L-모멘트 및 LH-모멘트에 의한 GEV분포모형의 설계홍수량의 유도

Derivation of Design Flood by L-Moments and LH-Moments in GEV distribution

이 순 혁 · 박 명 근 · 맹 승 진
Lee, Soon Hyuk · Park, Myeong Keun · Maeng, Sung Jin
정 연 수 · 김 동 주* · 류 경 식(충북대)
Jong, Youn Su · Kim, Dong Joo · Ryoo, Kyong Sik

Abstract

This study was conducted to derived design floods by Generalized Extreme Value(GEV) distribution for the annual maximum series at ten watersheds along Han, Nagdong, Geum, Yeongsan and Seomjin river systems. Adequency for the analysis of flood data used in this study was established by the test of Independence, Homogeneity, detection of Outliers. Coefficient of variation, skewness and kurtosis were calculated by the L-Moment and LH-Moment ratio respectively. Parameters were estimated by the Method of L-Moments and LH-Moments. Design floods obtained by Method of L-Moments and LH-Moments using different methods for plotting positions in GEV distribution and were compared with those obtained using the Method of L-Moments and LH-Moments by the Relative Mean Errors and Relative Absolute Errors. It was found that design floods derived by the method of L-Moments and LH-Moments using Cunnane plotting position formula in the GEV distribution are much closer to those of the observed data in comparison with those obtained by methods of L-moments and LH-moments using the other formulas for plotting positions from the viewpoint of Relative Mean Errors and Relative Absolute Errors. In view of the fact that hydraulic structures including dams and levees are generally using design floods with the return period of two hundred years or so, design floods derived by LH-Moments are seemed to be more reasonable than those of L-Moments in the GEV distribution.

Ⅰ. 서 론

우리나라는 매년 6, 7, 8월에 태풍동반 및 지역성 저기압의 생성에 따른 집중호우로 말미암아 막대한 인명과 재산상의 피해를 연례행사처럼 겪고 있다. 특히 최근 10년 동안 엄청난 규모의 홍수피해를 겪어오고 있는 실정이다. 1987년에는 금강유역 대홍수, 1990년에는 남한강 대홍수가 발생하였다. 1996년에는 국지적인 집중호우가 내려 연천댐이 설계홍수량을 초과하는 홍수가 발생하여 그 여파로 댐이 붕괴되었다. 1998년에는 국지호우가 전국적으로 발생하여 지리산

1999년도 한국농공학회 학술발표회 논문집(1999년 10월 16일)

에서는 돌발홍수가 발생하였다. 1999년 8월달에는 경기도 북부지방과 강원도 지역에 전년과 같은 국지호우로 많은 인명과 재산피해를 가져왔다.

이와같은 홍수재해를 예방하기 위한 일환으로서 저수지, 하천제방, 암거와 같은 각종 수공구조물의 안정적인 설계를 위한 신빙성 있는 실측자료의 통계학적 분석에 의한 빈도별 홍수량의 제시가 무엇보다도 우선되어야 함은 주지의 사실이다. 이에 본 연구에서는 홍수유출빈도분석을 위해 홍수자료의 동질성, 독립성 및 Outlier 검정과 K-S검정 및 L-모멘트도와 LH-모멘트도에 의한 GEV 분포 모형의 적합성을 판정하고 L-모멘트법 및 LH-모멘트법에 의한 매개변수 유도방법과 풀로팅 포지션법을 달리했을 때의 빈도별 홍수량을 유도와 함께 비교 분석을 수행하므로서 적정한 매개변수 유도방법과 빈도별 홍수량을 제시하고자 하며, 장차 우리 나라 수자원 개발계획과 보다 합리적인 수방 대책 및 방법을 도출하는데 필수적인 설계기준을 제공하는데 기여하고자 한다.

Ⅱ. 기본 수문자료와 분석방법

1. 기본 수문자료와 유역특성

본 분석에 사용된 대상유역은 한강수계의 여주, 낙동강수계의 산양, 월포, 왜관, 금강수계의 공주, 영산강수계의 남평, 나주, 마록 및 섬진강수계의 압록, 송정의 10개 유역을 선정하였으며 설계홍수량 유도를 위해 각 유역의 연최고치 자료를 사용하였다. 각 유역에 대한 유역특성으로서 유역면적은 215.0 ~ 11,074.4 ㎢의 범위를 나타내고 있고 주하천장은 36.70 ~ 347.10 ㎞에 이르며 평균폭은 5.86 ~ 34.42 ㎞ 이고 형상계수는 0.081 ~ 0.365의 범위를 나타내고 있다.

2. 분석방법

가. 대상유역별 연최고치 자료의 기본통계치 분석

L-모멘트 및 LH-모멘트법에 의해 유도된 매개변수를 사용하여 설계홍수량을 산정하는데 기본적으로 필요한 통계치로서 평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수를 각 유역별로 구한다.

나. 연최고치자료의 독립성 및 동질성 검정

대상유역별 연최고치자료의 독립성 및 동질성 검정을 위해 Wald-Wolfowitz(W-W) Test 와 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. L-모멘트비 및 LH-모멘트비 산정

확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트 및 LH-모멘트비 즉, L-변동계수, L-왜곡도, L-첨예도 및 LH-변동계수, LH-왜곡도, LH-첨예도를 구한다.

마. 적용 확률 분포모형의 적합도 검정

본 분석에서는 연최고치계열에 일반적으로 많이 사용되고있는 GEV 분포 모형을 선정하고, 유역별로 L-모멘트법과 LH-모멘트법에 따른 GEV 분포 모형에 대한 적합도 검정을 위해 비매개변수 방법인 K-S(Kolmogorov-Smirnov) Test에 의해 적합도를 판정한다.

바. GEV 분포 모형의 L-모멘트법 및 LH-모멘트법에 따른 매개변수 산정

GEV 분포 모형의 매개변수를 L-모멘트법과 LH-모멘트법에 의해 각 유역별로 구한다.

사. GEV 분포 모형의 L-모멘트법과 LH-모멘트법에 따른 설계홍수량 유도 및 고찰

GEV 분포 모형에서 L-모멘트 및 LH-모멘트법에 의해 각각 구해진 매개변수를 사용하여 유도된 설계홍수량과 실측치의 플로팅 포지션법에 의한것과를 상대평균오차(Relative Mean Error, RME)와 상대절대오차(Relative Absolute Error, RAE)의 방법으로 비교분석한다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 사용수문자료의 기본통계치 분석

본 분석을 위한 대상유역별 연최고치자료의 기본통계치로서 평균치, 표준편차, 왜곡도계수, 변동계수 및 첨예도의 기본통계치를 각 유역별로 구한결과, 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 ~ 0.759의 범위를 그리고 첨예도는 2.101 ~ 6.119의 범위를 나타내었다.

2. 연최대홍수량의 독립성, 동질성 검정

대상유역별 연최대홍수량의 독립성, 동질성 검정은 각각 Wald-Wolfowitz Test 및 Mann-Whitney Test법에 의해 실시한 결과 이의 분석타당성이 인정되었다.

3. 연최고치자료의 Outlier 검정

일련의 수문자료계열에서 자료의 일반적이 균형분포의 상태에서 훨씬 위나 또는 아래로 격리되는 Data Point를 나타내는 Outlier의 유발로 인해 부적절한 통계학적 매개변수의 유도로서 설계수문량의 제시에 불확실성을 초래한다. 이에 본 분석에서는 Grubbs-Beck에 의한 검정법을 사용하여 Outlier의 유무를 검정하였다. 본 분석에 적용된 유역의 연최대홍수량자료에 대한 검정결과를 전유역에 걸쳐 실시한 결과 High Outlier 및 Low Outlier가 없음이 확인되어 수문자료로서 분석타당성이 인정되었다.

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

확률가중모멘트의 선형조합으로서 L-모멘트값 및 LH-모멘트를 각 유역별로 구하고 L-모멘트값의 비인 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도 와 LH-모멘트값의 비인 L2-변동계수, L2-왜곡도 및 L2-첨예도를 구한 결과 전 유역에 걸쳐 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도는 각각 0.1915 ~ 0.3883, 0.0990 ~ 0.3149 및 0.0734 ~ 0.2154의 범위를, L2-변동계수, L2-왜곡도 및 L2-첨예도는 각각 0.1592 ~ 0.3876, 0.1360 ~ 0.3878 및 0.0483 ~ 0.2969의 범위를 나타내고 있다.

5. K-S 검정에 의한 적합도 검정

L-모멘트 및 LH-모멘트법에 따른 GEV 분포형에 대한 적합도 판정은 K-S 검정을 이용하였으며 각 유역에 대한 결과는 Table-1과 같다. 이상의 결과를 보건데 대상유역 전반에 걸쳐 L-모멘트 및 LH-모멘트법에 따른 GEV분포모형의 적합도가 5% 유의수준에서 인정되었다.

Table-1. Kolmogorov-Smirnov test for the generalized extreme-value distribution using methods of L-moments and LH-moments

River	Station	Method of L-moments			Method of LH-moments		
		D_n	$D_{0.05}$	Test	D_n	$D_{0.05}$	Test
Han	Yeoju	0.0705	0.2099	○	0.0761	0.2099	○
Nagdong	Sanyang	0.0854	0.2617	○	0.1004	0.2617	○
	Wolpo	0.0939	0.2617	○	0.1690	0.2617	○
	Waegwan	0.0688	0.2150	○	0.0764	0.2150	○
Geum	Kongju	0.0989	0.2124	○	0.1106	0.2124	○
Yeongsan	Nampyeong	0.0859	0.2443	○	0.0860	0.2443	○
	Mareuk	0.0783	0.2236	○	0.1090	0.2236	○
	Naju	0.0718	0.2206	○	0.0804	0.2206	○
Seomjin	Abrog	0.0732	0.2267	○	0.0931	0.2267	○
	Songjung	0.0968	0.2443	○	0.1574	0.2443	○

○ : Significance level can't be acknowledged

× : Significance level can be acknowledged

6. L-모멘트법 및 LH-모멘트법에 의한 GEV분포 모형의 매개변수 산정

고차확률가중모멘트의 차수를 2로 했을때의 LH-모멘트법에 따른 GEV 분포의 위치매개변수, ξ 척도매개변수, α 및 형상매개변수, k를 각 유역별로 구한 결과는 Table-2와 같다.

Table-2. Parameters calculated by Generalized extreme-value distribution using methods of L-moments and LH-moments

Method	River	Station	ξ	α	k
LM	Han	Yeoju	2680.2468	1876.9049	-0.2137
	Nagdong	Sanyang	129.2254	67.5063	-0.0357
		Wolpo	397.8398	239.2314	-0.1264
		Waegwan	3043.7038	1307.1387	0.0059
	Geum	Kongju	1942.9361	1195.5068	-0.1126
	Yeongsan	Nampyeong	300.9603	98.0918	-0.0522
		Mareuk	283.4597	154.3328	0.0035
		Naju	1153.2218	714.2199	0.1135
	Seomjin	Abrog	1661.7627	1104.6227	-0.0207
		Songjung	2407.4714	784.2374	-0.0118
LH	Han	Yeoju	2623.1560	2040.1760	-0.1728
	Nagdong	Sanyang	123.0097	93.9373	0.1926
		Wolpo	419.3333	194.8479	-0.2267
		Waegwan	3100.3860	1165.5930	-0.0543
	Geum	Kongju	1817.4970	1625.9220	0.0750
	Yeongsan	Nampyeong	300.4603	104.6246	0.0019
		Mareuk	291.5313	142.2879	-0.0309
		Naju	1138.4120	874.3285	0.2856
	Seomjin	Abrog	1599.7400	1398.7550	0.1416
		Songjung	2508.0660	565.4766	-0.1717

LM : Method of L-moments

LH : Method of LH-moments

7. GEV 분포 모형의 L-모멘트 및 LH-모멘트법에 따른 설계홍수량의 유도

GEV 분포모형의 L-모멘트법과 LH-모멘트법에 의한 따른 재현기간별 홍수량을 유역별로 산정한 결과는 Table-3과 같다.

Table-3. Comparison of design floods calculated by different methods (Unit : m^3/s)

Method	River	Station	Return period(yrs)					
			5	10	20	50	100	200
LM	Han	Yeoju	5999.04	8104.05	10466.52	14117.14	17370.87	21133.37
	Nagdong	Sanyang	233.24	287.41	340.75	411.86	466.72	522.75
		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
LH	Han	Yeoju	6100.41	8215.08	10529.72	14006.48	17021.00	20425.06
	Nagdong	Sanyang	240.82	291.21	336.09	389.54	426.43	460.69
		Wolpo	784.46	1013.15	1259.73	1623.86	1934.37	2280.04
		Waegwan	4950.42	5919.26	6866.79	8120.29	9080.00	10053.96
	Geum	Kongju	4044.31	5113.35	6137.02	7459.45	8448.51	9432.33
	Yeongsan	Nampyeong	456.47	544.74	630.19	748.40	852.40	926.48
		Mareuk	516.74	629.55	735.69	870.10	968.67	1065.09
		Naju	2191.49	2582.14	2894.12	3223.17	3424.24	3592.65
	Seomjin	Abrog	3449.10	4263.54	4993.94	5870.67	6480.36	7050.30
		Songjung	3549.86	4145.89	4741.47	5548.66	6181.54	6837.04

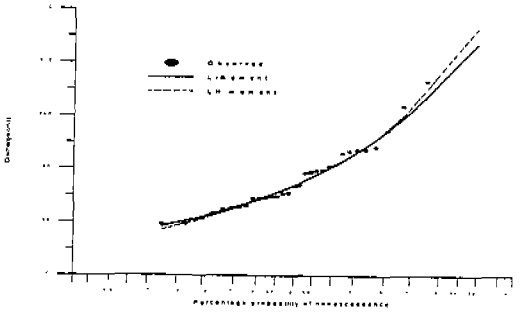

Fig. 2. Comparison of design floods estimated using methods of L-moments and LH-moments with Cunnane plotting position at Nampyeong watershed of Yeongsan river

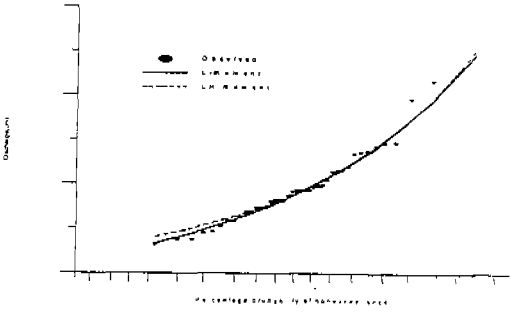

Fig. 3. Comparison of design floods estimated using methods of L-moments and LH-moments with Cunnane plotting position at Waegwan watershed of Nakdong river

또한, 실측치의 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorton 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량과 GEV 분포모형의 L-모멘트 및 LH-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량의 비교분석을 위해 상대평균오차(Relative Mean Error, RME) 및 상대절대오차(Relative Absolute Error, RAE)를 대상유역별로 구한 결과는 Table-4과 같다.

Table-4에서 GEV 분포 모형의 L-모멘트법 및 LH-모멘트법에 의해 유도된 설계홍수량과 실측치의 플로팅 포지션법들에 의해 유도된 설계홍수량과의 상대평균오차 및 상대절대오차의 결과를 보면 전 유역에 걸쳐 Cunnane 플로팅 포지션법에 의한 LH-모멘트법과 L-모멘트법이 타 플로팅 포지션법에 의한 것보다 일반적으로 작게 나타나는 좋은 결과를 나타내었다.

Table-4. Relative Mean Errors and Relative Absolute Errors calculated by return period over 5years estimated by generalized extreme-value distribution using different plotting position formulas and Methods of L-moments and LH-moments

Method	River	Station	Weibull		Hazen		Cunnane		Gringorton	
			RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE	RME	RAE
LM	Han	Yeoju	5.16	13.93	4.71	11.98	4.69	11.26	4.68	11.51
	Nag dong	Sanyang	1.73	3.17	1.50	2.75	1.33	2.71	1.38	2.72
		Wolpo	5.99	10.58	3.10	5.45	3.71	6.82	3.46	6.31
		Waegwan	2.51	6.05	2.03	4.55	2.03	4.60	2.02	4.41
	Geum	Kongju	1.78	6.09	1.49	3.46	1.41	2.99	1.43	3.17
	Yeong san	Nampyeong	2.34	4.72	1.51	2.99	1.53	3.16	1.50	3.00
		Mareuk	2.89	6.04	1.99	4.16	2.07	4.57	2.02	4.41
		Naju	1.80	3.68	1.76	3.97	1.68	3.65	1.71	3.78
	Seom jin	Abrog	2.11	4.37	2.21	4.59	2.08	4.42	2.12	4.49
		Songjung	3.77	6.88	1.84	3.73	2.25	4.53	2.08	4.23
LH	Han	Yeoju	5.17	13.89	4.68	11.94	4.66	11.18	4.66	11.45
	Nag dong	Sanyang	2.65	5.31	2.68	4.94	2.40	4.94	2.49	4.93
		Wolpo	5.51	9.23	3.93	7.53	4.17	7.69	4.06	7.64
		Waegwan	2.49	5.89	2.01	4.33	2.00	4.32	2.01	4.38
	Geum	Kongju	2.14	5.22	1.97	4.78	1.81	4.40	1.86	4.55
	Yeong san	Nampyeong	2.31	4.62	1.50	3.02	1.50	3.14	1.55	3.09
		Mareuk	2.81	5.69	2.19	4.96	2.25	5.05	2.22	5.02
		Naju	1.77	3.63	1.75	3.96	1.66	3.62	1.69	3.75
	Seom jin	Abrog	2.49	5.43	2.13	4.23	2.05	4.20	2.09	4.21
		Songjung	3.73	7.71	3.00	6.82	3.12	7.11	3.07	7.01

RME : Relative Mean Error

RAE : Relative Absolute Error

Cunnane 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량과 GEV 분포모형의 L-모멘트법 및 LH-모멘트법에 따른 설계홍수량의 결과를 표본 예로 영산강 수계의 남평유역과 낙동강 수계의 왜관유역에 대해 정규확률지에 도시한 결과는 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다. 표본 예인 Fig. 1 과 Fig. 2의 결과와 타 대상유역을 종합해 보건데, 재현기간 10년 이상의 설계홍수량을 사용할 때에는 GEV 분포모형의 LH-모멘트법과 Cunnane 플로팅 포지션법에 의해 유도된 설계홍수량이 L-모멘트법과 타 플로팅 포지션법에 의한 것 보다 좋은 결과를 보여 주었다. 그런데, 실제로 수리구조물의 설계에는 200년 내외의 설계홍수량이 주로 많이 사용되는 사실에 비추어 볼 때 표본 예인 Fig. 1 및 Fig. 2에서 보는바와 같이 재현기간이 커질수록 LH-모멘트법에 의한 설계홍

수량이 L-모멘트법에 의한 것보다 더 적용성이 높은 것으로 나타났고 기타의 대상유역에서도 같은 결과를 보여주었다.

IV. 결론

본 연구는 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강 수계의 10개 유역에 대한 연최대홍수량을 사용하여 L-모멘트법 및 LH-모멘트비도에 의한 각각의 변동계수, 왜곡도 및 첨예도를 구하고 모멘트비도와 K-S검정에 의해 GEV 분포 모형의 적합도를 검정하였다.
이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. GEV 분포 모형의 적합성을 판별하기 위해 K-S 검정 및 L-모멘트비도 및 LH-모멘트의 결과 이의 적정성이 인정되었다.
2. GEV 분포 모형의 L-모멘트법 및 LH-모멘트법에 따른 매개변수와 설계홍수량을 각각 유도하였다.
3. GEV 분포 모형의 L-모멘트법 및 LH-모멘트법에 의한 유도된 설계홍수량과 상대평균오차 및 상대절대오차에 의해 비교한 결과 Cunnane 플로팅 포지션법에 의한 LH-모멘트와 L-모멘트법이 함께 작게 나타나는 좋은 결과를 나타내었다.
4. 수리구조물의 설계홍수량은 주로 200년 내외의 설계빈도가 많이 사용되는 사실에 비추어볼 때 GEV 분포모형의 LH-모멘트법에 의한 설계홍수량이 L-모멘트법에 의한 것 보다 더 적정한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 이순혁 외, L-모멘트 및 LH-모멘트 기법에 의한 적정 설계홍수량의 유도(I), 한국농공학회지, Vol. 40, No. 4, pp 64 ~ 76, 1997.
2. 이순혁 외, ,L-모멘트 및 LH-모멘트 기법에 의한 적정 설계홍수량의 유도(II), 한국농공학회지, Vol. 41, No. 3, pp 41 ~ 50, 1999.
3. Wang Q. J., Using Higher Probability Weighted Moments for Flood Frequency Analysis, Journal of Hydrology, Vol. 194, pp. 95 ~ 106, 1997.