

Weibull-3 및 GEV 분포모형의 L-모멘트법에 의한 홍수빈도 비교분석

Comparative Analysis of Flood Frequency by L-moment in Weibull-3 and GEV Distributions

이 순 혁* · 송 기 현** · 맹 승 진**
Lee, Soon Hyuk · Song, Ki Hyun · Maeng, Sung Jin
류 경 식** · 김 동 주** · 지 호 근**
Ryoo, Kyong Sik · Kim, Dong Joo · Jee, Ho Keun

Abstract

This study was conducted to derive optimal design floods by Generalized Extreme Value(GEV) and Weibull-3 distributions for the annual maximum series at ten watersheds along Han, Nagdong, Geum, Yeongsan and Seomjin river systems. Adequacy for the analysis of flood data used in this study was established by the tests of Independence, Homogeneity, detection of Outliers. L-coefficient of variation, L-skewness and L-kurtosis were calculated by L-moment ratio respectively. Parameters were estimated by the Methods of Moments and L-Moments. Design floods obtained by Methods of Moments and L-Moments using different methods for plotting positions in GEV and Weibull-3 distributions were compared by the Relative Mean Errors(RME) and Root Mean Square Errors(RMSE).

The result was found that design floods derived by the L-moments using Weibull plotting position formula in the GEV distribution are much closer to those of the observed data in comparison with those obtained by L-moments using the other formulas for plotting positions from the viewpoint of Relative Mean Errors and Root Mean Square Errors.

I. 서 론

현재 국내외에서는 설계홍수량을 산정하기 위해
매개변수 산정방법의 개발에 역점을 두고 연구하

는 실정이다. 그래서 본 연구도 Greenwood²⁾에 의
해 제시된 확률가중모멘트법을 Hosking⁵⁻⁷⁾이 여러
분포모형(Generalized Extreme Value, Gumbel,
Pearson Type III 등)에 대해 선형조합하여 유도

* 충북대학교 농과대학

** 충북대학교 대학원

키워드 : Weibull-3 분포모형, GEV 분포모형, L-모멘
트, 설계홍수량

한 L-모멘트법중 Generalized Extreme Value 분포모형에 대해 매개변수를 구한 후 설계홍수량을 유도하고자 한다.

따라서, 본 연구에서는 홍수유출빈도분석을 위해 홍수자료의 독립성, 동질성 및 Outlier 검정을 실시하고 K-S 검정에 의한 Generalized Extreme Value 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 적합성을 판정한 후, 이 분포 모형에 관한 특성이 고찰과 함께 모멘트법 및 L-모멘트법에 의한 매개변수 유도방법과 플로팅 포지션법을 달리했을 때의 빈도별 설계홍수량의 유도와 함께 비교 분석을 수행 하므로써 적절한 매개변수 유도방법과 설계홍수량을 제시하고자 하며 이로서 우리 나라 수자원개발 및 수방대책을 수립하는데 필수적인 설계기준을 제고하는데 기여하고자 한다.

II. 이론적 특성분석

1. 분포형의 누가분포함수(Cumulative distribution function)

본 논문에 사용된 GEV 분포형과 Weibull-3 분포형의 누가분포함수식(CDF)은 각각 식 (1)과 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \beta \frac{(x-x_0)}{\alpha} \right]^{1/\beta} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

$$F(x) = 1 - \exp \left\{ - \left[\frac{x-x_0}{\alpha} \right]^\beta \right\} \dots\dots\dots(2)$$

여기서 x_0 , α , β 는 각각 위치(location), 척도(scale), 형상(shape)매개변수이며 Weibull-3 분포형은 $x \geq x_0$ 의 조건이 있다.

2. 분포형의 모멘트법 및 L-모멘트법

가. GEV 분포

식 (1)에 제시된 GEV 누가분포함수식의 매개변수를 추정하는 방법으로 모멘트법 및 L-모멘트법에 대해 정의하면 다음과 같다.

(1) 모멘트법

형상매개변수 β 는 다음의 식이며

$$r = - \frac{1/\beta \{ \Gamma(1+3\beta) - 3\Gamma(1+2\beta)\Gamma(1+\beta) + 2\Gamma^3(1+\beta) \}}{\{ \Gamma(1+2\beta) - \Gamma^2(1+\beta) \}^{3/2}} \dots\dots\dots(3)$$

척도매개변수 α 와 위치매개변수 x_0 는 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{\alpha \beta}{\{ \Gamma(1+2\beta) - \Gamma^2(1+\beta) \}^{1/2}} \dots\dots\dots(4)$$

$$x_0 = \mu + \frac{\alpha}{\beta} [\Gamma(1+\beta) - 1] \dots\dots\dots(5)$$

(2) L-모멘트법

GEV 분포의 확률가중모멘트의 일반식은 식 (6)과 같이 주어진다.

$$r\beta r_{-1} = x_0 + \alpha \{ 1 - r^{-\beta} \Gamma(1+\beta) \} / \beta, \beta > -1 \dots\dots\dots(6)$$

형상매개변수 β 는 다음의 식으로 표현될 수 있고

$$\frac{1-3^{-\beta}}{1-2^{-\beta}} = \frac{3\beta_2 - \beta_0}{2\beta_1 - \beta_0} = \frac{3+r_3}{2} \dots\dots\dots(7)$$

이를 다시, Hosking⁵⁾에 의해 제시된 근사식은 다음의 식 (8)과 같다.

$$\beta = 7.85790c + 2.9554c^2, c = \frac{2\beta_1 - \beta_0}{3\beta_2 - \beta_0} - \frac{\log 2}{\log 3} \dots\dots\dots(8)$$

척도매개변수 α 와 위치매개변수 x_0 는 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{\lambda_2 \cdot \beta}{(1-2^{-\beta})\Gamma(1+\beta)} \dots\dots\dots(9)$$

$$x_0 = \lambda_1 - \alpha(1 - \Gamma(1 + \beta)) / \beta \dots\dots\dots(10)$$

나. Weibull-3 분포

식 (2)에 제시된 Weibull-3 분포에 대한 누가확률밀도함수의 매개변수를 추정하는 방법인 모멘트법과 L-모멘트법에 대해 정의하면 다음과 같다.

(1) 모멘트법

형상매개변수 β , 척도매개변수 α 및 위치매개변수 x_0 는 다음의 식 (11), (12) 및 (13)에 의해 추정된다.

$$\gamma = \frac{\Gamma(1 + \frac{3}{\beta}) - 3\Gamma(1 + \frac{2}{\beta})\Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) + 2\Gamma^3(1 + \frac{1}{\beta})}{\{\Gamma(1 + \frac{2}{\beta}) - \Gamma^2(1 + \frac{1}{\beta})\}} \dots\dots\dots(11)$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{[\Gamma(1 + \frac{2}{\beta}) - \Gamma^2(1 + \frac{1}{\beta})]^{1/2}} \dots\dots\dots(12)$$

$$x_0 = \mu - \alpha\Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \dots\dots\dots(13)$$

(2) L-모멘트법

Weibull-3 분포에 대한 확률가중모멘트의 일반식은 다음의 식 (14)로 정의할 수 있다.

$$\beta_r' = \frac{1}{1+r} [x_0 + (1+r)^{-1/\beta} \alpha \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})] \dots\dots\dots(14)$$

형상매개변수 β , 척도매개변수 α 및 위치매개변수 x_0 는 다음의 식 (15), (16) 및 (17)에 의해 추정된다.

$$\frac{1-3^{-1/\beta}}{1-2^{-1/\beta}} = \frac{3\beta_2' - \beta_0'}{2\beta_1' - \beta_0'} = \frac{3 - \tau_3}{2} \dots\dots\dots(15)$$

$$\alpha = \frac{\lambda_2}{(1-2^{-1/\beta})\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})} \dots\dots\dots(16)$$

$$x_0 = \lambda_1 - \alpha\Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \dots\dots\dots(17)$$

Ⅲ. 기본수문자료와 분석방법

1. 기본수문자료와 유역특성

본 분석에 사용된 대상유역은 한강수계의 여주, 낙동강수계의 산양, 월포, 왜관, 금강수계의 공주, 영산강수계의 남평, 나주, 마륙 및 섬진강수계의 압록, 송정의 10개유역을 선정하였으며 설계홍수량 유도를 위해 각 유역의 연최고치 자료^{10)~17)}를 사용하였다. 각 유역에 대한 유역 특성의 결과로 유역면적은 215.0~11,074.4km², 주하천장은 36.70~347.10km, 평균폭은 5.86~34.42km, 형상계수는 0.081~0.365 그리고 기록년수는 27~41년의 범위를 나타내고 있다.¹⁷⁾

2. 분석방법

가. 대상유역별 연최고치자료의 기본통계치 분석
모멘트 및 L-모멘트법에 의해 유도된 매개변수를 사용하여 설계홍수량을 산정하는데 기본적으로 필요한 통계치로서 평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수를 각 유역별로 구한다.

나. 연최고치자료의 독립성 및 동질성 검증

대상유역별 연최고치자료의 독립성 및 동질성 검정을 위해 각각 Wald-Wolfowitz(W-W) Test와 Mann-Whitney(M-W) Test¹⁾에 의해 각 유역별로 실시한다.

다. 연최고치자료의 Outlier 검증

연최고치자료의 일반적인 균형분포상태에서 벗어난 Outlier의 유무를 위해 Grubbs-Beck 검정법¹⁾을 각 유역별로 시행한다.

라. 확률가중모멘트의 L-모멘트비 계산

확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트의 비로서 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도를 구한다.

마. 적용 확률 분포모형의 적합도 검증

본 분석에서는 유역별로 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 GEV 분포모형 및 Weibull-3 분포모형

에 대한 적합도 검정을 위해 비대개변수 방법인 K-S(Kolmogorov-Smirnov) test에 의해 적합도를 판정한다.

바. 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 매개변수 산정

GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 매개변수를 모멘트법 및 L-모멘트법에 의해 각 유역별로 구한다.

사. 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형에 의해 유도된 설계홍수량의 비교

모멘트 및 L-모멘트법에 의해 유도된 매개변수를 사용한 GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 빈도별 설계홍수량을 구하고 이들을 실측치의 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten 플로팅 포지션법에 의한 것과 비교 분석하기 위하여 상대 평균오차(Relative Mean Error, RME)와 제곱평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE) 방법을 사용한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 사용수문자료의 기본통계치 분석

여주, 산양, 월포, 왜관, 공주, 남평, 마륵, 나주, 압록 및 송정유역에 대한 평균치, 표준편차, 왜곡도계수, 변동계수 및 침예도의 기본통계치를 각 유역별로 구한 결과, 전 유역에 걸쳐 평균치와 표준편차는 각각 170.7~4162.0 및 84.8~3235.2의 범위를, 왜곡도계수와 변동계수는 각각 0.355~1.741 및 0.350~0.639의 범위를 그리고 침예도는 2.158~6.355의 범위를 나타냈다.

2. 연최대홍수량의 독립성 및 동질성 검정

대상유역별 연최대홍수량의 독립성 및 동질성 검정을 각각 Wald-Wolfowitz Test 및 Mann-Whitney Test에 의해 실시한 결과 전 유역에 결

쳐 독립성과 동질성이 인정되었다.

3. 연최고치자료의 Outlier 검정

일련의 수문자료계열에서 자료의 일반적인 균형 분포의 상태에서 훨씬 위나 또는 아래로 격리되는 Data point를 나타내는 Outlier의 유발로 인해 부적절한 통계학적 매개변수의 유도로서 설계수문량의 제시에 불확실성을 초래하게 된다. 이에 본 분석에서는 Grubbs-Beck¹⁾에 의한 검정법을 사용하여 Outlier의 유무를 검정하였다.

본 분석에 적용된 유역의 연최대홍수량자료에 대한 검정결과를 보면 Table 1과 같이 전 유역에 걸쳐 High Outlier 및 Low Outlier가 없음이 확인되었으며 표본 예로 여주 유역에 대한 Outlier를 Fig. 1에 도시하였다.

이상의 결과에서 보건데 독립성, 동질성 및 Outlier 검정 결과 대상유역의 연최고치 자료에 관

Table 1. Grubbs and Beck test for detection of outliers

River	Station	Grubbs and Beck test			Test
		K_N	X_H	X_L	
Han	Yeouju	2.6710	17359.5	512.2	○
	Sanyang	2.3840	5092.4	274.7	○
Nagdong	Wolpo	2.5180	2323.3	97.1	○
	Waegwan	2.6810	11183.5	1074.2	○
Geum	Kongju	2.6910	12229.5	442.4	○
Yeongsan	Nampyeong	2.5770	812.5	145.2	○
	Mareuk	2.6500	1372.5	77.0	○
	Naju	2.6610	6726.1	238.4	○
Seornjin	Abrog	2.6390	11022.1	332.7	○
	Songjung	2.5770	6360.1	1162.5	○

K_N : G-B statistic tabulated for various sample size and 10% significance level

X_H : Critical quantity of high outliers

X_L : Critical quantity of low outliers

○: Accept at a level of 10% significance level

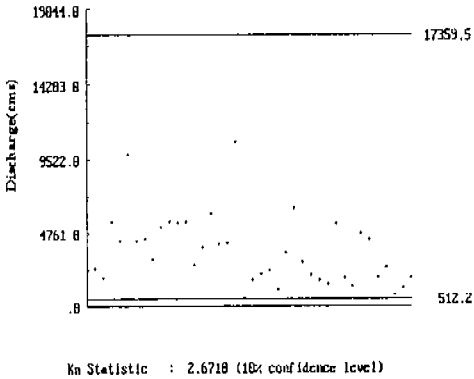


Fig. 1. G-B test for detection of high and low outliers at Yeosu watershed of Han river

Table 2. Results of L-coefficient of variation(L-CV), L-skewness and L-kurtosis

River	Station	L-moment ratios		
		L-CV	L-skewness	L-kurtosis
Han	Yeoju	0.3359	0.2093	0.1311
Nagd- ong	Sanyang	0.2837	0.1931	0.0988
	Wolpo	0.3318	0.2537	0.2154
	Waegwan	0.2377	0.1662	0.1866
Geum	Kongju	0.3343	0.2444	0.1125
Yeong- san	Nampyeong	0.1971	0.2039	0.1619
	Mareuk	0.2866	0.1677	0.1508
	Naju	0.3017	0.0990	0.0734
Seo- mjn	Abrog	0.3362	0.1833	0.0993
	Songjung	0.1915	0.1775	0.2073

한 독립성과 동질성이 인정됨과 동시에 연최고치 자료의 균형분포에서 상, 하로 격리되는 Outlier가 없음이 검정되므로써 수문자료로서 분석 타당성이 인정되었다.

4. L-모멘트비에 의한 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도 계산

확률가중모멘트의 선형조합으로서 L-모멘트값을 각 유역별로 구하고 L-모멘트값의 비인 L-변

동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도를 구한 결과는 Table 2와 같다. 전 유역에 걸쳐 L-모멘트비인 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도는 각각 0.1915~0.3362, 0.0990~0.2537 및 0.0734~0.2154의 범위를 나타내고 있다.

5. 적합도 검정

가. K-S 검정에 의한 적합도 검정

모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형에 대한 적합도 판정은 K-S 검정을 이용하였으며 각 유역에 대한 결과는 Table 3과 같다.

이상의 결과를 보건데 대상유역 전반에 걸쳐 모멘트법의 K-S한계치가 L-모멘트법의 K-S한계치 보다는 크게 나타났지만 5% 유의 수준치 보다는 작기 때문에 L-모멘트법은 물론 모멘트법에 따른 GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 적합도가 역시 인정되었다.

6. 모멘트법 및 L-모멘트법에 의한 GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 매개변수 산정

모멘트법(MM) 및 L-모멘트법(LM)에 따른 GEV 분포와 Weibull-3 분포의 위치매개변수 x_0 , 척도매개변수 α 및 형상매개변수 β 를 각 유역별로 구한 결과는 Table 4이다.

7. GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 설계홍수량의 유도

GEV분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 재현기간별 홍수량을 유역별로 구한 결과는 Table 5와 같고 분포모형의 적합도 검정을 위하여 모멘트법과 L-모멘트법에 의해 유도된 각각의 설계홍수량을 플로팅 포지션법인 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorton식에 의해 비초과확률을 각각 식 (18)~식 (21)에 의해 구하고 이를 정규 확률지상에 도시하였다.

Table 3. Kolmogorov-Smirnov test for the Generalized extreme-value distribution and Weibull-3 distribution using methods of moments and L-moments

Distribution	River	Station	Method of moments			Method of L-moments		
			D_n	$D_{0.05}$	Test	D_n	$D_{0.05}$	Test
GEV	Han	Yeosu	0.0833	0.2130	○	0.0822	0.2130	○
	Nagdong	Sanyang	0.1121	0.2617	○	0.0854	0.2617	○
		Wolpo	0.0865	0.2617	○	0.0939	0.2617	○
		Waegwan	0.0739	0.2150	○	0.0688	0.2150	○
	Geum	Kongju	0.1277	0.2124	○	0.0989	0.2124	○
	Yeongsan	Nampyeong	0.1055	0.2443	○	0.0859	0.2443	○
		Mareuk	0.0802	0.2236	○	0.0783	0.2236	○
		Naju	0.0715	0.2206	○	0.0718	0.2206	○
	Seomjin	Abrog	0.0821	0.2267	○	0.0732	0.2267	○
		Songjung	0.0908	0.2443	○	0.0968	0.2443	○
Weibull-3	Han	Yeosu	0.0845	0.2130	○	0.0805	0.2130	○
	Nagdong	Sanyang	0.0847	0.2617	○	0.0949	0.2617	○
		Wolpo	0.1157	0.2617	○	0.0999	0.2617	○
		Waegwan	0.0644	0.2150	○	0.0613	0.2150	○
	Geum	Kongju	0.0943	0.2124	○	0.0690	0.2124	○
	Yeongsan	Nampyeong	0.0676	0.2443	○	0.0715	0.2443	○
		Mareuk	0.0791	0.2236	○	0.0739	0.2236	○
		Naju	0.0736	0.2206	○	0.0801	0.2206	○
	Seomjin	Abrog	0.0576	0.2267	○	0.0557	0.2267	○
		Songjung	0.1078	0.2443	○	0.0858	0.2443	○

○ : Significance level can't be acknowledged

× : Significance level can be acknowledged

$$P = 1 - m/(N+1) \dots\dots\dots(18)$$

$$P = 1 - (m-0.5)/N \dots\dots\dots(19)$$

$$P = 1 - (m-0.4)/(N+0.2) \dots\dots\dots(20)$$

$$P = 1 - (m-0.44)/(N+0.12) \dots\dots\dots(21)$$

플로팅 포지션법과 GEV 분포모형 및 Weibull-3 분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량의 비교 분석을 위해 상대평균오차(Relative Mean Error, RME)와 제곱평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 각각 식 (22)~식 (23)에 의해 대상유역별로 구한 결과는 Table 6과 같다.

이상의 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten

Table 4. Parameters calculated by Generalized extreme-value and Weibull-3 distribution using methods of moments and L-moments

Method	River	Station	GEV			Weibull-3		
			x_0	α	β	x_0	α	β
MM	Han	Yeosu	2600.41	1722.80	-0.0152	557.19	3351.84	1.38
	Nagdong	Sanyang	134.31	73.23	0.0883	14.48	176.05	1.92
		Wolpo	402.47	251.50	-0.0824	170.78	413.18	1.10
		Waegwan	3067.23	1314.66	0.0279	1274.30	2803.46	1.58
	Geum	Kongju	2030.60	1357.35	0.0246	198.66	2874.79	1.56
	Yeongsan	Nampyeong	306.10	101.40	0.0175	172.28	211.63	1.53
		Mareuk	286.17	154.97	0.0241	77.34	327.89	1.56
		Naju	1180.37	726.58	0.1717	-337.24	2062.27	2.51
	Seomjin	Abrog	1728.42	1185.81	0.0829	-181.28	2820.77	1.88
		Songjung	2412.89	752.93	-0.0286	1560.36	1420.69	1.32
LM	Han	Yeosu	2561.49	1654.23	-0.0604	462.55	3474.93	1.43
	Nagdong	Sanyang	129.23	67.51	-0.0357	39.66	145.13	1.50
		Wolpo	397.84	239.23	-0.1264	127.00	475.03	1.25
		Waegwan	3043.70	1307.14	0.0059	1169.03	2931.14	1.65
	Geum	Kongju	1942.94	1195.51	-0.1126	557.67	2400.48	1.28
	Yeongsan	Nampyeong	300.96	98.10	-0.0522	174.66	207.61	1.45
		Mareuk	283.45	154.33	0.0035	63.11	345.22	1.64
		Naju	1153.22	714.22	0.1135	-126.62	1828.44	2.13
	Seomjin	Abrog	1661.76	1104.62	-0.0207	155.19	2409.98	1.55
		Songjung	2407.47	784.24	-0.0118	1319.80	1726.53	1.58

MM : Method of moments

LM : Method of L-moments

$$RME = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_o - Q_c}{Q_o} \right)^2 \right]^{0.5} \dots\dots\dots(22)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_c)^2}{n}} \dots\dots\dots(23)$$

여기에서 Q_o 및 Q_c 는 각각 유역의 연최고치자

료 및 분포모형의 모멘트법과 L-모멘트법에 의해 산정된 설계홍수량이다.

이상의 결과에서 보건데 GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 의해 유도된 설계홍수량과 실측치의 플로팅 포지션법들에 의해 유도된 설계홍수량과의 상대평균오차와 제곱평균제곱근오차의 비교에서 전 유역에 걸쳐 GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 L-모멘트법과 Weibull 플로팅 포지션법이 타 방법에

Table 5. Comparison of design floods calculated by different methods for Generalized extreme-value and Weibull-3 distribution. (unit : m³/s)

Distri- bution	Method	River	Station	Return period(yrs)							
				5	10	20	50	100	200		
GEV	MM	Han	Yeoju	5214.10	6544.21	7834.39	9525.42	10808.36	12100.20		
			Sanyang	237.19	283.77	325.64	376.03	411.17	444.08		
		Nagdong	Wolpo	804.01	1024.31	1248.82	1559.91	1809.20	2072.25		
			Waegwan	4998.40	5934.63	6814.43	7927.29	8742.45	9538.97		
			Geum	Kongju	4029.44	5002.13	5918.43	7080.66	7934.29	8770.35	
		Yeongsan	Nampyeong	456.21	529.85	599.58	688.54	754.27	818.95		
			Mareuk	514.46	625.61	730.35	863.26	960.91	1056.59		
			Naju	2141.14	2536.53	2870.70	3246.42	3491.02	3707.23		
		Seomjin	Abrog	3400.94	4162.82	4850.43	5681.66	6263.80	6811.26		
			Songjung	3566.82	4162.98	4746.98	5520.99	6114.68	6718.10		
		LM	Han	Yeoju	5158.62	6549.00	7943.23	9840.33	11333.59	12885.37	
				Sanyang	233.24	287.41	340.75	411.86	466.72	522.75	
	Nagdong		Wolpo	792.93	1020.54	1260.11	1604.40	1890.30	2201.39		
			Waegwan	4995.72	5965.89	6892.49	8086.07	8976.22	9859.50		
			Geum	Kongju	3896.45	5004.83	6159.73	7800.61	9148.12	10600.32	
	Yeongsan		Nampyeong	454.01	535.19	616.12	725.49	811.00	899.36		
			Mareuk	514.34	629.39	739.46	881.52	987.67	1093.17		
			Naju	2138.25	2571.56	2953.91	3404.61	3712.43	3995.79		
	Seomjin		Abrog	3344.65	4206.45	5045.79	6151.00	6993.30	7844.73		
			Songjung	3594.22	4195.87	4778.00	5538.86	6114.51	6692.79		
	Weib ull-3		MM	Han	Yeoju	5295.00	6704.54	8001.05	9595.35	10733.69	11826.04
					Sanyang	240.13	286.47	326.49	373.09	404.93	434.56
		Nagdong		Wolpo	808.38	1054.56	1294.17	1603.58	1833.31	2059.98	
				Waegwan	5062.36	6025.44	6885.87	7917.71	8639.76	9322.80	
Geum				Kongju	4095.71	5098.43	5996.16	7074.66	7830.47	8546.16	
Yeongsan		Nampyeong		461.19	537.45	606.04	688.76	746.91	802.10		
		Mareuk		522.03	636.64	739.29	862.64	949.10	1030.98		
		Naju		2155.74	2538.25	2856.23	3214.63	3453.23	3671.08		
Seomjin		Abrog		3449.81	4209.83	4867.88	5635.99	6161.98	6651.92		
		Songjung		3600.15	4238.34	4831.31	5566.85	6095.70	6605.72		
LM		Han		Yeoju	5314.72	6700.67	9965.48	9510.24	11655.79	16960.17	
				Sanyang	238.88	292.52	340.92	399.49	440.76	479.99	
		Nagdong	Wolpo	823.16	1055.17	1273.61	1547.69	1746.56	1939.60		
			Waegwan	5083.08	6034.71	6878.45	7883.62	8583.31	9242.71		
			Geum	Kongju	1039.07	5163.04	6214.16	7525.35	8472.33	9388.51	
		Yeongsan	Nampyeong	462.91	543.65	617.06	706.43	769.74	830.14		
			Mareuk	524.79	637.69	737.90	857.37	940.59	1019.06		
			Naju	2160.33	2579.77	2936.24	3345.71	3622.51	3878.01		
		Seomjin	Abrog	3430.09	4280.27	5042.62	5959.72	6603.12	7212.85		
			Songjung	3652.04	4244.37	4773.47	5407.87	5851.75	6271.60		

Table 6. Relative Mean Errors and Root Mean Square Errors calculated by Generalized extreme-value and Weibull-3 distributions using different plotting position formulas and Methods of moments and L-moments

Distri- bution	Method	River	Station	Weibull		Hazen		Cunnane		Gringorten			
				RME	RMSE	RME	RMSE	RME	RMSE	RME	RMSE		
GEV	MM	Han	Yeoju	1.77	493.27	2.73	411.10	2.45	421.95	2.55	416.88		
			Sanyang	1.70	14.49	2.42	13.84	2.20	13.42	2.28	13.53		
		Nag dong	Wolpo	2.14	99.70	2.42	65.90	2.25	73.64	2.31	70.58		
			Waegwan	0.90	272.94	0.83	202.60	0.80	212.74	0.81	208.12		
			Kongju	2.40	278.03	3.21	246.35	3.00	244.76	3.08	244.56		
		Yeong san	Nampyeong	0.85	22.63	0.86	15.88	0.83	16.85	0.84	16.40		
			Mareuk	1.70	34.58	1.96	26.06	1.86	27.40	1.89	26.81		
			Naju	2.00	102.98	3.37	107.77	2.98	103.26	3.13	104.76		
		Seom jin	Abrog	2.68	211.56	3.84	215.13	3.53	206.32	3.65	209.12		
			Songjung	1.05	235.64	0.97	169.74	0.97	182.75	0.97	177.39		
		LM	Han	Yeoju	1.50	470.51	2.12	401.11	1.90	404.37	1.98	401.79	
				Sanyang	1.24	13.41	1.67	16.34	1.49	14.70	1.56	15.27	
	Nag dong		Wolpo	2.24	96.41	2.07	59.21	2.02	67.44	2.04	64.13		
			Waegwan	0.88	256.06	0.82	198.52	0.79	202.96	0.80	200.31		
			Kongju	1.35	237.24	1.80	287.15	1.66	254.67	1.71	265.75		
	Yeong san		Nampyeong	0.75	18.85	0.78	15.29	0.74	14.62	0.75	14.73		
			Mareuk	1.64	32.67	1.91	25.42	1.81	26.18	1.84	25.79		
			Naju	1.69	97.93	2.88	118.64	2.53	109.91	2.66	113.04		
	Seom jin		Abrog	1.96	197.35	2.76	251.95	2.52	227.21	2.61	235.98		
			Songjung	1.01	231.34	1.02	174.82	1.00	185.20	1.00	180.84		
	Weibull -3		MM	Han	Yeoju	1.71	477.48	1.45	410.00	1.49	418.90	1.48	414.79
					Sanyang	1.43	13.07	1.84	12.09	1.72	11.82	1.76	11.88
		Nag dong		Wolpo	3.37	96.28	3.05	69.91	3.11	75.18	3.08	73.02	
				Waegwan	1.14	282.47	0.98	227.30	1.01	235.69	0.99	231.99	
Kongju				1.52	229.26	1.83	185.38	1.75	187.44	1.78	185.87		
Yeong san		Nampyeong		0.78	21.16	0.68	14.99	0.69	15.94	0.69	15.12		
		Mareuk		1.39	33.90	1.29	26.36	1.29	27.66	1.29	27.11		
		Naju		1.73	96.52	2.74	97.56	2.47	94.30	2.57	95.34		
Seom jin		Abrog		1.95	184.57	2.62	179.21	2.45	173.33	2.52	175.05		
		Songjung		1.17	239.46	1.08	190.99	1.09	199.83	1.09	196.14		
LM		Han		Yeoju	1.53	481.87	1.37	411.63	1.38	421.99	1.37	417.39	
				Sanyang	1.02	11.04	1.14	13.00	1.06	11.78	1.09	12.20	
		Nag dong	Wolpo	2.51	99.49	2.20	74.17	2.25	79.71	2.23	77.51		
			Waegwan	1.03	282.49	0.89	228.78	0.91	237.20	0.90	233.53		
			Kongju	0.92	179.01	0.93	189.36	0.91	170.92	0.92	176.92		
		Yeong san	Nampyeong	0.75	19.17	0.72	15.20	0.71	15.33	0.71	15.20		
			Mareuk	1.32	33.99	1.33	26.74	1.31	28.02	1.31	27.48		
			Naju	1.24	86.66	1.88	100.66	1.68	93.92	1.76	96.30		
		Seom jin	Abrog	1.21	157.91	1.48	190.12	1.38	172.81	1.42	178.88		
			Songjung	1.02	246.55	0.99	201.31	0.99	210.63	0.99	206.88		

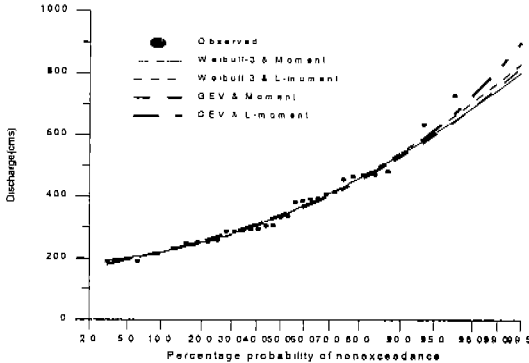


Fig. 2. Comparison of design floods estimated using methods of moments and L-moments with Weibull plotting position at Nampyeong watershed of Yeongsan river

의한 것보다 작게 나타나는 좋은 결과를 가져왔다.

Weibull 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량과 GEV 분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 설계홍수량의 결과를 남평유역을 표본 예로 하여 정규확률지에 도시한 결과는 Fig. 2와 같다.

Table 6과 표본 예의 Fig. 2의 결과를 종합해 보건데 Weibull-3 분포모형의 L-모멘트법과 Weibull 플로팅포지션법에 의해 유도된 설계홍수량은 1~5년의 재현기간에서 잘 맞는 것으로 나타나고 있으나 현재 사용되는 수공구조물의 설계기간(혹은 설계빈도)을 건설부에서 제시한 중요도별로 보면 설계홍수량은 일반적으로 50~200년(0.98~0.995)의 설계빈도를 사용하므로 50년 이상의 설계빈도에 비교적 잘 적응하는 GEV 분포모형의 L-모멘트법과 Weibull 플로팅 포지션법에 의해 유도된 설계홍수량을 이용함이 보다 적절하다고 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강 수계의 10개 유역에 대한 연최대홍수량을 사용하여 이들 자료에 대한 신뢰도를 판정하고, L-모멘트비도에 의한 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도를 구한 후 L-모멘트비도와 K-S검정에 의해

분포모형의 적합도를 검정하였으며 모멘트법 및 L-모멘트법에 의해 GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 매개변수를 구하였고, 모멘트법과 L-모멘트법에 따른 설계홍수량을 유도하였다. 또한, GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형에서 모멘트 및 L-모멘트법에 의한 설계홍수량과 플로팅 포지션법을 달리한 설계홍수량과의 비교분석을 수행하였으며 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에 사용된 홍수량 자료에 관한 Wald-Wolfowitz의 독립성검정과 Mann-Whitney의 동질성 검정 및 Grubbs-Beck의 Outlier 검정을 수행한 결과 이의 분석타당성이 인정되었다.

2. 분포모형의 적합성을 판별하기 위해 K-S 검정 결과 이의 적정성이 인정되었다.

3. GEV 분포모형과 Weibull-3 분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 매개변수와 설계홍수량을 각각 유도하였다.

4. GEV 분포모형 및 Weibull-3 분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 설계홍수량과 실측치의 플로팅 포지션법을 달리하여 구한 설계홍수량간의 상대평균오차와 제곱평균제곱근오차를 비교한 결과 이중 GEV 분포의 L-모멘트법과 Weibull 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량이 Weibull-3 분포모형의 상기한 방법들에 의한 설계홍수량 보다 일반적으로 적정한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Bobee B. and F. Ashkar, The Gamma Family and Derived Distributions applied in Hydrology, Water Resources Publications, 1991.
2. Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C. and J. R. Wallis, Probability Weighted Moments: Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressible in Inverse Form, Water Resources Research, Vol 15, No. 5, pp. 1049~1054, 1979.
3. 한국수자원학회, '95 분과위원회 연구과업 보고서, 확률가중 모멘트법을 이용한 매개변수

- 추정과 적용, 1996.
4. Hazen, A., Flood Flows, A Study of Frequencies and Magnitudes, (John Wiley & Sons Inc.) New York, 1930.
 5. Hosking, J. R. M., The Theory of Probability Weighted Moments, Research Report RC 12210, IBM T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York, 1986.
 6. Hosking, J. R. M., L-Moments : Analysis and Estimation of Distributions using Linear Combinations of Order Statistics, Journal of Royal Statistical Society, Vol. 52 No. 1, pp. 105~124, 1990.
 7. Hosking, J. R. M., Fortran Routines for Use with the Method of L-Moments Version 2, Research Report RC17079, IBM T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York, 1991.
 8. Hosking, J. R. M., J. R. Wallis and E. F. Wood, Estimation of the Generalized Extreme-Value Distribution by the Method of Probability-Weighted Moments, Technometrics, Vol. 27, No. 3, 1985.
 9. 김양수, 허준행, 류희정, 모멘트법과 PWM의 비교분석(강우빈도해석을 중심으로), 수공학연구발표회 논문집, pp. 251~257, 1994
 10. 건설부, 한국수문조사서(우량,수위편), 1962~1978.
 11. 건설부, 한국수문조사년보, 1964.
 12. 건설부, 한국수문조사년보, 1979~1990.
 13. 건설부, 홍수수문자료집, 1991.
 14. 건설부, 한국하천조사서, 1974.
 15. 건설부, 한국의 홍수, 1967~1969.
 16. 건설부, 홍수량측정조사보고서, 1983.
 17. 건설기술연구원, 수위유량관계곡선, 1994.
 18. Landwehr J. M., N. C. Matalas and J. R. Wallis, Probability Weighted Moments compared with some Traditional Techniques in Estimation Gumbel parameters and Quantiles, Water Research, Vol. 15, No. 5, pp. 1055~1064, 1979.
 19. 이순혁, 홍성표, 박명근, Low Outliers 를 고려한 홍수빈도분석에 관한 연구, 한국농공학회지, Vol. 30, No. 4, pp. 62~70, 1988.
 20. 이순혁 외, 응용수문학, 향문사, pp. 66~301, 1984.
 21. 이순혁 외, Gamma 및 Generalized Gamma 분포 모형에 의한 적정 설계홍수량의 유도(I), 한국농공학회지, Vol. 39, No. 3, pp. 65~77, 1997.
 22. Pearson, C. P., New Zealand Regional Flood Frequency Analysis using L-Moments, Journal of Hydrology, Vol 30, No. 2, New Zealand, 1991.
 23. Pilon, P. J., and K. Adamowski, The value of regional information to flood frequency analysis using the method of L-moments, Can. J. Civ. Eng. Vol. 19, pp. 137~147, 1992.
 24. Salas, J. D., Smith, R. A., Tabios, G. and Heo, Jun-Haeng, Statistical Computer Techniques in Hydrology and Water Resources, Department of Civil Engineering Colorado State University, 1993.
 25. Tefaruk Haktanir, Comparison of Various Flood Frequency Distributions using Annual Flood Peaks Data of Rivers in Anatolia, Journal of Hydrology, Vol. 136, pp. 1~31, 1992.
 26. Vogel, R. M. and N. M. Fennessey, L-Moment Diagrams should replace Product Moment Diagrams, Water Resource Research, Vol.29, No.6, pp. 1745~1752, 1993.
 27. Wang, Q. J., Unbiased Estimation of Probability weighted Moments and Partial Probability Weighted Moments from Systematic and Historical Flood Information and Their Application to Estimating the GEV Distribution, Jour. of Hydrology, 120, pp. 115

- ~124, 1990.
28. World Meteorological Organization, Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis, Operational Hydrology Report No. 33, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva Switzerland, 1989.
29. Yevjevich, V., Probability and Statistics in Hydrology, W. R. P., Colorado, pp. 118~167, 1972.