위험도 수준별 설계홍수량 분석

이순혁* 맹승진** ○류경식*** 지호근***

Ⅰ. 서 론

오늘날 댐, 여수토, 교량, 암거, 제방등과 같은 각종수리구조물의 설계, 시공, 작동 및 관리에 있어서 수문자료의 불충분과 부정확한 실측치에서 유발되는 오차 및 확률분포모형에 사용되는 매개변수의 기본적인 위험도는 상존하는 것이 일반적이다. 불확실성과 이에 따른 각종 수리구조물의 계획과 설계에 있어서 가장 문제가 되는 설계홍수량의 결정은 설계수명기간과 설계재현기간을 얼마로 할 것이며 또한 불확실성과 기본적인 위험도의 허용범위를 얼마로 할 것이냐에 따라 다르게 된다. 상기한 사실에 비추어볼 때 설계홍수량이 제시되었다 하더라도 위험도를 고려한 설계홍수량의 제시가 없이는 각종수공구조물의 파괴로 인한 막대한 인명과 재산피해를 막을 수 없다는 사실이다.

따라서, 댐을 비롯한 각종 수리구조물의 계획설계시 필요한 설계홍수량은 위험도를 고려한 설계홍수량을 제시하는 것이 바람직하다.

이에 본 연구에서는 우리나라 대표수계인 한강, 낙동강, 영산강, 섬진강의 주요 7개 지점유역의 GEV분포모형과 Gamma분포모형에 의한 설계홍수량 비교분석과 함께 위험도 수준별 설계홍수량을 유도함으로써 안정성 있는 농업수리구조물의 계획 및 설계를 가능하게 하고자 한다.

Ⅱ. 기본수문자료와 분석방법

1. 기본수문자료와 유역특성

본 분석에 사용된 대상유역은 한강수계의 여주, 낙동강수계의 산양, 월포, 왜관, 영산강수계의 마록, 나주 및 섬진강수계의 압록을 선정하였으며 설계홍수량 유도를 위해 각 유역의 연최고치 자료를 사용하였다. 각 유역에 대한 유역특성의 결과, 유역면적은 215.0 ~ 11,074.4 ㎢의 범위를 나타내고 있으며 주하천장은 36.7 ~ 347.1 ㎞에 이르며 평균폭은 5.86 ~ 34.42 ㎞에 이고 형상계수는 0.092 ~ 0.365의 범위이며 자료의 기간은 27 ~ 40년으로 나타내고 있다.

2. 분석방법

가. 대상유역별 연최고치자료의 기본통계치 분석

설계홍수량 산정과 위험도 분석시 기본적으로 필요한 통계치로서 평균치, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수를 각 유역별로 구한다.

* 충북대학교 농공학과 교수
** 한국수자원공사 연구원
*** 충북대학교 농공학과 박사과정

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 Outlier검정 및 적용확률분포모형의 적합도 검정

연최고치자료의 일반적인 균형분포상태에서 벗어나는 Outlier의 유무를 위해 Grubbs-Beck 검정법을 각 유역별로 시행한다.

라. 확률분포모형의 적용

본 분석에 적용한 확률분포모형은 GEV 및 Gamma분포의 2개 모형으로 한다.

마. 분포모형의 적합도 검정

상기 2개 분포모형의 적합도 검정은 비매개변수 방법인 K-S Test를 실시한다.

바. L-모멘트법에 따른 GEV분포모형과 Gamma분포모형의 매개변수산정

GEV분포모형과 Gamma분포모형의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 각 유역별로 구한다.

사. L-모멘트법에 따른 GEV분포모형과 Gamma분포모형에 의해 유도된 설계홍수량의 비교

L-모멘트에 의해 유도된 매개변수를 사용한 GEV분포모형과 Gamma분포모형의 빈도별 설계홍수량을 구하고 이들을 실측치의 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten 플로팅포지션법에 의한 것과 비교분석하기 위하여 상대평균오차(RME), 상대절대오차(RAE)와 제곱평균제곱근오차(RMSE)방법을 사용한다.

아. 선정된 분포모형에 의한 위험도 수준별 설계홍수량 유도

GEV분포모형과 Gamma분포모형을 오차방법에 의해 적합한 분포모형을 선정 후, 해당분포모형에 5, 10, 20, 63.2%의 위험도 수준별 설계홍수량을 유도한다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 사용수문자료의 기본통계치 분석

여주, 산양, 월포, 왜관, 마륵, 나주 및 압록 유역에 대한 평균치, 표준편차, 왜곡도계수, 변동계수 및 첨예도의 기본 통계치를 각 유역별로 구한 결과는 전 유역에 걸쳐 평균치와 표준편차는 각각 208.8 ~ 6210.8 및 58.1 ~ 2709.8의 범위를, 왜곡도 계수와 변동계수는 각각 1.11 ~ 3.74 및 0.22 ~0.436의 범위를 그리고 첨예도는 3.33 ~ 19.94의 범위를 나타내었다.

2. 연최고치자료의 독립성 및 동질성검정

대상유역별 연최고치 홍수량의 독립성 및 동질성 검정을 각각 Wald-Wolfowitz test 및 Mann-Whitney test에 의해 실시한 결과, Table 1과 같이 전 유역에 걸쳐 독립성과 동질성이 인정되었다.

3. 연최고치자료의 Outlier검정 및 적용확률분포모형의 적합도 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 초래하게된다. 이에 본 분석에서는 Grubbs-Beck에 의한 검정법을 사용하여 outlier의 유무를 검정한 결과, 적용된 전 유역에서는 high outlier와 low outlier가 없음이 확인되었다.

본 분석에서 사용된 GEV분포와 Gamma분포모형의 적합도 검정을 위해 K-S test를 실시한 결과, Table 2에서 보는바와 같이 분포형의 적합도가 모두 인정되었다.

Table1. Test for independence and homogeneity of observed flows

River	Station	W-W test for Independence			M-W test for Homogeneity		
		$\lvert u \rvert_1$	$u_{\alpha/2}$	Test	$\lvert u \rvert_1$	$u_{\alpha/2}$	Test
Han	Yeoju	1.211	1.96	○	1.76	1.96	○
Nag-dong	Sanyang	1.204	1.96	○	1.22	1.96	○
	Wolpo	1.475	1.96	○	1.68	1.96	○
	Waegwan	1.891	1.96	○	1.27	1.96	○
Yeong-san	Mareuk	0.755	1.96	○	1.54	1.96	○
	Naju	1.218	1.96	○	0.94	1.96	○
Seom-jin	Abrog	0.642	1.96	○	1.79	1.96	○

Table 2. Kolmogorov-Smirnov test for the generalized extreme value distribution and Gamma distribution using method of L-moments

River	Station	$D_{0.05}$	GEV		Gamma	
			D_n	Test	D_n	Test
Han	Yeoju	0.209853	0.111375	○	0.208602	○
Nag-dong	Sanyang	0.261732	0.10057	○	0.169110	○
	Wolpo	0.261732	0.064665	○	0.152863	○
	Waegwan	0.215035	0.109464	○	0.139246	○
Yeong-san	Mareuk	0.223583	0.069181	○	0.153009	○
	Naju	0.220621	0.092054	○	0.140598	○
Seom-jin	Abrog	0.226667	0.154052	○	0.222036	○

4. L-모멘트법에 따른 GEV분포모형과 Gamma분포모형의 매개변수산정

L-모멘트법에 따른 GEV분포모형과 Gamma분포모형의 매개변수를 각 유역별로 구한 결과는 Table 3과 같다.

5. L-모멘트법에 따른 GEV분포모형과 Gamma분포모형에 의해 유도된 설계홍수량의 비교

GEV분포모형과 Gamma분포모형의 L-모멘트법에 따른 재현기간별 홍수량을 유역별로 구한 결과는 Table 4와 같고 이를 플로팅포지션법인 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten식에 대해 상대평균오차(RME), 상대절대오차(RAE) 및 제곱평균제곱근오차(RMSE)로 설계홍수량을 비교분석한 결과는 Table 5와 같이, GEV분포모형에 대한 오차들이 Gamma분포모형에 대한 오차들보다 대부분 적은 것으로 나타났기에 GEV분포모형을 선정하였고 이에 의한 설계홍수량이 적정한 것으로 채택되었다.

Table 3. Parameters calculated by GEV and Gamma distributions using method of L-moments

Distribution	River	Station	ξ	α	k
GEV	Han	Yeoju	5427.7997	1232.4402	-0.4052
	Nag-dong	Sanyang	177.9984	38.1333	-0.1906
		Wolpo	564.5309	158.7079	-0.2566
		Waegwan	4133.7627	708.8397	-0.2009
	Yeong-san	Mareuk	385.7632	67.5361	-0.2902
		Naju	1749.6083	300.4066	-0.0581
	Seom-jin	Abrog	2522.0295	657.3248	-0.1946

Distribution	River	Station	α	β
Gamma	Han	Yeoju	6.7634	1027.9362
	Nag-dong	Sanyang	12.7979	16.3135
		Wolpo	6.9997	101.3551
		Waegwan	18.5150	254.7552
	Yeong-san	Mareuk	14.4196	31.3167
		Naju	20.5764	95.2732
	Seom-jin	Abrog	9.0629	337.2533

Table 4. Comparision of disign floods calculated by GEV and Gamma distributions

Distribution	River	Station	Return period(yrs)					
			5	10	20	50	100	200
GEV	Han	Yeoju	7971.6	9956.4	12520.2	17168.6	22002.2	28389.6
	Nag-dong	Sanyang	244.2	285.2	330.4	398.8	458.8	527.0
		Wolpo	854.9	1047.9	1271.5	1629.5	1959.8	2353.4
		Waegwan	5374.6	6150.6	7013.4	8332.5	9496.0	10829.6
	Yeong-san	Mareuk	512.7	600.2	704.1	875.1	1037.3	1235.1
		Naju	2267.4	2543.9	2820.7	3196.6	3491.9	3798.3
	Seom-jin	Abrog	3667.0	4378.1	1565.2	6362.2	7412.7	8611.5
Gamma	Han	Yeoju	9045.8	10522.4	11852.3	13472.0	14625.4	15733.6
	Nag-dong	Sanyang	255.7	286.2	313.1	345.3	367.9	389.4
		Wolpo	919.8	1067.4	1200.3	1361.8	1476.8	1587.1
		Waegwan	5606.0	6164.8	6652.7	7230.9	7633.8	8014.9
	Yeong-san	Mareuk	547.4	609.1	663.3	727.9	773.2	816.1
		Naju	2311.8	2530.6	2721.2	2946.5	3103.2	3251.2
	Seom-jin	Abrog	3862.1	4408.3	4895.2	5483.0	5898.6	6295.9

Table 5. Relative Mean Errors, Relative Absolute Errors and Root Mean Square Errors calculated by GEV and Gamma distributions using different plotting position formulas and Method of L-moment

Distri-bution	River	Station	Weibull			Hazen			Cunnane			Gringorten		
			RME	RAE	RMSE	RME	RAE	RMSE	RME	RAE	RMSE	RME	RAE	RMSE
GEV	Han	Yeoju	1.09	5.13	858.82	0.90	4.48	530.28	0.92	4.49	548.57	0.91	4.42	532.31
	Nag-dong	Sanyang	0.90	3.74	11.57	1.00	3.96	13.47	0.93	3.88	11.96	0.95	3.91	12.46
		Wolpo	1.12	3.59	89.97	0.87	3.62	46.25	0.90	3.58	56.71	0.89	3.60	52.56
		Waegwan	0.63	3.19	235.84	0.62	3.20	203.33	0.60	3.09	195.55	0.61	3.13	196.98
	Yeong-san	Mareuk	0.68	2.41	33.44	0.48	2.19	17.17	0.51	2.26	19.91	0.49	2.23	18.63
		Naju	0.48	2.33	69.67	0.50	2.43	69.66	0.47	2.36	65.46	0.48	2.38	66.74
	Seom-jin	Abrog	1.13	4.95	295.25	1.29	5.38	355.76	1.22	5.21	329.83	1.24	5.26	338.92
Gamma	Han	Yeoju	2.45	13.07	1410.91	2.56	13.36	1289.04	2.53	13.29	1318.56	2.54	13.32	1307.19
	Nag-dong	Sanyang	1.54	6.39	16.42	1.71	6.47	15.90	1.66	6.45	15.84	1.68	6.46	15.85
		Wolpo	2.07	8.02	122.06	2.29	8.73	107.14	2.24	8.56	110.77	2.26	8.62	109.38
		Waegwan	1.18	5.57	405.82	1.25	5.90	380.36	1.23	5.83	385.62	1.24	5.86	383.52
	Yeong-san	Mareuk	1.52	7.59	57.45	1.60	7.93	52.92	1.58	7.85	54.00	1.59	7.88	53.58
		Naju	0.73	3.58	104.61	0.80	3.82	97.40	0.78	3.76	98.17	0.79	3.78	97.80
	Seom-jin	Abrog	1.64	8.34	323.40	1.79	8.95	320.64	1.74	8.78	318.73	1.76	8.85	319.26

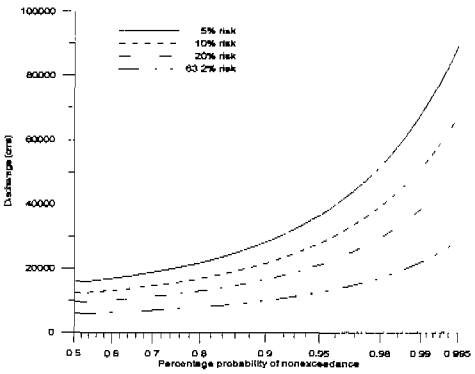

Fig. 1. Design floods according to the risk levels derived by GEV distribution using method of L-moment at Yeoju watershed of Han river.

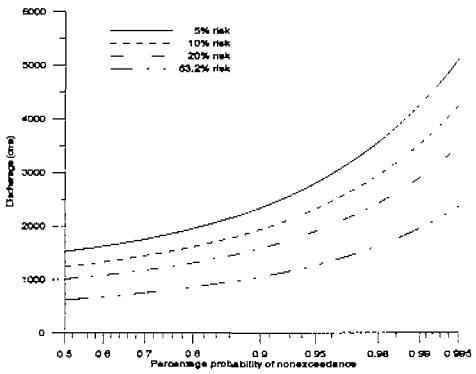

Fig. 2. Design floods according to the risk levels derived by GEV distribution using method of L-moment at Wolpo watershed of Nagdong river.

Table 6. Design floods calculated following the level of the risk of failure

River	Station	Risk(%)	Return period(yrs)					
			5	10	20	50	100	200
Han	Yeoju	5	15736.08	28121.44	36484.43	51830.08	67870.17	89109.31
		10	16855.94	21589.55	27844.00	39313.27	51298.15	67165.85
		20	13009.82	16520.34	21146.60	29618.22	38465.16	50175.38
		63.2	7972.42	9957.50	12521.60	17170.61	22004.97	28393.27
Nag-dong	Sanyang	5	456.38	524.23	601.54	720.65	825.59	945.34
		10	394.61	453.94	521.45	625.36	716.88	821.29
		20	338.24	390.03	448.75	538.95	618.33	708.85
		63.2	244.23	285.18	330.36	398.85	458.76	526.94
	Wolpo	5	1946.45	2337.44	2803.89	3562.12	4266.31	5107.46
		10	1606.74	1932.73	2321.08	2951.83	3537.43	4236.82
		20	1311.61	1582.24	1903.59	2424.60	2907.93	3485.00
		63.2	854.97	1047.98	1271.52	1629.52	1959.84	2353.40
	Waegwan	5	9450.29	10777.12	12299.95	14665.76	16767.42	19182.74
		10	8250.97	9402.76	10722.60	12771.31	14590.56	16681.00
		20	7165.03	8162.54	9301.56	11066.26	12631.96	14430.46
		63.2	5374.91	6150.96	7013.79	8332.96	9496.61	10830.25
Yeong-san	Mareuk	5	1030.79	1227.17	1466.98	1867.61	2249.79	2717.06
		10	864.19	1023.99	1218.86	1544.16	1854.38	2233.62
		20	723.01	852.33	1009.55	1271.55	1521.21	1826.32
		63.2	512.73	600.24	704.13	875.23	1037.44	1235.28
	Naju	5	3480.94	3786.94	4104.96	4545.08	4893.78	5256.75
		10	3174.83	3469.39	3774.95	4197.39	4531.93	4880.10
		20	2866.62	3150.94	3444.65	3849.81	4170.34	4503.78
		63.2	2267.57	2544.07	2820.88	3196.81	3492.16	3798.59
Seom-jin	Abrog	5	7371.24	8564.02	9927.00	12033.70	13895.76	16026.40
		10	6288.27	7328.42	8515.11	10347.72	11966.91	13819.34
		20	5303.06	6208.21	7237.20	8823.27	10223.40	11824.69
		63.2	3667.28	4378.44	5165.47	6362.46	7412.97	8611.67

6. GEV분포모형에 의한 파괴위험도 수준별 설계홍수량 산정

오차방법에 의해 선정된 GEV분포모형의 설계홍수량을 5, 10, 20, 63.2%의 파괴위험도를 고려하여 유도된 설계홍수량은 Table 6과 같고 표본 예로, 영산강수계의 마륵 유역에 관한 파괴위험도 수준별 설계홍수량의 결과를 정규확률지에 도시한 결과는 각각 Fig.1 및 2와 같다.

이상의 결과를 보면, 전 유역에 걸쳐 공히 파괴위험도의 수준이 작을수록 설계홍수량이 커짐을 나타내었다. 특히, 전 유역에 걸쳐 GEV분포모형에 의해 유도된 재현기간별 설계홍수량이 파괴위험도 63.2%를 고려한 설계홍수량과 거의 같은 점으로 미루어 볼 때, 이는 곧 재현기간과 설계수명기간을 같게 할 때 수공구조물의 파괴위험도(63.2%)에 상응한 설계홍수량이다. 그러므로 물 경제성과 안전율을 고려하여 이보다 낮은 파괴위험도에 상응한 설계홍수량을 제시함이 바람직하다고 사료된다.

Ⅳ 결론

본 연구는 한강, 낙동강, 영산강, 섬진강의 7개 유역에 대한 연최대 홍수량을 사용하여 이들 자료에 대한 신뢰도를 판정하고, K-S test에 의해 GEV분포모형과 Gamma분포모형의 적합도를 검정한 후 L-모멘트법에 의해 각 분포형의 매개변수를 구하였고, L-모멘트법에 따른 설계홍수량을 유도하였다. 또한, 유도된 설계홍수량과 플로팅포지션법을 달리하여 비교분석한 후, 적정한 것으로

판단된 GEV분포모형에 대한 설계홍수량의 파괴위험도 수준별 및 빈도별 홍수량을 유도하였으며 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에 사용된 홍수량자료에 관한 Wald-Wolfowitz의 독립성검정과 Mann-Whitney의 동질성 검정 및 Grubbs-Beck의 outlier검정을 수행한 결과 이의 분석 타당성이 인정되었다.
2. GEV분포와 Gamma분포의 적합성을 판별하기 위해 K-S검정을 실시한 결과 양 분포형의 적정성이 인정되었다.
3. GEV분포모형과 Gamma분포모형의 L-모멘트법에 따른 매개변수와 설계홍수량을 각각 유도하였다.
4. GEV분포모형과 Gamma분포모형의 L-모멘트법에 따른 설계홍수량과 실측치의 플로팅 포지션법을 달리하여 구한 설계홍수량을 상대평균오차, 상대절대오차 및 제곱평균제곱근 오차에 의해 비교한 결과, GEV분포모형과 Weibull 및 Hazen 플로팅 포지션에 의한 설계홍수량이 타 방법에 의한 설계홍수량보다 일반적으로 적정한 것으로 나타났다.
5. GEV분포모형의 L-모멘트법에 따른 설계홍수량에 대해 파괴위험도 수준을 5, 10, 20와 63.2%별로 고려한 설계홍수량을 유도하였다.
6. 파괴위험도의 수준이 작을수록 설계홍수량이 커지고 63.2%의 위험도에 해당하는 설계홍수량이 위험도를 고려치 않은 설계홍수량에 거의 같은 값이므로, 이에 안전율을 고려하여 이보다 낮은 위험도의 설계홍수량을 적용함이 바람직하다고 사료된다.

참고문헌

1. 이순혁, 송기헌, 맹승진, 류경식, 김동주, 지호근, Weibull-3 및 GEV 분포모형의 L-모멘트법에 의한 홍수빈도 비교분석, 농공학회지 Vol. 41, No. 4, pp. 25 ~ 36, 1999.
2. 박명근, 수리구조물의 설계홍수량과 파괴위험도에 관한 수문학적 연구, 충북대 박사학위 논문, 1993.
3. 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.
4. Grubbs, F. and G. Beck, Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. Technometrics, 14(4), pp. 847~854, 1972.
5. 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.
6. 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
7. 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.
8. Wang, Q. J., Estimation of the GEV distribution from censored Samples by Method of Partial Probability Weighted Moments, Jour. of Hydrology, vol. 120, pp. 103 ~ 114, 1990.