

Weibull-3 및 GEV 분포모형의 L-모멘트법에 의한 홍수빈도비교분석

이순혁* 맹승진** ○류경식**

I. 서 론

현재 국내외에서는 설계홍수량을 산정하기 위해 매개변수 산정방법의 개발에 역점을 두고 연구하는 실정이다. 그래서 본 연구도 Greenwood에 의해 제시된 확률가중모멘트법을 Hosking이 여러분포모형(Generalized Extreme Value, Gumbel, Pearson Type III 등)에 대해 선형조합하여 유도한 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 Value분포모형과 Weibull-3분포모형의 적합성을 판정한 후, 이 분포 모형에 관한 특성의 고찰과 함께 모멘트법 및 L-모멘트법에 의한 매개변수 유도방법과 플로팅 포지션법을 달리했을 때의 빈도별 설계홍수량의 유도와 함께 비교 분석을 수행하므로써 적절한 매개변수 유도방법과 설계홍수량을 제시하고자 하며 이로서 우리 나라 수자원 개발 및 수방대책을 수립하는데 필수적인 설계기준을 제공하는데 기여하고자 한다.

II. 기본수문자료와 분석방법

1. 기본수문자료와 유역특성

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

2. 분석방법

가. 대상유역별 연최고치자료의 기본통계치 분석

모멘트 및 L-모멘트법에 의해 유도된 매개변수를 사용하여 설계홍수량을 산정하는데 기본적

* 충북대학교 농과대학장

** 충북대학교 대학원 박사과정

으로 필요한 통계치로서 평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수를 각 유역별로 구한다.

나. 연최고치자료의 독립성 및 동질성 검정

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

다. 연최고치자료의 Outlier 검정

연최고치자료의 일반적인 균형분포상태에서 벗어나는 Outlier의 유무를 위해 Grubbs-Beck 검정법을 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 검정

본 분석에서는 유역별로 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 GEV 분포모형 및 Weibull-3분포모형에 대한 적합도 검정을 위해 비매개변수 방법인 K-S (Kolmogorov - Smirnov) test에 의해 적합도를 판정한다.

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

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

III. 결과 및 고찰

1. 사용수문자료의 기본통계치 분석

여주, 산양, 월포, 왜관, 공주, 남평, 마륵, 나주, 압록 및 송정유역에 대한 평균치, 표준편차, 왜곡도계수, 변동계수 및 첨예도의 기본통계치를 각 유역별로 구한 결과, 전 유역에 걸쳐 평균치와 표준편차는 각각 170.656 ~ 4162.024 및 84.805 ~ 3235.191의 범위를, 왜곡도계수와 변동계수는 각각 0.355 ~ 1.741 및 0.350 ~ 0.639의 범위를 그리고 첨예도는 2.158 ~ 6.355의 범위를 나타냈다.

2. 연최대홍수량의 독립성 및 동질성 검정

대상유역별 연최대홍수량의 독립성 및 동질성 검정을 각각 Wald-Wolfowitz(W-W) Test 및 Mann-Whitney(M-W) Test에 의해 실시하였으며, 본 분석에서 적용된 각 유역의 연최대홍수량자료에 대한 독립성 및 동질성 검정에 대한 결과는 Table-1과 같다.

3. 연최고치자료의 Outlier 검정

일련의 수문자료계열에서 자료의 일반적인 균형분포의 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-Beck에 의한 검정법을 사용하여 Outlier의 유무를 검정하였다.

Table-1. Test for independence and homogeneity of observed flows

River	Station	W-W test for Independence			M-W test for Homogeneity		
		$ u _1$	$u_{a/2}$	Test	$ u _2$	$u_{a/2}$	Test
Han	Yeouju	1.22	1.96	○	1.55	1.96	○
Nagdong	Sanyang	0.72	1.96	○	1.06	1.96	○
	Wolpo	0.64	1.96	○	0.07	1.96	○
	Waegwan	1.45	1.96	○	1.46	1.96	○
Geum	Kongju	1.91	1.96	○	1.15	1.96	○
Yeongsan	Nampyeong	0.92	1.96	○	0.04	1.96	○
	Mareuk	1.32	1.96	○	0.40	1.96	○
	Naju	0.32	1.96	○	1.07	1.96	○
Seomjin	Abrog	1.88	1.96	○	1.58	1.96	○
	Songjung	1.12	1.96	○	1.42	1.96	○

$|u|_1, |u|_2$: W-W and M-W test statistic
 $u_{a/2}$: Standardized normal deviate corresponding to a probability of exceedance $a/2$
 ○ : Accept at a 5% level of significance

본 분석에 적용된 유역의 연최대홍수량자료에 대한 검정결과를 보면 표본 예로 여주 유역에 대한 Outlier를 Fig.1에 도시하였다.

이상의 결과에서 보건데 독립성, 동질성 및 Outlier 검정 결과 대상유역의 연최고치 자료에 관한 독립성과 동질성이 인정됨과 동시에 연최고치 자료의 균형분포에서 상, 하로 격리되는 Outlier가 없음이 검정되므로서 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-변동계수, 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-3분포모형에 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-S한계치보다는 크게 나타났지만 5% 유의 수준치 보다는 작기 때문에 L-모멘트법은 물론 모멘트법에 따른 GEV분포모형과 Weibull-3분포모형의 적합도가 역시 인정되었다.

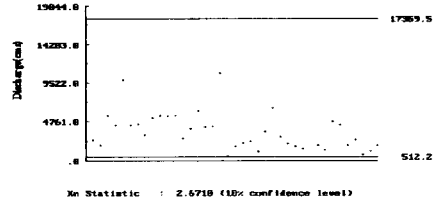


Fig. 1. G-B test for detection of high and low outliers at Yeouju watershed of Han river.

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	Yeouju	0.3359	0.2093	0.1311
Nagdong	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
Yeongsan	Nampyeong	0.1971	0.2039	0.1619
	Mareuk	0.2866	0.1677	0.1508
	Naju	0.3017	0.0990	0.0734
Seomjin	Abrog	0.3362	0.1833	0.0993
	Songjung	0.1915	0.1775	0.2073

6. GEV분포모형과 Weibull-3분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 설계홍수량의 유도

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

Distri- bution	River	Station	moments			L-moments		
			D_n	$D_{0.05}$	Test	D_n	$D_{0.05}$	Test
GEV	Han	Yeouju	0.0833	0.2130	○	0.0822	0.2130	○
		Sanyang	0.1121	0.2617	○	0.0854	0.2617	○
	Nagdong	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	○
		Nampyeong	0.1055	0.2443	○	0.0859	0.2443	○
	Yeongsan	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	Yeouju	0.0845	0.2130	○	0.0805	0.2130	○
		Sanyang	0.0847	0.2617	○	0.0949	0.2617	○
	Nagdong	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	○
		Nampyeong	0.0676	0.2443	○	0.0715	0.2443	○
	Yeongsan	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

GEV분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 따른 재현기간별 홍수량을 유역별로 구한 결과는 Table-4와 같고 분포모형의 적합도 검정을 위하여 모멘트법과 L-모멘트법에 의해 유도된 각각의 설계홍수량을 플로팅 포지션법인 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorton식에 의해 비초과확률을 구하고 이를 정규확률지상에 도시하였다.

이상의 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten 플로팅 포지션법과 GEV분포모형 및 Weibull-3분포모형의 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(1)과 식(2)에 의해 대상유역별로 구한 결과는 Table-5와 같다.

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

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

여기에서 Q_o 및 Q_c 는 각각 유역의 연최고치자료 및 분포모형의 모멘트법과 L-모멘트법에 의해 산정된 설계홍수량이다.

Table-4. Comparison of design floods calculated by different methods for Generalized extreme-value and Weibull-3 distribution. (Unit : m^3/s)

Distr- bution	Method	River	Station	Return period(yrs)					
				5	10	20	50	100	200
GEV	MM	Han	Yeouju	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
			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	Yeouju	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
			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
Weibull -3	MM	Han	Yeouju	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
			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	Yeouju	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
			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

이상의 결과에서 보건데 GEV분포모형과 Weibull-3분포모형의 모멘트법 및 L-모멘트법에 의해 유도된 설계홍수량과 실측치의 플로팅 포지션법들에 의해 유도된 설계홍수량과의 상대평균오차, 상대절대오차 및 제곱평균제곱근오차의 비교에서 전 유역에 걸쳐 GEV분포모형과 Weibull-3분포모형의 L-모멘트법과 Weibull 플로팅 포지션법이 타 방법에 의한 것보다 작게 나타나는 좋은 결과를 가져왔다.

Table-5. 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	Yeouju	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
			Wolpo	2.14	99.70	2.42	65.90	2.25	73.64	2.31	70.58
		Nagdong	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
			Nampyeong	0.85	22.63	0.86	15.88	0.83	16.85	0.84	16.40
		Yeongsan	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
			Abrog	2.68	211.56	3.84	215.13	3.53	206.32	3.65	209.12
	Seomjin	Songjung	1.05	235.64	0.97	169.74	0.97	182.75	0.97	177.39	
		Yeouju	1.50	470.51	2.12	401.11	1.90	404.37	1.98	401.79	
	LM	Han	Sanyang	1.24	13.41	1.67	16.34	1.49	14.70	1.56	15.27
			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
		Geum	Kongju	1.35	237.24	1.80	287.15	1.66	254.67	1.71	265.75
			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
		Yeongsan	Naju	1.69	97.93	2.88	118.64	2.53	109.91	2.66	113.04
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	
Seomjin	Yeouju	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		
Weibull -3	MM	Nagdong	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
		Yeongsan	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
		Seomjin	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
			Yeouju	1.53	481.87	1.37	411.63	1.38	421.99	1.37	417.39
	LM	Han	Sanyang	1.02	11.04	1.14	13.00	1.06	11.78	1.09	12.20
			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
		Geum	Kongju	0.92	179.01	0.93	189.36	0.91	170.92	0.92	176.92
			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
		Yeongsan	Naju	1.24	86.66	1.88	100.66	1.68	93.92	1.76	96.30
			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

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

Table.5와 표본 예의 Fig. 2의 결과를 종합해 보건데 Weibull-3분포모형의 L-모멘트법과 Weibull 플로팅포지션법에 의해 유도된 설계홍수량은 1~5년의 재현기간에서 잘 맞는 것으로 나타나고 있으나 현재 사용되는 수공구조물의 설계기간(혹은 설계빈도)을 건설부에서 제시한 중요

도별로 보면 설계홍수량은 일반적으로 50~200년(0.98~0.995)의 설계빈도를 사용하므로 50년 이상의 설계빈도에 비교적 잘 적용하는 GEV 분포모형의 L-모멘트법과 Weibull 플로팅 포지션법에 의해 유도된 설계홍수량을 이용함이 보다 적절하다고 사료된다.

IV 결론

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 비교 분석을 수행하였으며 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에 사용된 홍수량 자료에 관한 Wald-Wolfowitz의 독립성검정과 Mann-Whitney의 동질성 검정 및 Grubbs-Beck의 Outlier검정을 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.

참고문헌

1. Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C. and J. R. Wallis, Probability Weighted Moments : Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressable in Inverse Form, Water Resources Research, Vol 15, No. 5, pp. 1049 ~ 1054, 1979.
2. 한국수자원학회, '95 분과위원회 연구과업 보고서, 확률가중 모멘트법을 이용한 매개변수 추정과 적용, 1996.
3. 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

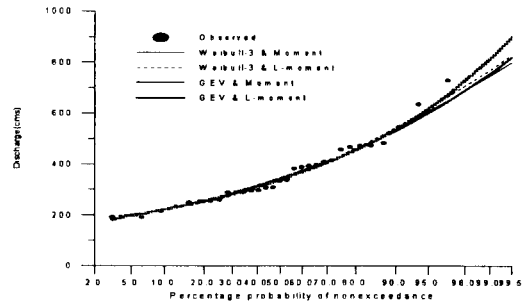


Fig. 2. Comparison of design floods estimated using methods of moments and L-moments with Weibull plotting position at Nampyeong watershed of Yeongsan river