

LH-모멘트의 적정 차수 결정에 의한 설계홍수량 추정(II)

Estimation of Design Flood by the Determination of Best Fitting Order of LH-Moments(II)

맹 승 진* · 이 순 혁**
Maeng, Sung Jin · Lee, Soon Hyuk

Abstract

This study was conducted to estimate the design flood by the determination of best fitting order for LH-moments of the annual maximum series at fifteen watersheds.

Using the LH-moment ratios and Kolmogorov-Smirnov test, the optimal regional probability distribution was identified to be the Generalized Extreme Value (GEV) in the first report of this project.

Parameters of GEV distribution and flood flows of return period n years were derived by the methods of L, L1, L2, L3 and L4-moments.

Frequency analysis of flood flow data generated by Monte Carlo simulation was performed by the methods of L, L1, L2, L3 and L4-moments using GEV distribution.

Relative Root Mean Square Error (RRMSE), Relative Bias (RBIAS) and Relative Efficiency (RE) using methods of L, L1, L2, L3 and L4-moments for GEV distribution were computed and compared with those resulting from Monte Carlo simulation. At almost all of the watersheds, the more the order of LH-moments and the return periods increased, the more RE became, while the less RRMSE and RBIAS became.

The Absolute Relative Reduction (ARR) for the design flood was computed. The more the order of LH-moments increased, the less ARR of all applied watershed became. It was confirmed that confidence efficiency of estimated design flood was increased as the order of LH-moments increased.

Consequently, design floods for the applied watersheds were derived by the methods of L3 and L4-moments among LH-moments in view of high confidence efficiency.

Keywords : LH-moments, GEV distribution, Simulation, RRMSE, RBIAS, Relative Efficiency, Absolute Relative Reduction

* 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

** 충북대학교 농과대학 교수

* Corresponding author. Tel.: +82-42-860-0313

fax: +82-42-860-0312

E-mail address: maeng@kowaco.or.kr

I. 서 론

본 연구의 제 I보에서는 고차확률가중모멘트의 차수변화에 따른 적정 설계홍수량 추정을 위해 우리나라와 오스트레일리아를 대상으로 연최대홍수량 시계열 자료의 구성하고 이들 연최대홍수량 자료에 대한 동질성, 독립성 및 Outlier 검정을 시도하였다. 그리고, 연최대홍수량 자료에 적용된 4개의 확률분포형들에 대한 적합도 검정을 실시한 결과 적정한 확률분포형으로 Generalized Extreme Value (GEV) 분포형이 선정되었다.

본 보에서는 실측치와 모의발생된 자료를 대상으로 LH-모멘트의 차수 변화에 따른 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의한 적정분포형의 매개변수와 설계홍수량을 유도하고 LH-모멘트의 차수 변화와 매개변수 유도방법별에 따른 설계홍수량의 신뢰도를 판정한다. 이를 위해 대상유역별로 LH-모멘트법과 적정 분포형에 의해 유도된 설계홍수량 간의 절대상대감소율(absolute relative reduction, ARR)을 산정하고 이를 비교 분석하여 최적 설계홍수량을 유도 할 수 있는 LH-모멘트의 적정 차수를 제시하고자 한다.

II. LH-모멘트법에 의한 GEV 분포형의 매개변수 추정

본 연구의 제 I보에서 적정 확률분포형으로 선정된 GEV 분포형에 대한 대상유역별 연최대홍수량의 설계홍수량을 유도하기 위해 GEV 분포형의 매개변수를 LH-모멘트법에 의해 추정하고자 하며 이에 대한 이론적 분석은 다음과 같다.^{4),5),6),9)}

GEV 분포형의 확률밀도함수와 확률가중모멘트는 각각 본 연구의 제 I보의 식 (33) 및 식 (35)와 같다. 제 I보의 식 (35)에서 차수 $r = \eta, \eta + 1$ 및 $\eta + 2$ 차의 확률가중모멘트간의 관계를 나타내면 식 (1) ~ 식 (3)과 같다.

$$(\eta + 1)\beta_\eta = \xi + \frac{\alpha}{k} [1 - (\eta + 1)^{-k} \Gamma(1 + k)] \dots\dots (1)$$

$$(\eta + 2)\beta_{\eta+1} - (\eta + 1)\beta_\eta = \alpha \frac{\Gamma(1+k)}{k} [(\eta + 1)^{-k} - (\eta + 2)^{-k}] \dots\dots(2)$$

$$\frac{(\eta + 2)\beta_{\eta+1} - (\eta + 1)\beta_\eta}{(\eta + 3)\beta_{\eta+2} - (\eta + 1)\beta_\eta} = \frac{(\eta + 1)^{-k} - (\eta + 2)^{-k}}{(\eta + 1)^{-k} - (\eta + 3)^{-k}} \dots\dots(3)$$

식 (1) ~ 식 (3)은 확률가중모멘트의 차수 r 에 따른 선형조합된 GEV 분포형의 LH-모멘트이다. LH-모멘트의 차수 η 를 0, 1, 2, 3 및 4로 했을 때 매개변수 ξ , α 및 k 의 추정은 식 (1) ~ 식 (3)을 연립하여 구할 수 있다. 여기에서 식 (3)을 반복법을 사용하여 수치적으로 풀면 k 을 구할 수 있으나 계산이 복잡하므로 다음의 식 (4) 및 식 (5)을 사용하여 근사적으로 구할 수도 있다.⁹⁾

$$k = a_1 C + a_2 C^2 \dots\dots(4)$$

$$C = \frac{(\eta + 2)\beta_{\eta+1} - (\eta + 1)\beta_\eta}{(\eta + 3)\beta_{\eta+2} - (\eta + 1)\beta_\eta} \frac{\ln(\eta + 2) - \ln(\eta + 1)}{\ln(\eta + 3) - \ln(\eta + 1)} \dots\dots(5)$$

여기서, a_1 과 a_2 는 LH-모멘트의 차수 η 가 0, 1, 2, 3 및 4일 때의 상수이다. Table 1에서는 η 의 차수에 따른 상수 a_1 과 a_2 및 $-0.5 \leq k \leq 0.5$ 의 범위에서의 k 오차를 나타내었다.

Table 1 Coefficient a_1 and a_2 and the maximum absolute error $|\delta|$ in k within the range of $-0.5 \leq k \leq 0.5$ (Wang, 1997)

LH-moment used	a_1	a_2	$ \delta $
$\eta = 0$	7.8589	2.9534	8.8×10^{-4}
$\eta = 1$	11.9082	2.7787	3.4×10^{-4}
$\eta = 2$	15.9316	2.7301	1.8×10^{-4}
$\eta = 3$	19.9455	2.7072	1.1×10^{-4}
$\eta = 4$	23.9546	2.6936	7.7×10^{-5}

Ⅲ. 수문자료와 분석방법

1. 수문자료

본 연구의 분석을 위해 선정된 대상유역은 제 I 보에서 언급된 바와 같이 우리나라 금강수계의 규암, 공주, 영산강수계의 마륵 및 섬진강수계의 송정, 압록, 적성유역과 오스트레일리아의 Barker Creek의 Wyalla, Baron강의 Picnic Crossing, Big Creek의 Elands, Frankland강의 Mt. Frankland, Myponga강의 Myponga Weir, Preston강의 Beelerup, Stuart강의 Ween's Bridge, Tallangatta Creek의 Tallangatta 및 North Johnstone강의 Goondi 지점을 선정하였다.

2. 분석방법

가. 본 보에서는 본 연구의 제 I보에 이어서 선정된 확률분포형의 매개변수를 대상유역별로 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 산정한다.

나. 매개변수 유도방법에 따른 적정 확률분포형에 의한 실측치의 빈도별 설계홍수량을 유도한다.

다. Monte Carlo 기법에 의해 모의발생된 연최대홍수량에 대한 빈도분석을 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 실시하여 각각에 의한 빈도별 설계홍수량을 유도한다.

라. L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 적정 확률분포형에 의해 유도된 실측치 및 모의발생치의 빈도분석에 의한 설계홍수량의 비교분석을 상대평균제곱근오차(relative root mean square error, RRMSE), 상대편의(relative bias, RBIAS) 및 상대적 효율성(relative efficiency, RE)에 의해 수행한다.

마. '라'의 분석결과와 더불어, LH-모멘트의 차수변화에 따른 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량의 변화 양상을 파악하기 위해 LH-모멘트의 차수변화에 따른 매개

변수 유도방법별 빈도별 절대상대감소율(absolute relative reduction, ARR)을 산정하여 분석한다.

바. 이상의 분석결과에 의해 신빙성 있는 설계홍수량 유도가 가능한 LH-모멘트의 적정차수를 제시한다.

Ⅳ. 결과 및 고찰

1. 적정 확률분포형인 GEV 분포형의 매개변수 추정

본 분석에서는 적정 확률분포형으로 선정된 GEV 분포형에 대한 대상유역별 연최대홍수량의 설계홍수량을 유도하기 위해 GEV 분포형의 매개변수를 LH-모멘트의 차수변화에 따른 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 각각 추정한다.

적정 확률분포형으로 선정된 GEV분포형의 매개변수인 척도매개변수, α 위치매개변수, ξ 및 형상매개변수, k 를 대상유역별로 LH-모멘트의 차수변화에 의한 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 구하였다.

2. 적정 확률분포형에 의한 실측치의 빈도분석

LH-모멘트의 차수변화에 따라 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 추정된 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 대상유역별로 설계홍수량을 유도하고자 한다.

본 분석에서는 대상유역들의 각각에 대한 빈도분석을 위해 식 (1) ~ 식 (3)에 의해 추정된 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 15개 대상유역에 대한 빈도별 설계홍수량을 다음의 식 (6)에 의해 유도하였다.^{2),3),4),5),6),10)}

$$X_T = \xi + \left(\frac{\alpha}{k}\right) [1 - (-\ln F)^k] \dots \dots \dots (6)$$

여기서, T 는 재현기간, F 는 재현기간에 따른

비초과확률(probability of nonexceedance)이며 T 와 F 는 $T=1/(1-F)$ 의 관계를 갖는다.

대상유역별로 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의한 빈도별 설계홍수량을 구하였다.

3. 모의발생치에 의한 빈도분석

본 분석에서는 전술한 실측치의 빈도분석에 의한 빈도별 설계홍수량 유도에 이어 모의발생치에 의한 빈도분석을 수행하였다. 실측치의 통계특성을 가진 수문자료계열의 모의발생을 시도함은 대상유역에서 모의기법에 의해 유도된 모의발생치들의 빈도별 설계홍수량이 실측치에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량을 재현하는 정도를 분석함으로써 장차 발생할 수 있는 연최대홍수량에 의한 설계홍수량의 안정성에 대한 신빙성 여부를 판단하기 위함이다.

실측치에 의한 빈도별 설계홍수량과 모의발생된 빈도별 설계홍수량과의 비교분석은 Monte Carlo 기법에 의해 모의발생된 대상유역들의 연최대홍수량에 의한 빈도별 설계홍수량과 실측치에 의한 빈도별 설계홍수량과의 오차분석을 상대평균제곱근오차(relative root mean square error, RRMSE)와 상대편의(relative bias, RBIAS)에 의해 수행함으로써 최종적으로 적정한 매개변수 유도법과 이에 의한 빈도별 적정 설계홍수량의 제시가 가능하게 된다.

가. Monte Carlo 모의발생

Monte Carlo 기법에 의한 모의발생은 미래에 발생할 사상이 과거에 발생한 사상과 통계적으로 유사하다는 전제하에 실측치의 통계적 특성을 분석하여 얻어진 확률분포형의 매개변수와 확률분포형에 맞게 발생된 난수를 이용하여 소기하는 기간에 걸쳐 무작위 변량을 발생시키는 기법이다.

Monte Carlo 모형은 확정론적 성분과 무작위 성분으로 구성된다. 확정론적 성분은 실측치로부터 얻을 수 있는 각 분포함수의 매개변수이며 무작위

성분은 임의 분포함수에 맞게 추출된 난수이다.

본 연구에서 적정 확률분포형으로 선정된 GEV 분포에 대한 모의발생은 다음의 식 (7)과 같다.³⁾

$$x = \xi + \frac{\alpha}{k} [1 - (-\ln R)^k] \dots \dots \dots (7)$$

여기서, ξ 는 위치 매개변수, α 는 척도 매개변수, k 는 형상 매개변수이며 R 는 균등난수(uniform random)이다.

본 분석에서는 식 (7)에 의해 대상유역별로 표본 크기(sample size)는 20, 40, 60 및 100으로 하고 각각 1,000회의 모의발생을 수행하였다.

나. Monte Carlo 기법에 의한 모의발생 자료의 빈도분석

본 분석에서는 Monte Carlo 기법에 의한 표본크기별 모의발생 자료를 이용하여 LH-모멘트법의 차수 변화에 의한 매개변수 유도방법인 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 빈도별 설계홍수량을 유도하였으며, 이에 대한 분석 절차는 다음과 같다.

- 1) 대상유역별 연최대홍수량의 적정 확률분포형인 GEV 분포형의 매개변수를 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 각각 추정한다.
 - 2) 매개변수 유도방법별로 산정된 GEV 분포형의 매개변수에 의한 빈도별 설계홍수량을 산정한다.
 - 3) 매개변수 유도방법별로 산정된 GEV 분포형의 매개변수와 함께 대상유역별로 표본의 크기 20, 40, 60 및 100개인 연최대홍수량을 Monte Carlo 기법에 의해 1,000회 모의발생한다.
 - 4) 대상유역별로 연최대홍수량의 표본크기 20, 40, 60 및 100의 각각에 대한 모의발생시 매회별로 GEV 분포형의 매개변수를 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 추정한다.
 - 5) 대상유역의 표본크기별, 모의발생회수별, 매개변수 유도방법별로 산정된 GEV 분포형의 매개변수에 의한 빈도별 설계홍수량을 산정한다.
- 이상과 같은 일련의 절차를 도시하면 Fig. 1과

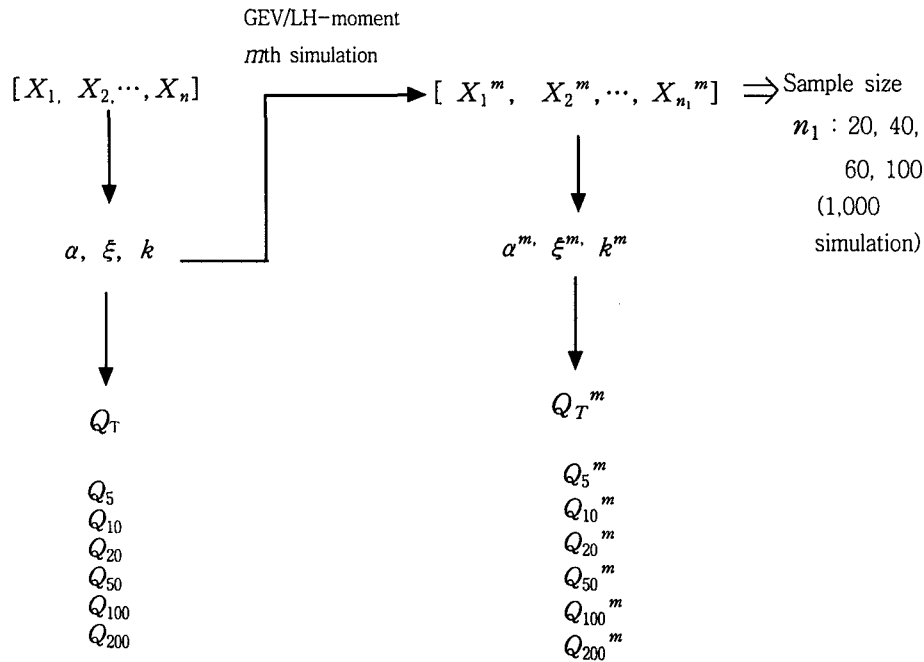


Fig. 1 Frequency analysis procedure using LH-moment method and Monte Carlo simulation

같다.

본 분석에서는 상기한 Monte Carlo 기법에 의해 대상유역들의 매개변수 유도방법별, 표본크기별 연최대홍수량을 1,000회 모의발생 하였고 이들 모의발생치를 이용하여 LH-모멘트의 차수변화에 따른 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 빈도별 설계홍수량을 산정하였다.

4. 실측치와 모의발생치의 빈도 비교 분석을 통한 LH-모멘트의 적정 차수 선정

대상유역의 연최대홍수량과 모의발생된 대상유역의 연최대홍수량을 각각 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법을 적용함으로써 각각의 빈도별 설계홍수량이 추정되었다.

본 분석에서는 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 실측치와 모의발생치에 의해 추정된 각각의 빈도별 설계홍수량간의 누가오차를 나타내는 상대

평균제곱근오차와 모의발생치에 의해 추정된 빈도별 설계홍수량이 실측치에 의해 추정된 설계홍수량보다 크거나 작은 값을 갖는지를 나타내는 누가오차인 상대편의에 의한 분석을 실시함으로써 매개변수 유도방법에 따른 빈도별 설계홍수량간의 적정성여부에 관한 비교 분석을 수행하고자 한다.

상대평균제곱근오차와 상대편의의 일반식은 각각 다음의 식 (8) 및 식 (9)와 같다.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right\}^2} \dots\dots\dots (8)$$

$$RBIAS = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

여기서, Q_j 와 Q_j^m 은 각각 실측치에 의한 빈도별 설계홍수량과 모의발생된 자료에 의한 빈도별 설계홍수량이다.

따라서, 본 분석에서는 Fig. 1의 빈도분석 절차

Table 2 RRMSE of the simulated quantile following the sample size for GEV distribution using L-moment method

Simulated sample size	Nation	River	Station	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
20	Korea	Geum	Gongju	0.1339	0.1376	0.1580	0.2045	0.2518	0.3091
		Seomjin	Abrog	0.0947	0.0881	0.0964	0.1224	0.1487	0.1788
	Australia	Preston	Beelerup	0.1387	0.1585	0.1949	0.2663	0.3382	0.4281
		North Johnstone	Goondi	0.1302	0.1375	0.1608	0.2114	0.2625	0.3249
100	Korea	Geum	Gongju	0.0579	0.0605	0.0706	0.0909	0.1094	0.1295
		Seomjin	Abrog	0.0418	0.0394	0.0425	0.0510	0.0587	0.0665
	Australia	Preston	Beelerup	0.0584	0.0671	0.0837	0.1142	0.1420	0.1733
		North Johnstone	Goondi	0.0588	0.0618	0.0711	0.0898	0.1070	0.1259

Table 3 RRMSE of the simulated quantile following the sample size for GEV distribution using L2-moment method

Simulated sample size	Nation	River	Station	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
20	Korea	Geum	Gongju	0.1353	0.1218	0.1248	0.1525	0.1881	0.2342
		Seomjin	Abrog	0.0790	0.0563	0.0500	0.0578	0.0687	0.0808
	Australia	Preston	Beelerup	0.1419	0.1345	0.1415	0.1724	0.2104	0.2598
		North Johnstone	Goondi	0.1322	0.1180	0.1200	0.1446	0.1756	0.2150
100	Korea	Geum	Gongju	0.0940	0.0856	0.0879	0.1051	0.1249	0.1482
		Seomjin	Abrog	0.0542	0.0387	0.0337	0.0365	0.0407	0.0449
	Australia	Preston	Beelerup	0.0933	0.0871	0.0917	0.1127	0.1362	0.1640
		North Johnstone	Goondi	0.0882	0.0785	0.0792	0.0939	0.1118	0.1330

Table 4 RRMSE of the simulated quantile following the sample size for GEV distribution using L4-moment method

Simulated sample size	Nation	River	Station	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
20	Korea	Geum	Gongju	0.1422	0.1237	0.1201	0.1426	0.1782	0.2279
		Seomjin	Abrog	0.0819	0.0589	0.0485	0.0523	0.0631	0.0767
	Australia	Preston	Beelerup	0.1492	0.1357	0.1337	0.1543	0.1886	0.2391
		North Johnstone	Goondi	0.1381	0.1174	0.1114	0.1261	0.1518	0.1877
100	Korea	Geum	Gongju	0.0985	0.0872	0.0844	0.0963	0.1146	0.1382
		Seomjin	Abrog	0.0558	0.0401	0.0326	0.0326	0.0362	0.0406
	Australia	Preston	Beelerup	0.0978	0.0874	0.0862	0.1009	0.1212	0.1466
		North Johnstone	Goondi	0.0922	0.0774	0.0717	0.0796	0.0942	0.1129

에 의해 대상유역에 대해 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법과 표본의 크기별로 실측치의 빈도별 설계홍수량에 대한 모의발생된 빈도별 설계홍수량간의 상대평균제곱근오차 및 상대편의를 구하였다.

표본 예로 공주, 압록, Beelerup 및 Goondi 유역에 대한, L, L2, 및 L4-모멘트법 및 표본크기 20과 100에 해당하는 상대평균제곱근오차의 결과는 각각 Table 2 ~ Table 4와 같다.

또한, 대상유역별로 실측된 연최대홍수량과 모의 발생된 연최대홍수량을 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 추정된 표본크기별 빈도별로 상대평균제곱근오차 및 상대편의의 관계를 도시하였으며, 표본 예로 압록과 Beelerup 유역에 대하여 표본크기 20과 100을 도시한 결과는 Fig. 2 ~ Fig. 5와

같다.

그리고, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 계산된 상대평균제곱근오차가 L-모멘트법에 의한 상대평균제곱근오차에 비해 상대적 효율성이 존재하는지를 나타내는 식 (10)의 상대적 효율성(relative efficiency, RE), ϕ 을 산정함으로써 LH-모

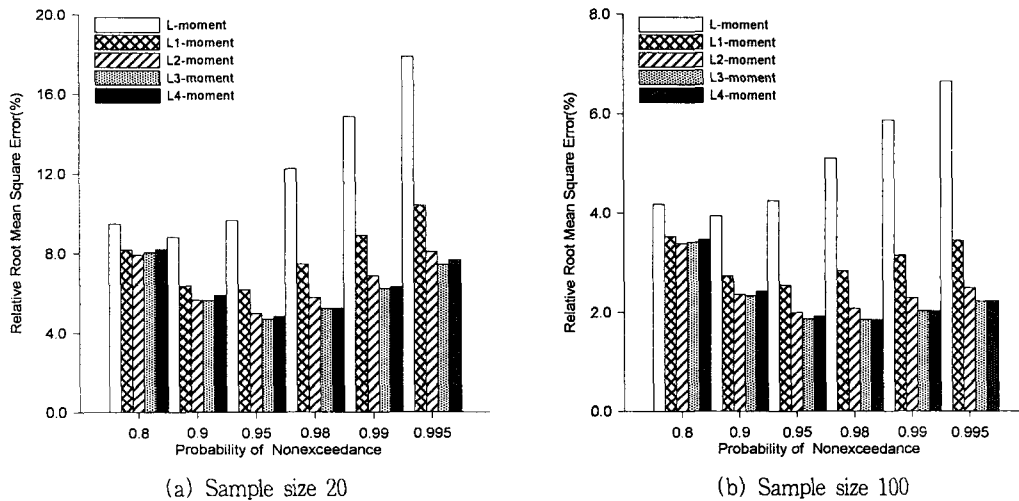


Fig. 2 Comparison of RRMSE estimated by GEV distribution using method of LH-moment at Abrog watershed of Seomjin river in Korea

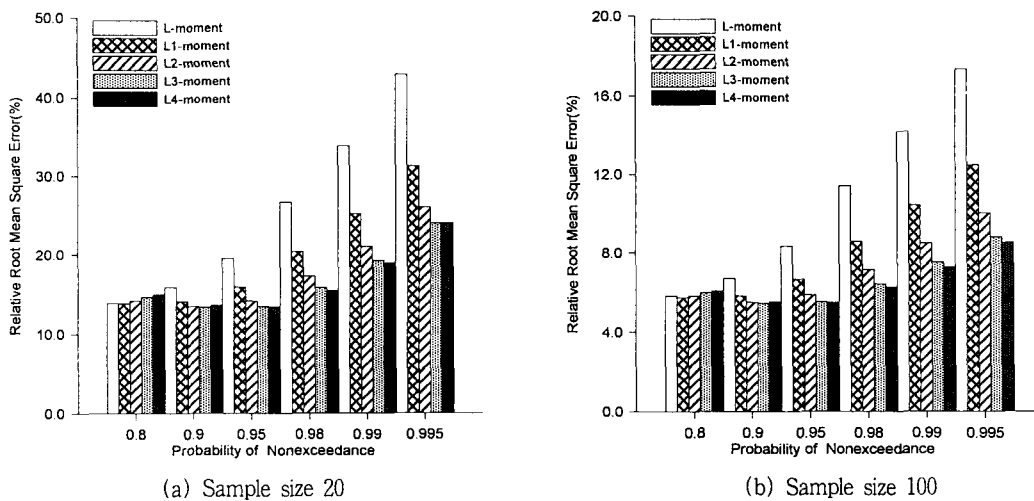


Fig. 3 Comparison of RRMSE estimated by GEV distribution using method of LH-moment at Beelerup watershed of Preston river in Australia

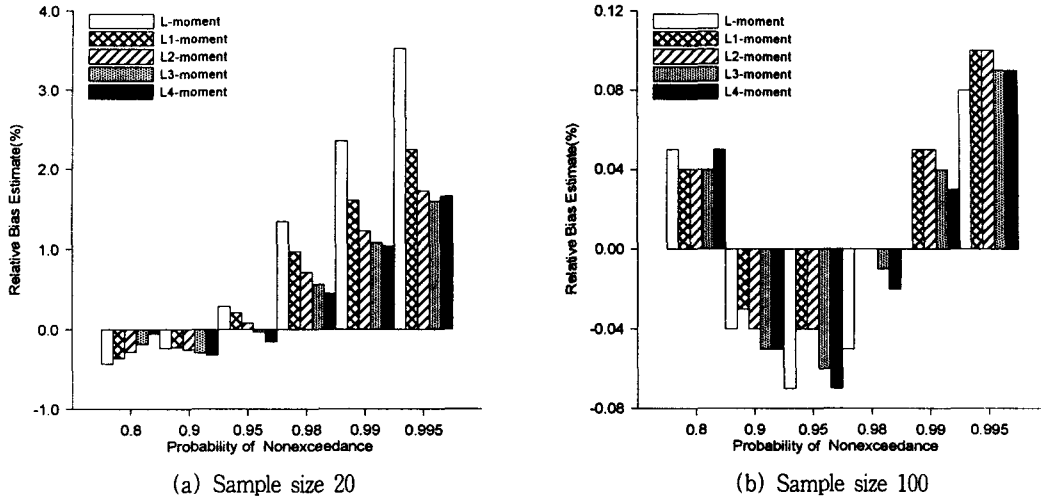


Fig. 4 Comparison of RBIAS estimated by GEV distribution using method of LH-moment at Abrog watershed of Seomjin river in Korea

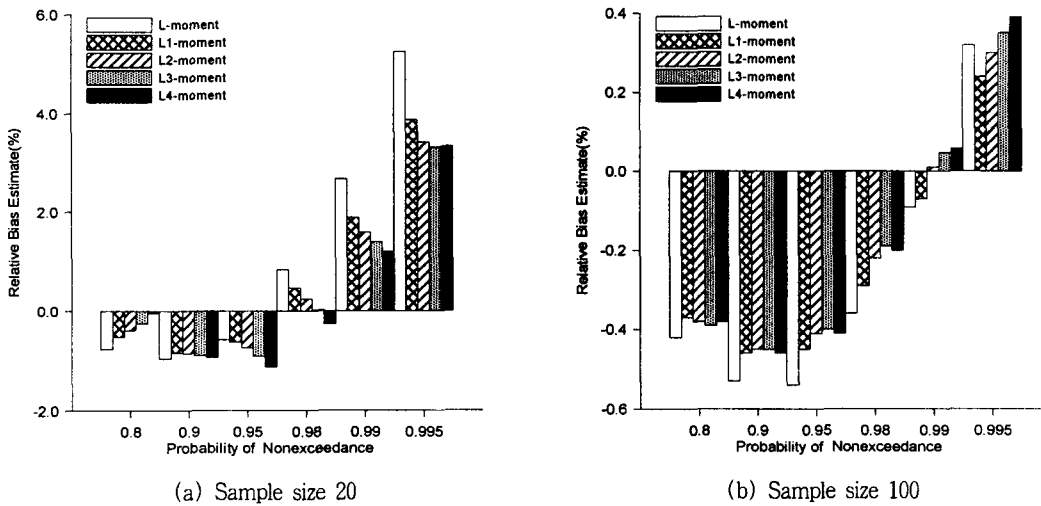


Fig. 5 Comparison of RBIAS estimated by GEV distribution using method of LH-moment at Beelerup watershed of Preston river in Australia

멘트의 차수 변화에 의한 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법의 신뢰도를 판정하고자 한다.

따라서, 상대적 효율성 산정을 위한 식은 다음과 같다.⁹⁾

$$\phi = \frac{\text{RRMSE in estimate using L-moment}}{\text{RRMSE in estimate using Li-moment}} \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (10)$$

L-모멘트법에 대한 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법의 상대적 효율성을 대상유역별, 표본크기별 및 빈도별로 구하였다.

표본 예로 압록과 Beelerup 유역에 대하여 표본 크기 20과 100을 도시한 결과는 Fig. 6 및 Fig. 7과 같다.

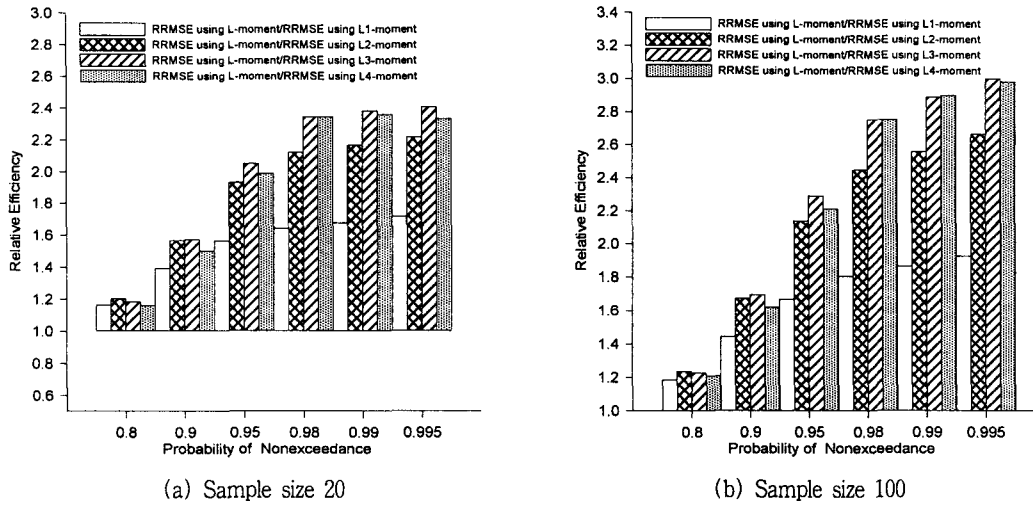


Fig. 6 Comparison of relative efficiency estimated by GEV distribution using method of LH-moment at Abrog watershed of Seomjin river in Korea

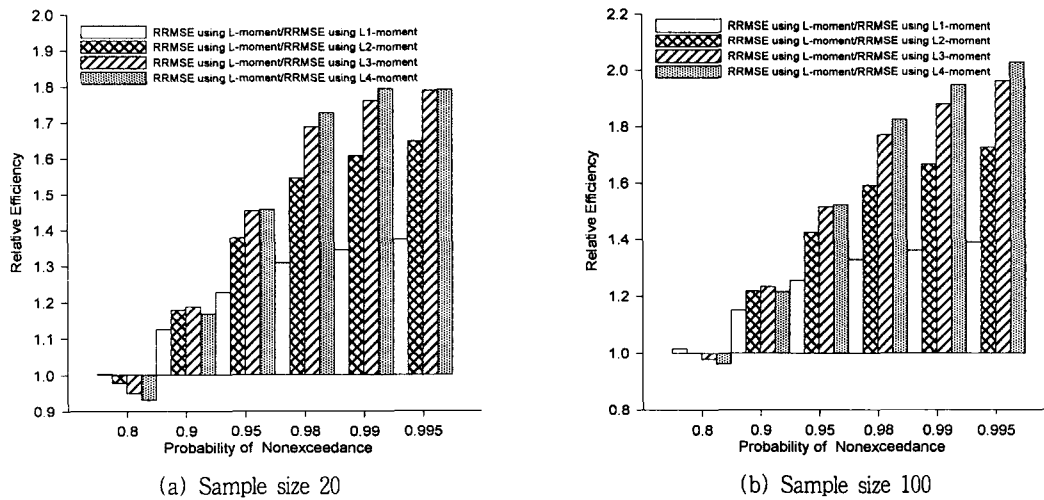


Fig. 7 Comparison of relative efficiency estimated by GEV distribution using method of LH-moment at Beelerup watershed of Preston river in Australia

이상의 결과를 보면 Table 2 ~ Table 4 및 Fig. 2 및 Fig 3에서 보는 바와 같이 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의한 상대평균제곱근오차는 대상유역별로 재현기간이 커짐에 따라 증가한 반면 모의발생의 표본크기가 증가함에 따라 감소되는 양상을 나타내었다. 또한, 동일한 유역, 동일한 표본

자료 및 동일한 재현기간에서 LH-모멘트법의 차수가 증가할수록, 즉 L-모멘트법 보다는 L1-모멘트법이, L1-모멘트법 보다는 L2-모멘트법이, L3-모멘트법 보다는 L4-모멘트법에 의한 상대평균제곱근오차가 일반적으로 다소 감소하였으며, 이러한 결과는 표본의 크기가 크고 재현기간이 커질

수록 감소되는 경향을 나타내었다.

이와 더불어, Fig. 4 및 Fig. 5에서의 결과에서도 볼수 있는바와 같이 LH-모멘트법의 차수가 커질수록 상대편의가 일반적으로 작게 나타났다. 이러한 결과는 또한 표본의 크기에서도 크기가 커지면 커질수록 작게되는 경향을 역시 나타내었다.

L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의한 상대평균제곱근오차에 대한 L-모멘트법에 의한 상대평균제곱근오차의 비인 상대적 효율성을 나타내는 Fig. 6 및 Fig. 7의 결과를 보면 대체적으로 L과 L3-모멘트 및 L과 L4-모멘트법의 상대적 효율성이 L과 L1 및 L과 L2-모멘트법의 상대적 효율성보다 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 재현기간이 커질수록 더욱 증가되었다.

이와 같은 상기의 결과는 타 대상유역에서도 대체적으로 동일한 양상을 나타내었다.

4. LH-모멘트의 적정 차수 검정

본 분석에서는 대상유역별로 LH-모멘트의 차수 변화에 의한 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 유도된 각각의 빈도별 설계홍수량간의 변동 양상과 상대적인 감소 비율을 나타내는 절대상대 감소율(absolute

relative reduction, ARR)을 산정하고, L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량과 실측치를 플로팅 포지션법을 사용하여 확률지에 도시함으로써 LH-모멘트의 차수가 높은 LH-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량이 LH-모멘트의 차수가 낮은 LH-모멘트법에 의해 유도된 것보다 신뢰도가 높은지를 검정하고자 한다.

따라서, 절대상대 감소율 산정을 위한 식은 다음의 식 (11)과 같다.

$$ARR_k = \left| \frac{Q_{T_L} - Q_{T_{L_k}}}{Q_{T_L}} \right| \times 100 \dots \dots \dots (11)$$

여기서, Q_{T_L} 는 LH-모멘트법의 차수가 0, 1, 2,

3인 L, L1, L2 및 L3-모멘트법에 의해 추정된 빈도별 설계홍수량이며, $Q_{T_{L_k}}$ 는 LH-모멘트법의 차수가 1, 2, 3, 4인 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 추정된 빈도별 설계홍수량이다. k 는 Q_{T_L} 와 $Q_{T_{L_k}}$ 에 의해 추정된 절대상대 감소율의 첨자로서 1, 2, 3 및 4의 값을 갖는다.

L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량간의 절대상대 감소율을 대상유역별 빈도별로 구하였다. 표본 예로 압록과 Beelerup 유역에 대한 절대상대 감소율을 도시한 결과는 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다.

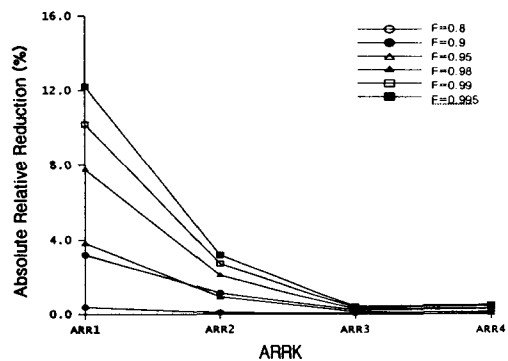


Fig. 8 Comparison of absolute relative reduction in design flood flow estimated by LH-moment of GEV distribution at Abrog watershed of Seomjin river in Korea

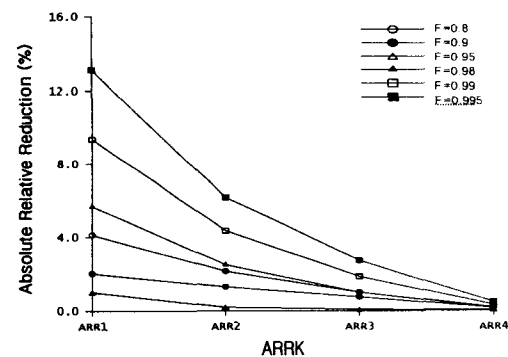


Fig. 9 Comparison of absolute relative reduction in design flood flow estimated by LH-moment of GEV distribution at Beelerup watershed of Preston river in Australia

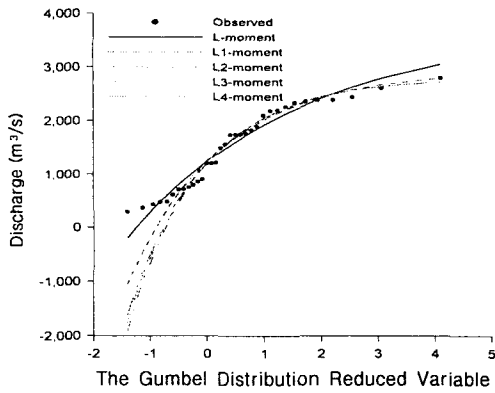


Fig. 10 Comparison of design floods estimated using method of LH-moment with Gringorten plotting position at Abrog watershed of Seomjin river in Korea

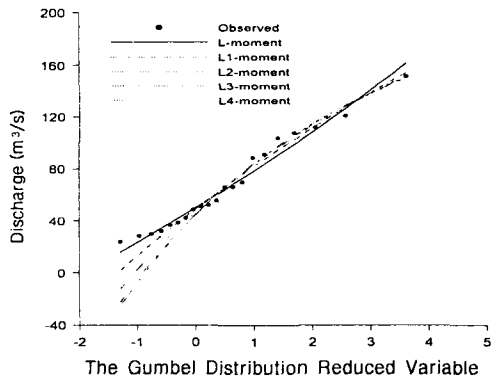


Fig. 11 Comparison of design floods estimated using method of LH-moment with Gringorten plotting position at Beelerup watershed of Preston river in Australia

L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량간의 상대 감소율인 Fig. 8 및 Fig. 9의 결과를 보면, 대상유역 전반에 걸쳐 LH-모멘트의 차수가 증가함에 따라 절대상대 감소율은 감소하는 경향을 나타냈다.

특히, 대상유역별로 LH-모멘트의 차수가 2, 3인 L2-모멘트법과 L3-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량간의 절대상대 감소율인 ARR_3 와 LH-모멘트의 차수가 3, 4인 L3-모멘트법과 L4-

모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량간의 절대상대 감소율인 ARR_4 는 최대 4.99% 이고 대부분이 2% 이하로서 LH-모멘트의 차수가 커질수록 절대상대 감소율이 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.

또한, 이상의 결과에 대한 검증을 위해 전 절에서 유도된 대상유역의 빈도별 설계홍수량을 Gringorten 플로팅 포지션법에 의해 Gumbel 확률지상에 도시하였으며, 표본 예로 압록과 Beelerup 유역에 대하여 도시한 결과는 Fig. 10 및 Fig. 11과 같다.

이상의 결과를 종합해 보면, 대상유역 전반에 걸쳐 LH-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량은 LH-모멘트의 차수가 증가할수록 변동폭이 감소하면서 실측치에 접근하는 결과를 나타내었다.

따라서, 빈도별 설계 홍수량은 LH-모멘트의 차수가 3과 4인 L3 및 L4-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량이 전반적으로 적절한 것으로 판정되었다.

IV. 결 론

본 연구의 제 I보와 제 II보에서는 우리나라와 오스트레일리아의 유역에서 장기간 신빙성 있는 홍수 관측 자료를 선정하여 연최대홍수량 계열을 구성하고 적정 확률분포형을 선정하여 LH-모멘트법의 차수변화에 따른 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 매개변수를 추정한다. 이어서, L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량을 산정하고 이들에 대한 신뢰도 분석을 실시하여 LH-모멘트의 적정 차수를 결정함으로써 대상유역별로 신빙성 있는 설계홍수량을 유도하였다. 이의 결과를 본 연구의 제 I보에 이어서 요약하면 다음과 같다.

1. 대상유역별로 LH-모멘트의 차수변화에 의한 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 GEV 분포형의 매개변수와 빈도별 설계홍수량을 산정하였다.

2. Monte Carlo 기법에 의해 모의발생된 연최대 홍수량에 대한 빈도분석을 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 실시하여 빈도별 설계홍수량을 유도하였다.

3. LH-모멘트의 차수 변화에 따른 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 유도된 실측치 및 모의발생치의 빈도분석에 의한 설계홍수량의 비교분석을 상대평균계급근오차, 상대편의에 의해 수행한 결과 LH-모멘트의 차수가 증가하고 재현기간이 커질수록 전반적으로 감소양상을 나타내었고 상대적 효율성은 전반적으로 증가되었다.

4. LH-모멘트의 차수 변화에 따른 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량의 절대상대감소율을 분석한 결과, LH-모멘트의 차수가 증가할수록 빈도별 절대상대감소율이 감소하는 결과를 나타내었다.

5. 이상의 결과를 종합해 보건데, LH-모멘트의 차수가 커질수록 빈도별 설계홍수량의 신빙성이 다소 증가함을 나타냈으며, 특히 LH-모멘트의 차수 0, 1, 2, 3 및 4 가운데 차수 3과 4인 L3 및 L4-모멘트법에 의해 유도된 설계홍수량이 일반적으로 적정한 것으로 판정되었다.

References

- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. 1993. Some Statistics useful in Regional Frequency Analysis. *Water Resources Research* 29(2): 271~281.
- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. 1996. Regional Frequency Analysis of floods in Central Appalachia. NY 10598. Watson Research Center Yorktown Heights.: IBM Research Division T.Y.
- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. 1997. *Regional Frequency Analysis*: Cambridge University Press.
- Lee, S. H., M. G. Park, S. J. Maeng, Y. S. Jung and K. S. Ryoo. 1999. Derivation of Optimal Design Flood by L-Moments and LH-Moments(II). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 41(3): 41~50. (in Korean)
- Lee, S. H., J. H. Park, K. S. Ryoo, H. K. Jee, T. K. Jeon and Y. H. Shin. 2001. Estimation of Design Rainfall by the Regional Frequency Analysis using Higher Probability Weighted Moments and GIS Techniques(II). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(5): 70~82. (in Korean)
- Maidment, D. R. 1992. *Handbook of Hydrology*: McGraw-Hill, Inc.
- McCuen, R. H. 1993. *Microcomputer Applications in Statistical Hydrology* : PTR Prentice Hall.
- Reed, D. 1999. *Flood Estimation Handbook*: Institute of Hydrology UK.
- Wang, Q. J. 1997. LH Moments for Statistical Analysis of Extreme Events. *Water Resources Research* 33(2): 2841~2848
- World Meteorological Organization. 1989. *Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis*: A4.1~A4.14.