

## 하천홍수량의 지역화 회귀모형개발을 위한 지역빈도해석

## Regional Frequency Analysis for a Development of Regionalized Regression Model of River Floods

盧載植\* · 李吉睿\*\*

Noh, Jae Sik · Lee, Kil Choon

## Abstract

The major purpose of this study is to develop a regionalized regression model, which predicts flood peaks from the characteristics of the ungaged catchments, through the regional flood frequency analysis for the selected stage gauging stations located on several natural rivers of Korea. The magnitude and the frequency of flood peaks with specified recurrence intervals were estimated from the flood frequency analysis on the 28 selected stage gauging stations distributed on the five major rivers of Korea. The results of the analysis were compared with the predictions from the two different flood frequency models. From the statistical evaluation of these models, it was revealed that the POT model (Peaks Over a Threshold model), which is based on the partial duration method, is more effective in predicting flood peaks from short period records than the ANN-MAX model (ANNual MAXimum model) which is based on the annual maximum series method. A regionalized regression model was developed to facilitate the estimation of design floods for ungaged catchments through the regression analysis between flood peaks and the topographic characteristics of the catchments assumed to be important in runoff processes. In addition to this, the correlation diagrams are presented which show the relationships between flood peaks with specified recurrence intervals and the major characteristics of the catchments.

## 요 지

본 연구는 자연하천 유역에서의 수위관측점들을 대상으로 지점 홍수빈도해석을 실시하고 하천홍수량의 지역빈도해석에 의한 지역화 회귀모형을 개발한 것이다. 홍수빈도해석은 국내 주요 5대 하천유역인 한강, 금강, 영산강, 섬진강 및 낙동강 유역내에 있는 자연하천관측점들을 대상으로 홍수빈도모형을 이용하여 지점별 홍수량의 크기 및 빈도를 추정하였으며, 이를 바탕으로 홍수빈도예측을 위한 모형의 적용성과 효용성을 비교검토했다. 그 결과 단기간 기록년수의 자료에서는 부분기간치계열 방법의 POT(Peaks Over a Threshold)모형이 연최대치계열 방법의 ANNMAX(ANNual MAXimum) 모형보다 효과적이고 합리적임이 판명되었다. 지역 홍수빈도해석에서 홍수빈도모형에 의한 지점별 홍수추정량과 홍수유출에 영향을 미치는 지형학적 유역 특성인자들간의 상관분석법에 의해 미계측 지점에서의 설계홍수량 추정이 용이한 지역화 회귀모형을 개발하고, 첨두홍수량과 유역 특성인자들간의 상관도를 재현기간별로 작성 제시하였다.

\* 정희원 · 단국대학교 공과대학 토목공학과 강사, 공학박사

\*\* 정희원 · 단국대학교 공과대학 토목공학과 교수, 공학박사

## 1. 서 론

수자원개발계획 및 설계를 위한 합리적인 하천홍수량의 추정은 주요한 과제로서 하천정비 및 수공구조물의 최적규모결정 등의 기본자료가 되며, 구조물의 경제성과 안정성을 좌우하는 주요인자이다. 이와 같이 그 중요성이 인식되어 온 하천홍수량에 확률개념을 도입한 수문학적 및 경제적 측면에서의 설계홍수량은 모든 수문학적 설계 및 계획에 있어서 편리한 수단으로 사용되고 있다. 따라서 수문자료로부터 홍수 발생시기와 크기의 예측, 즉 수문사상의 장래 빈도추정을 통해 수문변수들을 상관시키고, 장래의 홍수에 대한 수문학적 연구에 필수적인 조건인 수문학적 의미 이외에 경제적인 면에 대한 고려도 포함되는 각종 수공구조물의 크기 및 빈도 결정에 있어서 기준이 되는 유출용적 또는 첨두홍수량 등의 합리적인 설계홍수량 추정이 요구된다.

본 연구에서는 국내 주요 5대 자연하천 유역내 수위표 관측점별 홍수량의 확률치와 빈도를 통계학적 홍수빈도모형에 의해 추정하여 수공구조물의 계획설계에 기준을 제공하고, 유역의 지형학적 특성인자와 첨두홍수량간의 상관관계를 이용한 지역빈도해석에 의해 미계측 지점에서의 설계홍수량 추정이 용이한 하천홍수량의 지역화 회귀모형개발과 첨두홍수량과 유역특성인자들간의 상관도를 작성하여 제시함에 그 목적이 있다.

## 2. 홍수빈도해석

홍수량(Q)과 재현기간(T)간의 관계를 추정하기 위한 홍수빈도해석법으로는 부분기간치계열(partial duration series)방법, 연최대치계열(annual maximum series)방법, 시계열(time series)방법에 기초된 3개 유형의 통계학적 모형이 있다.<sup>(6)</sup>

(1) 부분기간치계열모형(Partial Duration Series Model), POT모형(Peak Over a Threshold Model)

(2) 연최대치계열모형(Annual Maximum Series Model), ANNMAX모형

(3) 시계열모형(Time Series Model), TS모형

본 연구에서는 단기간 기록년수의 자료에 매우 유용하면서 그 적용방법이 간단하며 결과치가 정확

한 것으로 알려져 있는 부분기간치계열 자료에 적합한 POT모형과 장기간 기록년수의 자료를 대상으로 하며 연최대치계열에 적합한 ANNMAX모형을 이용하여 하천유역의 지점별 홍수량의 크기 및 빈도를 추정하고, 이를 바탕으로 홍수빈도 예측을 위한 통계학적 모형의 적용성 및 효용성을 비교 검토하였다.

### 2.1 모형의 확률분포 이론

POT모형은 부분기간치계열 자료를 대상으로 하며 어떤 지정된 특정 기저 첨두유량(threshold)  $q_0$ 를 초과하는 모든 첨두유량의 분포와 첨두유량의 발생횟수를 다음과 같이 표현할 수 있다.

(1) 매년 특정 기저유량(threshold)  $q_0$ 를 초과하는 첨두유량의 무작위 발생횟수  $k'$ 은 평균  $k(=\lambda q_0)$ 인 포아송 분포(Poisson distribution)이며 그 확률분포는 다음과 같다.

$$P_r(K'=k') = e^{-\lambda(q_0)} \frac{\lambda(q_0)^{k'}}{k'!}, \quad k'=0,1,\dots \quad (1)$$

(2) 특정기저유량(threshold)  $q_0$ 를 초과하는 첨두유량  $q_i$ 는 독립변수이고 매개변수  $q_0$ 와  $\beta$ 를 가진 지수분포(exponential distribution)이다.

$$P_r(q_i > q | q_i \geq q_0) = e^{-(q - q_0)/\beta}, \quad q \geq q_0 \quad (2)$$

여기서,  $P_r(\cdot)$  : ( )의 사상이 발생할 확률

$k$  :  $q_0$ 를 초과할 평균 발생횟수

$k'$  : 주어진 기간내에  $q_0$ 를 초과할 평균 발생횟수

$q_0$  : 특정기저유량(threshold)

$\beta$  : 지수분포의 축척매개변수

한편 ANNMAX모형의 경우에는 연최대유량이  $q_0$ 보다 작을수도 있고, 이 경우에 식 (1)과 (2)에 대한 연최대분포는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r(q_{\max} \leq q_0) = \exp(-k) \quad (3)$$

$$P_r(q_{\max} \leq q) = \exp[-\exp(-(q-u)/\alpha)], \quad q \geq q_0 \quad (4)$$

$$\text{여기서, } \alpha = \beta \quad (5)$$

$$u = q_0 + \beta(\ln k + \gamma(T)) \quad (6)$$

$$y(T) = -\ln[-\ln(1-1/T)] \quad (7)$$

T = 재현기간

## 2.2 모형의 유도

2.2.1 연최대치계열 모형의 홍수추정량 및 표본분산  
연최대치계열에 대한 재현기간 T년 홍수량 Q(T)를 추정하기 위한 ANNMAX모형은 식(4)와 (6)으로부터 다음과 같이 표현된다.

$$Q(T)_{AM} = u + \alpha y(T) \quad (8)$$

여기서, u : 위치매개변수(location parameter)

$\alpha$  : 축척매개변수(scale parameter)

y(T) : Gumbel 변환유량(Gumbel reduced variate)

식 (8)의 확률모형으로써 사용된 극치분포의 홍수빈도해석에서는 연최대치 계열자료 표본으로부터 매개변수 추정이 필요하고, 그 추정식은 식 (4)와 극치분포함수  $F=F(x)$ ,  $x=x(F)$  관계로부터 성립된다.<sup>(4,7)</sup> 따라서 매개변수  $\alpha$ 와 u의 확률가중모멘트 추정치는 다음과 같다.

$$\hat{\alpha} = (2b_1 - b_0) / \ln 2 \quad (9)$$

$$\hat{u} = b_0 - \gamma \alpha = b_0 - 0.5772 \hat{\alpha} \quad (10)$$

여기서,

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i \quad (11)$$

$$b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (i-1)q_i / (N-1) \quad (12)$$

N : 자료 기록년수

$\gamma$  : Euler 상수(=0.5772)

따라서 식 (9)와 (10)의 매개변수 추정치를 사용하여 재현기간 T년 홍수량 Q(T)의 최소분산 불편향(minimum variance unbiased) 추정량을 표현하면 다음과 같다.

$$\hat{Q}(T)_{AM} = \hat{u} + \hat{\alpha} y(T) \quad (13)$$

또한 그 표본분산(sampling variance)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{var}(\hat{Q}(T)_{AM}) &= \frac{\hat{\alpha}^2}{N} \left\{ 1 + \frac{6}{\pi^2} (1 - \gamma + y(T))^2 \right\} \\ &= \frac{\hat{\alpha}^2}{N} \{ 1.11 + 0.52y(T) + 0.61y^2(T) \} \end{aligned} \quad (14)$$

2.2.2 부분기간치계열 모형의 홍수추정량 및 표본분산

POT모형은 특정기저유량의 초과횟수와 크기로부터 홍수량을 추정하는 방법으로서 연 또는 계절내 시간장경의 초과율분포의 균등함 여부에 따른 가정, 즉 특정기저유량 이상의 침투유량 발생횟수가 취급되는 방법에 따라 Model I-Model IV의 4개 유형으로 구분되며 그 적용모형이 다르다.<sup>(6)</sup>

또한 부분기간치계열로부터 재현기간 T년 홍수량 Q(T)를 추정하기 위해서는 모형의 매개변수( $q_0, \beta, k$ )의 결정이 필요하고, 그 추정치의 유도는 관측자료로부터 침투유량을 추출하기 위해 사용된 다음의 두 방법에 좌우된다.

(1) 추출방법(abstraction method) 1 :

특정기저유량  $q_0$ 는 고정된 양이고, 침투유량의 발생횟수 M과 그 크기  $q_i(i=1,2,\dots,M)$ 는  $k$ 와  $\beta$ 를 추정하기 위해 사용되고 기록년수 N은 고정된다.

(2) 추출방법(abstraction method) 2 :

추출방법 1과 반대로 표본크기 M이 무작위이면서 고정되고, 표본으로부터 년당 홍수량 평균 발생횟수  $k$ 가 M의 추출전에 고정되는 방법으로서, 표본은  $q_1, q_2, \dots, q_M$ 이며 매개변수  $q_0$ 와  $\beta$ 는 미지수이다. 따라서 고정된 크기 M개의 표본으로부터 지수분포의 위치 및 축척 매개변수  $q_0$ 와  $\beta$ 를 다 함께 추정하여야 한다.

본 연구에서는 특정기저유량  $q_0$ 를 초과하는 침투유량의 발생횟수에서 연간 변화가 균일하게 고려되면서 1년내 계절간의 변화가 무시되는 평균 k인 무작위변수로 가정된 Model II에서의 추출방법 2를 사용하였다. 이는 단기간 기록년수의 자료에서 매우 유용하고, 수문자료 시계열의 구성에도 부합되면서 ANNMAX모형의 결과와도 동등하게 비교가능한 모형으로서 매우 간편하고 명확한 방법이므로 홍수빈도해석시 널리 사용된다.

그 우도는 다음과 같이 표현된다.<sup>(4,8)</sup>

$$L(q_1, q_2, \dots, q_M; q_0, \beta) = \prod_{i=1}^M \frac{1}{\beta} e^{-(q_i - q_0)/\beta}$$

$$= \frac{1}{\beta^M} e^{-M(\bar{q} - q_0)/\beta} \quad (15)$$

$$\text{여기서, } \bar{q} = \frac{1}{M} \prod_{i=1}^M q_i \quad (16)$$

식 (15)의  $q_0$ 와  $\beta$ 의 최우추정치는 다음과 같다.

$$\hat{q}_0 = q_1 = q_{\min}$$

$$\hat{\beta} = \bar{q} - q_1 = \bar{q} - q_{\min} \quad (17)$$

식 (17)의  $q_0$ 와  $\beta$ 는 편향되므로 다음과 같은 최소분산 불편향추정치(minimum variance unbiased estimates)가 필요하다.

$$\hat{\beta} = \frac{M}{M-1} (\bar{q} - q_{\min})$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^M (q_i - q_{\min})}{M-1} \quad (18)$$

$$\hat{q}_0 = q_{\min} - \hat{\beta}/M$$

$$= q_{\min} - \frac{1}{M} \frac{\sum_{i=1}^M (q_i - q_{\min})}{M-1} \quad (19)$$

- 여기서,  $\hat{\beta}$  : 축적대개변수  
 $\hat{q}_0$  : 위치대개변수  
 $\bar{q}$  : 첨두유량표본의 평균치  
 $q_{\min}$  : 첨두유량표본의 최소치  
 $M$  : 표본크기(=Nk)  
 $N$  : 자료 기록년수

따라서 식 (18)과 식 (19)로 주어지는 최소분산 불편향 대개변수 추정치를 이용하여 재현기간 T년 홍수량  $Q(T)$ 의 추정량은 다음 식으로 얻어진다.

$$\hat{Q}(T)_{PD} = \hat{q}_0 + \hat{\beta} \{\ln k + y(T)\} \quad (20)$$

또한  $\hat{Q}(T)_{PD}$ 의 표본분산은 다음 식으로 표현가능하다.

$$\text{var}(\hat{Q}(T)_{PD}) = \frac{\hat{\beta}^2 \left[ \frac{(1 - \ln k - y(T))^2}{Nk-1} + (\ln k + y(T))^2 \right]}{k} \quad (21)$$

## 2.3 모형의 적용 및 분석

### 2.3.1 대상유역 및 관측점의 선정

홍수빈도해석을 위한 대상유역 및 관측점은 국내 주요하천들이 한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강 등 5대 하천유역에 위치한 수위표 관측점들 중에서 댐에 의한 인위적인 유량조절 효과를 받지 않는 자연유출상태를 유지하며, 자료의 기록년수가 동일 하면서 수위-유량관계 곡선 및 곡선식이 하상변동 내역에 따라 작성되어 있는 댐 상류 수위표 관측점들을 대상으로 관측자료의 신뢰성이 있다고 판단되는 최종 28개로 선정하였다. 선정된 분석대상 관측점들의 위치도는 그림 1과 같다.

### 2.3.2 자료수집 및 정리

기본자료 수집은 선정된 28개 수위관측점별로 1971~1990년(20개년)간 건설부의 각 수위관측점에서 관리하여 작성하는 한국 수문조사서(수위편)와 한국 수문조사년보의 일평균수위를 대상으로 하였다. 수집된 일평균 수위자료를 본 연구의 해석 목적에 부합되게끔 각 관측별로 부분기간치 계열 및 연최대치 계열로 적출하여 정리하였다.

그리고 수위자료를 유량자료로 환산하기 위한 수

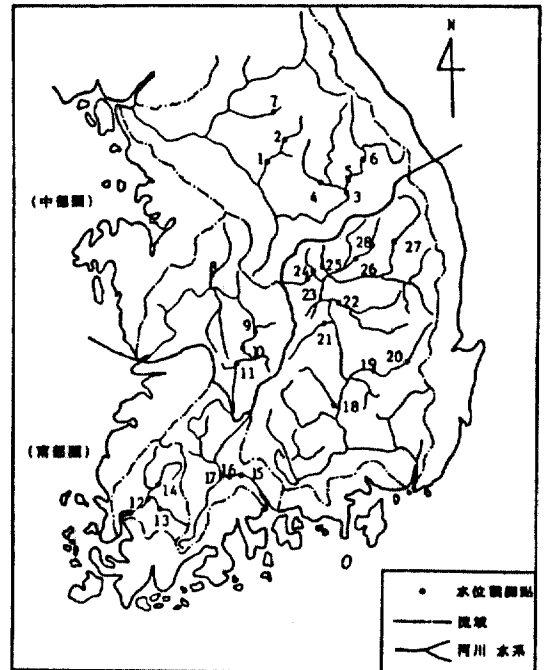


그림 1. 대상 수위 관측점의 위치도

위-유량 관계 곡선은 기존에 발표된 각종 연구보고서와 건설부에서 발간된 홍수량 측정 조사보고서 등에서 각 관측점별로 모두 수집하였고, 동일지점에 대해 작성년도가 다른 여러 개의 수위-유량 관계 곡선식이 있는 경우에는 각 관측점의 변동내역을 파악하여 작성년도를 중심으로 시기별로 분류하고 상호 비교함으로써 큰 차이를 보이지 않는 범위내에서 해당년도식으로 선정하였다. 또한 비슷한 년도에 다수의 수위-유량 관계 곡선식이 작성되어 있을 경우에는 각기의 곡선식에 의한 유량을 계산하고

실제유량과 계산유량과의 관계를 검토하여 가장 합리적이거나 판단되는 것을 최종식으로 선정하였다.

수집된 관측점별 부분기간치 및 연최대치 계열 수위자료를 선정된 수위-유량 관계 곡선식에 해당년도별로 각각 적용하여 유량으로 환산하였다. 환산된 유량자료는 본 연구의 홍수빈도해석을 위한 기본자료로 이용하기 위해 부분기간치 및 연최대치 홍수량 계열 자료로 재정리하였다.

### 2.3.3 모형의 매개변수 결정

재현기간별 홍수량  $Q(T)$ 를 추정하기 위해서는

표 1. 관측점별 모형의 매개변수 추정치

수계	관측점	ANNMAX모형		POT모형					
		$\hat{\alpha}$	$\hat{u}$	$\hat{\beta}$			$\hat{q}_0$		
				k=1	k=2	k=3	k=1	k=2	k=3
한강	현성영월	488.08	624.01	307.70	428.66	364.00	965.43	543.53	453.69
	황성영월	346.74	397.68	249.82	174.92	160.85	478.46	412.57	359.09
	영월천	2855.73	1698.85	3446.09	1972.27	1486.94	1532.47	1215.09	1024.77
	천주천	653.37	402.73	648.49	506.23	393.28	500.29	255.64	189.78
	운천	2532.10	1783.70	2510.74	1730.70	1482.78	1731.07	1089.74	687.57
	정선천	2101.00	1155.42	2692.85	1468.39	1018.55	356.87	218.52	178.53
금강	홍천	716.47	546.35	558.25	517.06	523.41	770.34	445.77	233.06
	석화	625.39	1210.27	511.34	471.82	443.33	1415.63	1120.71	958.82
	길동	1258.42	1937.91	690.56	733.60	661.69	3290.84	2747.78	2544.41
	통용담	633.31	871.21	681.98	517.51	477.54	838.31	604.03	453.35
영산강	주평	733.09	1178.12	535.08	675.94	697.41	1497.17	943.31	654.12
	남평	746.06	624.44	768.46	505.85	426.68	506.00	357.79	250.90
	마록	248.65	435.33	206.04	233.52	232.61	537.89	365.52	268.75
섬진강	정례	1124.85	2237.35	1034.30	1144.94	1289.70	2785.74	1920.46	1268.28
	구례	947.17	1789.69	763.27	811.44	742.14	2056.90	1429.83	1192.75
	압록	940.88	1713.25	876.91	853.87	882.83	1882.25	1263.03	888.93
낙동강	진촌	547.36	768.96	396.28	357.22	361.10	948.94	741.19	593.83
	동촌	533.91	728.25	548.44	420.13	408.85	812.95	597.09	440.86
	금호	562.03	729.93	165.04	183.33	798.78	1783.53	1641.04	843.62
	선산	675.20	493.70	613.75	424.56	325.69	431.24	271.61	223.17
	용곡	146.97	497.82	112.49	141.44	163.46	547.19	440.13	355.40
	이안	17.46	15.78	12.05	7.78	7.39	26.28	23.75	21.13
	점촌	313.06	465.26	325.79	212.43	199.28	480.25	417.97	349.54
	산양	685.27	347.93	670.48	418.71	304.41	211.51	107.16	77.51
	월포	560.17	865.95	457.72	397.19	448.02	989.49	758.37	541.21
	봉화	324.22	512.39	341.31	305.01	250.02	587.60	398.11	343.23
송리원	178.94	218.69	143.28	133.43	105.44	268.64	181.56	160.87	

표 2. 관측점 및 재현간별 모형의 홍수추정량

(단위 : CMS)

수계	관측점	모형	초과확률, P(%)						
			50	20	10	4	2	1	0.5
			재현기간, T(years)						
			2	5	10	25	50	100	200
한	간현	ANNMAX	803	1356	1722	2185	2529	2871	3210
		POT1	1069	1418	1649	1941	2157	2374	2587
		POT2	998	1484	1805	2212	2513	2815	3112
		POT3	987	1400	1673	2018	2274	2530	2782
	형성	ANNMAX	525	918	1178	1507	1751	1994	2235
		POT1	570	853	1041	1278	1453	1629	1802
		POT2	598	796	927	1093	1216	1339	1461
		POT3	595	777	898	1050	1163	1277	1388
	영월	ANNMAX	2746	5983	8125	10835	12842	14850	16829
		POT1	2785	6702	9288	12557	14979	17402	19791
		POT2	3305	5541	7021	8892	10278	11665	13032
		POT3	3203	4889	6005	7416	8461	9506	10537
주천	ANNMAX	642	1383	1874	2494	2953	3413	3866	
	POT1	738	1473	1969	2575	3031	3487	3936	
	POT2	792	1366	1746	2226	2582	2938	3289	
	POT3	766	1212	1507	1880	2156	2433	2706	
강	거운	ANNMAX	2646	5312	7077	9308	10962	12616	14246
		POT1	2651	5497	7381	9763	11528	13294	15034
		POT2	2924	4886	6184	7826	9043	10260	11459
		POT3	2860	4505	5653	7060	8103	9145	10173
	정선	ANNMAX	1925	4307	5884	7877	9354	10836	12287
		POT1	1344	4396	6417	8972	10865	12760	14624
		POT2	1775	3439	4541	5934	6966	7999	9016
		POT3	1671	2825	3590	4556	5272	5988	6694
	홍천	ANNMAX	809	1621	2159	2838	3342	3846	4342
		POT1	975	1608	2027	2556	2949	3341	3728
		POT2	994	1580	1968	2458	2822	3185	3544
		POT3	1000	1593	1986	2483	2850	3218	3581
금강	석화	ANNMAX	1439	2148	2618	3211	3651	4090	4524
		POT1	1603	2183	2566	3051	3411	3770	4125
		POT2	1621	2156	2510	2957	3289	3621	3948
		POT3	1608	2111	2444	2864	3176	3487	3795
	옥길	ANNMAX	2399	3826	4770	5964	6848	7733	8605
		POT1	3544	4327	4845	5500	5985	6471	6950
		POT2	3525	4357	4907	5603	6119	6635	7143
		POT3	3514	4264	4760	5388	5853	6319	6777

표 2. Continued

수계	관측점	모형	초과확률, P(%)						
			50	20	10	4	2	1	0.5
			재현기간, T(years)						
			2	5	10	25	50	100	200
금	수통	ANNMAX	1103	1821	2296	2897	3342	3788	4227
		POT1	1089	1862	2374	3021	3500	3979	4452
		POT2	1153	1741	2130	2622	2987	3351	3711
		POT3	1153	1694	2053	2506	2841	3177	3508
강	용담	ANNMAX	661	1067	1335	1675	1926	2177	2425
		POT1	710	1148	1438	1805	2077	2349	2617
		POT2	726	1077	1310	1604	1822	2040	2255
		POT3	724	1041	1251	1516	1713	1909	2103
영	나주	ANNMAX	1447	2778	2828	3523	4039	4554	5062
		POT1	1693	2300	2701	3209	3585	3961	4332
		POT2	1660	2426	2933	3574	4049	4525	4993
		POT3	1676	2466	2990	3651	4142	4632	5115
산	남평	ANNMAX	898	1744	2303	3011	3536	4060	4577
		POT1	788	1659	2235	2964	3505	4045	4578
		POT2	894	1467	1847	2327	2682	3038	3389
		POT3	876	1360	1680	2085	2385	2685	2980
강	마륵	ANNMAX	526	808	995	1231	1406	1580	1753
		POT1	613	847	1002	1197	1342	1487	1630
		POT2	613	878	1053	1274	1439	1603	1765
		POT3	610	873	1048	1268	1432	1596	1757
섬	송정	ANNMAX	2650	3925	4769	5836	6627	7418	8197
		POT1	3165	4337	5113	6095	6822	7549	8266
		POT2	3144	4432	5291	6377	7182	7987	8780
		POT3	3158	4620	5588	6811	7718	8624	9518
진	구례	ANNMAX	2136	3208	3917	4813	5478	6142	6797
		POT1	2337	3202	3775	4499	5035	5572	6101
		POT2	2290	3210	3818	4588	5159	5729	6292
		POT3	2280	3121	3678	4382	4904	5426	5940
강	압록	ANNMAX	2058	3125	3831	4723	5385	6046	6698
		POT1	2204	3198	3856	4688	5304	5921	6528
		POT2	2168	3136	3776	4587	5187	5787	6379
		POT3	2182	3183	3846	4683	5304	5924	6536
낙동강	개진	ANNMAX	970	1590	2001	2520	2905	3290	3669
		POT1	1094	1543	1841	2217	2495	2774	3049
		POT2	1120	1525	1793	2132	2383	2634	2881
		POT3	1123	1532	1803	2146	2400	2653	2904
강	동촌	ANNMAX	924	1529	1930	2436	2812	3187	3557

표 2. Continued

수계	관측점	모형	초과확률, P(%)						
			50	20	10	4	2	1	0.5
			재현기간, T(years)						
			2	5	10	25	50	100	200
낙	동촌	POT1	1014	1636	2047	2567	2953	3339	3719
		POT2	1042	1519	1834	2232	2528	2823	3114
		POT3	1040	1503	1810	2198	2485	2773	3056
	금호	ANNMAX	936	1573	1995	2528	2923	3318	3708
		POT1	1844	2031	2155	2312	2428	2544	2658
		POT2	1835	2043	2181	2355	2483	2612	2739
		POT3	2014	2919	2519	2277	2838	2392	2953
	선산	ANNMAX	741	1507	2013	2654	3128	3603	4071
		POT1	656	1352	1812	2395	2826	3258	3683
		POT2	721	1203	1521	1924	2223	2521	2815
		POT3	700	1070	1314	1623	1852	2081	2307
	용곡	ANNMAX	552	718	829	968	1071	1175	1277
POT1		588	716	800	907	986	1065	1143	
POT2		590	750	856	991	1090	1190	1288	
	POT3	595	780	903	1058	1173	1288	1401	
이안	ANNMAX	22	42	55	72	84	96	108	
	POT1	31	44	53	65	73	82	90	
	POT2	32	41	47	54	60	65	70	
	POT3	32	40	46	53	58	63	68	
동	점촌	ANNMAX	580	935	1170	1467	1687	1907	2124
		POT1	600	969	1213	1522	1752	1981	2206
		POT2	643	884	1043	1245	1394	1544	1691
		POT3	642	867	1017	1206	1346	1486	1624
	산양	ANNMAX	599	1376	1890	2540	3022	3504	3979
		POT1	457	1217	1720	2356	2828	3299	3764
		POT2	551	1025	1340	1737	2031	2326	2616
		POT3	524	869	1097	1386	1600	1814	2025
	월포	ANNMAX	1071	1706	2127	2658	3052	3446	3834
		POT1	1157	1676	2020	2454	2776	3097	3415
		POT2	1179	1630	1928	2304	2584	2863	3138
		POT3	1198	1705	2042	2467	2782	3097	3407
봉화	ANNMAX	631	999	1242	1550	1778	2005	2230	
	POT1	713	1100	1356	1680	1919	2159	2396	
	POT2	721	1067	1296	1585	1800	2014	2226	
	POT3	710	992	1181	1418	1594	1769	1943	
송리원	ANNMAX	284	487	621	791	917	1043	1168	
	POT1	321	484	591	727	828	928	1028	
	POT2	323	474	574	701	795	889	981	
	POT3	315	435	514	614	688	762	835	



우선 통계학적 홍수빈도모형의 축척 및 위치매개변수 결정이 필요하므로 식 (9)와 (10), 식 (18)과 (19)를 이용하여 구하였고, 그 추정치는 관측점별로 표 1에 나타내었다.

### 2.3.4 모형의 홍수추정량 결정

관측점 및 재현기간별 홍수량  $Q(T)$ 를 결정하기 위해서는 표 1의 관측점별 매개변수 추정치와 식 (13)과 (20)을 이용하여 각각 구하였으며, 홍수추정량의 결과는 표 2와 같다.

## 2.4 모형의 검증

모형의 검증은 통계학적 기준의 평가수단인 상관계수, 표준편차, 분산, 표준오차 등의 계산에 의한 방법중에서 표본분산(sampling variance) 및 표준오차(standard error)를 구하여 그 적용가능성의 여부를 검토하였다.

각 모형에 따른 홍수추정량  $Q(T)$ 의 표본분산은 식 (14)와 (21)에 의해 구하여 표준오차로 환산하였다. 그 결과의 전반적인 검증결과에 의하면 재현기간의 증가에 따라 ANNMAX모형은 표준오차가 평균 0.17~0.15의 범위까지 감소하는 반면에 POT 1 모형은 0.06~0.17, POT 2 모형은 0.08~0.13, POT 3 모형은 0.05~0.07의 값으로 각각 증가하였다. 동일 재현기간의 경우에는 ANNMAX모형이 단기간 재현기간에서 0.17~0.15의 큰 값을 보였고, POT모형중 POT 1 모형이 장기간 재현기간에서 0.14~0.17의 대체로 큰 값을 나타내고 있다. 이와 같은 반전 현상은 표본의 자료수(M)가 동일한 경우에 ANNMAX모형이 장기간 재현기간에서, POT모형은 단기간 재현기간에서 보다 신뢰성있는 결과를 주는 것으로 평가될 수 있다. 또한 상이한 표본자료수의 경우, 연최대치계열을 대상으로 하는 ANNMAX모형과 부분기간치계열의 연초과치계열( $k=1$ )을 대상으로 하는 POT 1 모형과 비연초과치계열( $k=2, 3$ )의 POT 2 및 POT 3 모형들중 POT 3 모형에 의한 홍수추정량의 표준오차가 가장 작았다. 이는  $k=M/N$ 의 관계에서  $k$ 의 증가는  $M$ 의 증가, 즉 표본자료수의 증가를 의미하므로 수문통계학적 관점에서 POT 3 모형이 ANNMAX모형이나 POT 1, POT 2 모형보다 더욱 신뢰성 있는 재현기간별 홍수량을 추정할 수 있음을 시사하고 있다.

따라서 본 연구의 통계학적 홍수빈도모형은 그 적용성이 입증되므로 관측점 및 재현기간별 홍수량 추정시에 적용가능한 것으로 판단되며, 아울러 목적하는 바의 수공구조물의 중요성 및 종류에 따라 표준설계홍수량(Standard Project Flood, SPF)이나 최대가능홍수량(Probable Maximum Flood, PMF) 등의 설계빈도 예측시에 채택되어야 할 것으로 사료된다. 또한 홍수빈도해석을 위한 장기간 기록년수의 홍수량자료가 획득 곤란한 국내 현실정에 머루어 볼 때, 단기간 기록년수의 자료로써 비교적 정확하고 합리적인 재현기간별 홍수량을 추정할 수 있는 POT모형이 ANNMAX모형의 대안적 방법으로서 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 3. 지역화 회귀모형 개발

### 3.1 모형의 설정

하천홍수량의 지역화 회귀모형개발을 위한 모형의 설정에 필요한 독립변수로 산정 및 입수가 용이한 유역면적(A), 유로연장(L), 하천경사(S), 유역표고차( $\Delta H$ ), 유역형상계수(F) 등의 지형인자들을 우선 선정하였다. 국내 주요 5대 하천 수계내 대상유역별 유역특성인자는 기존 발표된 각종 연구보고서와 주요 유역보고서 및 유량 측정 조사보고서 등을 이용하여 그 특성치를 결정하였으며, 표 3에 수록하였다.

선정된 지형학적 유역특성인자들을 고려하여 첨두홍수량과 유역특성인자간의 상관관계를 나타내는 다중 회귀모형은 다음과 같이 표현된다.

$$Q_T = aA^{b_1} F^{b_2} \Delta H^{b_3} S^{b_4} L^{b_5} \quad (22)$$

여기서, $Q_T$	: 재현기간 T년 첨두홍수량 ( $m^3/sec$ )
A	: 유역면적( $km^2$ )
F	: 유역형상계수
$\Delta H$	: 유역표고차(m)
L	: 유로연장(km)
S	: 하천경사
a	: 회귀상수
$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$	: 회귀계수

표 3. 대상유역별 유역특성인자

수계	관측점	유역면적 A(km <sup>2</sup> )	유로연장 L(km)	하천경사 S	표고차 ΔH(m)	형상계수 F
한강	간현	1188.7	79.5	0.00636	506	0.19
	황성	444.6	47.0	0.00819	385	0.20
	영월	2429.2	176.0	0.00576	1014	0.08
	주천	535.2	72.0	0.01142	822	0.10
	거운	2279.5	165.0	0.00606	1000	0.08
강	정선	1689.0	107.0	0.00847	906	0.15
	홍천	880.4	75.4	0.01021	770	0.15
	금	1597.5	64.0	0.00214	137	0.39
강	석화	2948.9	154.5	0.00180	278	0.12
	옥길	1458.5	101.1	0.00512	518	0.14
	수통	931.6	59.8	0.00756	452	0.26
영산강	나주	1964.9	68.7	0.00463	318	0.42
	남평	483.3	45.2	0.00827	374	0.24
	마북	686.5	52.2	0.00609	318	0.25
섬진강	송정	4285.3	170.3	0.00225	383	0.15
	구례	3836.3	156.3	0.00233	364	0.16
	압록	2481.4	104.8	0.00347	364	0.23
낙동강	개진	746.6	60.5	0.01537	930	0.20
	동촌	1562.9	86.5	0.00624	540	0.21
	금호	1002.0	61.8	0.00409	253	0.26
	선산	987.2	70.9	0.01100	780	0.20
	용곡	1317.8	99.5	0.00729	725	0.13
	이안	189.4	44.8	0.01009	452	0.09
	점촌	615.7	56.4	0.00823	464	0.19
	산양	210.5	36.0	0.01972	710	0.16
	월포	1078.2	81.8	0.00812	664	0.16
	봉화	1145.4	100.7	0.00919	925	0.11
송리원	476.6	42.8	0.01411	604	0.26	

3.2 모형의 독립변수 결정

일반적인 회귀분석에서 독립변수간에 높은 상관성이 존재하면 다중 공선형성(multi-collinearity) 문제가 발생하여 합리적인 모형변수를 추정할 수 없으므로, 모형에 포함될 독립변수들은 상호간에 독립적이어야 하며, 또한 종속변수와 높은 상관성을 가져야 한다. 따라서 두 독립변수 중 상관성이 더 높은 변수를 택하여 회귀모형을 최종적으로 설정하여야 한다.

모형의 독립변수를 결정하기 위해서는 독립변수 상호간의 편상관계수(partial correlation coefficient)를 구하여 상관분석을 실시하여야 한다.

두 변수 X, Y간의 편상관계수는 다음 식에 의해 구한다.

$$r_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}} \quad (23)$$

여기서, var(X), var(Y) : 변수 X, Y의 분산(variance)

cov(X,Y) : 변수 X, Y의 공분산(covariance)

본 연구에서는 독립변수인 표 3의 유역특성인자 상호간의 상관분석을 식 (23)에 의해 실시함으로써 그 결과를 표 4에 상관계수 행렬(correlation coeffi-

표 4. 독립변수 상호간의 편상관계수

	A	L	S	ΔH	F
A	1.00	0.88	-0.70	-0.15	-0.11
L	0.88	1.00	-0.57	0.22	-0.47
S	-0.70	-0.57	1.00	0.54	-0.18
ΔH	-0.15	0.22	0.54	1.00	-0.61
F	-0.11	-0.47	-0.18	-0.61	1.00

표 5. 최종 설정된 회귀모형

구분	회귀모형	모형변수
1	$Q_T = aA^{b_1}$	$Q_T$ : 재현기간별 침투홍수량( $m^3/sec$ )
2	$Q_T = aA^{b_1} F^{b_2}$	A: 유역면적( $km^2$ )
3	$Q_T = aA^{b_1} \Delta H^{b_3}$	F: 유역형상계수
4	$Q_T = aA^{b_1} S^{b_4}$	ΔH: 유역표고차(m)
5	$Q_T = aA^{b_1} F^{b_2} \Delta H^{b_3}$	S: 하천경사
6	$Q_T = aA^{b_1} F^{b_2} S^{b_4}$	a: 회귀상수 $b_1, b_2, b_3, b_4$ : 회귀계수

cient matrix)의 형태로 나타내었다.

표 4의 결과에서 보면 독립변수 A와 L은 모두 모형의 독립변수로 이용 가능하나, 두 변수간에 높은 상관성이 존재하므로 두 변수 중 상관성이 더 높은 유역면적 A가 유로연장 L을 대표할 수 있다. 따라서 모형에 포함될 독립변수로 유역면적(A), 유역형상계수(F), 유역표고차(ΔH), 하천경사(S)를 최종 선정하였다.

### 3.3 회귀분석 및 최적모형 선정

지역화 회귀모형은 모형의 독립변수들의 조합으로 구성된 회귀식들에 대하여 시행착오적인 상관분석을 실시하였으며, 그 결과 표 5와 같은 6개 유형을 최종 검토 대상모형으로 설정하였다.

지역의 분할은 수계별로 시행착오적인 유역특성과의 상관분석을 토대로 우리나라 전역(전국), 중부권과 남부권으로 구분하여 표 2의 홍수빈도모형별 홍수추정량과 표 3의 대상유역별 유역특성인자로써 표 5의 회귀모형별로 회귀분석을 실시하였다. 그 결과중 홍수빈도 모형별로 가장 양호한 최적 지역화 회귀모형과 그 상관계수를 독립변수인 유역 특성인자와 함께 권역별로 구분하여 표 6에 수록하였다.

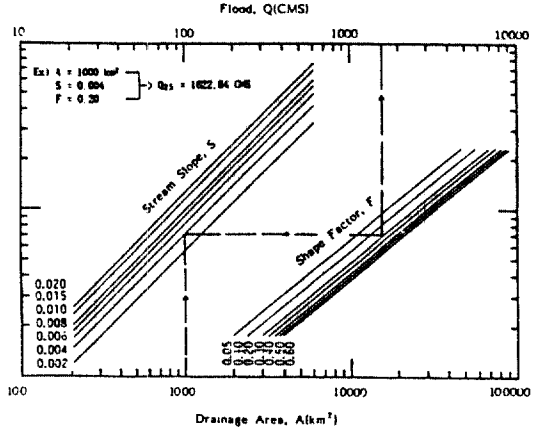


그림 2. 재현기간 25년에 대한 침투홍수량과 유역특성인자들간의 상관도(전국)

또한 표 6의 분석결과를 토대로 최종 선정된 권역 및 재현기간별 최적 지역화 회귀모형은 표 7~9에 나타내었고, 그림 2에 침투홍수량과 유역특성인자들간의 상관도를 분량관계상 전국의 재현기간 25년에 대해서만 나타내었다.

## 4. 지역화 회귀모형의 검토 및 고찰

### 4.1 모형의 독립변수간 관계

침투홍수량과 유역특성인자간의 시행착오적인 상관분석에서 유역면적이 3개 권역 모두 가장 큰 상관도를 보였고, 유역면적 다음으로는 전국의 경우에 하천경사, 유역형상계수(또는 유역형상계수, 유역표고차)순으로, 중부권 및 남부권은 유역형상계수, 유역표고차(또는 유역형상계수, 하천경사)순으로 나타났으며 재현기간 변화에 대해서도 동일한 양상이었다.

특히 전국과 중부권 및 남부권 등의 지역분할에 따라 독립변수인 유역특성인자들의 조합구성이 상이함은 지역화 회귀모형개발에서의 지역적 분석이 지역적 특성이 유사한 지역끼리 구분하여야 함을 의미하고 있다. 이는 분석대상 관측점들이 자연하천유역내의 지점들이기 때문에 수계내 관측점들의 지상학적 위치에 따라 홍수유출에 미치는 영향인자가 달라짐을 의미한다.

또한 독립변수간 상관분석에서 상호 상관성이 크

표 6. 홍수빈도모형별 최적 회귀모형의 상관계수

홍수량 특성	전국				중부권				남부권			
	ANNMAX 모형	POT1 모형	POT2 모형	POT3 모형	ANNMAX 모형	POT1 모형	POT2 모형	POT3 모형	ANNMAX 모형	POT1 모형	POT2 모형	POT3 모형
Q <sub>2</sub>	A 0.81	A 0.84	A 0.83	A 0.83	A 0.94	A 0.94	A 0.93	A 0.94	A 0.78	A 0.82	A 0.80	A 0.80
	AS 0.83	AS 0.85	AS 0.83	AS 0.83	AF 0.96	AF 0.96	AF 0.96	AF 0.96	AF 0.84	AF 0.88	AF 0.86	AF 0.86
	ASF 0.84	ASF 0.85	ASF 0.84	ASF 0.84	AFΔH 0.96	AFΔH 0.98	AFΔH 0.97	AFΔH 0.97	AFΔH 0.86	AFΔH 0.88	AFΔH 0.86	AFΔH 0.87
Q <sub>5</sub>	A 0.75	A 0.77	A 0.80	A 0.81	A 0.86	A 0.87	A 0.90	A 0.92	A 0.72	A 0.74	A 0.77	A 0.78
	AS 0.78	AS 0.79	AS 0.81	AS 0.82	AF 0.93	ΔΔH 0.94	AF 0.96	AF 0.97	AF 0.79	AF 0.81	AF 0.83	AF 0.85
	ASF 0.79	ASF 0.80	ASF 0.82	ASF 0.82	AFΔH 0.93	ΔΔHF 0.94	AFΔH 0.96	AFΔH 0.97	AFΔH 0.81	AFΔH 0.82	AFΔH 0.85	AFΔH 0.85
Q <sub>10</sub>	A 0.73	A 0.75	A 0.79	A 0.80	A 0.84	A 0.83	A 0.89	A 0.91	A 0.70	A 0.71	A 0.75	A 0.77
	AS 0.76	AS 0.78	AS 0.81	AS 0.81	ΔΔH 0.92	ΔΔH 0.93	AF 0.95	AF 0.96	AF 0.78	AF 0.79	AF 0.83	AF 0.84
	ASF 0.77	ASF 0.78	ASF 0.81	ASF 0.82	ΔΔHF 0.93	ΔΔHF 0.93	AFΔH 0.96	AFΔH 0.96	AFΔH 0.80	AFΔH 0.80	AFΔH 0.84	AFΔH 0.85
Q <sub>25</sub>	A 0.72	A 0.72	A 0.77	A 0.79	A 0.82	A 0.80	A 0.87	A 0.90	A 0.68	A 0.69	A 0.74	A 0.76
	AS 0.75	AS 0.76	AS 0.80	AS 0.80	ΔΔH 0.92	ΔΔH 0.92	ΔΔH 0.95	AF 0.96	AF 0.76	AF 0.76	AF 0.82	AF 0.84
	ASF 0.75	ASF 0.76	ASF 0.80	ASF 0.81	ΔΔHF 0.92	ΔΔHF 0.92	ΔΔHF 0.95	AFΔH 0.96	AFΔH 0.80	AFΔH 0.80	AFΔH 0.84	AFΔH 0.85
Q <sub>50</sub>	A 0.71	A 0.71	A 0.77	A 0.79	A 0.81	A 0.78	A 0.86	A 0.89	A 0.67	A 0.67	A 0.74	A 0.76
	AS 0.74	AS 0.75	AS 0.80	AS 0.80	ΔΔH 0.91	ΔΔH 0.92	ΔΔH 0.95	AF 0.96	AF 0.76	AF 0.75	AF 0.81	AF 0.83
	ASF 0.75	ASF 0.75	ASF 0.80	ASF 0.81	ΔΔHF 0.92	ΔΔHF 0.92	ΔΔHF 0.95	AFΔH 0.96	AFΔH 0.78	AFΔH 0.78	AFΔH 0.83	AFΔH 0.84
Q <sub>100</sub>	A 0.70	A 0.70	A 0.76	A 0.78	A 0.80	A 0.77	A 0.85	A 0.88	A 0.66	A 0.66	A 0.73	A 0.75
	AS 0.74	AS 0.75	AS 0.79	AS 0.80	ΔΔH 0.91	ΔΔH 0.91	ΔΔH 0.95	AF 0.95	AF 0.75	AF 0.74	AF 0.81	AF 0.83
	ASF 0.74	ASF 0.75	ASF 0.80	ASF 0.81	ΔΔHF 0.92	ΔΔHF 0.91	ΔΔHF 0.95	AFΔH 0.96	AFΔH 0.78	AFΔH 0.77	AFΔH 0.83	AFΔH 0.84
Q <sub>200</sub>	A 0.69	A 0.69	A 0.76	A 0.78	A 0.79	A 0.76	A 0.84	A 0.87	A 0.66	A 0.65	A 0.73	A 0.75
	AS 0.74	AS 0.74	AS 0.79	AS 0.80	ΔΔH 0.91	ΔΔH 0.91	ΔΔH 0.95	AF 0.95	AF 0.75	AF 0.73	AF 0.80	AF 0.83
	ASF 0.74	ASF 0.74	ASF 0.80	ASF 0.80	ΔΔHF 0.92	ΔΔHF 0.91	ΔΔHF 0.95	AFΔH 0.96	AFΔH 0.78	AFΔH 0.76	AFΔH 0.83	AFΔH 0.84

표 7. 재현기간별 최적 지역화 회귀모형(전국)

$$Q_T = a A^{b_1} S^{b_2} F^{b_3}$$

홍수량 특성	최적홍수 빈도모형	회귀상수 a	회귀계수			상관 계수	표준계산 오차(%)	최적 지역화 회귀모형
			b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>			
Q <sub>2</sub>	POT3	1.07	0.981	—	—	0.83	23	Q <sub>2</sub> = 1.07A <sup>0.981</sup>
	POT3	1.21	1.067	0.144	—	0.83	23	Q <sub>2</sub> = 1.21A <sup>1.067</sup> S <sup>0.144</sup>
	POT3	1.91	1.116	0.218	0.247	0.84	23	Q <sub>2</sub> = 1.91A <sup>1.116</sup> S <sup>0.218</sup> F <sup>0.247</sup>
Q <sub>5</sub>	POT3	1.56	0.979	—	—	0.81	25	Q <sub>5</sub> = 1.56A <sup>0.979</sup>
	POT3	1.94	1.134	0.258	—	0.82	25	Q <sub>5</sub> = 1.94A <sup>1.134</sup> S <sup>0.258</sup>
	POT3	3.13	1.184	0.334	0.257	0.82	25	Q <sub>5</sub> = 3.13A <sup>1.184</sup> S <sup>0.334</sup> F <sup>0.257</sup>
Q <sub>10</sub>	POT3	1.87	0.979	—	—	0.80	25	Q <sub>10</sub> = 1.87A <sup>0.979</sup>
	POT3	2.42	1.161	0.303	—	0.81	25	Q <sub>10</sub> = 1.94A <sup>1.134</sup> S <sup>0.258</sup>
	POT3	3.93	1.213	0.381	0.261	0.82	25	Q <sub>10</sub> = 3.93A <sup>1.213</sup> S <sup>0.381</sup> F <sup>0.261</sup>
Q <sub>25</sub>	POT3	2.26	0.979	—	—	0.79	26	Q <sub>25</sub> = 2.26A <sup>0.979</sup>
	POT3	3.02	1.185	0.343	—	0.80	26	Q <sub>25</sub> = 3.02A <sup>1.185</sup> S <sup>0.343</sup>
	POT3	4.98	1.238	0.423	0.267	0.81	26	Q <sub>25</sub> = 4.98A <sup>1.238</sup> S <sup>0.423</sup> F <sup>0.267</sup>
Q <sub>50</sub>	POT3	2.54	0.980	—	—	0.79	27	Q <sub>50</sub> = 2.54A <sup>0.980</sup>
	POT3	3.47	1.198	0.365	—	0.80	26	Q <sub>50</sub> = 3.47A <sup>1.198</sup> S <sup>0.365</sup>
	POT3	5.76	1.252	0.446	0.071	0.81	26	Q <sub>50</sub> = 5.76A <sup>1.252</sup> S <sup>0.446</sup> F <sup>0.271</sup>
Q <sub>100</sub>	POT3	2.83	0.980	—	—	0.78	27	Q <sub>100</sub> = 2.83A <sup>0.980</sup>
	POT3	3.92	1.209	0.383	—	0.80	27	Q <sub>100</sub> = 3.92A <sup>1.209</sup> S <sup>0.383</sup>
	POT3	6.54	1.263	0.464	0.274	0.81	27	Q <sub>100</sub> = 6.54A <sup>1.263</sup> S <sup>0.464</sup> F <sup>0.274</sup>
Q <sub>200</sub>	POT3	3.11	0.980	—	—	0.78	27	Q <sub>200</sub> = 3.11A <sup>0.980</sup>
	POT3	4.37	1.217	0.397	—	0.80	27	Q <sub>200</sub> = 4.37A <sup>1.217</sup> S <sup>0.397</sup>
	POT3	7.32	1.272	0.479	0.277	0.80	27	Q <sub>200</sub> = 7.32A <sup>1.272</sup> S <sup>0.479</sup> F <sup>0.277</sup>

게 나타난 유역면적과 유로연장, 하천경사와 유역 표고차는 지역화 회귀모형 개발시에 함께 고려되면 무의미한 값이 되므로 침투홍수량에 가장 크게 영향을 미치는 인자만을 선택하여야 합리적인 모형변수 추정이 가능함을 확인하였다.

#### 4.2 모형의 수계 및 권역별 관계

유역특성과의 상관분석을 토대로 국내 주요 5대 하천유역내 28개 관측점들을 전국, 중부권, 남부권, 주요하천 수계별로 각각 분할하여 각 독립변수별(A, AF, AΔH, AS, AFΔH, AFS)로 회귀분석을 실시한 결과를 고찰한 바 전국, 중부권, 남부권이 가장 양호한 상관계수와 유의성 있는 결과를 보여 주었다. 3개 권역 중 전국이 POT 3 모형에서 독립변수의

유형에 따라 유역면적만의 경우 재현기간 T=2~200년의 범위내에서 상관계수가 0.78~0.83, 유역면적과 하천경사의 경우 0.80~0.83, 유역면적과 하천경사 및 유역형상계수(또는 유역면적, 유역형상계수, 유역표고차) 모두를 고려했을 때는 0.80~0.84의 상관계수를 나타내었다. 반면에 중부권과 남부권은 유역면적만의 경우에 0.87~0.94, 0.75~0.80, 유역면적과 유역형상계수의 경우에는 0.95~0.96, 0.83~0.86, 유역면적과 유역형상계수 및 유역표고차(또는 유역면적, 유역형상계수, 하천경사) 모두 고려했을 때는 0.96~0.97, 0.84~0.87의 상관계수를 각각 나타내는 등 중부권이 가장 높은 값을 보이고, 남부권은 상대적으로 낮은 값을 보였다.

이는 모형의 독립변수 관계에서도 밝힌 바와 같이

표 8. 재현기간별 최적 지역화 회귀모형(중부권)

$$Q_T = a A^{b_1} F^{b_2} \Delta H^{b_3}$$

홍수량 특성	최적홍수 빈도모형	회귀상수 a	회귀계수			상관 계수	표준계산 오차(%)	최적 지역화 회귀모형
			b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>			
Q <sub>2</sub>	POT3	1.44	0.959	-	-	0.94	10	Q <sub>2</sub> = 1.44A <sup>0.959</sup>
	POT3	1.37	0.890	-0.288	-	0.94	8	Q <sub>2</sub> = 1.37A <sup>0.890</sup> F <sup>-0.288</sup>
	POT3	6.31	0.823	-0.557	-0.248	0.97	8	Q <sub>2</sub> = 6.31A <sup>0.823</sup> F <sup>-0.557</sup> ΔH <sup>-0.248</sup>
Q <sub>5</sub>	POT3	2.27	0.948	-	-	0.92	11	Q <sub>5</sub> = 2.27A <sup>0.948</sup>
	POT3	2.13	0.853	-0.394	-	0.97	8	Q <sub>5</sub> = 2.13A <sup>0.853</sup> F <sup>-0.394</sup>
	POT3	2.56	0.845	-0.426	-0.030	0.97	8	Q <sub>5</sub> = 2.56A <sup>0.845</sup> F <sup>-0.426</sup> ΔH <sup>-0.030</sup>
Q <sub>10</sub>	POT3	2.83	0.944	-	-	0.91	12	Q <sub>10</sub> = 2.83A <sup>0.944</sup>
	POT3	2.63	0.839	-0.436	-	0.96	8	Q <sub>10</sub> = 2.63A <sup>0.839</sup> F <sup>-0.436</sup>
	POT3	1.85	0.854	-0.375	0.057	0.96	9	Q <sub>10</sub> = 1.85A <sup>0.854</sup> F <sup>-0.375</sup> ΔH <sup>0.057</sup>
Q <sub>25</sub>	POT3	3.57	0.938	-	-	0.90	13	Q <sub>25</sub> = 3.57A <sup>0.938</sup>
	POT3	3.30	0.825	-0.471	-	0.96	9	Q <sub>25</sub> = 3.30A <sup>0.825</sup> F <sup>-0.471</sup>
	POT3	1.45	0.861	-0.327	0.133	0.96	9	Q <sub>25</sub> = 1.45A <sup>0.861</sup> F <sup>-0.300</sup> ΔH <sup>0.133</sup>
Q <sub>50</sub>	POT3	4.14	0.935	-	-	0.89	14	Q <sub>50</sub> = 4.14A <sup>0.935</sup>
	POT3	3.81	0.817	-0.490	-	0.96	9	Q <sub>50</sub> = 3.81A <sup>0.817</sup> F <sup>-0.490</sup>
	POT3	1.29	0.864	-0.300	0.175	0.96	9	Q <sub>50</sub> = 1.29A <sup>0.864</sup> F <sup>-0.300</sup> ΔH <sup>0.175</sup>
Q <sub>100</sub>	POT3	4.71	0.932	-	-	0.88	14	Q <sub>100</sub> = 4.71A <sup>0.932</sup>
	POT3	4.32	0.810	-0.506	-	0.95	10	Q <sub>100</sub> = 4.32A <sup>0.810</sup> F <sup>-0.506</sup>
	POT3	1.19	0.867	-0.279	0.209	0.96	10	Q <sub>100</sub> = 1.10A <sup>0.867</sup> F <sup>-0.279</sup> ΔH <sup>0.209</sup>
Q <sub>200</sub>	POT3	5.28	0.929	-	-	0.87	15	Q <sub>200</sub> = 5.28A <sup>0.929</sup>
	POT3	4.83	0.805	-0.518	-	0.95	10	Q <sub>200</sub> = 4.83A <sup>0.805</sup> F <sup>-0.518</sup>
	POT3	1.12	0.869	-0.261	0.237	0.96	10	Q <sub>200</sub> = 1.12A <sup>0.869</sup> F <sup>-0.261</sup> ΔH <sup>0.237</sup>

분석대상 관측점들이 자연하천유역에서의 관측점들로서 수계내 관측점들의 지상학적 위치에 따라 크게 좌우됨을 뜻하고 있다. 즉 관측점들이 동일 수계내에 위치하면 상관도가 좋아지는 반면에 유역내 서로 다른 수계내에서 흩어져서 위치하면 그만큼 홍수유량 자료의 관측점간 상관성이 잘 이루어지지 못해 상관도가 떨어지므로 지역화 회귀모형 개발에서의 유역분할은 지역적 특성이 유사한 지역끼리 분류되어야 함을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 회귀분석 관계에서 판명되었고 표 6의 상관계수에서도 확인되었다.

### 4.3 홍수빈도 모형별 관계

표 6의 홍수빈도 모형별 최적 회귀모형의 상관

계수에서 알 수 있는 바와 같이 3개 권역별 공통으로 각 모형 모두 비슷한 상관계수를 보이고 있으므로 어느 모형을 사용하여도 무리가 없을 것으로 판단되나, T=5~200년에는 각 모형간에 큰 차이의 상관계수를 나타내면서 POT 3 모형이 가장 높은 상관계수를 보이고 있다. 이와 같은 사실에 미루어 볼 때 홍수빈도 해석에서 단기간 기록년수의 자료를 사용할 때에는 ANNMAX모형보다 POT모형, 특히 POT 3 모형이 보다 합리적이고 효과적임을 알 수 있다.

따라서 홍수빈도 해석을 위한 장기간 기록년수의 유량자료가 부족한 국내 현실정에 비추어 볼 때, 단기간의 자료로서 비교적 정확하고 합리적인 재현기간별 홍수량을 추정할 수 있는 POT모형이 ANN-

표 9. 재현기간별 최적 지역화 회귀모형(남부권)

$Q_T = a A^{b_1} F^{b_2} \Delta H^{b_3}$								
홍수량 특성	최적홍수 빈도모형	회귀상수 a	회귀계수			상관 계수	표준계산 오차(%)	최적 지역화 회귀모형
			$b_1$	$b_2$	$b_3$			
Q <sub>2</sub>	POT3	1.19	0.952	—	—	0.80	28	$Q_2 = 1.19A^{0.952}$
	POT3	9.19	0.878	0.924	—	0.86	25	$Q_2 = 9.19A^{0.878} F^{0.924}$
	POT3	1.82	0.901	1.052	0.271	0.87	25	$Q_2 = 1.82A^{0.901} F^{1.052} \Delta H^{0.271}$
Q <sub>5</sub>	POT3	1.72	0.950	—	—	0.78	30	$Q_5 = 1.72A^{0.950}$
	POT3	15.79	0.870	1.001	—	0.85	27	$Q_5 = 15.79A^{0.870} F^{1.001}$
	POT3	2.74	0.894	1.139	0.292	0.85	27	$Q_5 = 2.74A^{0.894} F^{1.139} \Delta H^{0.292}$
Q <sub>5</sub>	POT3	2.05	0.950	—	—	0.77	31	$Q_{10} = 2.05A^{0.950}$
	POT3	20.19	0.868	1.032	—	0.84	27	$Q_{10} = 20.19A^{0.868} F^{1.032}$
	POT3	3.33	0.893	1.174	0.301	0.85	28	$Q_{10} = 3.33A^{0.893} F^{1.174} \Delta H^{0.301}$
Q <sub>25</sub>	POT3	2.47	0.951	—	—	0.76	32	$Q_{25} = 2.47A^{0.951}$
	POT3	25.77	0.867	1.060	—	0.84	28	$Q_{25} = 25.77A^{0.867} F^{1.060}$
	POT3	4.04	0.892	1.206	0.309	0.84	28	$Q_{25} = 4.04A^{0.892} F^{1.206} \Delta H^{0.309}$
Q <sub>50</sub>	POT3	2.77	0.952	—	—	0.76	32	$Q_{50} = 2.77A^{0.952}$
	POT3	29.91	0.866	1.075	—	0.83	28	$Q_{50} = 29.91A^{0.866} F^{1.075}$
	POT3	4.57	0.892	1.224	0.314	0.84	28	$Q_{50} = 4.57A^{0.892} F^{1.224} \Delta H^{0.314}$
Q <sub>100</sub>	POT3	3.06	0.953	—	—	0.75	32	$Q_{100} = 3.06A^{0.953}$
	POT3	34.05	0.866	1.088	—	0.83	28	$Q_{100} = 34.05A^{0.866} F^{1.088}$
	POT3	5.08	0.892	1.238	0.318	0.84	29	$Q_{100} = 5.08A^{0.892} F^{1.238} \Delta H^{0.318}$
Q <sub>200</sub>	POT3	3.35	0.953	—	—	0.75	33	$Q_{200} = 3.35A^{0.953}$
	POT3	38.13	0.866	1.098	—	0.83	29	$Q_{200} = 38.13A^{0.866} F^{1.098}$
	POT3	5.59	0.892	1.250	0.321	0.84	29	$Q_{200} = 5.59A^{0.892} F^{1.250} \Delta H^{0.321}$

MAX모형의 대안적 방법으로서 매우 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

### 5. 결 론

본 연구는 국내 자연하천유역에서의 수위표 관측점들을 대상으로 홍수빈도 예측을 위한 통계학적 홍수빈도 모형의 적용성 및 효용성을 평가하고, 하천홍수량의 지역화 회귀모형을 개발한 내용으로서 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 홍수빈도 예측을 위한 통계학적 모형의 적용성 및 효용성을 비교 검토한 결과, 단기간의 자료로서도 정확하고 합리적인 관측점별 홍수량의 크기 및 빈도예측이 가능한 부분기간치계열 방법의 POT모형이

효과적임을 확인할 수 있었다.

2) 국내 주요 자연하천유역의 관측점별 홍수량의 크기 및 빈도를 제시하여 수공구조물의 계획설계에 기준이 될 수 있도록 하였다.

3) 홍수유출에 영향을 미치는 유역특성인자 중 유역면적이 침투홍수량과 가장 높은 상관성을 보였고, 유역면적과 유로연장, 하천경사와 유역표고차는 각각 상호 상관성이 크게 나타나 지역화 회귀모형 개발시에 침투홍수량에 영향을 더 크게 미치는 인자를 택하여 고려하여야만 합리적인 모형변수 추정 이 가능하였다.

4) 하천홍수량의 지역화 회귀모형에서 홍수유출에 영향을 미치는 5개 유역특성인자 중 전국에서 유역면적 다음으로 하천경사, 중부권 및 남부권에서는

유역형상계수의 순으로 높은 상관성을 보였고, 첨두홍수량에 가장 큰 영향을 미치는 유역특성인자는 3개 권역 모두 유역면적, 유역형상계수, 하천경사 또는 유역표고차의 순으로 나타났다.

5) 유역내 미계측 지점에서의 홍수량 빈도예측이 가능한 통계학적 지역화 회귀모형을 개발하고, 재현기간별 첨두홍수량과 유역특성인자간의 상관도를 작성 제시함으로써 하천유역에서의 설계홍수량을 용이하게 구할 수 있도록 하였다.

6) 하천홍수량의 지역화 회귀모형 개발을 위한 홍수 빈도해석을 위해서는 하천 수계내 인위적 유량조절 효과의 유무에 따라 적용대상 지점이 구분되어야 하고, 또한 관측점의 자료치 계열이 수문자료의 동질성 및 일관성이 충족되도록 구성되어야 보다 정확하고 합리적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

상기와 같은 연구결과는 자연하천구간으로서 유역면적이 약 200~5000 km<sup>2</sup> 영역에서의 자료로부터 추정된 것이므로 권역별 적용에 있어서도 검토 대상유역의 면적이 이 범위 이내에 포함될 경우에 그 적용성이 더 높을 것으로 판단된다.

### 參 考 文 獻

1. Ashkar, F. and Rousselle, J., "Partial Duration Series Modeling under the Assumption of a Poisson Flood Count", *J. Hydrol.*, 90, 135-144 (1987).
2. Buishand, T.A., "The Partial Duration Series Method with Fixed Number of Peaks", *J. Hydrol.*, 109, 1-9 (1989).
3. Buishand, T.A., *Statistics of Extremes in Climatology*, Stat. Neerl. 1989.

4. Greenwood, J.A. et al., "Probability Weighted Moments: Definition and Relation to Parameters of Several Distribution Expressible in Inverse Form", *Water Resources Research*, 15(5), 1049-1054 (1979).
5. Kimball, B.F., "An Approximation to the Sampling Variances of an Estimated Maximum Value of Given Frequency Based on the Fit of Doubly Exponential Distribution of Maximum Values", *Ann. Math. Statist.*, 20, 110-113 (1949).
6. National Environmental Research Council, *Flood Studies Report, Vol. 1: Hydrological Studies*, London, 1975.
7. Phien, H.N., "A Review of Methods of Parameter Estimation for the Extreme Value Type-I Distribution", *J. Hydrol.*, 90, 251-269 (1987).
8. Weissman, I., "Estimation of Parameters and Large Quantiles Based on the k Largest Observations", *J. Am. Stat. Assoc.*, 73, 812-815 (1978).
9. 고재웅, "한국 하천 홍수량의 빈도분석에 관한 연구", *대한토목학회지*, 25(4), 95-102 (1977).
10. 노재식, "하천홍수량의 지역빈도해석", 단국대학교 대학원 박사학위논문, 1993. 2.
11. 노재식, 이길춘, "하천홍수량의 크기 및 빈도결정", *대한토목학회논문집*, 12(2), 141-150 (1992).
12. 노재식, 이길춘, "홍수빈도 예측을 위한 통계학적 모형", *한국수문학회지*, 25(2), 89-97 (1992).
13. 양동윤, 고재웅, "유역특성으로부터 확률 홍수량의 유도에 관한 연구", *한국수문학회지*, 14(3), 37-46 (1981).
14. 이길춘, 노재식, 원종인, "하천유역의 설계홍수량 산정을 위한 지역화 회귀모형 개발", *대한토목학회 학술발표회 개요집*, 1992.
15. 한국건설기술연구원, "설계홍수량 산정을 위한 단위유량도의 합성방법 개발", 한국건설기술연구원 연구보고서, 1989.

(接受 : 1993. 4. 29)