

Wakeby 분포모형의 확률가중모멘트기법에 의한 설계홍수량 유도

Derivation of Design Floods by the Probability Weighted Moments in
the Wakeby Distribution

송 기 현* · 이 순 혁 · 박 종 화 · 맹 승 진 · 류 경 식 · 지 호 근 (충북대)
Song, Ki Hurn · Lee, Soon Hyuk · Park, Jong Hwa · Maeng, Sung Jin ·
Ryoo, Kyong Sik · Jee, Ho Keun

Abstract

The objective of this study is to derive optimal design floods by the Wakeby distribution using the probability weighted moments. parameters for the Wakeby distribution were estimated by the probability weighted moments for the annual flood flows of the applied watersheds. Design floods obtained by the Wakeby and GEV distributions were compared by the relative mean errors, relative absolute errors and root mean square errors. In general, it has shown that the design floods by the Wakeby distribution using the methods of the probability weighted moments are closer to those of the observed data in comparison with those obtained by the GEV distribution.

I. 서 론

수리구조물의 설계, 운영, 관리 및 개·보수를 위해서는 신빙성 있는 설계 빈도별 홍수량의 제시가 선결과제이다. 이와같은 신빙성있는 설계홍수량의 유도를 위해서는 실측자료의 분포특성을 나타낼 수 있는 분포모형의 결정과 함께 분포모형의 매개변수 추정의 정밀도가 매우 중요하다. 관행의 연구에서는 분포모형의 매개변수추정에 모멘트법이나 최우도법을 사용해 왔으나 이들의 정밀도가 떨어져서 설계홍수량의 불신과 위험도가 크게되므로써 결과적으로 신빙성 있는 설계홍수량의 유도가 불가능한 실정이다.

이에 본 연구에서는 필자의 연구에 의해 매개변수추정에서 관행의 방법보다 적합성이 높게 인정된 확률가중모멘트법을 Wakeby분포모형에 적용하여 빈도별 홍수량의 신빙도를, 그간 사용되어 오고있는 GEV분포모형에 의한 결과와 비교분석하여 적절한 기법을 제시하므로써 홍수시 각종 수리구조물의 붕괴위험도를 제거하고 안정성을 높일 수 있는 설계홍수량의 기준을 제공하고자 한다.

II. 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 선정 하였으며 설계홍수량 유도를 위해 각 유역의 연최고치 자료를 사용하였다. 각 유역에 대한 유역 특성의 결과, 유역면적은 215.0 ~ 11,074.4 km²의 범위를 나타내고 있으며 주하천장은 36.70 ~ 347.10 km에 이르며 평균폭은 5.86 ~ 34.42 km 이고 형상계수는 0.081 ~ 0.365의 범위를 나타내고 있다.

2. 분석방법

가. 대상유역별 연최고치자료의 기본통계치 분석

L-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 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 L-모멘트법에 따른 Wakeby분포모형 및 GEV 분포모형에 대한 적합도 검정을 위해 비매개변수 방법인 K-S (Kolmogorov - Smirnov) test에 의해 적합도를 판정한다.

바. L-모멘트법에 따른 Wakeby분포모형과 GEV분포모형의 매개변수 산정

Wakeby분포모형과 GEV 분포모형의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 각 유역별로 구한다.

사. L-모멘트법에 따른 Wakeby분포모형과 GEV 분포모형에 의해 유도된 설계홍수량의 비교

L-모멘트법에 의해 유도된 매개변수를 사용한 Wakeby분포모형과 GEV 분포모형의 빈도별 설계홍수량을 구하고 이들을 실측치의 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten 플로팅 포지션법에 의한 것과 비교 분석하기 위하여 상대평균오차(Relative Mean Error, RME), 상대절대오차(Relative Absolute Error, RAE) 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 결과는 전 유역에 걸쳐 평균치와 표준편차는 각각 170.656 ~ 3790.652 및 84.805 ~ 2254.790의 범위를, 왜곡도계수와 변동계수는 각각 0.355 ~ 1.741 및 0.350 ~ 0.639의 범위를 그리고 첨예도는 2.158 ~ 6.355의 범위를 나타내었다.

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 걸쳐 독립성과 동질성이 인정되었다.

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 검정하였고 본 분석에 적용된 유역의 연최대홍수량자료에 대한 검정결과를 보면 Table-1 과 같다.

Table-1. Grubbs and Beck test for detection of outliers

River	Station	Grubbs and Beck test			Test
		K_N	X_H	X_L	
Han	Yeoju	2.6710	17359.5	512.2	○
Nagdong	Sanyang	2.3840	5092.4	274.7	○
	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	○
Seomjin	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

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 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-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도를 구한 결과, 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

L-모멘트법에 따른 Wakeby분포모형과 GEV 분포모형에 대한 적합도 판정은 K-S 검정을 이용하였으며 각 유역에 대한 결과는 Table-2와 같다.

이상의 결과를 보건대 대상유역 전반에 걸쳐 Wakeby분포모형과 GEV 분포모형의 적합도가 역시 인정되었다.

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

Distribution	River	Station	Method of L-moments		
			D_n	$D_{0.05}$	Test
Wakeby	Han	Yeoju	0.1070	0.2130	○
		Sanyang	0.0861	0.2617	○
	Nagdong	Wolpo	0.0842	0.2617	○
		Waegwan	0.0531	0.2150	○
	Geum	Kongju	0.0586	0.2124	○
	Yeongsan	Nampyeong	0.0842	0.2443	○
		Mareuk	0.0507	0.2236	○
		Naju	0.0645	0.2206	○
	Seomjin	Abrog	0.0489	0.2267	○
Songjung		0.0444	0.2443	○	
GEV	Han	Yeoju	0.0822	0.2130	○
		Sanyang	0.0854	0.2617	○
	Nagdong	Wolpo	0.0939	0.2617	○
		Waegwan	0.0688	0.2150	○
	Geum	Kongju	0.0989	0.2124	○
	Yeongsan	Nampyeong	0.0859	0.2443	○
		Mareuk	0.0783	0.2236	○
		Naju	0.0718	0.2206	○
	Seomjin	Abrog	0.0732	0.2267	○
Songjung		0.0968	0.2443	○	

○ : Significance level can't be acknowledged

× : Significance level can be acknowledged

6. L-모멘트법에 의한 Wakeby분포모형과 GEV분포모형의 매개변수 산정

L-모멘트법(LM)에 따른 Wakeby분포의 매개변수인 a, b, c, d, e 와 GEV분포의 매개변수인 x_0, α, β 를 각 유역별로 구하였다.

7. Wakeby분포모형과 GEV분포모형의 L-모멘트법에 따른 설계홍수량의 유도

Wakeby분포모형과 GEV분포모형의 L-모멘트법에 따른 재현기간별 홍수량을 유역별로 구한

결과는 Table-3과 같고 분포모형의 적합도 검정을 위하여 L-모멘트법에 의해 유도된 설계홍수량을 플로팅 포지션법인 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorton식에 의해 비초과확률을 구하고 이를 정규확률지상에 도시하였다.

Table-3. Comparison of design floods calculated by method of L-moment for Wakeby and Generalized extreme-value distributions. (Unit : m^3/s)

Distribution	River	Station	Return period(yrs)					
			5	10	20	50	100	200
Wakeby	Han	Yeoju	5300.29	6384.16	7312.56	8655.26	10053.92	12127.31
	Nagdong	Sanyang	243.45	298.54	343.48	390.41	418.40	441.22
		Wolpo	767.09	954.62	1184.52	1590.74	2003.62	2537.77
		Waegwan	4872.86	5876.46	6913.60	8338.34	9458.27	10615.87
	Geum	Kongju	4109.69	5257.22	6258.23	7388.10	8117.05	8752.92
	Yeongsan	Nampyeong	453.26	537.21	620.08	728.00	808.45	887.87
		Mareuk	507.37	594.08	689.61	855.37	1026.68	1253.33
		Naju	2182.55	2559.27	2883.56	3283.70	3577.54	3867.27
	Seomjin	Abrog	3459.90	4319.26	5062.68	5897.61	6433.89	6899.97
		Songjung	3460.20	3891.52	4443.29	5493.84	6644.13	8232.31
GEV	Han	Yeoju	5158.62	6549.00	7943.23	9840.33	11333.59	12885.37
	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

이상의 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorton 플로팅 포지션법과 Wakeby분포모형 및 GEV분포모형의 L-모멘트법에 의해 유도된 빈도별 설계홍수량의 비교 분석을 위해 상대평균 오차(Relative Mean Error, RME), 상대절대오차(Relative Absolute Error, RAE) 및 제곱평균 제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 각각 대상유역별로 구한 결과는 Table-4와 같다.

Table-4. Relative Mean Errors, Relative absolute Errors and Root Mean Square Errors calculated by Wakeby and Generalized extreme-value distributions using methods of L-moments and different plotting position formulas

Distri- bution	River	Station	Weibull			Hazen			Cunnane			Gringorten		
			RME	RAE	RMSE	RME	RAE	RMSE	RME	RAE	RMSE	RME	RAE	RMSE
Wakeby	Han	Yeosu	1.77	8.15	592.07	1.57	7.88	460.47	1.60	7.96	492.30	1.59	7.93	479.89
	Nag dong	Sanyang	1.03	4.08	9.49	0.99	3.71	10.88	0.88	3.50	9.95	0.91	3.58	10.27
		Wolpo	2.10	8.24	108.65	1.78	6.81	53.46	1.82	7.13	67.84	1.80	6.99	62.29
		Waegwan	0.69	3.38	234.24	0.72	3.24	191.70	0.68	3.12	184.86	0.701	3.17	185.89
	Geum	Kongju	1.06	5.24	162.36	0.90	4.65	156.24	0.90	4.72	145.47	0.905	4.69	148.75
	Yeong san	Nampyeong	0.76	3.66	18.65	0.77	3.65	15.79	0.75	3.52	15.08	0.76	3.57	15.23
		Mareuk	1.20	5.23	38.49	1.09	4.86	21.17	1.10	4.91	24.65	1.09	4.90	23.15
		Naju	1.09	4.73	79.17	0.99	4.67	87.12	0.97	4.62	81.41	0.98	4.64	83.34
	Seom jin	Abrog	0.97	4.29	144.12	1.04	4.60	160.28	1.00	4.46	154.72	1.01	4.51	159.63
		Songjung	0.96	3.20	269.85	0.71	2.61	134.77	0.76	2.73	167.68	0.74	2.69	154.50
GEV	Han	Yeosu	1.50	8.01	470.51	2.12	9.38	401.11	1.90	8.95	404.37	1.98	9.08	401.79
	Nag dong	Sanyang	1.24	5.39	13.41	1.67	6.15	16.34	1.49	5.90	14.70	1.56	6.00	15.27
		Wolpo	2.24	9.13	96.41	2.07	8.67	59.21	2.02	8.37	67.44	2.04	8.49	64.13
		Waegwan	0.88	4.25	256.06	0.82	4.02	198.52	0.79	3.96	202.96	0.80	3.98	200.31
	Geum	Kongju	1.35	6.87	237.24	1.80	8.02	287.15	1.66	7.66	254.67	1.71	7.79	265.75
	Yeong san	Nampyeong	0.75	3.52	18.85	0.78	3.46	15.29	0.74	3.32	14.62	0.75	3.37	14.73
		Mareuk	1.64	7.08	32.67	1.91	7.31	25.42	1.81	7.16	26.18	1.84	7.22	25.79
		Naju	1.69	7.43	97.93	2.88	8.62	118.64	2.53	8.23	109.91	2.66	8.38	113.04
	Seom jin	Abrog	1.96	7.51	197.35	2.76	8.07	251.95	2.52	7.78	227.21	2.61	7.89	235.98
		Songjung	1.01	4.30	231.34	1.02	4.18	174.82	1.00	4.18	185.20	1.00	4.18	180.84

이상의 결과에서 보건데 Wakeby분포모형과 GEV분포모형의 L-모멘트법에 의해 유도된 설계홍수량과 실측치의 플로팅 포지션법들에 의해 유도된 설계홍수량과의 상대평균오차, 상대절대오차 및 제곱평균제곱근오차의 비교에서 전 유역에 걸쳐 Wakeby분포모형과 Hazen 및 Cunnane 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량이 타 방법에 의한 것보다 전반적으로 작게 나타나는 좋은 결과를 가져왔다.

표본 예로 영산강수계의 마륵유역에 대한 Hazen 플로팅 포지션법에 의한 Wakeby분포모형과 GEV분포모형의 L-모멘트법에 따른 설계홍수량의 결과를 정규확률지에 도시한 결과는 Fig. 1과 같다.

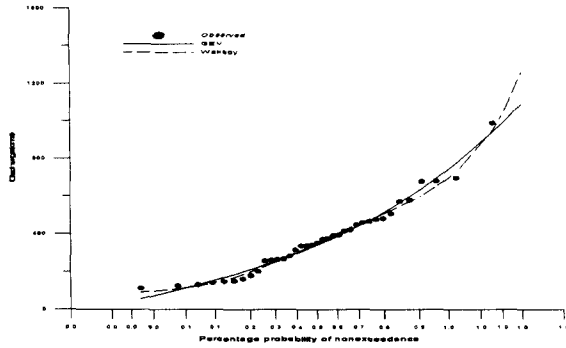


Fig. 1. Comparison of design floods estimated using methods of L-moments with Hazen plotting position at Mareuk watershed of Yeongsan river

V. 결 론

본 연구는 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강 수계의 10개 유역에 대한 연최 대홍수량을 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 L-모멘트법에 의해 Wakeby분포모형과 GEV분포모형의 매개변수를 구하였고, L-모멘트법에 따른 설계홍수량을 유도하였다. 또한, Wakeby분포모형과 GEV분포모형에서 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. Wakeby 및 GEV분포모형의 적합성을 판별하기 위해 K-S 검정을 실시한 결과 2개 분포모형의 적정성이 인정되었다.
3. Wakeby분포모형과 GEV 분포모형의 L-모멘트법에 따른 매개변수와 설계홍수량을 각각 유도하였다.
4. Wakeby분포모형 및 GEV 분포모형의 L-모멘트법에 따른 설계홍수량과 실측치의 플로팅 포지션법을 달리하여 구한 설계홍수량을 상대평균오차, 상대절대오차 및 제곱평균제곱근오차에 의해 비교한 결과, 이중 Wakeby분포모형과 Hazen 및 Cunnane 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량이 타 방법들에 의한 설계홍수량 보다 일반적으로 적정한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Hosking, J. R. M., The Theory of Probability Weighted Moments, Research Report RC12210, IBM T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York, 1986
2. 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
3. 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.
4. 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.