 정도인 것으로 계산되었다.

즉, 한강 인도교 지점의 100년 빈도 및 200년 빈도의 확률홍수량은 댐의 홍수조절 효과를 고려하지 않았을 경우 각각 35,500 m³/sec 및 39,000 m³/sec이므로 이 값에 댐의 홍수조절 효과를 추가로 고려하여 한강 하류의 홍수량 혹은 홍수위등의 분석을 실시하는 것이 바람직 하며, 댐의 홍수조절효과를 고려하는 데에 어려움이 있을 경우에는 수정홍수량으로부터 산정한 빈도홍수량의 값(100년 : 33,500 m³/sec, 200년 : 37,500 m³/sec)을 기존홍수량으로 채택하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 본 연구의 대상 하천구간인 한강하류부에 대해 고시되어 있는 계획 홍수량은 37,000 m³/sec로 본 연구결과로 얻어진 200년 빈도 홍수량과 거의 비슷하며 기후변동 등으로 인한 홍수량의 증가성향을 고려하면 현 고시홍수량을 그대로 고수하는 것이 좋은 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 1918년 부터 현재에 이르기까지의 한강 인도교 지점의 각종 홍수자료를 수집하여 연최대홍수량 계열을 작성하였고 또한 한강 하류지점의 하천단면변화 및 상류에 설치된 각종 댐의 홍수조절 영향을 각각 검토한 후 인도교지점의 100년 및 200년 빈도 홍수량을 산정하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 한강유역의 주요지점인 한강 인도교 지점의 수위 및 유량 측정자료, 수위-유량 관계곡선 등의 각종 자료를 수집하여 1918년부터 1992년에 이르는 총 68개년의 연최대 홍수량 계열을 작성하였다.

(2) 한강 하류의 단면변화 및 다목적댐의 홍수조절 효과가 첨두홍수량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각종 홍수조절용 댐의 건설년도를 기준으로하여 상대적인 첨두홍수량의 변화양상을 표로 제시하였다.

(3) 연최대 홍수량계열의 확률분포형을 객관적으로 판단하기 위하여 확률밀도함수의 형태, 적합도 검정법, 모멘트비도 및 Robustness Test 등의 방법을 사용하여 인도교 연최대 홍수량 계열의 적정분포로 Three-parameter Lognormal, Type-1 Extreme

Value, Type-3 Extreme Value, 그리고 Pearson Type-III Distribution의 4가지 분포를 제시하였다.

(4) 적정분포를 사용하여 빈도해석을 실시한 결과 100년 및 200년 빈도홍수량이 각각 35,500 m³/sec 및 39,000 m³/sec로 계산되었으며, 댐의 홍수조절 효과를 고려하였을 경우에는 33,500 m³/sec 및 37,500 m³/sec로 계산되었다. 본 연구에서 산정한 빈도홍수량의 값은 한강하류의 각종 하천구조물 및 수방구조물의 설계 및 운영에 기준으로 사용될 수 있을 것이다.

(5) 본 연구결과로 얻어진 200년 빈도 홍수량은 37,500 m³/sec로서 현재의 고시홍수량 3,7000 m³/sec과 거의 비슷하며 기후변화등으로 인한 홍수량의 증가성향을 감안할 때, 현 고시홍수량을 그대로 고수하는 것이 안전측일 것으로 생각된다.

감사의 말

본 연구는 건설교통부가 1994~1995년에 걸쳐 한국수자원학회에 연구 위탁한 “한강종합개발에 따른 하천 정비보완조사(필당댐-행주구간의 계획홍수량 재검토)”에 대한 연구결과물의 일부이며, 연구비를 지원해 준 관계당국에 심심한 사의를 표한다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1964). 한국수문조사년보.
 건설부 (1978). 한강수위관측지점 유량측정 및 조사 측량보고서.
 건설부 (1982, 1983, 1987, 1988, 1989). 홍수량측정 조사보고서.
 건설부 한강홍수통제소 (1990). 홍수량측정조사보고서.
 내무부 토목국 (1958). 한국하천요람.
 윤용남 (1986). 공업수문학. 청문각. p. 420, p. 494.
 조선총독부 (1929). 조선하천조사서.
 한강홍수통제소 (1986). 한강홍수에경보.
 한강홍수통제소 (1991). 한강유역유량측정 및 유출분석 보고서.
 Cunnane, C. (1989). *Statistical distributions for flood frequency analysis*. Secretariat of the WMO, Geneva, Switzerland.
 Hydrologic Engineering Center (1981). *HEC-1 flood hydrograph package Users manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
 Hosking, J.R.M. (1986). *The theory of probability*

weighted moments. IBM Math. Res. Rep. RC12210, Yorktown Heights, New York.

Kite, G.W. (1978). *Frequency and risk analysis in hydrology*. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.

Landwehr, J.M., Matalas, N.C. and Wallis, J.R.

(1978). "Some comparisons of flood statistics in real and log space." *W.R.R.*, Vol. 14, No. 5, pp. 902-920.

(논문번호:97-044/접수:97.06.16/심사완료:98.07.03)