

3변수 및 4변수 Kappa 분포에 의한 설계홍수량 추정

Estimation of Design Floods Using 3 and 4 Parameter Kappa Distributions

맹승진^{*†} · 김병준^{**} · 김형산^{*}

Maeng, Seung-Jin^{*†} · Kim, Byeoung-Jun^{**} · Kim, Hyung-San^{*}

ABSTRACT

This paper is to induce design floods through L-moment with 3 and 4 parameter Kappa distributions including test of independence by Wald-Wolfowitz, homogeneity by Mann-Whitney and outlier by Grubbs-Beck on annual maximum flood flows at 9 water level gaging stations in Han, Nakdong and Geum Rivers of South Korea. After analyzing appropriateness of the data of annual maximum flood flows by Kolmogorov-Smirnov test, 3 and 4 Kappa distributions were applied and the appropriateness was judged. The parameters of 3 and 4 Kappa distributions were estimated by L-moment method and the design floods by water level gaging station was calculated. Through the comparative analysis using the relative root mean square errors (RRMSE) and relative absolute errors (RAE) calculated by 3 and 4 parameter Kappa distributions with 4 plotting position formulas, the result showed that the design floods by 4 parameter Kappa distribution with Weibull and Cunnane plotting position formulas are closer to the observed data than those obtained by 3 parameter Kappa distribution with 4 plotting position formulas and 4 parameter Kappa distribution with Hazen and Gringorten plotting position formulas.

Keywords: Annual maximum flood flows; l-moment; kolmogorov-smirnov test; kappa distribution; flood frequency analysis; design floods

1. 서 론

우리나라는 최근 10년간 자연재해 피해액이 17조원에 이르고 있으며 연간 1조원 이상의 홍수 피해가 1998년, 1999년, 2001년, 2002년, 2003년, 2004년, 2006년에 발생하였다.

특히 2002년 우리나라를 통과한 태풍 루사로 인해 강릉지역의 경우 24시간 최고 870.5mm의 강우가 쏟아져 가능최대강우량 (Probability Maximum Flood, PMF) 수준의 강우량을 기록하며 사망 209명, 실종 37명으로 합계 246명의 인명피해는 물론 5조 1,500여 억 원의 재산피해를 보게 되었고 북구비만도 무려 8조원 상당이 투입되었다.

2003년에는 태풍 매미에 의해 사망 및 실종 132명의 인명피해와 4조 2,225 억 원의 엄청난 재산피해를 가져왔고, 2006년 7월 14일에서 9월 21일 까지 약 3개월 동안에는 태풍 에위니아와 태풍 빌리스 및 산산 (SHANSHAN)의 영향으로 오랫동안 장마전선이 형성되었고 이 때 발생한 강원지역의 집중호우로 인해 62명의 인명손실과 약 1조 5,000 억 원의 홍수피해를 가져 왔다 (Song, 2009).

우리나라의 기상여건에 의해 거의 매년 발생하는 막대한 인명과 재산의 피해를 줄이기 위해 홍수의 항구적인 대책이 수립되어야 한다. 이를 위해 근본적으로 선행되어야 할 것은 용수공급을 위한 각종 댐 및 수리구조물의 설계지침인 적정 설계홍수량의 제시가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 수문분석에 기초가 되는 신뢰도가 높고 장기간의 유출량자료를 보유하고 있는 우리나라의 주요 지점들을 선정하여 확률분포의 매개변수를 국내의적으로 많은 적용사례가 있는 L-모멘트법에 의해 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수를 추정하여 설계홍수량을 유도하고자 한다 (Hosking, 1990, 1997; Lee and Maeng, 2003; Maeng et

* 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

** (주)동흥산업개발

† Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2576

Fax: +82-43-271-5922

E-mail address: maeng@chungbuk.ac.kr

2009년 7월 2일 투고

2009년 7월 21일 심사완료

2009년 7월 24일 게재확정

al., 2006; Song, 2009; WMO, 1989). 3변수 및 4변수 Kappa 분포에 의해 추정된 설계홍수량과 플로팅 포지션법을 달린한 설계홍수량과의 비교 분석을 수행하여 적절한 설계홍수량을 추정하여 제시하고자 한다.

II. 이론적 특성분석

본 연구에서는 우리나라 유역의 설계홍수량 추정시 적용된 확률분포 중에서 적용 사례가 별로 없는 3변수 및 4변수 Kappa 분포를 사용하고자 한다. 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수 추정방법인 확률가중모멘트와 L-모멘트의 관계는 각각 Hosking (1986, 1990, 1994, 1996, 1997), Lee and Maeng (2003), WMO (1989) 및 Oh (2001)에 의해 언급되었다. 따라서 L-모멘트법에 의한 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수 추정 식을 정리하면 다음과 같다.

Kappa 분포의 확률밀도함수, 누가밀도함수 및 역함수는 각각 식 (1)~식 (3)과 같이 주어진다 (Hosking, 1994, 1996).

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \frac{k}{\alpha}(x - \xi) \right]^{(1/k)^{-1}} [F(x)]^{1-h} \quad (1)$$

$$F(x) = \left\{ 1 - h \left[1 - \frac{k}{\alpha}(x - \xi) \right]^{1/k} \right\}^{1/h} \quad (2)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left(\frac{1-F^h}{h} \right)^k \right\} \quad (3)$$

여기서 ξ 는 위치 매개변수, α 는 척도 매개변수, k 와 h 는 형상 매개변수이다. Kappa 분포의 매개변수 중에서 h 가 -1이면 Generalized logistic 분포, h 가 0이면 Generalized extreme-value 분포, h 가 1이면 Generalized pareto 분포이다.

Kappa 분포의 매개변수를 추정하기 위한 L-모멘트, L-왜곡도 및 L-첨예도는 식 (4)~식 (7)과 같다.

$$\lambda_1 = \xi + \alpha(1 - g_1)/k \quad (4)$$

$$\lambda_2 = \alpha(g_1 - g_2)/k \quad (5)$$

$$\tau_3 = (-g_1 + 3g_2 - 2g_3)/(g_1 - g_2) \quad (6)$$

$$\tau_4 = (-g_1 + 6g_2 - 10g_3 + 5g_4)/(g_1 - g_2) \quad (7)$$

여기서,

$$g_r = \begin{cases} \frac{r\Gamma(1+k)\Gamma(r/h)}{h^{1+k}\Gamma(1+k+r/h)}, & h > 0 \\ \frac{r\Gamma(1+k)\Gamma(-k-r/h)}{(-h)^{1+k}\Gamma(1-r/h)}, & h < 0 \end{cases} \quad (8)$$

여기서, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수이다.

본 연구에서는 Kappa 분포의 매개변수 h 가 0이면 3변수 Kappa 분포, h 가 0이 아니면 4변수 Kappa 분포로 정의하여 분석을 수행하였다.

III. 경우자료 및 분석방법

1. 수문자료와 유역특성

본 연구의 대상유역은 한강수계의 여주, 청평, 목계, 홍천, 주천유역과, 낙동강수계의 수산, 동천유역, 금강수계의 규암, 회덕유역으로 총 9개 유역을 선정하였다. 선정된 대상유역별 설계홍수량 유도를 위한 연최대홍수량 자료는 국가수자원관리 종합정보시스템 (MOCT, 2007)에서 제공하는 해당 유역의 수위-유량 곡선식에 의해 구성하였다. 또한 대상유역별 유역특성은 Table 1과 같다.

2. 분석방법

본 연구를 위해 선정된 9개 유역에 대한 분석 과정은 다음과 같다.

가. 선정된 유역별로 수위-유량 곡선식에 의해 연최대홍수량 자료를 구성한다.

나. 유역별로 구성된 연최대홍수량 자료의 기본통계치인 평균, 표준편차, 왜곡도계수 및 변동계수를 구한다.

다. 대상유역별로 연최대홍수량 자료의 독립성, 동질성 및 Outlier 검정을 실시하여 통계 분석 가능 여부를 판정한다.

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

마. 대상유역별로 L-모멘트법에 따른 3변수 및 4변수 Kappa 분포에 대한 적합도 검정을 비매개변수 방법인 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 검정에 의해 실시한다.

바. 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 산정한다.

사. 3변수 및 4변수 Kappa 분포에 의해 유도된 설계홍수량을 상대평균제곱근오차 (Relative Root Mean Square Error, RRMSE)와 상대절대오차 (Relative Absolute Error, RAE)를 사용하여 비교 분석한다.

Table 1 Gauging stations and physical characteristics of watersheds

River	Station	Area (km ²)	Length of main stream (km)	Average basin width (km)	Shape factor	Observed duration (yrs)	Location
Han	Yeosu	11,036.0	347.1	31.8	0.09	1963~2007 (45)	Long. 127°38'58" Lati. 37°17'33"
	Cheong-pyeong	10,455.5	207.8	50.3	0.24	1962~2007 (46)	Long. 127°23'56" Lati. 37°42'36"
	Mokgye	8,433.8	307.6	27.4	0.09	1962~2007 (46)	Long. 127°53'02" Lati. 37°04'26"
	Hongcheon	874.3	78.5	11.1	0.14	1963~2007 (45)	Long. 127°52'50" Lati. 37°41'02"
	Jucheon	528.8	72.0	7.3	0.10	1963~2007 (45)	Long. 128°16'03" Lati. 37°15'53"
Nakdong	Susan	20,996.7	450.4	46.6	0.10	1962~2007 (46)	Long. 128°42'58" Lati. 35°21'44"
	Dongchon	1,544.0	89.0	17.3	0.19	1962~2007 (46)	Long. 128°38'11" Lati. 35°53'19"
Geum	Gyuam	8,253.4	338.1	24.4	0.07	1962~2007 (46)	Long. 126°53'30" Lati. 36°16'21"
	Hoedeok	604.2	43.1	14.0	0.33	1962~2007 (46)	Long. 127°24'43" Lati. 36°22'30"

Table 2 Basic statistics of annual maximum flood flows

River	Station	Mean (\bar{x}) (m ³ /s)	Standard deviation (S)	Coefficient of skewness (C _s)	Coefficient of variation (C _v)	Coefficient of kurtosis (C _k)
Han	Yeosu	5,223.8	4,295.6	1.692	0.822	6.908
	Cheong-pyeong	5,298.3	4,299.2	1.673	0.811	6.072
	Mokgye	3,610.1	2,922.6	1.046	0.810	4.027
	Hongcheon	1,318.3	1,314.9	2.168	0.997	8.152
	Jucheon	549.9	455.9	1.794	0.829	6.861
Nakdong	Susan	6,907.2	2,372.7	0.147	0.344	2.768
	Dongchon	824.5	681.4	1.374	0.826	5.236
Geum	Gyuam	2,733.2	1,311.3	0.628	0.480	2.972
	Hoedeok	505.4	288.5	0.637	0.571	3.219

Table 3 Independence and homogeneity tests of observed flows

River	Station	Wald-Wolfowitz's test for independence			Mann-Whitney's test for homogeneity		
		<i>u</i>	<i>u</i> _{a/2}	Test	Z	Z _{a/2}	Test
Han	Yeosu	-1.70	1.96	○	1.96	-0.91	○
	Cheongpyeong	1.60		○		-1.17	○
	Mokgye	1.44		○		-0.71	○
	Hongcheon	-0.33		○		-0.41	○
	Jucheon	0.74		○		-0.61	○
Nakdong	Susan	0.54	○	-1.26	○		
	Dongchon	1.62	○	-1.11	○		
Geum	Gyuam	0.56	○	-1.86	○		
	Hoedeok	0.32	○	-0.01	○		

u : W-W test statistic

Z : M-W test statistic

*u*_{a/2}, Z_{a/2} : Standardized normal deviate corresponding to a probability of exceedance *a*/2

○ : Accept at a 5 % level of significance

IV. 결과 및 고찰

1. 연최대홍수량 자료의 기본통계치 분석

대상유역으로 선정된 여주, 청평, 목계, 홍천, 주천, 수산, 동천, 규암, 회덕유역의 연최대홍수량 자료에 대한 기본통계치인 평균, 표준편차, 왜곡도계수, 변동계수 및 첨예도를 구한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 전 유역에 걸쳐 평균과 표준편차는 각각 505.4~6,907.2 및 288.5~4,299.2의 범위를, 왜곡도계수와 변동계수는 각각 0.147~2.168 및 0.344~0.997의 범위를 그리고 첨예도는 2.768~8.152의 범위를 나타내었다.

2. 연최대홍수량 자료의 독립성, 동질성 및 Outlier 검정

본 분석에서는 전술한 방법에 의해 구성된 유역별 연최대홍수량 자료의 통계학적 분석 여부를 판단하기 위해 독립성 및 동질성 검정을 각각 Wald-Wolfowitz 및 Mann-Whitney 방법에 의해 실시한 결과 Table 3과 같다 (Bobée et al., 1991). 또한 구성된 자료의 통계학적 분석을 실시하고자 할 때 극치 자료를 포함하여 분석하면 결과가 왜곡될 가능성이 커지기 때

Table 4 Grubbs-Beck test for detection of outliers

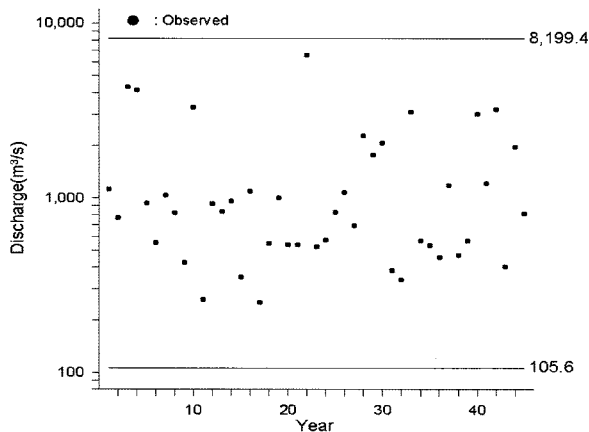
River	Station	Grubbs-Beck's test for outlier			Test
		K_N	X_L	X_H	
Han	Yeosu	2.727	307.0	44,492.1	○
	Cheongpyeong	2.736	369.1	40,439.8	○
	Mokgye	2.736	117.0	46,336.6	○
	Hongcheon	2.727	105.6	8,199.4	○
	Jucheon	2.727	43.3	3,783.2	○
Nakdong	Susan	2.736	2,272.9	18,410.8	○
	Dongchon	2.736	40.5	7,882.9	○
Geum	Gyuam	2.736	583.7	10,026.0	○
	Heodeok	2.736	65.8	2,649.9	○

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 10 % level of significance



Kn statistic : 2.727(10% confidence level)

Fig. 1 Grubbs-Beck test for detection of high and low outliers at Hongcheon watershed of Han river

문에 이를 방지하기 위한 방편으로 상한과 하한의 극치자료가 포함되었는지의 여부를 판단하는 Outlier 검정 방법인 Grubbs-Beck Test를 실시한 결과 Table 4와 같다 (Bobée et al., 1991). Grubbs-Beck Test 결과를 표본 예로 한강수계의 홍천유역을 대상으로 도시한 것은 Fig. 1과 같다.

이상에서 대상유역의 연최대홍수량 자료에 관한 독립성, 동질성 및 Outlier 검정 결과 독립성과 동질성이 인정되었고 연최대홍수량 자료의 Outlier가 없음을 검정되었다. 따라서 본 연구에서 적용된 대상유역별 연최대홍수량 자료는 수문자료로서 분석하기에 타당한 것으로 인정되었다.

3. L-모멘트비에 의한 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도 산정

Table 5 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	Yeosu	0.4246	0.2881	0.1852
	Cheongpyeong	0.4150	0.3202	0.2144
	Mokgye	0.4426	0.2231	0.1059
	Hongcheon	0.4645	0.4715	0.2574
	Jucheon	0.4175	0.3397	0.2214
Nakdong	Susan	0.1983	0.0412	0.1510
	Dongchon	0.4391	0.2767	0.1383
Geum	Gyuam	0.2730	0.1503	0.1162
	Heodeok	0.3226	0.1379	0.0874

Table 6 Kolmogorov-Smirnov test for the 3 and 4 parameter Kappa distributions using L-moment method

River	Station	D_n				$D_{0.05}$
		3 parameter Kappa	Test	4 parameter Kappa	Test	
Han	Yeosu	0.0771	○	0.0658	○	0.203
	Cheongpyeong	0.0535	○	0.0570	○	0.201
	Mokgye	0.0698	○	0.0422	○	0.201
	Hongcheon	0.1183	○	0.0989	○	0.203
	Jucheon	0.0746	○	0.0763	○	0.203
Nakdong	Susan	0.0610	○	0.0546	○	0.201
	Dongchon	0.1013	○	0.0663	○	0.201
Geum	Gyuam	0.0609	○	0.0487	○	0.201
	Heodeok	0.1111	○	0.0886	○	0.201

○ : Accept at a 5 % level of significance

3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수 추정을 위해 우선적으로 확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트를 각 유역별로 구한 후, L-모멘트의 비인 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도를 구한 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 대상유역 전반에 걸쳐 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도는 각각 0.1983 ~ 0.4645, 0.0412 ~ 0.4715 및 0.0874 ~ 0.2574의 범위를 나타내고 있다.

4. 대상유역별 연최대홍수량 자료의 적합도 검정

L-모멘트법에 따른 3변수 및 4변수 Kappa 분포에 대한 적합도 검정은 비매개변수 방법인 K-S 검정을 사용하였고 대상유역별 검정 결과는 Table 6과 같다.

Table 6에 나타난 바와 같이 5 % 유의수준에서 적용된 9개 유역의 연최대홍수량 자료가 3변수 및 4변수 Kappa 분포를 따르는 것으로 인정되었다.

5. L-모멘트법에 의한 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수 산정

L-모멘트법에 따른 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수를 대상 유역별로 산정한 결과는 Table 7과 같다.

6. 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 추정된 매개변수에 의한 설계홍수량 유도

L-모멘트법에 의해 추정된 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수를 사용하여 대상 유역별로 재현기간별 홍수량을 구한 결과는 Table 8과 같다. 대상유역별 연최대홍수량 자료에 적용된 3변수 Kappa 분포와 4변수 Kappa 분포의 우열을 판정하기 위하여 플로팅 포지션법인 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorton의 비초과확률인 식 (9)~식 (12)에 따른 연최대홍수량과 L-모멘트법에 의해 유도된 설계홍수량을 구하고 이를 정규확률지상에 도시하였다.

$$P = 1 - m / (N + 1) \tag{9}$$

$$P = 1 - (m - 0.5) / N \tag{10}$$

$$P = 1 - (m - 0.4) / (N + 0.2) \tag{11}$$

Table 7 Parameters calculated by 3 and 4 parameter Kappa distributions using methods of L-moments

River	Station	Parameter		
		ξ	a	k
Han	Yeoju	3,146.46	2,643.21	-0.18
	Cheongpyeong	3,189.82	2,469.03	-0.22
	Mokgye	2,198.16	2,126.64	-0.08
	Hongcheon	684.89	493.54	-0.42
	Jucheon	326.90	248.18	-0.25
Nakdong	Susan	5,975.58	2,321.77	0.21
	Dongchon	488.58	440.33	-0.16
Geum	Gyuam	2,127.21	1,106.77	0.03
	Heodeok	375.21	245.91	0.05

River	Station	Parameter			
		ξ	a	k	h
Han	Yeoju	2,553.05	3,168.90	-0.10	0.33
	Cheongpyeong	2,859.73	2,736.58	-0.18	0.21
	Mokgye	593.14	3,874.60	0.19	0.82
	Hongcheon	-164.09	1,058.18	-0.16	1.57
	Jucheon	276.99	287.48	-0.19	0.31
Nakdong	Susan	6,480.41	1,687.35	0.05	-0.49
	Dongchon	160.03	760.04	0.07	0.83
Geum	Gyuam	1,892.20	1,381.66	0.14	0.31
	Heodeok	263.16	385.33	0.27	0.56

Table 8 Comparison of design floods calculated by method of L-moment for 3 and 4 parameter Kappa distributions

(unit : m³/s)

Kappa distribution	River	Station	Return Period (year)					
			5	10	20	50	100	200
3 parameter	Han	Yeoju	7,683.24	10,443.72	13,456.92	17,968.90	21,869.16	26,261.91
		Cheongpyeong	7,581.35	10,389.51	13,558.37	18,485.43	22,903.29	28,038.45
		Mokgye	5,590.01	7,448.15	9,339.93	11,958.42	14,054.38	16,264.06
		Hongcheon	1,717.57	2,537.67	3,609.89	5,581.01	7,658.05	10,434.48
		Jucheon	777.89	1,074.91	1,416.78	1,960.43	2,458.63	3,048.72
	Nakdong	Susan	8,960.71	10,134.81	11,099.11	12,148.33	12,809.86	13,378.81
		Dongchon	1,234.83	1,680.84	2,161.90	2,872.59	3,478.90	4,154.09
	Geum	Gyuam	3,749.48	4,533.39	5,268.47	6,196.04	6,873.86	7,534.85
		Heodeok	730.46	898.37	1,053.56	1,246.27	1,384.86	1,518.18
	4 parameter	Han	Yeoju	7,827.45	10,643.93	13,592.86	17,773.88	21,189.02
Cheongpyeong			7,662.14	10,512.14	13,658.14	18,408.32	22,539.99	27,214.74
Mokgye			5,913.25	7,802.37	9,444.37	11,301.03	12,504.12	13,558.56
Hongcheon			1,868.51	2,841.15	3,953.46	5,648.99	7,118.35	8,767.27
Jucheon			789.96	1,093.89	1,433.13	1,950.89	2,405.58	2,924.15
Nakdong		Susan	8,831.26	10,031.16	11,117.20	12,451.35	13,406.22	14,323.08
		Dongchon	1,303.72	1,768.88	2,208.35	2,755.01	3,144.87	3,515.75
Geum		Gyuam	3,804.60	4,585.85	5,273.56	6,074.95	6,613.92	7,102.84
		Heodeok	753.86	918.64	1,052.05	1,192.36	1,277.17	1,347.33

Table 9 Relative Root Mean Square Errors (RRMSE) and Relative Absolute Errors (RAE) calculated by 3 and 4 parameter Kappa distributions using methods of L-moment and different plotting position formulas

Kappa distribution	River	Station	Weibull		Hazen		Cunnane		Gringorten	
			RRMSE	RAE	RRMSE	RAE	RRMSE	RAE	RRMSE	RAE
3 parameters	Han	Yeosu	19.15	11.11	31.29	12.99	28.05	12.52	29.28	12.70
		Cheongpyeong	11.40	7.27	15.83	7.62	13.79	7.35	14.53	7.45
		Mokgye	62.61	25.56	86.93	30.08	80.88	28.82	83.20	29.31
		Hongcheon	14.78	12.33	15.38	12.56	15.01	12.24	15.13	12.34
	Nakdong	Jucheon	11.89	9.53	15.46	10.46	14.07	10.05	14.57	10.16
		Susan	6.64	4.80	7.40	4.92	7.04	4.82	7.17	4.86
	Geum	Dongchon	30.13	14.32	45.39	17.21	41.56	16.28	43.03	16.63
		Gyuam	4.84	3.66	7.33	3.81	6.44	3.66	6.77	3.70
4 parameters	Han	Heodeok	12.75	7.75	19.18	9.31	17.33	8.75	18.23	8.94
		Yeosu	12.18	8.92	18.28	9.61	16.44	9.32	17.14	9.43
		Cheongpyeong	12.02	7.11	11.21	6.96	10.45	6.75	10.68	6.83
		Mokgye	21.80	11.99	27.02	12.35	25.74	12.20	26.24	12.26
	Nakdong	Hongcheon	13.11	10.46	12.74	10.01	12.71	9.92	12.71	9.93
		Jucheon	11.24	9.42	10.81	8.98	10.47	8.79	10.57	8.83
	Geum	Susan	7.63	4.78	9.62	5.25	8.88	5.06	9.15	5.13
		Dongchon	9.12	7.11	9.05	6.73	8.75	6.80	8.85	6.77
		Gyuam	4.04	3.01	4.48	2.83	4.08	2.84	4.22	2.83
		Heodeok	8.81	6.59	8.85	6.77	8.62	6.70	8.70	6.73

$$P = 1 - (m - 0.44) / (N + 0.12) \quad (12)$$

여기서 N 은 표본크기이며 m 은 가장 큰 값부터 나열한 순서이다.

이상의 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten 플로팅 포지션법과 3변수 Kappa 분포와 4변수 Kappa 분포에 의해 유도된 설계홍수량의 비교 분석을 위해 상대평균제곱근오차 (RRMSE) 및 상대절대오차 (RAE)를 각각 식 (13)과 식 (14)에 의해 대상유역별로 구한 결과는 Table 9와 같다.

$$RRMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (13)$$

$$RAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right| \quad (14)$$

여기서 Q_0 및 Q_c 는 각각 유역에서 관측된 연최대홍수량 및 적용 분포의 L-모멘트법에 의해 산정된 설계홍수량이다.

이상의 결과에서 3변수 Kappa 분포와 4변수 Kappa 분포에 의해 유도된 설계홍수량과 연최대홍수량을 대상으로 플로팅 포지션법들에 의해 유도된 설계홍수량과의 오차 분석 결과 전반적으로 4변수 Kappa 분포와 Weibull 및 Cunnane 플로팅 포

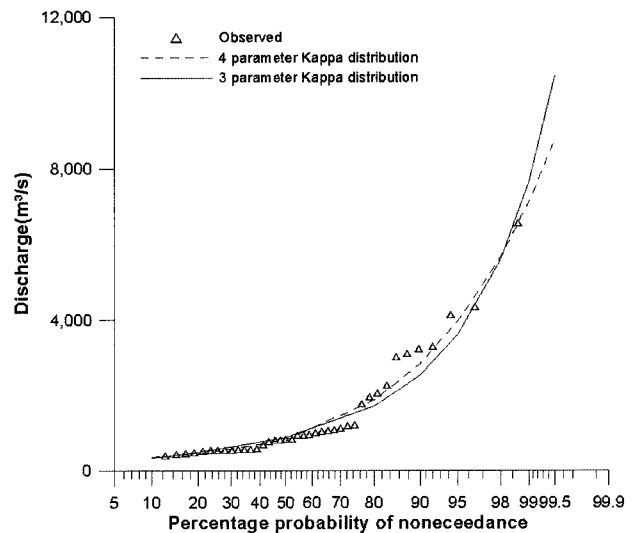


Fig. 2 Comparison of design floods estimated using methods of L-moments with Cunnane plotting position at Hongcheon watershed of Han river

지선법에 의한 설계홍수량이 타 방법에 의한 것보다 전반적으로 작게 나타나는 좋은 결과를 나타냈다.

표본 예로 한강수계의 홍천유역에 대한 Cunnane 플로팅 포지션법에 의한 3변수 Kappa 분포와 4변수 Kappa 분포에 따른 설계홍수량의 결과를 정규확률지에 도시한 결과는 Fig. 2와

같다.

V. 결 론

우리나라의 한강, 낙동강 및 금강수계에 속한 9개 유역을 대상으로 해당 유역의 연최대홍수량 자료를 구성하였다. 구성된 자료에 대한 통계학적 분석 가능 여부의 판단과 적합도 검정을 실시하고, L-모멘트법에 의해 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수를 추정하여 설계홍수량을 유도하였다. 3변수 및 4변수 Kappa 분포에 따라 추정된 설계홍수량과 4개의 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량과의 비교 분석을 수행하였으며 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 9개 유역의 연최대홍수량 자료를 대상으로 Wald-Wolfowitz의 독립성 검정, Mann-Whitney의 동질성 검정 및 Grubbs-Beck의 Outlier 검정을 수행한 결과 통계학적 분석이 가능한 것으로 판정 되었고 K-S 검정에 의한 적합도 검정 결과 적용 분포인 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 적정성이 인정되었다.

2. 3변수 및 4변수 Kappa 분포의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 추정하여 각각의 분포에 대한 설계홍수량을 유도하였다.

3. 3변수 Kappa 분포와 4변수 Kappa 분포에 의해 유도된 설계홍수량과 연최대홍수량 자료를 대상으로 플로팅 포지션법들에 의해 유도된 설계홍수량과의 비교를 위해 상대평균제곱근 오차와 상대절대오차에 의한 분석 결과 전반적으로 4변수 Kappa 분포와 Weibull 및 Cunnane 플로팅 포지션법에 의한 설계홍수량이 타 방법에 의한 것보다 전반적으로 작게 나타나는 좋은 결과를 나타냈다.

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

REFERENCES

1. Bobée, B. and F. Ashkar, 1991. The Gamma Family and Derived Distributions Applied in Hydrology, *Water Resources Publications*.
2. Hosking, J. R. M., 1986. The Theory of Probability Weighted Moments. 3-16. RC12210. IBM Research Center: Yorktown Heights.
3. Hosking, J. R. M., 1990. L-moments: Analysis and Estimation of Distributions using Linear Combination of Order Statistics. *Journal of the Royal Statistical Society Series B* 52(2): 105~124.
4. Hosking, J. R. M., 1994. The parameter Kappa distribution. *IBM J. Res. Develop.* 38(3): 251~258.
5. Hosking, J. R. M., 1996. Fortran Routines for Use with the Method of L-moments. 1-43. RC2025. IBM Research Center: Yorktown Heights.
6. Hosking, J. R. M., and J. R. Wallis, 1997. *Regional Frequency Analysis*. Cambridge CB2 1RP, United Kingdom: Cambridge University Press.
7. Lee, S. H., S. J. Maeng, 2003. Frequency analysis of extreme rainfall using L-moment. *Irrigation and Drainage* 52(3): 219~230.
8. Maeng, S. J., S. H. Lee, H. G. Lee, K. S. Ryoo and G. H. Song, 2006. Flood Frequency Analysis by Wakeby and Kappa Distributions Using L-Moments. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(5): 17~27 (in Korean).
9. Ministry of Construction and Transportation (MOCT), 2007. Water Management Information System (WAMIS), <http://www.wamis.go.kr>
10. Oh U. S., 2001. *Estimation of Population for Kappa Distribution Applied Rainfall distribution*. Master Degree Paper in Chonnam National University.
11. Song, K. H., 2009. *Characteristic of Design Flood Flow Using L-Moment According to Gradual Composition of Annual Maximum Flood Flows*. Doctor Degree Paper in Chungbuk National University.
12. World Meteorological Organization, 1989. Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis. *Operational Hydrology Report No.33*. Secretariat of the World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland; A4. 1-A4.14.