

## 우리나라의 빈도홍수량의 추정 Estimates of Regional Flood Frequency in Korea

김남원\* / 원유승\*\*

Kim, Nam Won / Won, Yoo Seung

### Abstract

Flood frequency estimate is an essential index for determining the scale of small and middle hydraulic structure. However, this flood quantity could not be estimated directly for practical design purpose due to the lack of available flood data, and indirect method like design rainfall-runoff method have been used for the estimation of design flood. To give the good explain for design flood estimates, regional flood frequency analysis was performed by flood index method in this study. First, annual maximum series were constructed by using the collected data which covers from Japanese imperialism period to 1999. Wakeby distribution recommended by WMO(1989) was used for regional flood frequency analysis and L-moment method by Hosking (1990) was used for parameter estimation. For the homogeneity of region, the discordance and heterogeneity test by Hosking and Wallis(1993) was carried for 4 major watersheds in Korea. Physical independent variable correlated with index flood was watershed area. The relationship between specific discharge and watershed area showed a type of power function, i.e. the specific discharge decreases as watershed area increases. So flood quantity according to watershed area and return period was presented for each watershed(Han river, Nakdong river, Geum river and Youngsan/Seomjin river) by using this relation type. This result was also compared with the result of point frequency analysis and its regionalization. It was shown that the dam construction couldn't largely affect the variation of peak flood. The property of this study was also examined by comparison with previous studies.

**Keywords** : Regional flood frequency analysis, Wakeby distribution, L-moment, Hydrologic homogeneity

### 요 지

빈도홍수량은 중·소 수공구조물의 설계에 중요한 지표로서 매우 중요하나, 자료의 부족과 설계 관습으로 인하여 홍수량을 직접해석하여 사용하지 못하고 있는 실정으로 설계호우-단위도법과 같은 간접적인 홍수량추정방법이 이용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 수집가능한 일제시대부터 1999년까지 망라한 국내 침투홍수량 자료를 수집하여 연최대치 계열을 작성하고 지수홍수법에 의해서 지역홍수빈도분석을 수행하였다. 지역홍수빈도분석을 위해서 사용된 분포는 WMO(1989)가 권장한 Wakeby 분포였으며, 매개변수 추정은 Hosking(1990)의 L-모멘트를 이용하였다. 지역의 수문학적인 동질성을 위해서 Hosking과 Wallis(1993)의 불일치성, 이산성의 검정을 따랐다. 지수홍수와 상관시킨 물리적인 독립 변수는 유역면적이고, 이는 비유량이 유역면적이 커짐에 따라 작아지는 소위 멱함수 형태를 잘 따르고 있었다. 우리나라 주요유역을 4개의 유역 즉, 한강, 낙동강, 금강, 영산/섬진강으로 나누어 유역별 재현기간별 홍

\* 정희원, 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원  
Research Fellow, Water Resources Research Dept., KICT, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea,  
(E-mail: nwkim@kict.re.kr)

\*\* 정희원, 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원  
Researcher, Water Resources Research Dept., KICT, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-721, Korea

수량을 이러한 형태로 제시하였다. 또한 비교를 위해서 점빈도분석에 의한 지역화를 수행하여 지역빈도 분석의 결과와 비교하였다. 댐 개발전과의 비교에서는 댐의 역할이 침투홍수량의 변화에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 이 결과를 기존의 타 연구와 비교함으로써 본 연구의 타당성을 구체화할 수 있었다.

**핵심용어** : 지역홍수빈도분석, Wakeby 분포, L-모멘트, 수문학적 동질성

## 1. 서론

우리나라는 수자원의 효과적인 이용과 홍수로부터 초래되는 피해를 줄이기 위해서 하천에 수공구조물이 설치되거나, 많은 공사가 오래 전부터 이루어져 왔다. 하천설계개념이 분명하지 않은 조선시대에도 하천공사 관련기록은 총 132회나 되었으며(김현준, 1998), 20세기 이후에는 이수와 치수의 목적으로 구축되는 대·소 수공구조물이 점점 많아지게 되었다(건설부, 1991). 이러한 수공구조물의 수문학적 설계를 위한 기본 입력자료는 홍수량이며, 특정구조물의 사회·경제적 측면을 함께 고려하여 결정된 홍수량을 설계 홍수량(design flood)이라 한다. 일반적으로 중·소 수공구조물의 설계 홍수량은 홍수량의 상대빈도 이론과 구조물의 사회·경제적 측면을 함께 고려하는 빈도홍수량이 주로 이용된다. 즉, 실제 수공구조물의 설계홍수량을 위해서는 반드시 홍수량 자료를 분석하는 것이 필요하나, 홍수량 자료가 없는 미계측 지역의 경우가 많고, 계측되었다고 하더라도 지배유역계의 변화, 자료기록기간 또는 신뢰성 등의 문제를 가지고 있다.

우리나라 수공구조물의 경우 홍수량자료의 부족과 신뢰성 문제로 홍수량자료에 의해서 직접 설계 및 평가되지 못하고, 소위 설계강우-단위도법에 의해서 빈도홍수량을 추정하는 등 간접적인 빈도홍수량 추정 방법이 표준방법으로 자리매김하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 간접적인 홍수량 추정방법은 절차에 불확실성이 많이 포함되어 있기 때문에 실제 적용에 있어서 여러 제약이 뒤따른다(건설부, 1991). 더욱이 이 방법의 정교성과 타당성에 대해서는 논의조차 어려운 실정으로 홍수빈도분석 및 분석된 자료에 대한 정교한 해석과 토의가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 한편, 홍수량 자료의 부족으로 우리나라에서는 잘 사용되고 있지 않지만 실제적으로 설계홍수량을 추정하는 유용한 방법은 여러 지점에서 계측된 홍수빈도분석 자료를 이용하여 지역적인 인자와 상관해석을 통하는 소위 지역홍수빈도해석 결과를 이용하는 것이다. 이것은 지역의 수문학적 동질성과 유역의 흐름영역이 주요한 제약조건으로 작용하나, 이의 타당성이 성립된다면 지역의 균형된 홍수량 해석을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 미계측 유역의 홍

수량을 정교하게 추정할 수 있다. 즉, 이 방법의 결과는 설계강우-단위도법의 정해(exact solution)를 나타내는 장점을 가지고 있다. 물론 이와 같이 지역빈도분석의 일관성을 얻기 위해서는 그 지역에 많은 홍수량 관측자료가 요구된다.

근래 들어 우리나라에는 많은 지점에서 수위관측과 유량측정이 이루어지고 있으며, 소위 수위-유량관계(rating curve)에 의해서 수위자료를 유량으로 환산할 수 있으며, 더욱이 홍수빈도분석을 수행할 수 있을 정도의 상당한 자료기록기간을 가지고 있다. 특히, 건설부(1993)는 일제시대의 조선하천조사서부터 1990년대까지 우리나라 유역의 홍수량자료를 취합하고, 집대성하여 홍수빈도분석에 대한 새로운 장르를 열었다고 해도 과언이 아니다.

본 연구에서는 이러한 홍수량 자료를 수집 및 분석하고, 우리나라 주요하천인 한강, 낙동강, 금강, 영산/섬진강 유역에 대한 지역홍수빈도분석을 통하여 유역별 빈도홍수량의 지역적인 특성을 정의하고자 하였다. 이를 위해서 먼저 홍수빈도분석 결과의 지역화에 대한 논의를 수행한 후, 지역홍수빈도분석 방법에 따른 해석의 차이를 고찰하고, 유역별 지역홍수빈도분석 결과를 비교·고찰한다.

## 2. 지역홍수빈도분석의 연구동향

미계측 유역에 대해서 빈도 홍수량을 추정하는 방법은 단순홍수량공식, 설계호우-단위도법, 지역홍수빈도분석법, 동역학적홍수법 등으로 나눌 수 있으며, 각 방법은 주어진 환경에 따라 모두 장·단점을 가지고 있다. 여기에서는 지역홍수빈도분석법에 대해서만 고찰한다.

Burnham(1980)은 홍수량 자료가 없거나 있어도 자료기록기간이 매우 짧은 경우 자료기록기간이 긴 지역에서 빈도분석한 결과치와 유역특성인자간의 관계를 해석한 것을 지역빈도분석 결과라고 정의하고, 분석방법에 따라  $Q_t$ 의 통계적 추정법, 모멘트추정법, 지수홍수법, 전이법으로 분류하였다.  $Q_t$ 의 통계적추정법은 계측된 여러 지점에서 빈도홍수량을 작성한 후 특정재현기간의 홍수량과 기상학적 또는 물리적 요소와 상관시켜 회귀식을 유도한 후, 잔차를 분석하는 회귀식과 잔차항의 함수로 표현되는 방법이다. 모멘트 추정법은 계측된 여

러 지점에서 1, 2, 3차 모멘트를 추정된 후 이 모멘트와 기상학적 또는 물리적인 요소와 상관시켜 회귀식을 유도하는 방법이다. 지수홍수법은 일정한 재현기간 또는 평균홍수량에 대한 지역적인 관계를 작성하고, 나머지 재현기간은 지수홍수에 대한 무차원 빈도곡선을 이용하는 방법이다. 전이법은 타지역의 빈도홍수량을 수문학적 동질성을 가정하여 유역면적비법만을 이용하여 사용하는 방법이다. 각 방법이 상황에 따라 장·단점을 가지고 있고 그 쓰임새가 다르기 때문에(건설부, 1991) 특별히 어떤 방법이 우월하다고 할 수 없지만 WMO(1989)에서는 지수홍수법을 권장하고 있는 실정이다.

홍수빈도분석의 국제적인 연구는 홍수계열의 선정, 모형화 문제, 분포형의 서술능력 및 예측능력과 로버스트니스(robustness), 그리고 매개변수 추정, 지역빈도분석 방법에 초점을 맞추어 왔다. 이에 대한 자세한 설명은 건설부(1993)를 참조할 수 있다.

국내의 경우 윤태훈(1973)은 전국 수계에 대해 2변수 대수정규분포를 이용하여 유역면적 654.3~25,046.0km<sup>2</sup>의 범위를 가지는 12개 유역에 대해 지역빈도 분석을 수행하였고, 홍수빈도분석을 수행한 후, 자료의 모멘트를 유역특성인자와 상관시키는 모멘트 추정방법으로 경험식을 제시하였다. 고재웅(1977)은 전국 5대 하천 중 유역면적 551.4~2,473.2km<sup>2</sup> 범위를 가지는 24개 소유역에 대해 20년간의 홍수자료를 이용하여 빈도분석을 수행하였으며, 이때 이용된 방법은 Hazen 방법, Log Pearson Type III, Gumbel-Chow 방법이며, 각 방법에 의한 빈도분석결과와 중간치를 이용하여 재현기간 2.33년의 홍수량과 유역면적을 상관시켜 최종결론을 유도하였다. 양동률과 고재웅(1981)은 고재웅(1977)과 동일한 소유역을 대상으로 Gumbel-Chow 방법과 Weibull 도 시위치 공식을 이용하여 지역빈도분석을 수행한 후, 유역면적과 상관시켜 재현기간별 홍수량을 추정할 수 있는 경험식을 제안하였으며, 이 식은 지금까지 국내에서 적용성이 뛰어난 유일한 경험식이 되었다. 연기석(1990)은 IHP 대표시험유역인 평창강, 보청천, 위천을 대상으로 Log Pearson Type III 분포를 이용하여 대표 시험유역별 지역빈도분석 결과를 유역면적과 재현기간의 함수로 홍수량을 산정하는 경험식을 제시하였다.

또한, 건설부(1993)는 수자원관리기법개발연구조사 일환으로 우리나라 35개 지점을 대상으로 일제시대부터 1993년까지 수집가능한 모든 순간홍수량 자료를 수집 및 정리하였으며, 이를 이용하여 지역빈도분석을 수행하였다. 각 지점의 자료년수는 약 45개년이다. 최종적으로 빈도분석에 고려된 관측소는 28개 지점이고, 확률분포형으로 Wakeby 분포, 매개변수 추정방법으로 L-모

멘트 방법을 이용하여 지역빈도 분석을 수행하였다. 이는 일종의 지수홍수법과 유사한 방법으로 전국의 대유역별 재현기간에 따른 분위수와 홍수량과 유역면적을 상관시킨 경험식을 제시하였다.

한편, 김남원(1994)은 IHP 유역을 대상으로 약 12년간의 부분치 계열의 홍수자료를 이용하여 확률분포형은 Wakeby 분포, L-모멘트법으로 지역빈도분석을 수행한 후, 유역면적 500km<sup>2</sup> 이하의 자연유역에 대해 적용할 수 있는 경험관계를 제시하였다.

이후, 국내 자료를 이용하여 지역홍수빈도분석에 의한 빈도홍수량의 특성을 논의한 연구는 찾기 힘들며, 대체로 지점홍수빈도해석 및 지역홍수빈도분석방법에 초점을 맞추고 있다. 지점홍수빈도분석의 경우 이승재 등(1995), 윤용남과 원석연(1998)의 연구를 대표적으로 들 수 있는데, 이는 특정한 지점에 대한 독특한 상황을 고려하여 홍수량을 해석한 것으로 평가할 수 있다. 지역빈도분석방법에 대한 비교를 위해 이순혁 등(1998, 1999, 2001)은 국내의 5개 지점에 대하여 L-모멘트 방법에 따른 홍수빈도분포를 비교·평가하였으나, 홍수량의 특성에 대해서는 논의하지 않았다. 허준행과 이동진(2000)은 미국 15개 지점자료의 매개변수와 모의치를 비교 검토한 결과 L-모멘트 방법에 의한 지역빈도분석 결과의 신뢰성에 의문을 제기하였다. 한편 차영일 등(2001)은 건설부(1993)와 같은 방법을 이용하여 네팔 차멜리아 지역을 중심으로 지역홍수빈도분석을 수행한 후, Kernel Regression에 의해 홍수량 특성을 논의한 것이 이색적이다.

### 3. 지역홍수빈도분석 방법의 선택

#### 3.1 지역홍수빈도 분석방법과 확률분포

Burnham(1980)이 설명한 4가지 지역홍수빈도분석 방법 모두가 수문학적인 동질성을 강조하고 있다. 수문학적으로 동질성이 있는 지역에서 한 지점의 성질을 대표한 지점홍수빈도분석 보다 동일한 성질을 가지는 여러 개의 정보를 한꺼번에 얻고자 하는 것이 지역홍수빈도분석이기 때문에 이론적으로나 실제적으로 매우 합리적이라고 할 수 있다. 예를 들어, 어느 유역에서 하류지점의 홍수는 상류의 여러 지점의 홍수량에 의한 귀결이기 때문에 다른 지점이 홍수특성과 무관하지 않게 된다. 그러나 많은 자료가 있을 경우 어디까지를 수문학적으로 동질하게 볼 수 있는지가 중요한 변수로 작용하며, 이에 대한 설명은 현실적으로 어렵다.

본 연구에서는 수문학적인 동질성에 대한 설명을 홍수빈도의 성장곡선과 함께 고려한 Hosking과 Wallis

(1993)의 통계적인 제안을 채택하였다. 이 방법은 Darymple(1960)에 의해 제안된 지수홍수법을 L-모멘트 이론에 알맞게 수정한 것으로 자세히 후술한다.

이 지역홍수빈도분석 방법은 Hosking과 Wallis (1993)에 의해 규정된 수문학적 동질성을 가정할 수 있는 유역내 계측된 여러 지점에서 홍수빈도분석을 수행한 후 빈도곡선을 작성하고, 평균 홍수량을 지수홍수로 설정한 후, 각 지점별 빈도곡선에 대해 이를 나눈 후 지점별 무차원 빈도곡선의 중간 값을 나타내는 평균 무차원 빈도곡선을 유도하는 것이다. 이 방법의 평균 무차원 빈도곡선의 작성은 전통적으로 무차원 모멘트에 의해서 결정되는 것과 같이 L-모멘트에서도 비슷한 형태를 취한다.

지역홍수빈도분석시 확률분포의 선택이 매우 중요한데, 본 연구에서는 자료에 의한 선택보다는 WMO (1989)가 추천하고, Hosking(1990, 1993)과 Institute of Hydrology(1999)에 의해 그 우월성이 입증된 다음과 같은 Wakeby 분포를 지수홍수법을 위한 대표적인 확률분포로 채택하였다.

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} [1 - (1 - F(x))^\beta] - \frac{\gamma}{\delta} [1 - (1 - F(x))^{-\delta}], F(x) = P(X \leq x) \quad (1)$$

기존의 확률분포는 확률밀도함수(probability density function,  $f(x)$ )나 분포함수(distribution function,  $F(x)$ )를 가지고 있는 반면 식 (1)의 Wakeby 분포는 이러한 형태로 표시되지 않고 분포함수의 역형(inverse form),  $x(F)$ 만이 존재하는 확률분포이다. 다시 말하면 누가밀도함수 또는 분포함수는 주어진 값에 누가확률을 구하는 것이라면, 누가함수의 역형( $x(F)$ )은 주어진 확률의 값을 구하는 것이다. 식 (1)의  $\xi, \alpha, \beta, \delta, \gamma$ 는 Wakeby 분포의 5개 매개변수로 확률가중모멘트 또는 L-모멘트에 의해서만 계산될 수 있다. Wakeby 분포는 WMO(1989), 건설부(1993)에서 누누이 강조하였듯이 지점빈도분석보다는 지수홍수법에 의한 지역빈도분석에 강점을 가지고 있는 분포이다. 물론, 확률분포의 선택은 후술할 L-모멘트 비와 Hosking과 Walls(1997)가 제안한 분포형 채택방법을 선택할 수 있지만 특별한 장점이 없다고 보아 제외하였다(WMO, 1989).

같은 수문학적인 동질성하에서 지점별 홍수빈도분석의 결과를 지역화한 값이 어떻게 거동하는지 살펴보기 위해서  $Q_t$  통계적 추정법이 비교·분석되었다. Wakeby

분포는 여러 매개변수의 상호 균형을 유지하여 분포의 로버스트니스(robustness)를 강하게 함으로서 "지역"빈도분석에 적절한 반면, 지점의 경우 많은 매개변수는 자료적합의 자유도를 잃어버리고, 대표성을 잃게 하는 성향을 가지고 있다. 대체로 "지점"빈도 분석의 적정분포형의 선택은  $\chi^2, K-S$  등 적합도 분석을 통해서 얻어지는 것이 일반적이거나 실제로 이러한 방법은 모분포에 대한 추론이라기보다는 자료의 적합성만을 구체화한다. 따라서 이러한 분포의 검정은 표본분리검정(split sample test), 거동검정(behavior test)로 이루어져야 하나, 본 지점빈도분석이 단순히 지역빈도분석을 대한 비교분석을 위한 것이기 때문에 기 연구에서 검정된 결과를 따랐다. 본 연구에서는 고재웅(1977)의 연구에서 기 사용하였고, NERC(1975), 건설교통부(2002) 등에서도 그 적용성이 입증된 EVI(Extreme Type I)를 "지점"빈도분석의 확률분포로 선택하였다.

$$x(F) = \mu + \alpha(-\ln(-\ln F(x))) \quad (2)$$

### 3.2 확률가중 모멘트와 L-모멘트

본 연구에서 선정된 지역빈도분석 확률분포형인 Wakeby 분포는 현재까지 확률가중모멘트(probability weighting moment, PWM) 또는 L-모멘트에 의해 그 매개변수를 찾을 수 있다. Greenwood 등(1979)에 의하면  $x$ 를 분포함수  $F(x)$ 에 따른 무작위 변량이라고 가정하면  $x$ 의 PWM은 다음과 같다.

$$M_{p,r,s} = E[x^p F(x)^r (1 - F(x))^s] = \int_0^1 x^p F(x)^r (1 - F(x))^s dF(x) \quad (3)$$

여기서  $p, r, s$ 는 실수이다. 일반적인 모멘트 방법이 자료치에 가중을 주는 반면, PWM은 확률에 가중을 주는 방법으로서 식 (3)은 이들 모두를 포함하여 모멘트의 일반적인 형태로 작성된 것이다. 즉, 자료치에 가중을 주지 않기 때문에 PWM에서  $p$ 는 항상 1이 되며, 또한 초과확률 또는 미초과확률을 이용하느냐에 따라서  $F(x)$ 항이든  $(1 - F(x))$ 항이든 하나의 항만 사용하게 된다. 따라서 PWM은  $M_{1,0,s}$ 와  $M_{1,r,0}$ 만이 이용된다. 이를 같은 표기로 표시하면 다음과 같다.

$$\alpha_{\gamma(=s)} = M_{1,0,s} = E[X(1 - F(x))^s] = \int_0^1 X(1 - F(x))^s dF(x) \quad (4)$$

$$\beta_{\gamma(=r)} = M_{1,r,0} = E[XF(x)^r] = \int_0^1 XF(x)^r dF(x) \quad (5)$$

$$\alpha_\gamma = \sum_{k=0}^{\gamma} (-1)^k \binom{\gamma}{k} \beta_k, \quad \beta_\gamma = \sum_{k=0}^{\gamma} (-1)^k \binom{\gamma}{k} \alpha_k \quad (6)$$

식 (4)와 (5)는 상호교환적임을 두 식의 상관식인 식 (6)으로부터 알 수 있다. 식 (4)의 형태는 Greenwood 등(1979)에 의하여 Weibull, Generalized Lambda, Logistic 그리고 Wakeby 분포를 이용하여 매개변수를 추정할 때 사용하였다. 식 (5)는 그들이 EVI 그리고 Kappa분포를 분석할 때 사용하며, 후에 Hosking 등(1985)은 GEV(Generalized Extreme Value) 분포에 사용하였다.

이러한 확률가중모멘트는 확률분포의 매개변수를 정교하게 추정할 수 있는 반면, 자료의 모멘트 값처럼 위치, 규모를 나타내는 등의 특별한 의미를 가지지 않는다. 따라서 이러한 의미를 갖게 하는 형태로 확률가중모멘트를 선형의 통계량으로 나타낸 것이 L-모멘트이다. Hosking(1986)은 PWM의 특별 해인  $\alpha_\gamma, \beta_\gamma$ 의 함수로 L-모멘트를 다음과 같이 나타내었다.

$$\lambda_{\gamma+1} = (-1)^\gamma \sum_{k=0}^{\gamma} P_{\gamma,k}^* \alpha_k = \sum_{k=0}^{\gamma} P_{\gamma,k}^* \beta_k, \quad \gamma = 0, 1, \dots \quad (7)$$

여기서

$$P_{\gamma,k}^* = (-1)^{\gamma-k} \binom{\gamma}{k} \binom{\gamma+k}{k} \quad (8)$$

이고,  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{\gamma+1}$ 은 차수에 따른 L-모멘트이다. 식 (7)의 L-모멘트를 확률가중모멘트인  $\alpha_\gamma, \beta_\gamma$ 의 함수로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= E[X] = \alpha_0 & &= \beta_0 \\ \lambda_2 &= \alpha_0 - 2\alpha_1 & &= 2\beta_1 - \beta_0 \\ \lambda_3 &= \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 & &= 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \\ \lambda_4 &= \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 20\alpha_3 & &= 20\beta_3 - 30\beta_2 - 12\beta_1 - \beta_0 \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서  $\lambda_1$ 은 자료치의 평균과 같으며, 여기서는 L-평균(L mean)이라 하고  $\lambda_2$ 는 L-분산(L-variance)이다. 따라서 L-변동계수(L-coefficient of variation)는 다음과 같다.

$$\tau = \lambda_2 / \lambda_1 \quad (10)$$

나머지 L-모멘트 비율은  $\lambda_2$ 를 중심으로 다음과 같이 정의된다.

$$\tau_\gamma = \lambda_\gamma / \lambda_2, \quad \gamma = 3, 4, \dots \quad (11)$$

여기서 L-모멘트 비  $\tau_3, \tau_4$ 는 일반적인 모멘트 계수와 같은 성질을 띠며, 각각 L-왜곡도(L-skewness), L-첨예도(L-kurtosis)라 한다. L-모멘트에 의한 매개변수 추정시 가장 중요한 모멘트는  $\lambda_1, \lambda_2, \tau_3, \tau_4$ 이며, 표본에서 불편의된 모멘트를 표기하기 위해서  $\lambda_\gamma, \tau_\gamma$  대신  $l_\gamma, t_\gamma$ 를 사용한다. 본 연구에서는 이러한 L-모멘트 방법에 의해서 Wakeby 분포와 EVI 분포의 매개변수를 추정하였다. L-모멘트 이론의 자세한 사항은 Hosking과 Wallis(1997)를 참조할 수 있다.

### 3.3 자료의 검침과 동질성의 척도

지역빈도분석에서는 반드시 검사해야할 자료형태가 있는데, 하나는 자료의 검침에 대한 것이고, 다른 하나는 동질성에 대한 것이다.

#### (1) 자료의 검침

홍수빈도분석에서 자료의 검침은 자료의 진값 여부에 대한 것과 또한 자료가 같은 빈도분포에서 추출되었나에 대한 것으로, 지역빈도 분석을 수행하기 앞서 이 분석은 반드시 이루어진다. 이 분석은 전체 지역내의 지점자료를 하나의 그룹으로 간주할 때 전반적으로 일치정도가 가장 떨어지는 지점 또는 지점들을 찾기 위해 불일치 정도를 나타내는  $D_i$ 를 이용하는 것이고, 이  $D_i$ 는 지점자료의 L-모멘트 향으로 나타낼 수 있다. 지역화를 위한 지역에서 N개의 지점이 있다고 가정하면 지점 i에 대한 L-모멘트 비인  $t_1, t_2, t_3$ 를 포함하는 벡터를  $u_i = [t_1^{(i)}, t_2^{(i)}, t_3^{(i)}]^T$ 라 정의하면,  $u_i$ 의 산술평균은  $\bar{u} = N^{-1} \sum_{i=1}^N u_i$ 이고, 불일치척도  $D_i$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$D_i = \frac{1}{3} N (u_i - \bar{u})^T A^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad (12)$$

여기서 표본자료의 공분산인  $A = \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T$ 이고, 식 (12)에서  $D_i$  값이 큰 지점은 그 지역내의 다른 값과 일치성이 없다는 뜻인데, 그 기준은 Hosking과 Wallis(1997)에 의하면 다음과 같은 범위를 권장하고 있다.

$$D_i \leq (N-1) / 3 \quad (13)$$

## (2) 자료의 이질 및 동질척도

지역빈도해석을 하기 위해 대상유역을 여러 개의 동질 소유역으로 나누는데 그 기본 가정은 각 소유역별로 소유역내의 확률분포가 같다는 것이다. 따라서 소유역별로 자료계열이 수문학적인 동질성을 가지는 지를 평가하기 위한 기준이 마련되어야 하며, 이러한 목적으로 이질성척도(heterogeneity measure)를 산정한다. 이질성척도를 사용하는 목적은 한 그룹내 각 지점들의 이질성 정도를 추정하여 이들이 한 그룹으로 합리적으로 간주될 수 있는지의 여부를 판단하기 위한 것이다. 동질지역에서 예견할 수 있는 이질성척도 H는 자료의 L-모멘트 비를 모의 발생시킨 평균과 관측치의 차, 그리고 모의치 표준편차의 비로 정의한다(Hosking, 1990).

해당지역이 N개 지점을 가지고 있고, 지점 i는  $n_i$ 의 자료수를 가지고 있으며, 각 지점의 표본 L-모멘트 비를  $t^{(i)}$ ,  $t_3^{(i)}$ ,  $t_4^{(i)}$ 라 가정하면, 이때 지역평균 L-변동계수, L-왜곡도, L-첨예도는 다음과 같이 가중평균할 수 있다.

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (14)$$

각 지점표본 L-변동계수에 대한 가중 표준편차는 다음과 같다.

$$V = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \right\}^{1/2} \quad (15)$$

모의평균과 모의표준편차는 지역평균 L-모멘트 비인  $1$ ,  $t^R$ ,  $t_3^R$ ,  $t_4^R$ 를 Kappa 분포와 적합시켜 충분한 횟수만큼 모의발생하여 계산한다(Hosking과 Wallis, 1993). 이와 같이 각 지역에 대한 V를 산정하고 모의된 값의 평균  $\mu_v$ 와 표준편차  $\sigma_v$ 를 구하여 다음과 같이 이질성 척도를 산정한다.

$$H = (V - \mu_v) / \sigma_v \quad (16)$$

Hosking과 Wallis(1997)는 사용된 L-모멘트 비에 따라 이질성척도를 여러 형태로 제안하였는데, 위와 같이 L-변동계수 해석에 의한 이질성을  $H_1$ 이라 하였고, 같은 분석형태로 L-왜곡도, L-첨예도를 이용할 수 있기 때문에 이를 각각  $H_2$ ,  $H_3$ 라 하였다. 이로부터  $H < 1$ 이면 동질성 지역,  $1 \leq H < 2$ 이면 이질성 지역일 가능성이

이 있는 유역,  $H > 2$ 이면 이질성 지역으로 분류된다고 제시하였다.

## 4. 홍수량 자료계열과 동질성

### 4.1 이용 자료

우리나라 빈도홍수량의 특성을 토의하기 위해서는 무엇보다도 신뢰성 있는 순간최고치홍수량 자료를 많이 확보하는 것이 필요하나, 우리나라의 수문관측의 수준 및 자료의 관리상 그러한 자료를 수집 정리하기란 절대로 쉽지 않으며(김남원, 1998), 또한 이를 이용하여 미계측 유역에 대해서 홍수빈도의 특성을 논의하는 것은 더욱더 어렵다고 할 수 있다.

건설부(1993)는 순간 수위자료의 연최대치를 충분히 확보할 수 있고 유량환산이 가능한 지점으로 한강 13개, 낙동강 14개, 금강 7개, 영산강 5개, 섬진강 3개 등 5대 강의 도합 42개 지점에 대해서 연최대계열을 구축할 수 있도록 자료를 수집, 정리하였다. 순간 최고치의 자료를 얻기 위해서 조선하천조사서, 조선하천조사연보, 한국하천요람, 한국수문조사서, 한국수문조사연보, 홍수위일보 등 수집 가능한 대부분의 참고자료를 총 망라한 것이다. 수위-유량관계가 적절치 않은 경우 유량관측 당시의 자료를 이용하여 다시 평가하는 등 방대한 작업의 결과를 수록하였다. 자료기간은 우리나라 수문관측 관측초기부터 1993년까지이다(건설부, 1993 참고). 한편 김남원(1994)은 건설부의 자료에서 제외된 IHP유역을 대상으로 약 10년간의 수위자료를 수위일보를 중심으로 발췌하여, IHP보고서에서 제시된 수위-유량관계 곡선을 이용하여 순간최고유량을 정리하였다.

본 연구에서는 건설부(1993), 김남원(1994)에서 수록한 관측지점을 중심으로 1999년까지 자료를 확대하였다. 이때 유량환산이나 자료수집의 방법은 건설부(1993), 김남원(1994)의 방법과 동일하며, 자료의 수집 및 정리된 사항은 건설교통부(2002)에 자세히 기술 정리되어 있다. 따라서 본 연구에서는 표 1의 왼쪽과 같이 관측 개시년부터 1999년까지 수집가능한 자료를 이용하여 연최대치 계열을 구성하였다. 연최대치 계열의 경향성은 특별히 찾을 수 없었기 때문에 모두가 평균에 무작위한 표본인 것으로 간주하였다.

### 4.2 수문학적 동질성과 유역구분

자료의 동질성과 유역의 구분을 위해서 앞서 설명한 두개의 척도인  $D_i$ 와 H 값의 변화를 고찰하였다. 먼저, 통계적인 분석에 자료의 오류나 비밀관성을 찾아야 하

는데 이를 해결하기 위한 값이 위에서 기술한 불일치 척도  $D_1$ 이다. 이것은 어떤 지점의 L-모멘트 값이 다른 지점의 L-모멘트 값과 눈에 띄게 다른 것을 찾을 수 있도록 하는 것으로 물리적으로는 강우에 의한 유출반응이 여타 지점과 완전히 다른 것을 나타내는 것이며 통계적으로는 모멘트간의 성질이 완전히 다른 것이다. 본 연구에서  $D_1$  값이 2.5 이상이면 평균과 상당히 다르다고 판단하여 분석에서 그러한 지점을 하나씩 제외하는 형식을 취했는데, 자료 및 유량측정성과 등을 다각적으로 검토한 후 자료의 신뢰도가 떨어진다고 판단되는 지점을 제외하였다. 이 경우 건설부(1993)와 같이 전국을 하나의 일관된 상태로 평가하기에는 너무 많은 자료가 제외되기 때문에(건설교통부, 2002 참조), 유역반응의 성질이 개념적으로 하나의 형태로 나타날 수 있도록 표 1과 같이 유역별로 나누어 나타내었다.

두 번째 시도는 자료의 이산도를 나타내는 H 값의 변화를 고찰한 것으로 Hosking과 Wallis(1987, 1993)의 제안에 따라 2 이하가 되도록 하였다. 이러한 자료 분석의 반복 계산에 대한 자세한 고찰은 건설부(1993)와 건설교통부(2002)에 기술되어 있으며, 여기에서는 생략한다.

이와 같이 유역별로 불일치성과 이질성에 의해서 유역별로 상대적으로 이질적인 것으로 판단된 지점을 제외하고 최종적으로 선정된 분석대상 관측소는 한강 17개 지점, 낙동강 18개 지점, 금강 8개 지점, 영산/섬진강 13개 지점 등 모두 56개 지점이다. 여기서 영산/섬진강은 자료의 수가 너무 적은 관계로 하나의 유역으로 통합하였다. 표 1에 제시된 바와 같이 금강유역의 구룡과 섬진강 유역의 구례2, 남원, 대강 지점을 제외하면 수위 자료의 기록년한은 10년 이상이며, 자료기록년한이 30년 이상인 지점은 32개이다.

우리나라의 다목적 댐은 1964년 섬진강댐을 시작으로 1990년 주암댐까지 많이 건설되어 왔기 때문에, 여기에서 구분된 4개 유역의 모든 자료는 1970~1980년대부터 댐의 영향을 받고 있으며, 댐 건설 시점을 기준으로 자연유출량(홍수량)이 달라졌으리라 판단된다. 이로 부터 댐 건설 이전의 자료 및 댐의 영향을 받지 않은 지점을 이용한 빈도분석은 Hosking과 Wallis(1993)의 이질성 판단기준에 의해 공간적인 이질성을 줄일 수 있으나, 시간적인 이질성은 고려할 수 없다. 이는 댐 건설 이전의 자료는 주로 본류 하천의 하구쪽에 위치하고 있어 상대적으로 유역면적이 크고 댐의 직·간접적 영향을 받으며, 지천에 위치하여 댐의 영향을 받지 않은 곳은 유역면적이 작으나 자료의 기록년한이 상대적으로 짧다. 예를 들어 댐의 개발 전의 자료인 한강의 여주지점은 1982년 이전의 자료만을 이용하나, IHP 유역인 평

창강에 위치한 관측소들은 1982년 이후부터 관측자료가 존재한다. 이는 시간적으로 다른 표본이 추출되어 자료들이 서로 이질적인 성향을 띠 수 있으며, 전기간 자료를 사용하는 것에 비해 자료의 기록년한이 크게 짧아질 수 있음을 의미한다. 또한 1990년대 이후에 대규모의 호우가 여러 차례 발생하였음에도 불구하고 이들 호우가 고려되지 않는 문제점을 내포하게 된다. 그러나 본 연구의 목적이 빈도홍수량의 거시적인 특성을 고찰하는 것이기 때문에 이의 고찰은 연구범위 밖으로 두었다. 따라서 여기에서는 약간의 공간적인 이질성을 수용하는 반면 시간적인 이질성을 줄이고자 이승재 등(1995) 윤용남과 원석연(1998)이 사용한 것과 같이 댐 개발 전·후의 모든 자료를 분석에 이용하였다.

## 5. 지역빈도분석 결과의 토의

### 5.1 지수홍수법과 $Q_t$ 통계적 추정법의 비교고찰

지수홍수법에 의해 계산된 홍수량은 평균홍수량을 중심으로 무차원 분위수(=빈도홍수량/평균홍수량)로 표현된다. 따라서 평균홍수량을 지수로할 때 이 지수홍수량과 지역간의 상관성을 구하는 것이 지역빈도분석의 중요한 분석중의 하나이다. 지수홍수량을 물리적인 요소와 상관시켜 표현할 경우 특정변수인 물리적 요소가 얼마나 대표성을 가지느냐가 관건이 된다. NERC(1975)는 다음과 같은 지수홍수의 상관함수를 제시하였다.

$$Q = f(\text{유역면적}, \text{토양함수}, \text{불투수면적}, \text{선행강수량}, \text{강우량}, \text{저수지면적 등}) \quad (17)$$

이러한 형태의 홍수해석을 위해서는 자료의 수가 많고, 또한 물리적인 요소가 좀 더 세밀히 분석되어야 한다. 그러나 본 분석에서는 이러한 다양하고 세밀한 자료를 획득치 못하였다. 따라서 Gray(1973), 고재웅(1977), 건설부(1993)에서 나타낸 가장 일반적인 경험식 형태인 면적의 함수로만 그 특성을 고찰하였다.

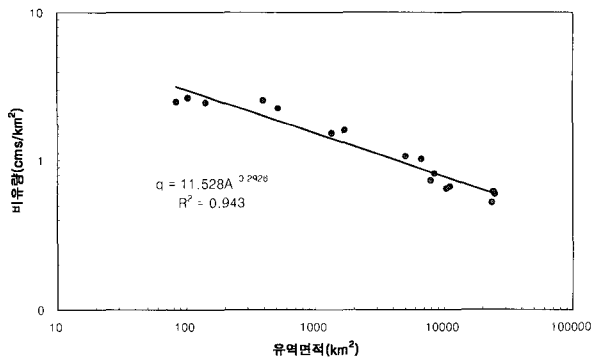
$$q = a A^b \quad (18)$$

여기서  $q$ 는 비유량( $\text{cms}/\text{km}^2$ ),  $A$ 는 유역면적( $\text{km}^2$ ),  $a$ ,  $b$ 는 매개변수이고, 평균홍수량을 유역면적과 관계로 해석하면 그림 1과 같다. 각 유역별 회귀분석 값의 분산도는 다르지만 한강의 결정계수( $R^2$ )는 0.94, 낙동강은 0.95, 금강은 0.89, 영산/섬진강은 0.56으로 나타났으며, 영산/섬진강을 제외하고 홍수량과 유역의 특성이 서로 잘 상관하는 것으로 판단된다. 물론 하도경사나

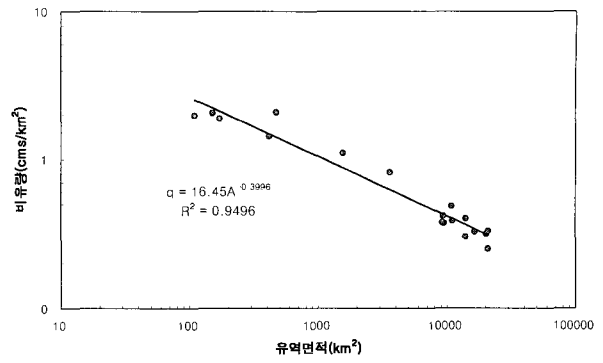
표 1. 유역별 이용자료 및 통계치

구분	관측소	자료수	유역면적 (km <sup>2</sup> )	이용자료			L-변동계수	L-왜곡도	L-첨예도	불일치척도 (D <sub>i</sub> )
				건설부 (1993)	김남원 (1994)	건설교통부 (2002)				
한강	인도교	63	24,753.20	'18-'90	-	'99	0.2972	0.1787	0.0931	0.78
	뚝도	46	24,404.10	'16-'88	-	'93	0.2907	0.2289	0.1833	0.64
	광장	14	24,058.90	-	-	'63-'89	0.4749	0.3618	0.2011	1.66
	교안	62	23,805.10	'17-'90	-	'99	0.3429	0.2657	0.1876	0.05
	청평	67	10,455.50	'15-'90	-	'99	0.3308	0.1880	0.0920	0.85
	춘천	52	7,886.70	'15-'90	-	-	0.2893	0.2476	0.1339	0.94
	여주	70	11,104.40	'15-'90	-	'99	0.4125	0.3275	0.1624	0.96
	문막	17	1,336.00	-	-	'83-'99	0.3162	0.3611	0.2383	1.86
	목계	40	8,433.80	'17-'90	-	'99	0.3436	0.1995	0.1616	0.78
	충주1	45	6,657.30	'17-'93	-	-	0.2877	0.1674	0.1692	1.47
	단양1	44	5,022.60	'17-'90	-	'93	0.3354	0.2142	0.1072	0.60
	방림	18	519.70	-	'82-'93	'99	0.3983	0.3857	0.2096	1.19
	하반정	18	84.00	-	'82-'93	'99	0.4798	0.4081	0.2915	1.49
	상안미	16	396.30	-	'82-'93	'99	0.3789	0.3661	0.3011	1.16
백옥포	15	142.30	-	'82-'93	'99	0.3438	0.2673	0.1743	0.03	
장평	15	103.60	-	'82-'91	'99	0.3869	0.3899	0.3019	1.12	
정선	41	1,682.10	'18-'91	-	'94	0.4207	0.2875	0.2412	1.42	
낙동강	수산	59	20,996.70	'17-'92	-	'99	0.2508	0.0209	0.1139	0.86
	임해진	50	20,685.30	'21-'92	-	'99	0.2237	0.1264	0.1501	1.44
	진동	62	20,311.30	'21-'92	-	'99	0.3298	0.2181	0.2078	0.27
	적포교	15	16,449.60	-	-	'80-'99	0.2461	0.0568	0.1752	1.43
	현풍	67	14,000.90	'18-'92	-	'99	0.3672	0.3747	0.2732	1.42
	고령교	17	14,034.30	-	-	'77-'99	0.3323	0.3028	0.2282	0.78
	동춘	50	1,544.00	'23-'92	-	'99	0.4049	0.2185	0.1493	1.95
	왜관	60	11,074.40	'16-'92	-	'99	0.2919	0.1406	0.1714	0.15
	구미	10	10,886.10	-	-	'87-'99	0.2839	0.0503	0.0371	1.52
	김천	27	413.30	-	-	'48-'99	0.2948	0.1795	0.2381	1.20
	강창1	51	9,501.70	'23-'87	-	-	0.2769	0.1184	0.1163	0.31
	일선교	10	9,221.70	-	-	'86-'99	0.1951	0.0299	0.0871	1.93
	낙동	70	9,369.00	'15-'92	-	'99	0.2867	0.0897	0.1446	0.46
	무성	17	472.50	-	'82-'93	'99	0.3166	0.0870	0.0661	1.08
효령	17	151.00	-	'82-'93	'99	0.3659	0.2021	0.1313	0.83	
마성	17	171.30	-	'82-'93	'99	0.3032	0.2560	0.2395	0.64	
고노	17	109.70	-	'82-'93	'99	0.3674	0.3337	0.1990	1.44	
안동	57	3,590.00	'17-'92	-	'99	0.3315	0.2259	0.2112	0.27	
금강	규암	69	8,253.40	'15-'92	-	'99	0.3267	0.2340	0.1796	0.44
	구룡	6	206.30	-	-	'81-'99	0.3349	0.0404	0.1207	1.90
	공주	68	7,149.50	'15-'92	-	'99	0.2974	0.1612	0.1601	0.10
	석화	47	1,590.40	'17-'92	-	'99	0.2688	0.1419	0.1544	0.95
	회덕	37	604.20	'17-'92	-	'99	0.2647	0.1903	0.2282	0.94
	기대	16	346.50	-	'83-'93	'99	0.4174	0.3829	0.1125	1.52
	옥천	46	2,942.60	'16-'92	-	'99	0.3960	0.1958	0.0310	1.38
용담	26	989.50	'19-'92	-	'99	0.2826	0.0311	0.1145	0.78	
영산 / 섬진	영산포	55	2,141.70	'15-'92	-	'99	0.1938	0.0488	0.1321	0.70
	나주	69	2,058.70	'15-'92	-	'99	0.2805	0.1618	0.1867	0.18
	능주	16	230.30	-	-	'74-'99	0.4689	0.2723	0.1396	0.29
	본동	40	1,288.20	-	-	'21-'99	0.2089	0.0759	0.2270	1.44
	장성	11	282.90	-	-	'63-'99	0.6054	0.5960	0.2815	1.46
	마록	56	684.00	'16-'92	-	'99	0.2855	0.3393	0.2415	1.85
	송정	58	4,255.70	'19-'92	-	'99	0.2452	0.1125	0.1422	0.41
	구례2	9	3,810.30	-	-	'90-'99	0.4389	0.2854	0.1032	0.92
	압록	59	2,447.50	'17-'92	-	'99	0.2934	0.1062	0.1386	0.25
	남원	7	315.70	-	-	'90-'99	0.4124	0.5584	0.4772	1.98
대강	7	1,754.10	-	-	'63-'94	0.4590	-0.0237	-0.0965	2.35	
적성	31	1,350.80	-	-	'19-'99	0.3745	0.2934	0.2225	0.02	
오수	16	350.90	-	-	'73-'99	0.5685	0.4609	0.2658	1.14	

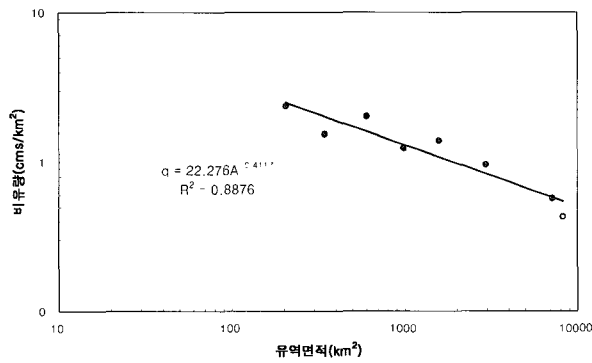




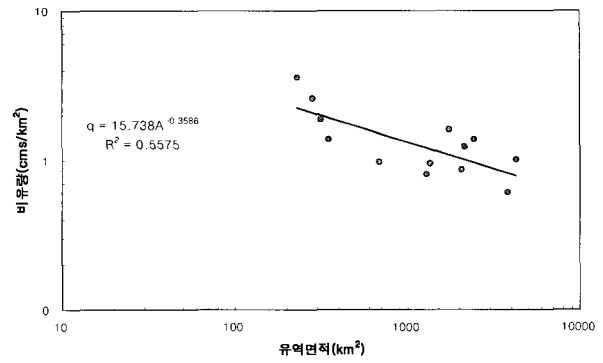
(a) 한강



(b) 낙동강



(c) 금강



(d) 영산/섬진강

그림 1. 평균홍수량과 유역면적과의 관계

유도연장 등이 사용되어 검토되었으나, 모두 유역면적과 홍수량과의 관계가 가장 뛰어났다. 이러한 지형적인 변수 이외에 수문기상학적인 변수를 포함한 관계해석이 필요하지만 추후 세밀한 연구를 기대한다.

유역별 평균홍수량과 유역면적의 관계 특성을 구체화하기 위하여 그림 2와 같이 동시에 비교하여 보면, 비유량은 한강이 가장 크고, 낙동강이 가장 작은 성질을 보이고 있고, 금강, 영산강/섬진강이 중간 정도의 크기를 타나냄을 알 수 있는데, 금강과 영산/섬진강의 비

유량 특성이 아주 유사함을 알 수 있다.

지역홍수빈도분석에서 재현기간에 따른 무차원 홍수량 성장곡선(분위수)은 분석지역에 대하여 일관된 값을 가지게 된다. 그림 3은 각 유역의 무차원 성장곡선을 나타낸 것으로 한강과 기타유역으로 크게 구분할 수 있으며, 한강유역의 성장곡선 기울기가 다른 유역보다 더 크다는 것을 알 수 있다. 반면, 낙동강, 금강, 영산/섬진강은 거의 유사한 형태를 취하고 있으며 표 2를 통하여 좀 더 확실히 알 수 있다.

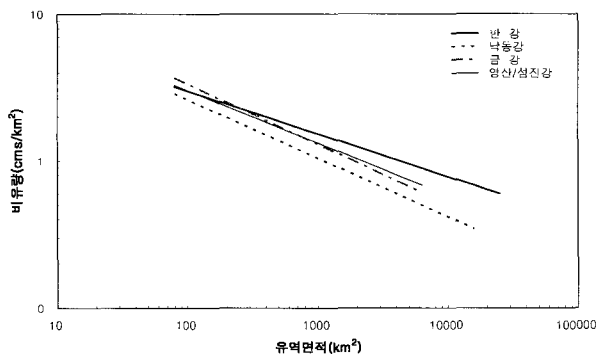


그림 2. 평균 비유량 관계의 유역별 비교

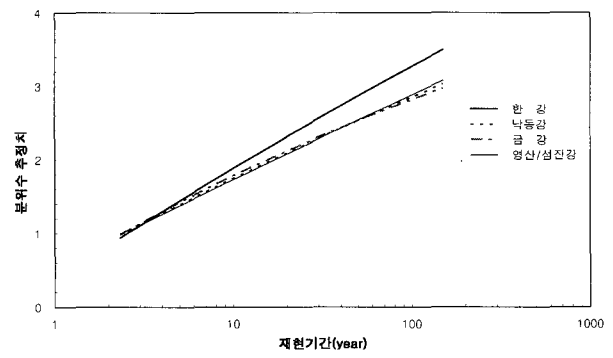


그림 3. 유역별 무차원성장곡선

표 2. 유역별 재현기간별 분위수

구 분	재현기간 (년)					
	2	10	20	50	80	100
한 강	0.833	1.882	2.313	2.864	3.139	3.268
낙동강	0.902	1.746	2.090	2.528	2.746	2.848
금 강	0.895	1.785	2.212	2.531	2.726	2.816
영산강/섬진강	0.895	1.730	2.082	2.540	2.772	2.882

이상의 지역빈도분석 결과를 살펴보면 한강과 낙동강의 홍수량 거동특성은 확연히 다르나, 다른 유역간의 관계는 명확치 않다. 따라서 구체적인 비교를 위하여 평균홍수량 특성과 무차원 성장곡선의 영향이 모두 포함된 100년 빈도 홍수량을 중심으로 유역별로 비교하여 보면 그림 4와 같다. 금강과 영산/섬진강 특성이 매우 유사함을 알 수 있는데, 이는 금강과 영산/섬진강의 평균홍수량 특성도 비슷하고 무차원 성장곡선도 유사하기 때문에 두 유역의 홍수량거동이 같을 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 그러나 영산/섬진강의 자료는 두 유역의 자료를 통합하였고 또한 비홍수량과 유역면적간의 상관도가 금강과 비교하여 상대적으로 많이 떨어지기 때문에(그림 1(c), 1(d) 참조) 여기에서는 두 지역의 결과를 함께 분석하지 않았고, 유역별로 그 결과를 분리하였다.

EVI를 이용한 지점빈도 분석의 결과를 식 (18)의 형태로 유역별로 작성하여 지역빈도 분석의 결과와 비교하면 표 3과 같이 두 분석의 결과가 약간의 차이를 나타냄을 알 수 있다. 이를 100년 빈도 비유량의 지역적인 거동을 통해서 구체적으로 살펴보면 그림 5와 같다. 한강, 낙동강, 금강의 경우 그 차이가 미세하고, 이것은 홍수빈도분석의 결과를  $Q_t$  통계적 추정법으로 하든 지수홍수법으로 하든 전반적인 홍수량 크기의 차이는 크지 않음을 나타내는 것이라 할 수 있다. 반면, 영산/섬진강은 두 방법에 의한 차이가 너무 크게 나타나고 있다. 이는 점빈도분석의 확률분포 선택, 지점 자료특성의 이산성 등에 의한 차이라고 판단되나, 너무 큰 차이를 나타내고 있다. 따라서 이러한 자료형태인 경우 지점홍수빈도분석에 대하여  $Q_t$  통계적 추정법을 이용한 분석에 주의를 요함을 알 수 있다. 물론 지역빈도분석에 의한 결과도 상대적으로 우월성을 정량적으로 규명할 수 없기 때문에 분석결과에 대한 신뢰성을 부여하기 힘들다. 따라서 지역빈도분석시 금강과 영산/섬진강을 함께 분석하는 것이 적당치 않음을 알 수 있다.

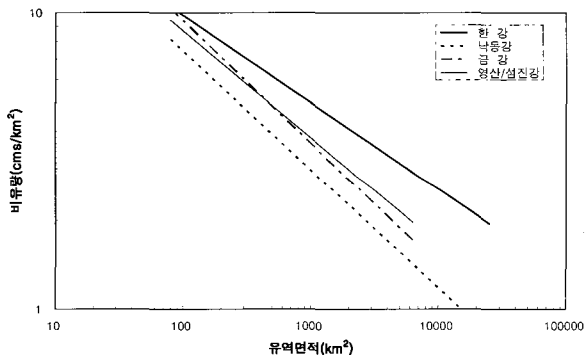
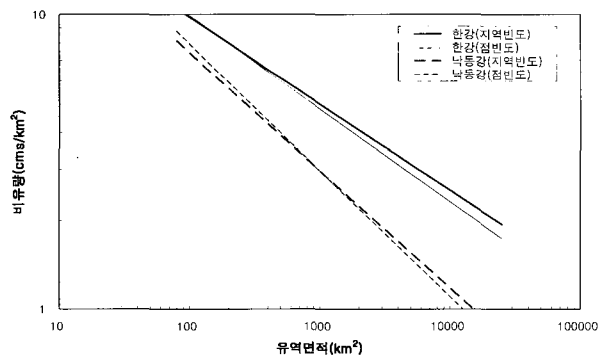


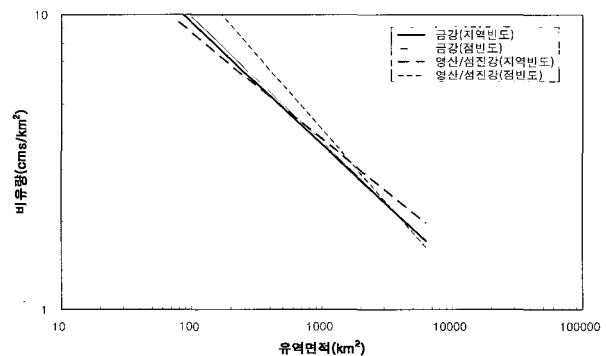
그림 4. 100년 빈도 홍수량의 유역별 비교

### 5.2 댐 개발과 홍수량

윤용남과 원석연(1998), 이승재 등(1995)은 댐 개발 전·후의 자료 모두의 홍수량자료를 이용하여 점빈도분석을 수행한바 있다. 본 연구에서도 전체 자료 중 댐 개발 전의 자료가 어떻게 거동하는지 비교를 위해서 그림 6과



(a) 한강, 낙동강



(b) 금강, 영산/섬진강

그림 5. 점빈도와 지역빈도 분석결과와의 비교

표 3. 지역빈도분석결과와 점빈도분석결과와의 비교

유역	채현기간 (년)	지역빈도분석			점빈도분석			분석범위 (km <sup>2</sup> )
		a	b	결정계수	a	b	결정계수	
한강	평균	11.528	-0.2926	0.9430	11.554	-0.2928	0.9428	100 ~ 20,000
	10	21.690			24.328	-0.3081	0.9406	
	20	26.659			29.863	-0.3111	0.9377	
	50	33.019			37.042	-0.3138	0.9346	
	80	36.191			40.696	-0.3148	0.9333	
	100	37.677			42.427	-0.3152	0.9327	
낙동강	평균	16.450	-0.3996	0.9496	16.462	-0.3996	0.9496	100 ~ 20,000
	10	28.717			33.277	-0.4188	0.9384	
	20	34.373			40.624	-0.4229	0.9346	
	50	41.588			50.181	-0.4267	0.9308	
	80	45.176			55.053	-0.4284	0.9292	
	100	46.853			57.364	-0.4288	0.9285	
금강	평균	22.276	-0.4117	0.8876	22.292	-0.4117	0.8877	200 ~ 10,000
	10	39.759			41.840	-0.4194	0.9177	
	20	47.267			50.186	-0.4208	0.9202	
	50	56.388			60.965	-0.4221	0.9215	
	80	60.735			66.440	-0.4226	0.9218	
	100	62.725			69.031	-0.4227	0.9219	
영산/섬진강	평균	15.738	-0.3586	0.5575	15.767	-0.3588	0.5577	200 ~ 4,000
	10	27.229			59.458	-0.4591	0.6140	
	20	32.761			81.127	-0.4779	0.6160	
	50	39.972			110.430	-0.4945	0.6163	
	80	43.626			125.710	-0.5009	0.6161	
	100	45.350			133.02	-0.5036	0.6159	

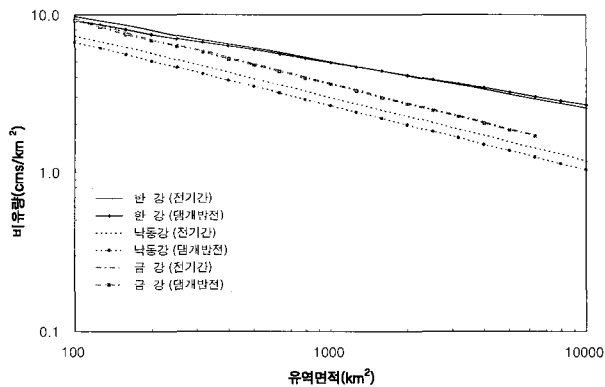


그림 6. 댐 개발 전과 전기간의 평균홍수량 비교

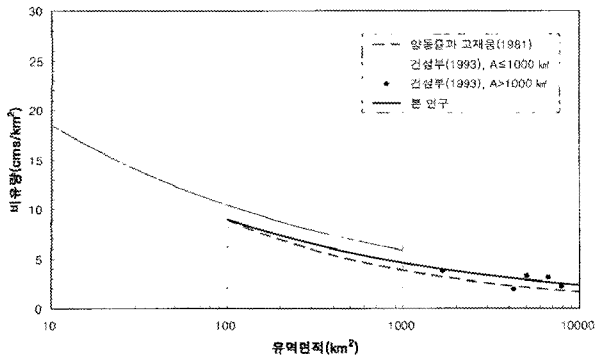
같이 나타내었다. 여기에서는 영산/섬진강의 경우 자료수로 인하여 더 이상의 자료분석이 힘들기 때문에 이를 제외하여 댐 개발 전의 홍수량과 전 자료기간의 홍수량을 비교한 것이다. 평균홍수량의 경우 두 계산된 결과에 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 한강의 경우 전 자료기간과 댐 개발 전에 홍수거동의 차이가 약간 있으나, 이것은 자료의 시변성의 차이인지, 아니면 댐의 영향을 받아서 발생한 영향차이인지는 파악하기 힘들었다. 따라서 지역홍수빈도분석을 위해 전 기간 자료를 이용한다는 가정이 적당함을 알 수 있었다.

### 5.3 기존 연구결과와 비교

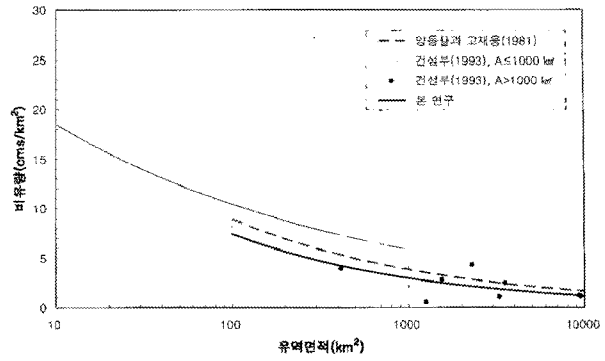
현재 분석된 결과를 기존의 대표적인 연구인 양동률과 고재웅(1981)과 건설부(1993)의 결과와 비교하면 그림 7과 같이 유역별로 차이가 있으나, 실제로 양동률과 고재웅(1981)의 결과와 매우 유사함을 알 수 있다. 반면 건설부(1993)는 유역별로 특별한 관계를 설정하지 않았기 때문에 명확히 규정할 수는 없지만 WMO(1989)의 관계를 해석하여 면적이 작은 유역의 홍수특성에 대해서 내린 결론은 현재의 자료형태의 거동과 먼 차이를 두고 있다. 다만 앞서 설명한 것과 같이 유역면적이 작은 경우에 홍수빈도분석의 결과는 확률강우량 등에 의한 변화만큼이나 변화할 수 있기 때문에 확실한 결론이 불가능하다.

### 5.4 지역홍수빈도 분석결과와의 해석

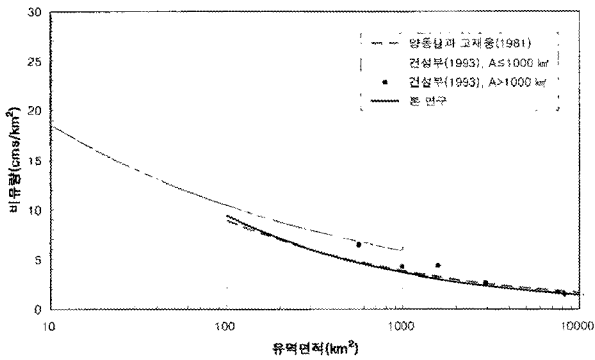
지역홍수빈도 분석의 결과를 지수홍수법으로 나타내건,  $Q_t$  통계적인 추정법의 형태로 나타내건 본 연구에서 독립인자로 삼았던 것과 같이 유역면적과 같은 지형적인 인자와 홍수량을 상관시키는 것이 일반적이다. 그러나 이러한 해석은 분석자료의 부재로 홍수량을 더 잘 설명할 수 있는 독립인자를 찾지 못하거나 대표성 있는



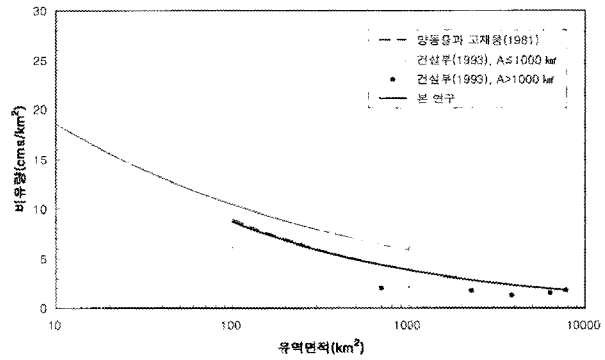
(a) 한강



(b) 낙동강



(c) 금강



(b) 영산/섬진강

그림 7. 100년 빈도홍수량의 유역별 비교도

물리적 특성을 대변할 수 없게 된다. 앞서 설명한 NERC(1975)와 같이 여러 개의 가능한 독립인자가 사용된다면 지역홍수량의 특성을 적절히 나타낼 수 있는 반면 본 연구와 같이 유역면적 하나로 홍수량을 표현하는 것은 전반적인 대표성은 갖추고 있다고 할지라도 좀더 세밀한 표현이라고 하기에는 부족하다. 국내의 경우 확률강우량이 지역에 따라 아주 크게 변화하며(건설교통부, 2000), 지질 특성 또한 상·하류가 다르기 때문에, 본 분석에 이용된 유역면적의 형태만으로는 이러한 물리적 특성을 설명할 수 없다. 더욱이 유역면적이 작은 경우 홍수량의 변화는 확률강우량의 변화만큼이나 차이가 나기 때문에 한정적인 현재의 자료형태로 충분히 표현할 수 없음을 부연한다. 만약 다른 홍수량 자료가 사용되었다면 본 연구에서 사용된 형태와 약간 다른 결과를 나타낼 수 있을 것이다. 따라서 분석에 사용된 방법의 차이는 물론 자료형태의 구성에 따른 차이도 존재한다. 즉, 본 연구에서 계산된 지역홍수빈도분석의 결과는 그림 8과 같이 어느 정도 편차를 가질 수 있으며, 특히 유역면적이 작아질수록 그 편차는 커질 것이다. 따라서 추후 물리적 의미를 갖는 정교한 독립인자와 홍수량간의 관계해석이 요구된다고 하겠다.

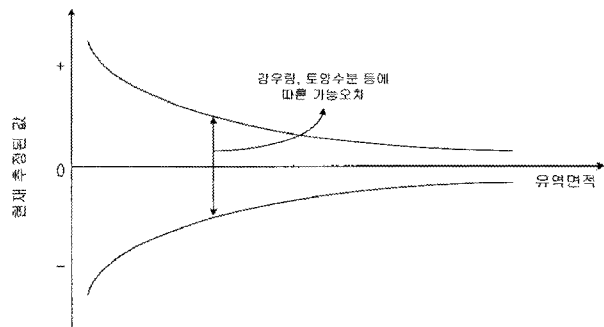


그림 8. 분산된 홍수량의 개념도

## 6. 결 론

빈도홍수량은 중·소 수공구조물의 설계에 중요한 지표로서 매우 중요하나 자료의 부족과 설계 관습으로 인하여 홍수량을 직접 해석하여 사용하지 못하고 있는 실정이었다. 따라서 본 연구에서는 수집이 가능한 일제시대부터 1999년까지 망라한 국내 첨두홍수량 자료를 수집하여 연최대치 계열을 작성하고 지수홍수법에 의해서 지역홍수빈도분석을 수행하였다. 지역홍수빈도분석을 위해서 사용된 분포는 WMO(1989)가 권장한

Wakeby 분포였으며, 매개변수 추정에는 Hosking(1990)의 L-모멘트를 이용하였다. 지역의 수문학적인 동질성을 위해서 Hosking과 Wallis(1993)의 불일치성, 이산성의 검정을 따랐다. 지수홍수와 상관시킨 물리적인 독립변수는 유역면적이고, 이는 비유량이 유역면적이 커짐에 따라 작아지는 소위 역함수 형태를 잘 따르고 있었으며, 유역별 재현기간별 홍수량을 이러한 형태로 제시하였다. 또한 비교를 위해서 점빈도분석에 의한 지역화를 수행하여 지역빈도 분석의 결과와 비교하였다. 지역홍수빈도분석 결과 한강과 낙동강의 비홍수량 특성을 매우 달랐고 금강은 중간적인 성격을 띠고 있음을 알 수 있었다. 영산/섬진강은 금강과 아주 유사한 특성을 나타냈다. 지점홍수빈도분석 결과와 비교할 때 자료의 불확실성으로 인해 분석결과의 타당성을 부여하기 힘들다. 댐 개발전과의 비교에서는 댐의 역할이 홍수빈도분석의 침투유량에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 이 결과를 기존의 타 연구와 비교함으로써 본 연구의 타당성을 구체화할 수 있었다.

설계홍수량의 과대 또는 과소 추정은 국가경제의 손실 또는 국민의 안녕에 밀접하게 관련되어 있다. 본 연구의 결과가 설계홍수량의 정확한 추정을 위한 지표로 이용되길 희망한다.

### 감사의 글

본 연구는 일제시대부터 1990년대 초까지 홍수량 자료를 수집·분석한 『1993년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서』 연구진(팀장 : 김 승 박사)의 노고가 있었기에 가능하였습니다. 이에 깊이 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

건설교통부 (2002). **하천정비기본계획 수립 및 하천대장 작성 표준화**, 한국건설기술연구원.  
 건설교통부 (2000). **1999년도 수자원관리기법개발연구조사보고서**, 한국건설기술연구원.  
 건설부 (1993). **1993년도 수자원관리기법 개발 연구조사보고서**, 한국건설기술연구원.  
 건설부 (1991). **1991년도 수자원관리기법 개발 연구조사보고서**, 한국건설기술연구원.  
 고재웅 (1977). "한국하천 홍수량의 빈도분석에 관한 연구", **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제 25권, 제4호, pp. 95-102.  
 김남원 (1998). "수문관측현황과 개선방향-수위, 우량관측을 중심으로", **건설기술정보지**, 한국건설기술연구원, 7월호, pp. 9-15.

김남원 (1994). **미계측유역의 홍수유출 특성에 관한 비교연구 - 합리식을 중심으로-**, 연구보고서, 건기연 94- WR-112, 한국건설기술연구원.  
 김현준 (1998). **조선시대하천공사 기록조사**, 책임연구 과제보고서, 건기연 98-098, 한국건설기술연구원.  
 양동률, 고재웅 (1981). "유역특성으로부터 확률홍수량의 유도에 관한 연구", **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제14권, 제3호, pp. 37-46.  
 연기석 (1990). **중소 하천유역의 홍수량 산정모델에 관한 연구**, 박사학위논문, 충북대학교.  
 윤용남, 원석연 (1998). "한강 인도교 지점의 계획홍수량 산정을 위한 지점빈도해석", **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제31권, 제4호, pp. 469-481.  
 윤태훈 (1973). "지역화된 홍수빈도분석", **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제21권, 제3호, pp. 43-51.  
 이순혁, 맹승진, 류경식(1999). "Weibull-3 및 GEV 분포모형의 L-모멘트법에 의한 홍수빈도비교분석", **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 104-110.  
 이순혁, 맹승진, 류경식, 지호근 (2001). "Generalized Extreme Value, Generalized Logistic 및 Generalized Pareto 분포 모형에 의한 홍수빈도분석", **한국수자원학회 학술발표회 논문집(I)**, pp. 140-145.  
 이순혁, 맹승진, 정연수, 류경식 (1998). "Generalized Gamma 분포형에 의한 매개변수 유도 방법별 설계홍수량의 유도", **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 127-132.  
 이승재, 서규우, 허준행, 조원철 (1995). "한강고안지점의 홍수위환산과 홍수빈도해석", **한국수자원학회지 논문집**, 한국수자원학회, 제28권, 제5호, pp. 191-204.  
 차영일, 문영일, 성영두, 정의택 (2001). "미계측유역 지역빈도해석에서 Kernel Regression에 의한 확률홍수량 산정", **한국수자원학회 학술발표회 논문집(I)**, 한국수자원학회, pp. 188-193.  
 허준행, 이동진 (2000). "모의 기법을 이용한 지역빈도 해석방법의 비교", **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 157-163.  
 Burnham, M. W. (1980). *Adoption of Flood Flow Frequency Estimates at Ungaged Location*, Training Document 11, U.S. Army Corps of Engineers..  
 Darymple, T. (1960). *Flood Frequency Analysis, manual of hydrology, Part 3, Flood-flow Techniques*, U. S. Geological Survey Water Supply paper 1543-A, pp. 1-79.

- Gray, D. M. (1973). *Handbook on the principles of hydrology*, water information center publication, the North Shore Atrium.
- Greenwood, J. A., J. M. Landwehr, N. C. Matalas and J. R. Wallis (1979). probability weighter moment definition and relation to parameters of distributions expressible in inverse form, *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 5, pp. 1049-1054.
- Hosking, J. R. M., J. R. Wallis and E. F. Wood (1985). estimation of the Generalised Extreme Value distribution by the method of probability weighted moments, *Technometrics*, Vol. 27, No. 3, pp. 251-261.
- Hosking, J. R. M. (1986). *The Theory of Probability weighted moments*, IBM Math. Res. Rep. RC12210, Yorktown Heights, NewYork, pp. 160.
- Hosking, J. R. M. (1990). L-moment: Analysis and estimation of distribution using linear combination of order statistics, *Journal of Royal Statistical Society*, Series B. 52, pp. 105-124.
- Hosking, J. R. M. (1991). *Fortran Routines for use with the method of L-moment version 2*, IBM Math. Res. Rep. RC17097, Yorktown Height, New York, pp. 117.
- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis (1993). Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis, *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 2, pp. 271-281.
- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis (1997). *Regional Frequency Analysis, An Approach Based on L-Moment*, Cambridge University Press.
- NERC (1975). *Flood Studies Report, Vol. 1*, Hydrologic studies, Natural Environment Research Council, London.
- Institute of Hydrology (1999). "Statistical procedures for flood frequency estimation", *Flood estimation handbook*, Edited by Robson A., and D. Reed, Vol. 3, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- WMO (1989). *Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis*, WMO-No. 718, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- (논문번호:04-98/접수:2004.10.11/심사완료:2004.11.24)