



## Regional frequency analysis using spatial data extension method :

### II. Flood frequency inference for ungaged watersheds

Kim, Nam Won<sup>a</sup> · Lee, Jeong Eun<sup>a\*</sup> · Lee, Jeongwoo<sup>a</sup> · Jung, Yong<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea

<sup>b</sup>Civil and Environmental Engineering, Wonkwang University, Iksan-si, Jeonbuk, Korea

Paper number: 16-028

Received: 11 March 2016; Revised: 8 April 2016; Accepted: 8 April 2016

#### Abstract

In order to infer regional flood frequency for ungauged watersheds, index flood method was applied for this study. To pursuit this given purpose, annual peak flood data for 22 watersheds located at the upstream of the Chungju Dam watershed were obtained from the spatial extension technique. The regionalization of mean annual flood was performed from extended flood data at 22 points. Based on the theory that flood discharge and watershed size follows the power law the regionalization generated the empirical relationship. These analyses were executed for the full size of the Chungju Dam watershed as one group and three different mid-size watersheds groups. From the results, the relationship between mean annual flood and watershed sizes follow the power law. We demonstrated that it is appropriate to use the relationship between specific flood discharges from the upper and lower watersheds in terms of estimating the floods for the ungauged watersheds. Therefore, not only the procedure of regional frequency analysis but also regionalizaion analaysis using finer discretization of the regions interest with respect to the regional frequency analysis for the ungauged watersheds is important.

**Keywords:** Regional flood frequency analysis, Index flood method, Power law, Regionalization, Ungaged watershed

## 공간확장자료를 이용한 지역빈도분석 : II. 미계측 유역의 홍수빈도 추론

김남원<sup>a</sup> · 이정은<sup>a\*</sup> · 이정우<sup>a</sup> · 정용<sup>b</sup>

<sup>a</sup>한국건설기술연구원 수자원·하천연구소, <sup>b</sup>원광대학교 토목환경공학과

#### 요 지

본 연구에서는 미계측유역에서의 빈도홍수량을 추정하기 위해 지역홍수빈도분석의 표준방법인 지수홍수법을 이용하였다. 이를 위해 충주댐 상류유역을 대상으로 공간확장한 22개 지점의 연최대홍수량 자료를 활용하였으며, 구축된 다지점의 자료계열을 이용하여 지수홍수법의 주요인자인 평균홍수량의 지역화 과정을 수행하였다. 지역화를 위한 방법으로는 홍수량과 유역면적과의 관계가 멱함수 법칙(power law)를 따른다는 이론에 근거한 경험관계를 유도하였다. 충주댐 상류유역 전체를 하나의 그룹, 3개의 중권역을 각각 하나의 그룹으로 구분하여 분석하였다. 도출된 결과에 따르면 평균홍수량과 유역면적과의 관계를 멱함수 법칙으로 설명할 수 있었다. 또한, 미계측 지점의 홍수량 추정시에는 가까운 계측지점 즉, 직상하류 유역의 비유량의 관계를 사용하는 것이 타당함을 증명하였다. 따라서, 미계측 유역을 위한 지역빈도해석은 지역홍수빈도해석 절차 자체도 중요하지만, 지역의 세밀한 구분과 그에 따른 지역화 경험관계 개발과정도 중요한 절차임을 확인할 수 있었다.

**핵심용어:** 지역홍수빈도해석, 지수홍수법, 멱함수 법칙, 지역화, 미계측유역

\*Corresponding Author. Tel: +82-031-910-0275

E-mail: jeus22@kict.re.kr (J. E. Lee)

## 1. 서론

수공구조물의 계획, 설계 및 평가에는 홍수량 자료에 근거한 홍수빈도분석이 중요한 기준으로 이용되고 있으나, 설계할 지점의 홍수량 자료는 불충분하거나 전혀 자료가 없는 경우가 대부분이다. 계측구역의 지역홍수빈도분석은 홍수량 자료의 분산, 왜곡도 등에 의해 결정되어질 수 있다. 일반적으로 지역빈도분석은 수문학적인 동질성을 가정하고, 계측지점의 통계적인 특성을 이용하여 유역특성의 유사성(similarity)을 연계해석하는 절차이다. 미계측 구역의 경우에는 지역홍수빈도분석 자체를 수행할 수 없으므로, 계측구역의 지역홍수빈도분석 결과를 이용하여 미계측 구역의 홍수량을 추론해야 한다. 이를 미계측 구역을 위한 지역빈도분석이라 할 수 있다. 이러한 분석방법으로는  $Q_t$  통계량 분석법, 지수홍수법, 모멘트추정법, 전이법 등이 있다 (Burnham, 1980; MC, 1991; Kim and Won, 2004). 이중 Darymple(1960)이 제안한 지수홍수법(index flood method)이 가장 널리 이용되는 방법이다. 즉, 미계측구역에서 보다 정확한 홍수빈도를 추정하기 위해서는 수문학적으로 동질한 지역의 다지점 정보(홍수량 자료)를 활용하여, 지역화 과정이 수행되어야 한다. 특히, 지수홍수법을 이용한 지역빈도해석을 적용할 경우에는 지수홍수법의 주요인자인 무차원성장곡선(분위수)과 지수홍수(평균홍수량)를 추정하는 것이 중요하다. Hosking and Wallis(1997)가 제안한 지역빈도해석을 수행할 경우, 지역의 일정한 분위수는 추정되나, 추가적으로 평균홍수량은 수문학적, 지형학적 특성인자와의 경험관계를 도출하는 것이 필요하다.

일반적으로 지수홍수는 연최대홍수량 계열의 평균과 일치한다고 가정한다. 따라서, 평균 연최대홍수량을 추정하기 위한 방법으로 유역면적과의 경험관계를 이용하는 방법, 합리식을 이용하는 방법, 유역의 지형학적, 수문기상학적 요소를 이용한 다중회귀분석 방법 등이 있다(Brath et al., 2001). 특히, 유역면적과의 경험관계를 멱함수의 법칙(power law)으로 설명한 많은 연구들이 수행되었다(O'Connell, 1968; Fuller, 1914; Jarvis, 1936; Dooge, 1986; Fill and Steiner, 2003; Malamud and Turcotte, 2006). 국내에서는 Ko(1977), Yang and Ko(1981) 등에 의해서 시도되었고, MC(1993)는 전국의 대유역별 홍수량과 유역면적을 상관시킨 경험식을 제시하였다. 이후, 추가적인 홍수량 자료의 축적으로 지수홍수법에 의한 지역홍수빈도분석의 일환으로 Kim and Won(2004)에 의하여 평균홍수량의 경험공식이 제안된 바 있다. 그러나, 이들 연구들은 지역구분에 대

한 명확한 기준없이 대유역별로 구분하였으며, 지역화를 위한 충분한 지점의 홍수량 자료를 확보하지 못한 한계를 지니고 있다.

본 연구에서는 최종적으로 지수홍수법을 이용한 지역홍수빈도분석을 통하여 미계측 구역의 설계홍수량을 추론하기 위한 방법론 및 결과를 고찰하고자 하였다. 이에 대한 선행연구로 Kim et al.(2013, 2014)에서는 공간확장개념을 도입하여 대상구역의 다지점 홍수자료를 생성하였으며, Kim et al.(2016)은 공간확장자료를 이용하여 지수홍수법에 의한 지역홍수빈도해석을 수행하여 지역의 동질성 확인, 적정확률분포형, 무차원성장곡선(분위수)를 제시하였다. 따라서, 여기에서는 미계측 구역의 평균홍수량 거동분석에 초점을 맞추었다.

## 2. 연구방법

### 2.1 미계측 구역을 위한 지역빈도해석 방법

미계측 구역에 대해서 빈도홍수량을 추정하는 방법은 단순홍수량공식, 설계호우-단위도법, 지역홍수빈도분석법, 동역학적 홍수법 등으로 나눌 수 있으며, 각 방법은 주어진 환경에 따라 장단점을 가지고 있다. Burnham(1980)은 홍수량 자료가 없거나 있어도 자료기간이 매우 짧은 경우 자료 기록기간이 긴 지역에서 빈도분석한 결과치와 유역특성인자간의 관계를 해석한 것을 지역빈도분석 결과라고 정의하고, 분석방법에 따라  $Q_T$ 의 통계적 추정법, 모멘트추정법, 지수홍수법, 전이법 등으로 분류하였다.

(1)  $Q_T$ 의 통계적 추정법은 계측된 여러 지점에서 빈도홍수량을 작성한 후 특정재현기간의 홍수량( $Q_T$ )과 기상학적 또는 물리적 요소와 상관시켜 회귀식을 유도한 후, 잔차를 분석하는 회귀식과 잔차항의 함수로 표현되는 방법이다. (2) 모멘트 추정법은 계측된 여러 지점에서 1, 2, 3차 모멘트를 추정한 후 이 모멘트와 기상학적 또는 물리적인 요소와 상관시켜 회귀식을 유도하는 방법이다. (3) 지수홍수법은 일정한 재현기간 또는 평균 홍수량에 대한 지역적인 관계를 작성하고, 이외의 재현기간은 지수홍수에 대한 무차원 성장곡선을 이용하는 방법이다. (4) 전이법은 타지역의 빈도홍수량을 수문학적인 동질성을 가정하여 유역면적비법을 이용하여 사용하는 방법이다. 각 방법이 상황에 따라 장단점을 가지고 있고 그 쓰임새가 다르기 때문에(건설부, 1991) 특별히 어떤 방법이 우월하다고 할 수 없지만,

WMO(1989)에서는 지수홍수법을 권장하고 있으며, Eq. (1)과 같이 표현된다.

$$Q_i(F) = \mu_i q(F), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

여기서,  $Q_i(F)$ ,  $\mu_i$ 는 각각  $i$  지점의 빈도홍수량( $m^3/s$ ), 평균홍수량(지수홍수)( $m^3/s$ )이며,  $q(F)$ 는 무차원 성장곡선이다.

### 2.2 지역홍수빈도분석 결과의 지역화

지수홍수법에 의해 계산되는 홍수량은 평균홍수량을 중심으로 무차원 성장곡선(=빈도홍수량/평균홍수량)로 표현된다. 따라서, 평균홍수량을 지수로 할 때 지수홍수량과 지역간의 상관성을 구하는 것이 지역빈도분석의 중요한 분석 중의 하나이다. 즉, 지수홍수량을 물리적인 요소와 상관시켜 표현할 경우 특정변수인 물리적 요소가 얼마나 대표성을 가지느냐가 관건이 된다. NERC(1975)는 Eq. (2)와 같은 지수홍수의 상관함수를 제시하였다.

$$Q = f(\text{유역면적, 토양함수, 불투수면적, 선행강수지수, 강우량, 저수지면적 등}) \quad (2)$$

이러한 형태의 홍수해석을 위해서는 자료의 수가 많아야 하며, 또한 물리적인 요소가 세밀히 분석되어야 하기 때문에 국내에서는 사실상 적용되기 힘든 실정이다(MCT, 2007). 따라서, Gray(1973), Ko(1977), MC(1993), Kim and Won(2004)은 가장 일반적인 경험식 형태인 유역면적의 함수로만 그 특성을 고찰하였다. Eq. (3)은 서론에서 기술한 멱함수의 법칙을 따르는 것이다.

$$Q = cA^b \quad (3)$$

여기서,  $Q$ 는 지수홍수 즉, 평균홍수량( $m^3/s$ )을 의미하며,  $A$ 는 유역면적( $km^2$ ),  $b, c$ 는 지역별 상수이다.

### 2.3 연구범위 및 방법

본 연구에서는 미계측유역에서의 빈도홍수량을 추정하기 위해 지역홍수빈도분석의 표준방법인 지수홍수법을 이용하였다. 따라서, 지수홍수법의 주요인자 중 하나인 평균홍수량의 지역화를 위한 방법으로 홍수량과 유역면적과의 관계가 멱함수 법칙을 따른다는 가정하에 경험관계를 유도하였다. 분석에 이용한 평균홍수량은 공간확장기법에 의해 모의된 홍수량 자료(Kim et al., 2013; 2014)을 이용하여

산정된 값이다. 경험관계 유도시, 충주댐 상류유역 전체를 하나의 그룹, 공간 근접성에 따른 추가적인 세부적인 그룹으로 분류하여 각각의 결과를 분석하였다. 또한, 유역면적만의 함수가 아닌 추가적인 지형학적 유역특성인자(유로연장, 하도경사)를 고려하여 다중회귀분석을 통한 경험관계를 유도하여 분석하였다. 최종적으로 시나리오별 유도된 경험관계에 의해 추정된 평균홍수량과 모의된 평균홍수량의 오차를 평가하고, 그 결과를 고찰하였다. Fig. 1은 본 연구의 과정을 도식화 한 것이다.

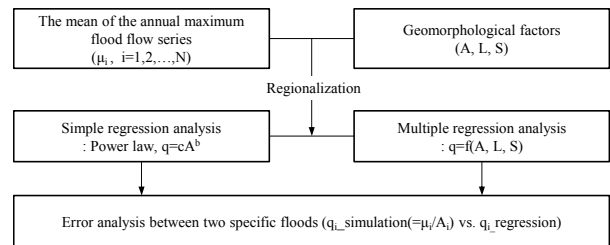


Fig. 1. The flowchart of this study

## 3. 대상유역 현황과 지점별 분위수의 특성

### 3.1 대상유역 현황

대상유역은 선행연구(Kim et al., 2013, 2014, 2016)가 이루어진 충주댐 상류유역으로 하였고, 다지점의 공간확장 자료를 확보하기 위해 대상유역을 22개의 소유역으로 구분하였다(Fig. 2). Table 1에는 다중회귀분석시 필요한 각 소유역별 출구점을 기준으로 상류유역의 지형학적 특성인자(유역면적, 유로연장, 하도경사)를 나타내고 있으며, 세부적인 지역의 구분기준에 해당되는 수자원단위지도의 중권역 코드(1001, 1002, 1003)를 명시하였다.

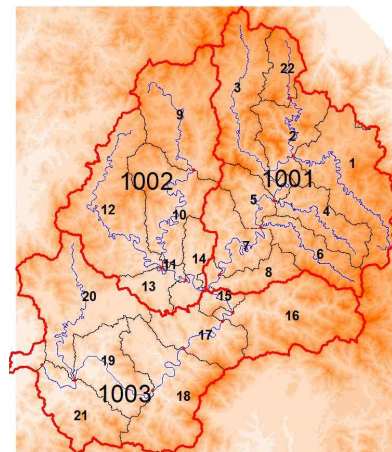


Fig. 2. Study area

Table 1. Geomorphologic factors for each subbasin

Subbasin No.	Area (km <sup>2</sup> )	Main channel length (km)	Channel slope	Middle basin code
1	546.0	35.0	0.013	1001
2	971.2	80.8	0.021	
3	1458.4	113.6	0.020	
4	220.9	20.6	0.023	
5	1822.3	143.9	0.023	
6	233.0	21.4	0.027	
7	2293.7	183.5	0.024	
8	2440.8	198.6	0.025	
9	518.3	25.2	0.021	1002
10	882.8	51.5	0.020	
11	1492.2	92.0	0.018	
12	606.1	38.6	0.013	
13	1613.2	98.5	0.020	
14	1769.8	104.6	0.023	
15	4272.3	308.0	0.025	1003
16	4780.7	334.6	0.025	
17	5027.2	343.2	0.026	
18	5519.2	365.3	0.026	
19	5816.9	372.7	0.027	
20	539.5	22.5	0.021	
21	6648.0	401.5	0.027	
22	149.0	22.9	0.034	

3.2 GEV 분포에 의한 지점별 분위수의 특성

지수홍수법에 의한 지역빈도분석의 경우, 동일한 지역 내의 지점들의 분산은 같다는 가정하에 지역의 평균적인 분위수를 구하여 모든 지점에 적용하게 된다(Burnham, 1980; Hosking and Wallis, 1997). 지수홍수법을 이용한 재현기간별 빈도홍수량의 오차를 구체적으로 확인해보기 위해 GEV 분포에 의한 각 지점별 분위수와 Kim et al.(2016)의 결과인 지역의 평균적인 분위수의 상대오차를 재현기간별로 검토해보았다. Fig. 3에 도시한 바와 같이 분위수의 오차는 재현기간이 커질수록 증가함을 확인할 수 있다. 대상유역의 22개 소유역 중 최상류 소유역 7개 지점과(1, 3, 4, 6, 9, 12, 20, 22번) 분류 합류전의 2, 10번 소유역을 제외한 나머지 12개 소유역 출구점의 홍수량에 대한 분위수 상대오차는

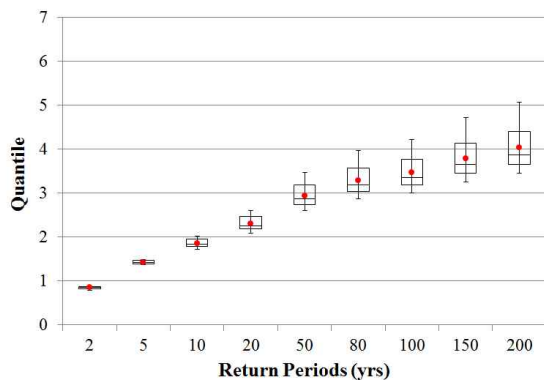


Fig. 3. Box plots of quantiles according to return periods

재현기간 100년에서 약 10% 이내로 분석되었다. 이는 지역 내 최상류 지류의 홍수량 영향이 분류로 갈수록 점차 감소하여 지수홍수법을 이용하여 빈도홍수량을 산정하는 절차가 분류지점에서는 지점별 빈도특성이 평균되어져 감을 판단할 수 있는 근거가 될 수 있다.

4. 미계측 유역을 위한 경험관계 개발

4.1 평균홍수량과 유역면적과의 경험관계

일반적으로 홍수량과 유역면적 간의 경험관계는 많은 연구자들에 의해 멱함수 법칙으로 설명되어 왔다. 따라서, 대상유역 내의 전 지점들에 대한 평균홍수량과 유역면적의 관계는 멱함수 법칙을 따른다는 가정하에 Eq. (4)의 형태로 분석을 수행하였다.

$$q = cA^b \tag{4}$$

여기서,  $q$ 는 평균홍수량에 대한 비유량( $m^3/s/km^2$ ),  $A$ 는 유역면적( $km^2$ ),  $b$ 와  $c$ 는 지역별 상수이다. 먼저, 대상유역의 분석지점별 유역면적에 따른 평균홍수량에 대한 비유량을 Fig. 4에 도시하였다. Eq. (4)의 형태로 설명할 경우,  $c$ 는 3.895,  $b$ 는  $-0.127$ 의 값을 가지며, 결정계수( $R^2$ )는 0.644로 분석되었다. 또한, 대상유역에서 유역면적이 증가함에 따라 점차로 일정한 멱함수 법칙에 수렴함을 확인할 수 있었다(Fig. 4의 점선). 그러나, 유역면적이 약  $3,000 km^2$ 보다 작은 지점들에서 멱함수 법칙으로 설명하는 경험관계에서 이산성이 나타난 것으로 판단되어 그 원인에 대한 추가적인 분석을 수행하였다.

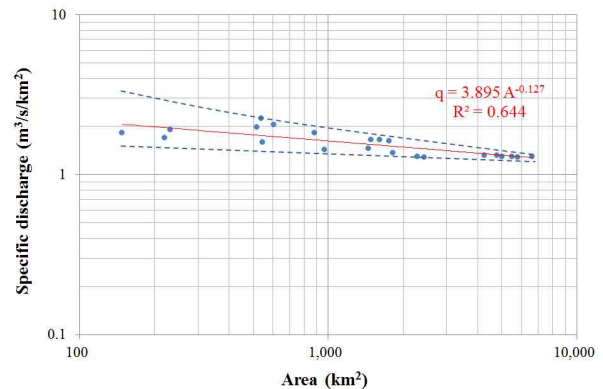


Fig. 4. Relationships between specific discharge and watershed area

Fig. 4에서 멱함수 법칙을 의미하는 실선(Eq. (4))을 기준으로 각 분석지점들을 3개의 그룹으로 아래와 같이 구분하였다. 유역면적이  $3,000 \text{ km}^2$ 보다 작은 경우에는 멱함수 법칙보다 과소추정된 그룹 1과 과대추정된 그룹 2로, 유역면적이  $3,000 \text{ km}^2$ 보다 큰 경우에는 멱함수 법칙을 따르는 것으로 판단되는 그룹 3으로 분류하였다. 분류된 3개의 그룹은 충주댐 상류유역의 수자원단위지도 3개 중권역과 일치된 결과를 보였다. 그룹 1, 2, 3을 해당 중권역명(번호)으로 기술하면 각각 남한강 상류(1001), 평창강(1002), 충주댐(1003)이다. 수문학적 유출의 관점에서 남한강 상류(1001), 평창강(1002) 유역은 각각 상류에 위치한 독립유역이며, 두 독립유역이 합류되는 충주댐(1003)은 상류유역의 영향을 받는 하류유역에 해당된다.

Fig. 5에서와 같이 대상유역 전지점 분석결과인 멱함수 법칙을 설명하는 Eq. (4)의 기울기( $b=-0.127$ )를 고정하고, 3개의 중권역에 해당하는 분석지점들에 대하여 각각  $c$ 값과 결정계수( $R^2$ )를 분석하였다. 이때, 남한강 상류(1001), 평창강(1002) 유역의 영향을 받는 충주댐(1003) 유역에 해당되는 소유역 중 영향을 받지 않는 독립적인 소유역인 20번 소유역과 20번 소유역의 영향을 받게 되는 21번 소유역은 분석에서 제외하였다. 그 결과는 Table 2에 나타내었으며, 결정계수( $R^2$ )는 남한강 상류(1001), 평창강(1002), 충주댐(1003) 3개의 중권역에 대하여 각각 0.919, 0.842, 0.709로서 전지점 분석결과인 0.644보다 높은 상관관계를 보였다. 이는 홍수량과 유역면적 간의 경험관계는 유역을 보다 세분화하여 해당 직상하류 분석지점들의 관계를 이용한 멱함수 법칙의 관계로 설명하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 즉, 미계측 유역에 대한 홍수량을 추정할 경우, 관측된 인근지역 즉 직상하류 유역의 비유량을 사용한 경험관계가 우선 적용되어야 할 것이다.

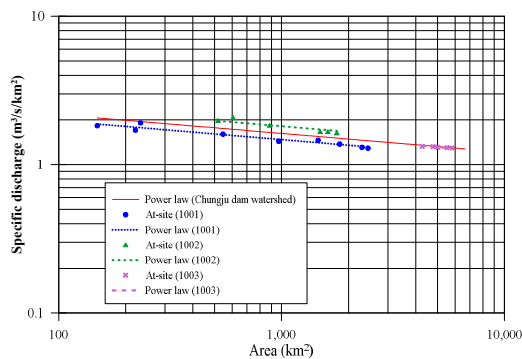


Fig. 5. Relationships between specific discharge and watershed area (3 different regions)

Table 2. Parameters of power law's equations and coefficient of determination

Region	c	b	$R^2$
1001+1002+1003	3.895	-0.127	0.644
1001	3.538		0.919
1002	4.356		0.842
1003	3.858		0.709

Fig. 6에서는 본 연구의 기초자료인 공간확장기법에 의해 도출된 분석지점별 평균홍수량과 유역면적에 의한 경험관계를 적용하여 도출된 평균홍수량을 비교하였다. 모형의 효율을 나타내는 NSE는 대상유역을 충주댐 상류유역 전지점을 하나의 그룹으로 분석한 경우(1 region)에는 0.580의 값을 보였으나, 3개의 그룹으로 구분하여 각각 도출한 경험관계를 적용하여 분석한 경우(3 regions)에는 0.952로 우수한 결과를 도출할 수 있었다. 이는 미계측 유역을 위한 지역화를 위해서는 보다 세밀한 그룹화에 대한 고려가 이루어져야 함을 의미한다.

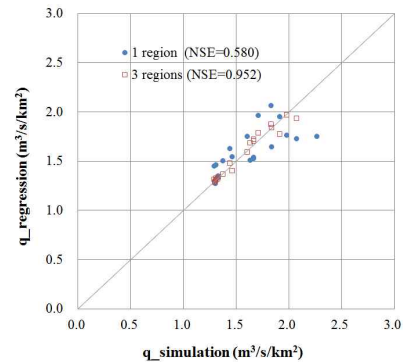


Fig. 6. Regionalization using simple regression analysis

#### 4.2 평균홍수량과 지형학적 특성인자와의 경험관계

여기에서는 홍수량에 가장 큰 영향을 미치는 유역면적에 추가적인 지형학적 특성인자인 유로연장( $L$ ), 하도경사( $S$ )를 추가하여 다중회귀분석을 실시하여 경험관계를 유도하였다. 이때 분석 대상지점들을 4.1절에서와 같이 4가지의 경우(충주댐 상류유역 전유역, 3개의 중권역별)로 구분하여 각각 분석을 수행하였다. 다중회귀분석의 결과인 홍수량과 지형학적 특성인자(유역면적, 유로연장, 하도경사)의 경험관계는 Eq. (5)의 형태로 표현되며, 분석된 계수값은 Table 3과 같다. 먼저, 유역면적만의 경험관계에 비하여 다중회귀분석시의 결정계수는 4가지 경우에 대하여 각각 0.892, 0.953, 0.989, 0.996으로 더 높은 상관관계를 나타내었다. 두 번째로 충주댐 상류유역 전유역에 대한 분석에 비

하여 3개의 중권역별 다중회귀분석 결과가 더 높은 상관관계를 보였다.

$$q = a A^b L^c S^d \tag{5}$$

여기서,  $q$ 는 평균홍수량에 대한 비유량( $m^3/s/km^2$ ),  $A$ 는 유역면적( $km^2$ ),  $L$ 은 유로연장( $km$ ),  $S$ 는 하도경사,  $a, b, c, d$ 는 지역별 매개변수이다.

Table 3. Parameters of multiple regression equations and coefficient of determination

Region	a	b	c	d	$R^2$
1001+1002+1003	2.283	0.237	-0.397	0.073	0.892
1001	4.025	0.088	-0.240	0.145	0.953
1002	12.302	-0.418	0.218	-0.021	0.989
1003	0.350	0.123	-0.191	-0.381	0.996

Fig. 7에서는 앞서 유역면적만의 경험관계 분석연구와 마찬가지로 공간확장기법에 의해 도출된 분석지점별 평균홍수량과 다중회귀분석에 의한 경험관계를 적용하여 도출된 평균홍수량을 비교하였다. 모형의 효율을 나타내는 NSE는 대상유역을 충주댐 상류유역 전지점을 하나의 그룹으로 분석한 경우(1 region)에는 0.876, 3개의 그룹으로 구분하여 각각 도출한 경험관계를 적용한 경우(3 regions)에는 0.982로 우수한 결과를 도출하였다. 또한, 단일 독립변수인 유역면적을 이용한 단순회귀분석보다는 여러개의 독립변수 유역면적, 유로연장, 하도경사를 이용한 다중회귀분석의 결과의 우수성을 확인할 수 있었다.

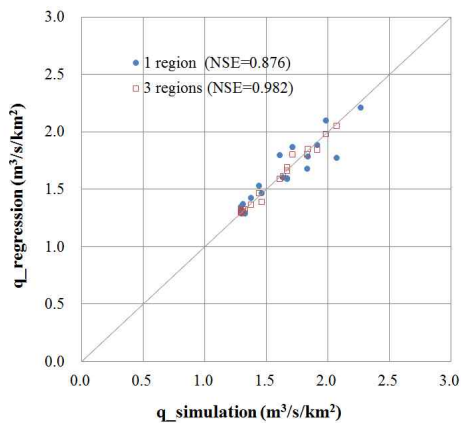


Fig. 7. Regionalization using multiple regression analysis

추가적으로 유역면적만의 관계로 평균홍수량의 경험관계를 개발할 때, 지역화를 위한 세밀한 그룹화를 통한 지역화 경험식의 모형효율을 의미하는 NSE가 0.952로 지역화

의 세밀한 그룹화없이 충주댐 상류유역 전지점에 대한 다중회귀분석 결과인 NSE 0.876보다 높은 정확도를 나타내었다. 이는 미세측 유역을 위한 지역화를 위해서는 대상유역 내의 그룹화에 대한 고려가 지형학적 인자로만 설명할 수 없는 수문학적 인자가 일부 반영된 것으로 판단되며, 이에 대한 추가적인 연구는 수행되어야 할 것이다. 이러한 이유로 지역화 경험관계 개발을 위해서는 보다 세밀한 그룹화가 중요한 고려사항으로 반영되어야 할 것이다.

### 4.3 평균홍수량과 지형학적 특성인자 관계에 의한 오차항 분석

앞서 평균홍수량과 지형학적 특성인자와의 경험관계를 유도하여, 상관관계를 파악하였다. 여기에서는 유도된 경험관계가 적용될 경우, 경험식에 대한 지점별 홍수량의 오차  $\beta$ 를 분석하였다. 오차  $\beta$ 는 Eq. (6)에서 유도한 것으로 Eq. (7)과 같다(Kim et. al, 2015).

$$Q_{sim} = Q_{reg} + \beta Q_{reg} \cdot \epsilon \tag{6}$$

$$\beta = \sqrt{E \left[ \left( \frac{Q_{sim} - Q_{reg}}{Q_{reg}} \right)^2 \right]} \tag{7}$$

여기서,  $Q_{sim}$ 는 공간확장기법에 의한 평균홍수량( $m^3/s$ ),  $Q_{reg}$ 는 경험식에 의한 평균홍수량( $m^3/s$ )이다.  $\beta$ 는 오차항을 나타낸 것이며,  $\epsilon$ 는 평균이 0이고, 분산이 1인 정규분포의 무작위 오차이며, E는 기댓값으로 여기에서는 평균을 의미한다.

따라서, 공간확장기법 기반의 평균홍수량과 경험식 기반의 평균홍수량 간의 오차  $\beta$ 는 평균홍수량의 경험관계를 독립변수인 유역면적만으로 유도한 경우와 유역면적, 유로연장, 하도경사를 이용하여 다중회귀분석한 경우로 구분하여 분석하였다. 또한, 두가지 회귀분석방법에 대하여 각각 충주댐 상류유역 전지점을 하나의 그룹으로 구분하여 분석한 시나리오(1 region), 3개의 중권역으로 구분하여 각각 도출된 경험관계를 적용하여 분석한 시나리오(3 regions)에 따른 오차  $\beta$ 를 분석하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다. 첫 번째 시나리오(1 region)의 경우, 단순회귀분석에 비하여 다중회귀분석시 오차  $\beta$ 는 10.8%에서 5.8%로 약 54% 감소하였다. 또한, 두 번째 시나리오(3 regions)의 경우, 직상하류 유역으로 그룹화한 3개의 중권역별로 각각 분석한 결과는 3.6% 미만(0.1~3.6%)의 매우 작은 오차를 보였다.

**Table 4.** Error  $\beta$  between two specific floods for each scenario

Scenario		Error $\beta$	
		Power law	Multiple regression
1 region	1001+1002+1003	0.108	0.058
	1001	0.036	0.030
3 regions	1002	0.036	0.010
	1003	0.005	0.001

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 공간확장기법에 의한 홍수량 자료를 이용하여 지역홍수빈도분석을 수행하여, 최종적인 미계측 유역을 위한 홍수량의 경험관계를 제시하였다. 이를 위해 첫 번째로 적정 확률분포형으로 GEV분포를 선정하여, 지역빈도분석을 실시하는 전통적인 홍수빈도분석을 통하여 무차원성장곡선을 산정하고, 지점별 특성을 고찰하였다. 두 번째로는 유역면적 등과 같은 지형학적 유역특성인자를 이용하여 미계측 유역을 위한 평균홍수량의 경험식을 개발하였다. 본 연구의 초점인 지수홍수법의 주요 인자인 평균홍수량에 대한 중요한 결론은 다음과 같다.

(1) 평균홍수량과 유역면적과의 관계를 멱함수 법칙으로 설명하였으며, 대상유역을 가까운 소유역을 기준으로 그룹화를 통하여 보다 세밀하게 멱함수 법칙을 설명하였다. 그 결과에 따르면, 미계측 지점의 홍수량 추정시에는 계측된 인근지역 즉, 직상하류 유역의 비유량의 관계를 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

(2) 직상하류 유역의 자료가 없는 경우에는 유역전체의 평균적인 경험관계가 이용될 수 있으며, 이때 오차범위를 나타내는  $\beta$ 는 0.108로 분석되었다.

(3) 한 유역에서 유역면적이 증가함에 따라 점차로 일정한 멱함수 법칙에 수렴함을 확인할 수 있었으며, 이는 유역면적이 작은 경우( $3,000 \text{ km}^2$  이하)는 0.097, 0.121의 오차를 보였으나, 유역면적이 큰 경우( $3,000 \text{ km}^2$  이상)에는 0.011의 오차를 나타내었다. 유역면적이 작은 경우에는 유역면적 뿐만 아니라 추가적인 지형학적 특성인자 또는 수문학적 기상인자가 고려되어야 할 것으로 판단된다.

(4) 국내 관행상 다양한 지형학적 특성인자(A, L, S)를 이용하여 경험식을 유도하였으며, 유역면적만으로 경험식을 유도한 경우에 비해 오차는 54% 감소하였다.

본 연구의 결과에서 미계측 유역을 위한 지역빈도해석은

지역홍수빈도해석 절차도 중요하지만, 지역의 세밀한 구분과 그에 따른 지역화 경험관계 개발과정도 중요한 절차임을 확인할 수 있었다. 또한, 미계측 유역의 홍수량을 추론하기 위해서는 지역홍수빈도분석을 수행할 수 있는 다지점 정보를 확보하는 것이 홍수량의 거동을 파악하는데 무엇보다 중요함을 알 수 있다. 마지막으로 홍수량의 지역화를 위해 추가적으로 수문학적 특성인자를 고려한다면, 보다 정확한 홍수량을 추정할 수 있을 것으로 기대되며 이에 대한 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Brath, A., Castellarin, A., Franchini, M., and Galeati, G. (2001). "Estimating the index flood using indirect methods." *Hydrological sciences journal*, Vol. 46, No. 3, pp. 399-418.
- Burnham, M.W. (1980). *Adoption of flood flow frequency estimates at ungaged location*, Training Document 11, U.S. Army Corps of Engineers.
- Dalrymple, T. (1960). *Flood-frequency analyses, manual of hydrology*, Part 3, Flood-flow Techniques, U.S. Geological Survey Water-Supply paper 1543-A.
- Dooge, J.C.I. (1986). "Looking for hydrologic laws." *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 9, pp. 46S - 58S.
- Fill, H.D., and Stedinger, J.R. (1998). "Using regional regression within index flood procedures and an empirical Bayesian estimator." *Journal of Hydrology*, Vol. 210, No. 1, pp. 128 - 145.
- Fuller, W. E. (1914). "Flood flows." *Transactions of the ASCE*, Vol. 77, pp. 567 - 617.
- Gray, D. M. (1973). *Handbook on the principles of hydrology*, Water Information Center Publication, the North Shore Atrium.
- Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R. (1997). *Regional frequency analysis, An approach based on L-moment*, Cambridge University Press.
- Jarvis, C.S. (1936). "Floods in the United States, magnitude and frequency." *Water Supply Paper 771*, USGS, Washington, DC.
- Kim, N.W., and Won, Y.S. (2004). "Estimates of regional flood frequency in Korea." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 37, No. 12, pp. 1019-1032.

- Kim, N.W., Jung, Y., and Lee, J.E. (2013). "Spatial extension of runoff data in the applications of a lumped concept model." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 9, pp. 921-932.
- Kim, N.W., Jung, Y., and Lee, J.E. (2014). "Simulation conditions based characteristics of spatial flood data extension." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 6, pp. 501-511.
- Kim, N.W., Lee, J.E., Lee, J., and Jung, Y. (2015). "Effect of Observed Discharge Data on Regional Flood Frequency Analysis in the Han River basin." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 6, pp. 511-522.
- Kim, N.W., Lee, J.E., Lee, J., and Jung, Y. (2016). "Regional frequency analysis using spatial data extension method : I. An empirical investigation of regional flood frequency analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 5, pp. 439-450.
- Ko, J.U. (1977). "Regional flood frequency studies in Korean rivers." *The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 25, No. 4, pp. 95-102.
- Malamud, B.D., and Turcotte, D.L. (2006). "The applicability of power-law frequency statistics to floods." *Journal of Hydrology*, Vol. 322, No. 1, pp. 168-180.
- MC (1991). *Research on development of water resource management technology*, Korea Institute of Construction Technology, Ministry of Construction, 1991.
- MC (1993). *Research on development of water resource management technology*, Korea Institute of Construction Technology, Ministry of Construction, 1993.
- MCT (2007). *Guideline for design flood estimation*, Ministry of Construction and Transportation.
- NERC (1975). *Flood studies report : Volume I. Hydrological studies*, Natural Environment Research Council, London.
- O'Connell, P.P.L. (1868). "On the relation of the freshwater floods of rivers to the areas and physical features of their basins and on a method of classifying rivers and streams with reference to the magnitude of their floods." *Minutes Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. 27, No. 1868, pp. 204-217.
- WMO (1989). *Statistical distributions for flood frequency analysis*, WMO-No. 718, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Yang, D.Y., and Ko, J.U. (1981). "The derivation of the frequency formulae from the basin characteristics." *Journal of Korean Association of Hydrological Sciences*, Vol. 14, No. 3, pp. 37-46.