모의 기법을 이용한 지역빈도해석 방법의 비교
Comparison of Regional Frequency Analysis Methods Using Simulation Technique

허 준 행* · ○ 이 동 진**
Heo, Jun Haeng · Lee, Dong Jin

1. 서론

지점에서의 자료가 부족한 경우 또는 미계측 지점에서 확률홍수량을 결정하기 위한 방법으로 널리 사용되고 있는 지역빈도해석 방법을 통하여 표본자료가 적은 경우 야기되는 지점빈도해석의 정확성의 문제를 극복할 수 있다(Darymple, 1960). 본 연구에서는 2변수 Weibull 분포형을 적정분포형으로 가정하고 지수홍수법을 사용하여 지역빈도해석을 실시하였다. 미국 Illinois 지역의 15개 지점에 대하여 형상매개변수 및 적합성 척도를 기준으로 유역을 구분하였으며, 확률가중모멘트법과 L-모멘트법을 사용하여 확률분포형의 매개변수를 추정하고 지역빈도해석을 실시하였다. 추정된 매개변수를 바탕으로 Monte-Carlo 모의기법을 사용하여 발생시킨 확률홍수량에 대하여 상대편의, 상대 평균제곱근오차, 그리고 분산량을 산정하였으며, Hosking이 제안한 L-모멘트 알고리즘을 이용하여 확률홍수량을 모의한 후 지점빈도해석과 지역빈도해석 및 각 지역빈도해석 방법의 비교를 실시하였다. 지점 형상매개변수가 지역 매개변수보다 큰 지점에서는 특정 재현기간에 대하여 지점빈도해석이 지역빈도해석보다 우수한 것으로 나타났으며, 지역빈도해석 방법들을 비교한 결과 추정되는 확률홍수량은 형상매개변수에 크게 의존한다는 것을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 최근 지역빈도해석 방법으로 널리 추천되고 있는 Hosking L-모멘트법을 사용시 상당한 주의가 필요하다는 것을 알 수 있었다.

2. 지역빈도해석

2.1 지수홍수법

2변수 Weibull 분포형의 누가분포함수는 다음과 같다.

$$F_j = 1 - \exp[-(x/\beta_j)^{\gamma_j}] \ , \ \ x \geq 0 \tag{1}$$

여기서, β_j는 크기매개변수, γ_j는 형상매개변수, 그리고 j는 지역내 지점을 의미하며, 2변수 Weibull 분포형을 이용하여 지점 j에서의 r차 모멘트 및 quantile은 다음과 같다.

$$\mu_r(j) = \beta_j^r \Gamma(1 + r/\gamma_j) \tag{2}$$

$$\xi_j(q) = \beta_j[-\log(1-q)]^{1/\gamma_j} \tag{3}$$

지수홍수법 가정에 의해 지수화된 홍수량 $\xi_j(q)/\mu_1(j)$는 j에 대하여 독립이므로 2변수 Weibull 분포형에서의 $\xi_j(q)/\mu_1(j) = [-\log(1-q)]^{1/\gamma_j}/\Gamma(1+1/\gamma/j)$는 j에 대하여 독립이고, 따라서 지역내 각 지점에서의 형상매개변수가 동일하다는 것을 의미한다(Boes 등, 1989). 한편 자

* 연세대학교 사회환경 · 건축공학부 토목전공 부교수
** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정

료개수 n_j를 가지는 지점 j에서의 홍수량 $X_{j1}, X_{j2}, \ldots, X_{jn_j}$는 서로 독립이며 동일한 분포형을 가지고, 지역내 각 지점 자료들에 대해서도 서로 상호 독립이라는 것을 가정한다.

2.2 지역빈도해석을 위한 확률분포형의 매개변수 산정

모집단의 확률가중모멘트(Probability Weighted Moments; PWM)는 다음 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며,

$$M_{p,r,s} = E[X^p\{F(X)\}^r\{1-F(X)\}^s], \quad p, r, s \geq 0 \tag{4}$$

식 (5)의 PWM을 이용하여 2변수 Weibull 분포형에 대한 지점 j에서의 1차, 2차 PWM을 나타내면 식 (6)과 같다.

$$\alpha_s = M_{1,0,s} = E[X\{1-F(X)\}^s] \tag{5}$$

$$\alpha_1(j) = \beta_j\Gamma(1+1/\gamma)(1/2)^{1+1/\gamma} \tag{6.1}$$

$$\alpha_0(j) = \beta_j\Gamma(1+1/\gamma) \tag{6.2}$$

한편, 표본 PWM은 다음 식 (7)과 같이 표현할 수 있으며,

$$\alpha_s = \frac{1}{n_j}\sum_{i=1}^{n_j}\frac{(n_j-1)(n_j-i-1)\cdots(n_j-i-s+1)}{(n_j-1)(n_j-2)\cdots(n_j-s)}X_{1:n_j} \tag{7}$$

여기서, $X_{1:n_j}$는홍수량 $X_{j1}, X_{j2}, \ldots, X_{jn_j}$를 오름차순으로 정렬하였을 때, i 번째 작은 값을 의미한다. 표본 PWM과 모집단 PWM을 같다고 두고 지역 형상매개변수 γ의 추정량을 산정하면 다음 식 (8)과 같으며, 식 (8)에서 계산된 $\hat{\gamma}$와 식 (6)을 이용하여 지점 j에서의 규모매개변수의 추정량 $\hat{\beta}_j$를 산정할 수 있다.

$$\frac{1}{\sum n_j}\sum_{j=1}^{k}n_j\frac{\alpha_1(j)}{\alpha_0(j)} = \left[\frac{1}{2}\right]^{1+1/\gamma} \tag{8}$$

2.3 확률가중모멘트법을 이용한 점근적 분산량 산정

PWM을 이용한 지점 1에서의 확률홍수량 $\hat{\xi}_1(q)$의 점근적 분산량은 다음과 같다(Heo 등, 1990).

$$AVAR[\xi_1^2(q)_{PWM}] = \frac{\xi_1^2(q)}{\Gamma^2(1+G)}\left\{\frac{1}{n_1}\left[-\frac{X^2}{Y}+4H(1/2)\Gamma(1+2G)-4\Gamma^2(1+2G)\right]+\frac{(1-X/Y+N)^2}{\Sigma n_j}Y\right\} \tag{9}$$

여기서, $G=1/\gamma$, $X=[-2^{-G}+4H(1/2)]\Gamma(1+2G)-(2+2^G)\Gamma^2(1+2G)$,
$Y=[1-2^{-G}+4H(1/2)]\Gamma(1+2G)-(1+2^{1+G})\Gamma^2(1+2G)$, $H(1/2)$는 hypergeometric함수이다.

2.4 모의발생을 통한 확률홍수량의 분산량 산정

산정된 매개변수를 바탕으로 2변수 Weibull 분포형을 이용, 지역내 각 지점별 확률홍수량을 모의 발생시키고, 각 발생 단계별로 발생된 일련의 지점별 확률홍수량을 조합하여 식 (6), (8)에서 제시한 방법으로 각각 매개변수를 추정한다. 여기서 추정된 매개변수들을 바탕으로 산정된 확률홍수량 Q_j^m (m은 발생단계)에 대하여 원 자료의 빈도별 홍수량 Q를 기준으로 상대편의와 상대평균제곱근 오차를 산정하며, 다음의 관계식으로부터 지점 j의 확률홍수량에 대한 분산량 VAR_j을 산정한다.

$$VAR_j = MSE_j - BIAS_j^2 = Q^2\times[\ RRMSE_j^2 - RBIAS_j^2] \tag{10}$$

$$= Q_j^2 \times \left\{ \left[\sqrt{ \sum_{m=1}^{M} \left\{ \frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right\}^2 } \right]^2 - \left[\sum_{m=1}^{M} \left\{ \frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right\} \right]^2 \right\}$$

여기서, Q_j는 지점 j의 빈도별 확률홍수량, Q_j^m는 모의발생 m번째에서 추정된 지점 j에서의 확률홍수량, M은 전체 모의발생횟수, $BIAS$는 편의, $RBIAS$는 상대편의, MSE는 평균제곱오차, 그리고 $RRMSE$는 상대 평균제곱근오차를 의미한다.

2.5 L-모멘트를 이용한 지역빈도해석

PWM의 선형조합인 L-모멘트를 이용하여 지수홍수법을 바탕으로 Hosking이 제안한 지역빈도해석은 다음과 같이 크게 4단계로 구성된다.

1) 자료의 동질성 검정

지역내 각 지점에서의 표본자료에 대한 L-모멘트비를 비교하여 표본자료의 구축 및 자료의 정상성을 식 (11)과 같이 정의되는 $D(i)$ (여기서 i는 지점명)라는 통계량을 이용하여 정량적으로 표현하며, 이 값이 3을 넘는 경우 지역빈도해석에 적절하지 않다고 제안하였다(Hosking과 Wallis, 1997).

$$D_i = \frac{1}{3} N(u_i - \overline{u})^T A^{-1} (u_i - \overline{u}) \tag{11}$$

여기서, u_i는 지점 i의 L-변동계수 (L_{CV}), L-왜(곡)도계수 (L_S), L-첨(예)도계수 (L_K)의 벡터, A는 벡터 u_i의 평균인 $\overline{u}$와 벡터 u_i의 공분산을 나타낸다.

2) 동일 분포형의 검정

지역빈도해석에서 지역이란 지형학적인 의미가 아니라 동일한 통계적 특성을 가지는 지점을 가지는 것을 의미하며, 다음 식 (12)에서 정의한 통계량 H를 이용하여 지역의 동질성을 검토한다. Hosking과 Wallis (1997)는 $H < 1$인 경우 동질한 지역, $1 \le H < 2$인 경우 이질성의 가능성을 가진 지역, 그리고 $H \ge 2$인 경우 이질한 지역이라고 제안하였다.

$$H = \frac{V - \mu_V}{\sigma_V} \tag{12}$$

여기서, V는 지점 L_{CV}들의 가중표준편차, μ_V와 σ_V는 각각 V의 평균과 표준편차를 의미한다.

3) 적정 분포형의 선정

여러 분포형들로부터 산정된 L_S 및 L_K의 허용범위내에 표본 자료들로부터 구한 L_S 및 L_K가 수렴하는지를 식 (13)의 적합성척도 Z를 이용하여 산정하고, 이 범위내에 들어오는 분포형을 적정분포형으로 선정한다($|Z| \le 1.64$).

$$Z^{DIST} = \frac{\tau_4^{DIST} - t_4^R + B_4}{\sigma_4} \tag{13}$$

여기서, t_4^R은 지역평균 L_K, B_4는 t_4^R의 편차, σ_4는 t_4^R의 표준편차, 그리고 τ_4^{DIST}는 적합시키는 분포형 모의발생으로부터 산정되는 평균 L_K를 의미한다.

4) 지역 빈도함수를 이용한 지점 확률홍수량의 산정

적정확률분포형에 대하여 매개변수를 추정하고 quantile을 산정한 후 이 값과 각 지점에서의 평균값을 이용하여 각 지점의 재현기간별 확률홍수량을 산정한다.

5) 지역 L-모멘트 알고리즘의 모의

Hosking과 Wallis (1993)가 제안한 지역 L-모멘트 알고리즘의 모의과정은 다음과 같다.

① 지역내 N개의 자료수 n_j를 가지는 지점 j에 대하여 표본 L-모멘트를 산정한다.

② L-모멘트비를 이용하여 구한 지점 분포형의 매개변수로부터 지점별 확률홍수량을 산정한다.

③ 모의발생을 실시하여 각 단계별로 발생된 지점별 L-모멘트비로부터 지역평균 L-모멘트비를 산정하고 이로부터 지역 확률분포형의 매개변수를 산정한다.

④ 산정된 확률분포형의 매개변수로부터 재현기간별 확률홍수량을 계산하고 원 자료의 확률홍수량에 대한 상대편의와 상대 평균제곱근오차를 산정한다.

3. 적용 및 비교고찰

3.1 자료의 구축

본 연구에서는 미국 Illinois, Indiana, 그리고 Wisconsin 지역의 홍수량 자료를 바탕으로 자료의 예비적해석을 통하여 지역빈도해석에 적합한 15개 지점을 선정하였으며(Heo 등, 1990), 2변수 Weibull 분포형을 적정분포형으로 가정하여 지점별 매개변수를 추정하였다. 15개 지점들 가운데 추정된 형상매개변수들이 가장 유사한 지점 5개를 추출하여 하나의 지역으로 간주하였으며(R_I), Hosking이 제안한 L-모멘트를 이용, 2변수 Weibull 분포형에 대한 지점별 적합성 검정을 실시하여, 적합성척도 Z가 적용된 분포형들 가운데 가장 작은 지점 6개를 모아 하나의 지역으로 간주하였다(R_{II}). R_I, R_{II}내 각 지점들의 형상매개변수들의 평균과 분산 및 적합성 검토결과는 다음 표 1과 같으며, 여기서 R_I, R_{II}의 각 지점 형상매개변수들은 모두 $\mu \pm 2\sigma$ (R_I : [1.7485, 1.97002], R_{II} : [1.30505, 2.03741]) 범위에 들어오는 것을 알 수 있다. L-모멘트를 이용한 지역빈도해석 방법을 R_I에 적용한 경우 이질성척도와 적합성척도는 -1.81, 2.02로 산정되었으며, R_{II}의 경우 각각 -0.01, 0.00으로 산정되어 두 경우 모두 동질성을 가지는 유역으로 나타났다.

표 1. R_I, R_{II}내 지점 형상매개변수(γ_s) 및 적합성 척도(Z) 비교

R_I					R_{II}				
지점명	γ_s		Z		지점명	γ_s		Z	
45	1.82765		2.71		61	1.85002		0.06	
61	1.85002		0.06		114	1.63208		0.01	
233	1.90084		−0.13		233	1.90084		−0.13	
265	1.79004		1.37		307	1.56759		−0.06	
335	1.92753		0.81		327	1.67112		−0.03	
					344	1.40571		0.46	
비고	평균	1.85926	H	−1.81	비고	평균	1.67123	H	−0.01
	분산	0.05538	Z_R	2.02		분산	0.18309	Z_R	0.00

3.2 모의기법을 이용한 지역빈도해석 방법의 비교

R_I, R_{II} 두 가지 경우에 대해 지역빈도해석 방법별로 Monte-Carlo 모의기법을 사용, 지점 확률홍수량에 대한 상대편의, 상대 평균제곱근오차 및 분산량을 산정하였다.

1) 지점빈도해석과 지역빈도해석 결과 비교

① *RBIAS*

모의기법을 이용하여 R_I, R_{II} 두가지 경우에 대하여 각각 *RBIAS*를 산정한 결과, 두가지 경

우 모두에서 확률가중모멘트를 사용하여 이론적으로 해석한 결과(이하 Heo 방법)에서는 지역빈도해석이 항상 지점빈도해석의 결과보다 우수하다고 나타났으며, 반대로 Hosking이 제안한 방법에서는 대부분 지점빈도해석의 결과가 우수한 것으로 나타났다.

② *RRMSE*

R_I의 경우, Hosking 방법은 비초과확률 $q=0.78265$에서 지역빈도해석보다 지점빈도해석이 뛰어난 것으로 나타났으며, Heo 방법에서는 지점 233, 335의 경우에서만 $q=0.78265$에서 지점빈도해석이 뛰어나고 나머지 재현기간과 지점은 지역빈도해석이 우수한 것으로 나타났는데 이것은 지점 형상매개변수(γ_s)가 지역 형상매개변수(γ_R)보다 작은 지점의 경우에는 항상 지역빈도해석이 우수하다는 것을 의미한다. 여기서 $q=0.78265$는 이론적으로 산정된 지역빈도해석이 지점빈도해석보다 우수하지 못한 재현기간을 의미한다. 한편 R_{II} 지역에 적용한 결과, Heo 방법에서는 $\gamma_s > \gamma_R$인 경우 $q=0.78265$에서 지점빈도해석결과가 우수하게 나타났으며, Hosking 방법에서는 γ_s가 γ_R에 대하여 $\pm 2\sigma$ 경계범위에 있는 편차가 큰 경우에 한하여 지점빈도해석의 결과가 지역빈도해석 결과에 비해 비교적 우수하게 나타남을 알 수 있다.

③ 분산량 (점근적분산량)

5개 지점의 R_I에서 Heo 방법은 *RRMSE*의 경우와 비슷한 결과를 보이고 있는데 $\gamma_s > \gamma_R$인 경우 $q=0.78265$을 기준으로 지점빈도해석이 우수하게 나타났다. Hosking 방법은 *RRMSE*의 경우와 마찬가지로 $q=0.78265$에서 지점빈도해석이 우수한 것으로 나타났다. R_{II}의 경우에도 R_I의 경우와 비슷한 양상을 보이고 있으나, Hosking 방법에서는 $\gamma_s < \gamma_R$인 지점인 경우 전 재현기간에 걸쳐 지역빈도해석이 뛰어난 것을 보여주고 있다. 한편, R_I의 경우 지점빈도해석과 지역빈도해석으로부터 산정된 오차와 분산량은 10% 이내의 유사한 값으로 이는 형상매개변수의 편차가 작은 것에 기인한다고 할 수 있으며, R_{II}에서는 약 30%정도까지 차이가 나는 것을 알 수 있다.

2) 지역빈도해석 방법별 비교

① *RRMSE*

R_I의 경우 *RRMSE*는 $\gamma_s > \gamma_R$인 지점의 지역빈도해석에서 소수 재현기간의 확률홍수량에 대해 Hosking 방법이 Heo 방법보다 우수하다고 나타났지만, 두 방법에서 구한 값들은 매우 유사함을 알 수 있다. R_{II}의 경우도 R_I와 비슷한 양상을 보이고 있으며, $\gamma_s \gg \gamma_R$인 233 지점의 $q=0.78265$ 재현기간에서는 Hosking 방법이 Heo 방법보다 우수한 것으로 나타났다.

② 분산량(점근적 분산량)

R_I의 경우, $\gamma_s \gg \gamma_R$인 335지점에서는 Heo 방법이 Hosking 방법보다 지역빈도해석의 분산량이 큰 것을 알 수 있으며, 지점빈도해석의 경우에도 $\gamma_s > \gamma_R$인 일부 지점에서 Hosking 방법이 우수한 것으로 나타났다. Heo 방법에서 산정된 점근적 분산량은 각 지점에서 재현기간에 따른 분산량을 기준으로 이보다 작은 값을 가지며, 산정된 점근적 분산량을 고려하였을 경우에는 모든지점에서 식으로부터 유도된 Heo 방법의 점근적 분산량이 Hosking의 모의발생후 계산된 분산량보다 큰 것으로 나타났다. R_{II}의 경우 지역빈도해석의 결과에 대하여 $\gamma_s > \gamma_R$인 지점 61, 233에서 Hosking 결과가 우수한 것을 알 수 있으며, 점근적 분산량에서도 $\gamma_s > \gamma_R$인 지점 61, 233에서 Hosking 결과가 우수한 것으로 나타났다.

표 2. 추정된 분산량에 대한 지역빈도해석 방법별 비교(R_I)

		F	0.01	0.05	0.1	0.5	0.783	0.9	0.95	0.99	0.999
45	Regional	HEO	3.2	10.5	17.2	67.8	144.1	229.7	317.7	559.8	985.6
		HOSKING	3.2	10.7	17.9	74.0	159.2	253.4	349.3	610.4	1064.1
		R	0.99	0.97	0.96	0.92	0.91	0.91	0.91	0.92	0.93
	Single	HEO	11.1	30.9	44.7	87.0				918.6	2002.1
		HOSKING	11.1	31.1	45.0	87.1				905.5	1978.1
		R	1.00	0.99	0.99	1.00				1.01	1.01
61	Regional	HEO	9.4	32.4	55.5	255.9	564.4	897.7	1230.4	2115.6	3615.2
		HOSKING	9.7	34.1	59.1	281.0	621.1	984.5	1344.3	2293.2	3885.3
		R	0.97	0.95	0.94	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93
	Single	HEO	47.3	126.4	179.8	335.4	569.2	1004.2	1578.4	3547.5	7752.1
		HOSKING	49.0	130.7	186.1	347.8	583.0	1018.8	1594.0	3568.5	7788.8
		R	0.97	0.97	0.97	0.96	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
233	Regional	HEO	15.3	52.4	89.1	403.7	889.2	1417.4	1946.8	3362.1	5772.6
		HOSKING	15.2	52.2	89.1	408.0	903.4	1443.0	1983.8	3429.1	5888.4
		R	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98
	Single	HEO	80.6	206.8			849.8	1466.8	2273.8	5009.3	10768.4
		HOSKING	79.5	204.2			847.6	1468.2	2279.0	5024.3	10800.2
		R	1.01	1.01			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
265	Regional	HEO	31.0	102.7	171.1	720.1	1563.9	2500.4	3453.2	6044.1	10539.0
		HOSKING	31.7	106.1	183.1	812.7	1775.3	2823.3	3875.9	6697.7	11520.5
		R	0.98	0.95	0.93	0.89	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91
	Single	HEO	114.6	326.8	463.2		1685.7	2969.7	4669.6	10551.1	23263.5
		HOSKING	115.1	329.8	463.9		1678.9	2970.9	4684.1	10616.8	23445.8
		R	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
335	Regional	HEO	16.4	53.1	86.9						
		HOSKING	16.6	53.7	87.6						
		R	0.99	0.99	0.99						
	Single	HEO	67.1	171.5	238.8	419.6	683.2				
		HOSKING	68.6	175.3	244.2	426.5	683.3				
		R	0.98	0.98	0.98	0.98	1.00				

표 3. 추정된 점근적 분산량에 대한 지역빈도해석 방법별 비교(R_{II})

		F	0.01	0.05	0.1	0.5	0.78265	0.9	0.95	0.99	0.999
61	Regional	HEO	5.8								
		HOSKING	5.9								
		R	0.98								
	Single	HEO	43.0	121.9	176.6	339.5	575.0	999.7	1551.3	3409.8	7297.3
		HOSKING	49.0	130.7	186.1	347.8	583.0	1018.8	1594.0	3568.5	7788.8
		R	0.86	0.93	0.95	0.98	0.99	0.98	0.97	0.96	0.94
114	Regional	HEO	7.3	31.9	60.2	356.9	871.0	1459.4	2067.4	3750.4	6739.7
		HOSKING	7.8	33.7	63.9	384.6	942.6	1580.4	2238.9	4060.8	7296.8
		R	0.94	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
	Single	HEO	32.5	116.6	187.4	472.5	893.5	1645.3	2650.6	6199.3	14072.7
		HOSKING	36.8	122.6	199.2	474.9	896.0	1661.8	2700.1	6431.2	14896.6
		R	0.88	0.95	0.97	0.99	1.00	0.99	0.98	0.96	0.94
233	Regional	HEO	9.4								
		HOSKING	9.7								
		R	0.97								
	Single	HEO	72.8	197.1	279.7	509.0	843.4	1449.7	2233.0	4848.5	10255.3
		HOSKING	79.5	204.2	265.6	511.2	847.6	1468.2	2279.0	5024.3	10800.2
		R	0.92	0.97	0.98	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95
307	Regional	HEO	3.9	16.2	29.8	162.6	391.0	658.0	938.5	1730.4	3167.9
		HOSKING	4.0	17.0	31.7	180.6	440.2	742.2	1058.1	1945.3	3547.1
		R	0.97	0.95	0.94	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.99
	Single	HEO	12.3	47.9	79.9	221.1	434.5	816.6	1333.2	3187.1	7386.6
		HOSKING	13.9	50.8	83.3	226.5	442.0	831.8	1364.6	3306.3	7791.5
		R	0.88	0.94	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	0.96	0.95
327	Regional	HEO	24.4	108.4	208.4	1298.1	3193.3	5337.6	7532.6	13541.0	24074.3
		HOSKING	25.4	111.8	214.3	1337.5	3307.5	5549.4	7853.3	14188.4	25355.7
		R	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95
	Single	HEO	130.9	448.8	706.8	1688.7	3124.4	5687.7	9094.7	21008.7	47134.1
		HOSKING	151.2	476.9	739.1	1741.5	3214.8	5857.6	9405.2	22011.0	50268.2
		R	0.87	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.95	0.94
344	Regional	HEO	17.9	78.1	147.9	683.9	2160.0	3617.6	5121.4	9276.8	16641.6
		HOSKING	19.6	89.6	175.5	1152.0	2851.9	4750.9	6676.3	11888.3	20913.6
		R	0.91	0.87	0.84	0.77	0.76	0.76	0.77	0.78	0.80
	Single	HEO	40.5	200.5	371.5	1351.3	2968.9	5924.6	10059.3	25654.0	63189.5
		HOSKING	49.9	221.2	397.1	1380.0	2985.2	5982.3	10257.0	26796.8	67878.9
		R	0.81	0.91	0.94	0.98	0.99	0.99	0.98	0.96	0.93

4. 결론

모의 발생을 통하여 산정된 재현기간별 각 지점에서의 확률홍수량에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 매개변수가 유사한 지점들을 하나의 지역으로 간주하여 해석한 R_I의 경우에서는 전반적으로 Heo 방법이 Hosking 방법보다 우수한 것으로 나타났다. $\gamma_s > \gamma_R$인 지점들에 대하여 상대 평균제곱근오차와 분산량을 계산한 결과, Hosking 방법이 우수한 것으로 나타나기도 하였으나 그 차이는 크지 않았으며, 점근적 분산을 고려한 경우에는 모든 지점에서 Heo 방법이 Hosking 방법보다 우수한 것으로 나타났다. 지역빈도해석과 지점빈도해석을 비교한 결과 $\gamma_s > \gamma_R$인 지점의 $q = 0.78265$에서 지점빈도해석이 지역빈도해석보다 우수한 것으로 나타났다.

(2) Hosking 기준에 의해 가장 적합한 지점들을 고려한 R_{II} 지역인 경우에 대하여 상대제곱근오

차는 $\gamma_s > \gamma_R$인 지점에서 Hosking 방법이 우수한 것으로 나타났으며, 점근적 분산의 경우에도 유사한 결과를 보임을 알 수 있다. $\gamma_s > \gamma_R$인 지점에서의 분산량은 R_I의 경우와 유사하게 $q=0.78265$에서 지점빈도해석이 지역빈도해석보다 우수함을 알 수 있으며, 따라서, Hosking 기준에 따라 지역구분을 하여 지역빈도해석을 실시하는 경우에 지점의 γ_s에 따라 상당한 주의가 필요하다.

5. 참고문헌

Boes, D. C., Heo, J. H., and Salas, J. D., 1989. Regional flood quantile estimation for a Weibull model, *Water Resour. Res.*, 25(5), pp 979-970.

Heo, J. H., Boes, D. C., and Salas, J. D., 1990. Regional flood-frequency modeling and estimation, *Water Resour. Pub.*, No. 101, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, USA.

Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R., 1997. *Regional frequency analysis : An approach based on L-moments*, Cambridge University Press.

Darymple, T., 1960. Flood-frequency analyses, *U. S. Geol. Surv. Water Supply Paper*, 1543A.