한국농공학회논문집
제46권 제5호

JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS SEPT. 2004, pp. 27-39

L 및 LH-모멘트법과 지역빈도분석에 의한 가뭄우량의 추정 (II)

- LH-모멘트법을 중심으로 -

Estimation of Drought Rainfall by Regional Frequency Analysis Using L and LH-Moments (II)

- On the method of LH-moments -

이 순 혁* · 윤 성 수* · 맹 승 진**
류 경 식* · 주 호 길*** · 박 진 선***
Lee, Soon-Hyuk · Yoon, Seong-Soo · Maeng, Sung-Jin
Ryoo, Kyong-Sik · Joo, Ho-Kil · Park, Jin-Seon

Abstract

In the first part of this study, five homogeneous regions in view of topographical and geographically homogeneous aspects except Jeju and Ulreung islands in Korea were accomplished by K-means clustering method. A total of 57 rain gauges were used for the regional frequency analysis with minimum rainfall series for the consecutive durations. Generalized Extreme Value distribution was confirmed as an optimal one among applied distributions. Drought rainfalls following the return periods were estimated by at-site and regional frequency analysis using L-moments method. It was confirmed that the design drought rainfalls estimated by the regional frequency analysis were shown to be more appropriate than those by the at-site frequency analysis.

In the second part of this study, LH-moment ratio diagram and the Kolmogorov-Smirnov test on the Gumbel (GUM), Generalized Extreme Value (GEV), Generalized Logistic (GLO) and Generalized Pareto (GPA) distributions were accomplished to get optimal probability distribution. Design drought rainfalls were estimated by both at-site and regional frequency analysis using LH-moments and GEV distribution, which was confirmed as an optimal one among applied distributions. Design rainfalls were estimated by at-site and regional frequency analysis using LH-moments, the observed and simulated data resulted from Monte Carlo

* 충북대학교 농과대학
** 한국수자원공사 수자원연구원
*** 충북대학교 대학원
* Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2572
Fax: +82-43-271-5922
E-mail address: aelsh@cbucc.chungbuk.ac.kr

techniques. Design drought rainfalls derived by regional frequency analysis using L1, L2, L3 and L4-moments (LH-moments) method have shown higher reliability than those of at-site frequency analysis in view of RRMSE (Relative Root-Mean-Square Error), RBIAS (Relative Bias) and RR (Relative Reduction) for the estimated design drought rainfalls.

Relative efficiency were calculated for the judgment of relative merits and demerits for the design drought rainfalls derived by regional frequency analysis using L-moments and L1, L2, L3 and L4-moments applied in the first report and second report of this study, respectively.

Consequently, design drought rainfalls derived by regional frequency analysis using L-moments were shown as more reliable than those using LH-moments.

Finally, design drought rainfalls for the classified five homogeneous regions following the various consecutive durations were derived by regional frequency analysis using L-moments, which was confirmed as a more reliable method through this study.

Maps for the design drought rainfalls for the classified five homogeneous regions following the various consecutive durations were accomplished by the method of inverse distance weight and Arc-View, which is one of GIS techniques.

Keywords : LH-moment, LH-moment ratio, GEV distribution, Monte Carlo techniques, Relative root mean square error, Relative bias, Relative reduction, Relative efficiency, Regional frequency analysis, Design drought rainfall map

I. 서 론

본 연구에서는 강우관측지점별 월강우량을 사용하여 부분기간치계열인 강우지속기간별로 이동누가우량계열을 작성하여 가뭄우량자료(Yoon, 1972; 이하 실측가뭄우량이라 한다) 계열을 강우지속기간별로 구성한 후 실측가뭄우량을 사용하여 강우관측지점별 지속기간별 빈도별 가뭄우량을 유도함으로써 각종 댐의 가뭄대책 방안과 방재운영지침을 수립할 수 있는 기반을 마련코자 하였다.

이를 위해 본 연구의 제I보(Lee *et al*, 2003)에서는 L-모멘트법(Hosking *et al*, 1993, 1997)에 의한 지점 및 지역빈도분석에 따른 빈도별 가뭄우량의 추정에 관한 연구로서, 우리나라 57개 강우관측지점의 강우자료의 지속기간별 실측가뭄우량을 구성하여 Cluster 분석에 의한 합리적인 지역화를 시도하였다. 이어서 Cluster 분석에 의해 지역화된 지역에 대한 지속기간별 실측가뭄우량자료의 적정 확률분포형 선정을 위해 4가지 확률분포형을 적용하였으며 적용 확률분포형의 L-모멘트비를 산정하고 L-모멘트비도와 K-S 검정에 의해 적정 확률분포형을 선정하였다. 또한, 강우관측지점별 지속기간별 실측가뭄우량의 지점 및 지역빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량을 유도하고 Monte Carlo 기법에 의해 모의발생된 강우관측지점별 지속기간별 가뭄우량의 지점 및 지역빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량을 유도하였다. 실측가뭄우량과 모의발생된 가뭄우량의 지점 및 지역빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량의 비교분석을 실시한 결과 지역빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량이 적정한 것으로 판정되었다.

본 II보는 확률가중모멘트의 차수를 증가시킨 고차확률가중모멘트인 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법(일명 LH-모멘트법)에 의한 지점 및 지역빈도분석과 Arc-View에 의한 빈도별 가뭄우량의 추정에 관한 연구로서 제I보에 적용한 것과 동일한 4가지 확률분포형을 사용한다. 그리고 적용된 확률분포형들의 실측가뭄우량자료에 대한 LH-모멘트비를 산정하고 LH-모멘트비도와 K-S 검정에 의한 적정한 확률분포형을 선정한다. 이어서 강우관측지점별 지속기간별 실측가뭄우량의 지점 및 지역빈도분석

에 의한 빈도별 가뭄우량을 유도하고 Monte Carlo 기법에 의해 모의발생된 강우관측지점별 지속기간별 가뭄우량의 지점 및 지역빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량을 유도한다. 또한, 실측가뭄우량과 모의발생된 가뭄우량의 지점 및 지역빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량의 비교분석을 실시한다. 본 II보에서는 제I보에서 결과된 빈도별 적정 가뭄우량과 본 II보에서 결과된 빈도별 적정 가뭄우량과의 비교분석에 의해 최종적으로 지역별 지속기간별로 신빙성 높은 빈도별 가뭄우량을 제시하고 또한, 이를 Arc-View를 이용하여 전국을 망라한 지속기간별 빈도별 가뭄우량도를 작성하고자 한다.

II. 확률가중모멘트와 L-모멘트의 이론적 분석

본 연구에서 지속기간에 따른 빈도별 가뭄우량 추정을 위해 적용한 확률분포형은 Gumbel(GUM), Generalized extreme value(GEV), Generalized logistic(GLO) 및 Generalized pareto(GPA)이다. 이들 4개 확률분포형의 매개변수 추정방법인 확률가중모멘트와 LH-모멘트의 관계는 Lee(2001) 등, Maeng(2002) 및 Wang(1997a, 1997b)에 의해 언급되었다.

본 II보에서는 LH-모멘트의 차수가 1~4까지 증가하는데 따른 L1, L2, L3 및 L4-모멘트에 의해 적용 확률분포형의 매개변수를 추정하였으며, 이들 LH-모멘트법에 의한 적용 확률분포형의 매개변수 추정식은 Maeng(2002) 및 Wang(1997b)에 의해 정리되었다.

III. 강우자료와 분석방법

1. 강우자료

LH-모멘트법에 의한 지점 및 지역빈도분석을 수행하기 위해 구성된 강우관측지점별 지속기간별 실측가뭄우량자료 계열은 본 연구의 제I보(Lee *et al*, 2003)에서 언급한 바와 같이 강우관측자료의 신빙도가 높은 기상청 산하 57개 기상대 및 기상관측소의 강우자료를 선정하여 구성하였다.

2. 분석방법

가. 본 연구에서 적용될 확률분포형은 제I보에서 지역화된 지역에 대한 지속기간별 실측가뭄우량의 적정 분포형을 선정하기 위해 적용된 GUM, GEV, GLO 및 GPA 확률분포형들을 대상으로 한다.

나. 지역별 지속기간 1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33 및 36 개월에 따른 실측가뭄우량에 적용된 확률분포형들의 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비(LH-모멘트비)를 각각 산정한다.

다. '가'항에서 적용된 확률분포형들을 대상으로 L1, L2, L3, L4-모멘트비도 및 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정에 의해 적정한 확률분포형을 선정한다.

라. 선정된 확률분포형의 매개변수를 지점 및 지역별로 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 산정한다.

마. 매개변수 유도방법별로 적정 확률분포형에 의한 강우관측지점별 지속기간별 실측가뭄우량의 지점 및 지역빈도분석을 통해 빈도별 가뭄우량을 유도한다.

바. 본 연구의 제I보에서 5개의 동질한 권역으로 분류된 강우관측지점별 지속기간별 실측가뭄우량을 Monte Carlo 기법에 의해 모의발생하고, 모의발생된 가뭄우량에 대한 지점 및 지역빈도분석을 실시하여 빈도별 가뭄우량을 유도한다.

사. 적정 확률분포형에 의해 유도된 실측가뭄우량과 모의발생된 가뭄우량의 지점 및 지역빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량의 비교분석을 상대평균제곱근오차(relative root mean square error, RRMSE), 상대편의(relative bias, RBIAS) 및 상대감소율(relative reduction, RR)에 의해 수행한다.

아. 본 연구의 제I보에서 적용한 L-모멘트법과 본 II보에서 적용한 L1, L2, L3, L4-모멘트법에 의해 유도된 지점 및 지역빈도분석의 결과인 빈도별 가뭄우량을 비교 분석하여 최종적으로 적정한 매개변수 추정법과 빈도분석법에 의한 빈도별 가뭄우량을 제시한다.

자. 유도된 빈도별 적정 가뭄우량을 GIS Tool인 Arc View를 이용하여 전국에 걸쳐 지역별, 지속기간별 빈도별 가뭄우량도를 작성한다.

Ⅳ. 결과 및 고찰

1. 적정 확률분포형의 선정

본 연구에서는 강우관측지점별 지속기간별 실측가뭄우량의 적정 확률분포형을 선정하기 위하여 도식적 방법인 LH-모멘트비도와 비매개변수적 방법인 Kolmogorov-Smirnov 검정 방법을 적용하였다.

5개 지역으로 구분된 강우관측지점들의 지속기간별 실측가뭄우량에 대한 적정 확률분포형의 선정은 LH-모멘트비의 산정과 함께 LH-모멘트비도를 도시함으로써 이루어질 수 있다.

본 분석에서 사용된 GUM, GEV, GLO 및 GPA 분포형의 L1, L2, L3 및 L4-왜곡도와 L1, L2, L3 및 L4-첨예도의 관계인 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비도(LH-모멘트비도)를 도시하고, 각 지역별 지속기간별 실측가뭄우량의 L1, L2, L3 및 L4-왜곡도와 L1, L2, L3 및 L4-첨예도를 구하여 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비도를 작성하여 이를 근거로 적정한 확률분포형을 선정한다.

지역별 및 지속기간별 대상지점에 대한 실측가뭄우량의 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비인 L1, L2, L3 및 L4-왜곡도와 L1, L2, L3 및 L4-첨예도를 구하였고 표본 예로 L1 및 L4-모멘트비도를 작성한 결과는 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다.

Fig. 1 및 Fig. 2에 나타난 바와 같이 지역별 지속기간별 실측가뭄우량 계열인 70개의 L1 및 L4-왜곡도와 L1 및 L4-첨예도의 무차원 L1 및 L4-모멘트 플로팅 포지션점이 GEV 분포형의 곡선에 고루 산재해 있고 L1-왜곡도를 평균한 값이 0.0131, L4-왜곡도를 평균한 값이 0.0381로써 타 확률분포형의 L1 및 L4-모멘트비 곡선 보다 GEV 분포형의 L1 및 L4-모멘트비 곡선에 보다 근접되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 결과는 L2 및 L3-모멘트비도에서도 동일하게 나타났다.

결론적으로, 지역별 지속기간별 70개의 실측가뭄우량 계열에 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법을 적용하여 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비를 플로팅한 결과 적용된 4개 분포형 중 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 보다 적정한 확률분포형으로 나타났다.

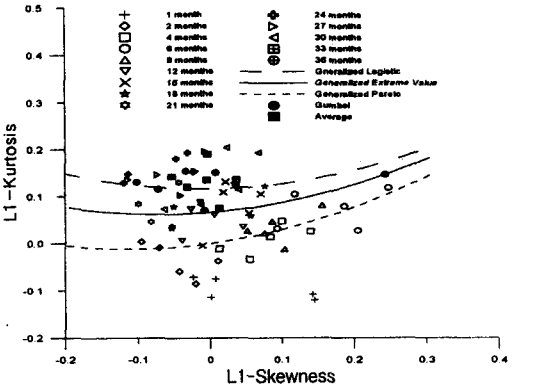


Fig. 1 Identification of distributions by L1-skewness and L1-kurtosis

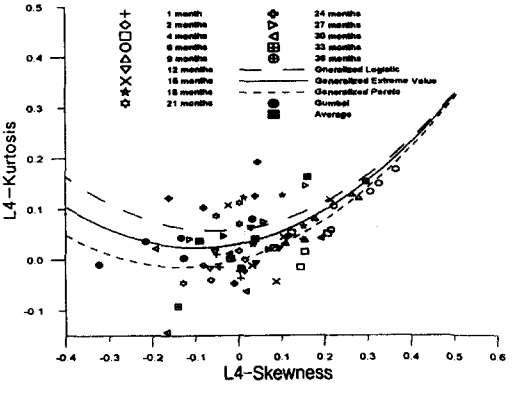


Fig. 2 Identification of distributions by L4-skewness and L4-kurtosis

또한, 강우관측지점들의 지속기간별 실측가뭄우량에 대한 적정 확률분포형을 선정하기 위해 적용된 4개의 확률분포형의 매개변수를 L1, L2 L3 및 L4-모멘트법에 의해 산정하고 K-S 검정을 실시한 결과, 4개 적용 확률분포형 중 GEV 분포형에서 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법의 K-S 한계치가 5% 유의수준치보다 작게 산정되었다.

따라서, 강우관측지점별 지속기간별 실측가뭄우량에 대한 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법의 K-S 검정 결과 역시 GEV 분포가 적정 확률분포형으로 판정되었다.

본 분석의 결과를 종합하면, LH-모멘트비도에 의한 검정에서는 적용된 4개 확률분포형 중 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 적정한 것으로 검정되었고 K-S 검정에서도 역시 적용된 확률분포형 중 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 적정한 것으로 검정되었다. 이와 같은 사실에 비추어 양 방법에서 유일하게 적정 확률분포형으로 판정된 GEV 분포형을 최종적으로 선정하였다.

2. 적정 확률분포형의 매개변수 추정

본 분석에서는 적정 확률분포모형으로 선정된 GEV 분포형에 대한 지역별 지속기간별 빈도별 실측가뭄우량을 지점 및 지점빈도분석 방법에 의해 유도하기 위해 GEV 분포형의 매개변수인 척도매개변수 α, 위치매개변수 ξ 및 형상매개변수 k 를 LH-모멘트법에 의하여 산정하였다.

3. 적정 확률분포형에 의한 실측치의 지점 및 지역빈도분석

LH-모멘트법에 의해 추정된 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 강우관측지점들에 대한 지점빈도분석과 지역빈도분석을 본 연구 제I보의 식 (12) 및 식 (13)에 의해 실시하고 각 경우에 대하여 빈도별 가뭄우량을 유도하였다.

LH-모멘트법과 지점빈도분석에 의해 지점별, 지속기간별 및 빈도별 가뭄우량을 구하였으며 표본예로, 원주, 강릉, 군산, 합천 및 장흥 강우관측지점별 L1 및 L4-모멘트법에 의한 12개월 지속기간의 빈도별 가뭄우량은 Table 1과 같다. L1 및 L4-모멘트법에 의한 강우관측지점별 12개월에 대한 빈도별 가뭄우량은 Table 1에서 보는 바와 같이 빈도가 커질수록 가뭄우량의 값이 급격히 감소하거나 0의 값으로 추정되었다. 이러한 결과의 예로서, L4-모멘트법에 의한 강우관측지점별 지속기간 12개월에 대한 빈도별 가뭄우량인 원주관측소의 2년과 5년 빈도 가뭄우량간의 차이가 큰 것은 해당 강우관측지점의 지속기간별 실측가뭄우량계열

Table 1 At-site quantiles following the return period for 12 months consecutive duration of GEV distribution by point frequency analysis (Unit : mm)

Method	Station	Return period (year)									
		2	5	10	20	25	30	35	40	45	50
L1-moment	Wonju	1,072.55	885.22	774.16	676.93	647.76	624.58	605.39	589.06	574.86	562.34
	Gangreung	1,098.66	915.08	808.31	715.79	688.19	666.29	648.20	632.83	619.47	607.71
	Gunsan	946.68	719.44	577.57	449.84	410.96	379.87	354.03	331.95	312.69	295.66
	Hapcheon	976.42	664.02	428.84	194.30	118.90	57.32	5.29	0.00	0.00	0.00
	Jangheung	1,078.94	845.59	714.72	603.49	570.66	544.71	523.35	505.24	489.53	475.73
L4-moment	Wonju	1,071.64	495.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gangreung	1,094.87	742.37	467.54	188.08	97.32	22.89	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gunsan	948.62	592.27	315.65	35.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Hapcheon	994.78	642.76	344.18	25.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Jangheung	1,071.61	626.03	294.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 2 At-site quantiles following the return period for 12 months consecutive duration of GEV distribution by regional frequency analysis (Unit : mm)

Method	Station	Return period (year)										Region
		2	5	10	20	25	30	35	40	45	50	
L1-moment	Wonju	1,062.20	879.26	777.86	692.21	667.01	647.12	630.76	616.90	604.89	594.34	I
	Gangreung	1,097.38	926.40	832.54	753.67	730.53	712.29	697.29	684.60	673.61	663.96	II
	Gunsan	949.11	732.97	597.70	475.76	438.61	408.90	384.20	363.10	344.68	328.39	III
	Hapcheon	932.07	768.67	673.86	591.82	567.36	547.97	531.95	518.34	506.51	496.09	IV
	Jangheung	1,084.22	902.52	804.46	722.80	698.96	680.20	664.80	651.79	640.52	630.64	V
L4-moment	Wonju	1,055.94	746.98	533.48	330.35	266.67	215.16	171.96	134.80	102.17	73.17	I
	Gangreung	1,093.22	885.69	763.08	655.93	623.82	598.31	577.20	559.24	543.63	529.86	II
	Gunsan	950.35	687.57	506.93	335.55	281.89	238.53	202.18	170.91	143.47	119.09	III
	Hapcheon	932.50	747.63	634.22	533.07	502.44	477.99	457.69	440.38	425.29	411.97	IV
	Jangheung	1,082.83	892.73	788.48	700.93	675.25	655.01	638.37	624.29	612.09	601.38	V

간의 편차가 크기 때문이며, 또한 10년 빈도 이상 가뭄우량이 0으로 나타난 것은 해당 강우관측지점의 실측가뭄우량계열을 사용한 지점빈도분석 결과에서 가뭄우량의 값이 음의 값으로 산정 되었기 때문이다.

LH-모멘트법과 지점빈도분석에 의한 강우관측지점별 지속기간별 빈도별 가뭄우량은 일부 강우관측지점에서 LH-모멘트의 차수가 증가함에 따라 동일 지속기간에 대한 빈도별 가뭄우량이 큰 빈도년에서 0의 값을 많이 나타내고 있다. 이러한 원인은 LH-모멘트의 차수가 증가함에 따라 강우관측지점별 지속기간별로 유도된 큰 빈도년의 가뭄우량이 해당 강우관측지점의 지속기간별 실측가뭄우량 자료에 근접하여 추정되지 않았기 때문이다. 그리고 이러한 현상은 일부 강우관측지점별로 1, 2, 4, 6 및 9개월 지속기간에 대한 빈도별 가뭄우량에서도 동일하게 나타났다.

또한, LH-모멘트법과 지역빈도분석에 의해 지점별, 지속기간별 및 빈도별 가뭄우량을 구하였으며 표본 예로, 동질성으로 구분된 지역내 원주, 강릉, 군산, 합천 및 장흥 강우관측지점별 L1 및 L4-모멘트법에 의한 12개월 지속기간의 빈도별 가뭄우량은 Table 2와 같다.

지역빈도분석 결과에서는 지점빈도분석의 결과와 달리 강우관측지점별 12개월 지속기간에 대한 빈도별 가뭄우량간의 편차가 크거나 빈도가 커질수록 가뭄우량이 0으로 나타난 것은 없었다. 이러한 현상은 실측가뭄우량값이 극히 작은 강우관측지점별 지속기간 1개월 및 2개월 실측가뭄우량계열에 의한 지역빈도분석 결과를 제외하고 강우관측지점별 타 지속기간에서도 동일하게 나타났다.

따라서, 이와 같은 결과는 지점빈도분석에 의한 지점별, 지속기간별 및 빈도별 가뭄우량보다 지역빈도분석에 의한 지점별, 지속기간별 및 빈도별 가뭄우량이 수공구조물 설계시 현실적으로 사용하기에 적절할 것으로 사료된다.

4. 모의발생된 가뭄우량의 지점 및 지역빈도분석

본 분석에서는 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 Monte Carlo 기법에 의해 강우관측지점별로 표본크기(sample size)를 20, 40, 60 및 100으로 구분하고 각각의 경우에 대하여 1,000회 모의발생한 가뭄우량(이하 모의발생치라 한다.)을 얻었으며, 이들 모의발생치를 이용하여 지점 및 지역빈도분석을 수행함으로서 지속기간에 따른 빈도별 가뭄우량을 산정하였다.

5. 실측치 및 모의발생치에 대한 지점 및 지역 빈도분석 결과 비교

가. 실측치 및 모의발생치에 의한 빈도별 가뭄우량의 비교

본 분석에서는 본 연구 제I보의 상대평균제곱근오차 및 상대편의인 식 (14) 및 식(15)을 사용하여 실측치와 모의발생치에 의해 추정된 각각의 빈도별 가뭄우량을 지점빈도분석과 지역빈도분석에 의한 지속기간에 따른 빈도별 가뭄우량의 적정성 여부에 관한 비교분석을 수행하였다.

본 분석에서는 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 각각의 강우관측지점별, 지역별, 지속기간별 및 표본의 크기별로 실측치의 빈도별 가뭄우량에 대한 모의발생치의 빈도별 가뭄우량간의 상대평균제곱근오차 및 상대편의를 구하였으며, 이들 결과에 대한 전반적인 비교 분석을 위해 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역별, 지속기간별, 빈도별 및 표본의 크기별로 지점빈도분석과 지역빈도분석에 의해 해당되는 상대평균제곱근오차와 상대편의의 평균값을 산정하였다.

또한, 강우관측지점별로 실측된 가뭄우량과 L1 및 L4-모멘트법에 따라 모의발생된 가뭄우량의 지점빈도분석과 지역빈도분석에 의해 추정된 각각의 지속기간에 따른 표본크기별 빈도별 가뭄우량별로 상대평균제곱근오차와 상대편의간의 관계를 도시하였으며, 표본 예로 'III' 지역에 속하는 군산 강우관측지점의 12개월 지속기간, L1과 L4-모멘트법에 대해 도시한 결과는 Fig. 3 및 Fig 4와 같다.

그리고, 마지막으로 본 연구 제I보의 식 (16)에 의해 상대 감소율을 산정함으로서 우리나라의 전역에 걸친 빈도분석 방법과 지속기간별 빈도별 적정 가뭄우량의 제시가 가능하게 된다.

지점빈도분석과 지역빈도분석간의 상대감소율을 지역별, 지속기간별 및 표본크기별로 구하였으며 표본 예로 L1 및 L4-모멘트법에 따른 지역별 표본크기 20과 100별로 12개월 지속기간에 대한 상대감소율을 구한 결과는 Table 3 및 Table 4와 같다.

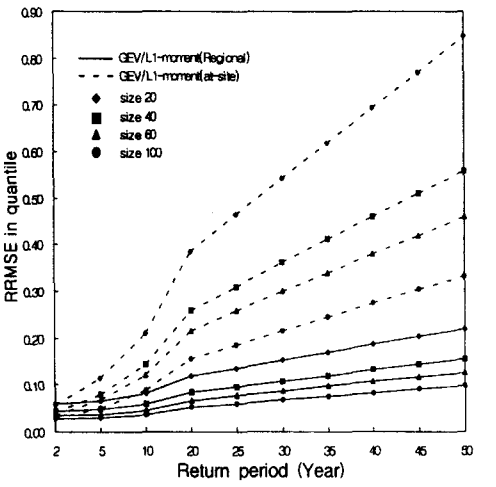


Fig. 3 Comparison of regional and at-site procedures for 12 months consecutive duration at Gunsan in region III using L1-Moments

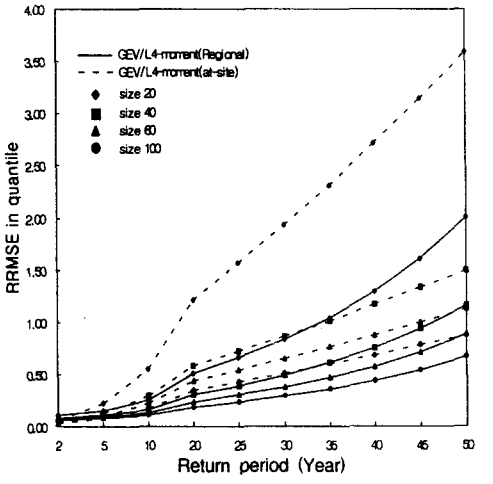


Fig. 4 Comparison of regional and at-site procedures for 12 months consecutive duration at Gunsan in region III using L4-Moments

L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역별, 지속기간별, 빈도별 및 표본의 크기별로 지점빈도분석과 지역빈도분석에 의한 가뭄우량의 비교분석을 상대평균제곱근오차와 상대편의에 의해 수행한 결

Table 3 Relative reduction(%) in RRMSE by region and at-site for 12 months consecutive duration of GEV distribution using L1-Moments

Simulated sample size	Region	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{25}	Q_{30}	Q_{35}	Q_{40}	Q_{45}	Q_{50}
20	I	6.44	35.62	53.87	63.59	65.47	66.72	67.57	68.21	68.70	69.08
	II	5.34	22.89	33.44	38.65	39.61	40.26	40.68	41.04	41.27	41.48
	III	-2.19	39.30	55.70	61.88	62.67	63.03	63.17	63.18	63.11	62.98
	IV	-3.47	33.41	48.07	53.11	53.50	53.62	53.60	53.50	53.37	53.22
	V	6.42	33.61	51.28	60.58	62.38	63.56	64.40	65.02	65.50	65.88
100	I	-0.68	29.17	48.27	58.97	61.12	62.52	63.54	64.30	64.85	65.34
	II	0.67	20.02	31.74	37.28	38.31	38.92	39.30	39.57	39.77	39.89
	III	-5.69	36.90	52.21	57.29	57.69	57.77	57.61	57.36	57.06	56.72
	IV	-19.48	26.69	43.85	47.95	47.60	47.16	46.60	46.07	45.49	45.01
	V	-2.37	27.05	45.31	54.96	56.82	58.05	58.84	59.48	59.94	60.30

Table 4 Relative reduction(%) in RRMSE by region and at-site for 12 months consecutive duration of GEV distribution using L4-Moments

Simulated sample size	Region	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{25}	Q_{30}	Q_{35}	Q_{40}	Q_{45}	Q_{50}
20	I	-86.15	37.23	65.84	78.34	80.97	82.81	84.19	85.27	86.16	86.90
	II	-4.47	53.84	58.58	57.42	56.60	55.80	55.05	54.35	53.69	53.06
	III	-62.03	39.56	55.08	57.49	56.64	55.14	53.00	50.14	46.37	41.36
	IV	-72.91	29.42	48.12	52.38	52.55	52.41	52.13	51.77	51.36	50.93
	V	-70.63	31.90	51.91	58.85	60.10	60.93	61.52	61.97	62.32	62.60
100	I	-145.25	-0.64	39.01	58.20	62.42	65.44	67.73	69.57	71.09	72.36
	II	-99.80	4.72	23.34	23.69	21.95	20.03	18.09	16.23	14.41	12.70
	III	-137.23	13.51	42.46	46.83	45.16	42.47	38.90	34.34	28.50	20.90
	IV	-173.04	-33.61	6.25	19.75	21.18	21.64	21.52	21.12	20.57	19.86
	V	-165.17	-30.85	6.55	20.38	22.51	23.82	24.57	25.10	25.41	25.58

과를 보면 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지점빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차와 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차는 각 지역별로 재현기간이 커짐에 따라 증가한 반면 모의발생의 표본크기가 증가함에 따라 감소되는 양상을 나타내었다. 그리고, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지점빈도분석에 의한 상대편의와 지역빈도분석에 의한 상대편의는 각 지역별로 재현기간이 클수록 상대편의의 절대값이 대체적으로 증가하고 모의발생의 표본크기가 증가함에 따라 대체적으로 감소함을 나타내었다. 또한, L1 및 L2, L3, L4-모멘트법의 적용 결과에서 공히 동일한 지역, 동일한 표본자료 및 동일한 재현기간에서 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 지점빈도분석에 의한 것보다 대부분 작게 산정되었으며 이러한 결과는 표본의 크기가 크고 빈도가 커질수록 작게 산정되는 경향을 나타내었다.

이와 더불어, Fig. 3 및 Fig 4의 결과에서 보는 바와 같이 L1 및 L4-모멘트법의 적용 결과 2가지 방법 모두 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 지점빈도분석에 의한 것보다 작게 나타났으며, L2 및 L3 모멘트법에서도 같은 결과를 가져왔다. 또한 이러한 결과들은 표본의 크기가 커질수록 작게 산정되는 경향을 나타내었다.

L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 지점빈도분석에 의한 것에 비해 상대적으로 감소한 비율을 분석한 결과를 보면 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에서 공히 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 지점빈도분석에 의한 것보다 상대 감소율이 증가함을 나타내었다. 이러한 결과는 지역빈도분석에 의한 지역별 지속기간별 빈도별 가뭄우량이 지점빈도분석에 의한 것보다 신빙도가 높음을 나타낸다. 이와 같은 상기의 결과는 타 지속기간에서도 역시 동일한 양상을 보여주었다.

따라서, 이상의 결과를 종합해 볼 때 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 가뭄우량이 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지점빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량 보다 신빙도가 높음을 보여 주었다.

나. 실측치 및 모의발생치의 L 및 LH-모멘트 차수에 따른 적정 지역빈도분석 방법의 선정

본 연구에서 제I보의 결과에 의하면 L-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 지속기간별 빈도별 가뭄우량이 L-모멘트법에 따른 지점빈도분석에 의한 지속기간별 빈도별 가뭄우량 보다 신빙도가 높음이 입증되었고 본 II보의 결과에 의하면 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 지속기간별 빈도별 가뭄우량이 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지점빈도분석에 의한 지속기간별 빈도별 가뭄우량 보다 신빙도가 높음이 입증되었다.

따라서, 본 분석에서는 L, L1, L2, L3, L4-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 지속기간별 빈도별 가뭄우량들의 상대적인 우열을 판정하기 위한 척도인 상대효율성을 산정하여 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법 중 적정 매개변수 추정방법을 선정하기로 한다.

상대효율성, ϕ는 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 계산된 상대평균제곱근오차가 L-모멘트법에 의한 상대평균제곱근오차에 비해 상대적인 효율성이 존재하는지를 나타내는 척도이다. 따라서, 상대효율성은 다음의 식 (1)과 같다.

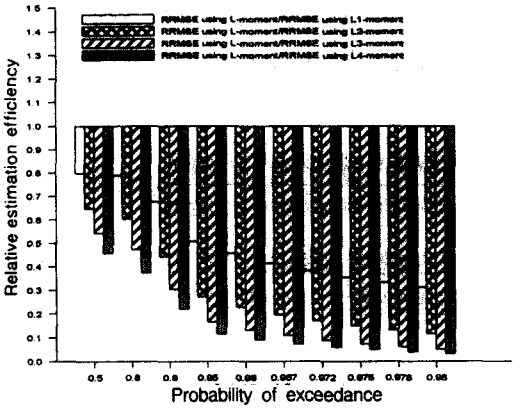
$$\phi = \frac{\text{RRMSE in estimate using L-moment}}{\text{RRMSE in estimate using Li-moment}} \quad (\text{Li=L1,L2,L3,L4}) \quad (1)$$

L-모멘트법에 대한 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법의 상대효율성을 지역별, 지속기간별, 표본크기별 및 빈도별로 구하였고 표본 예로 'III' 지역에 대한 12개월 지속기간에 대하여 표본크기 20과 100을 도시한 결과는 Fig. 5와 같다.

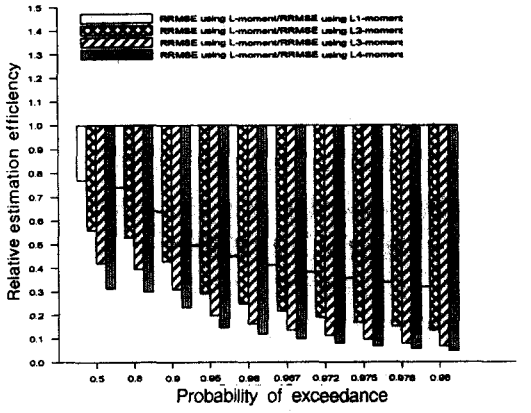
Fig. 5에서 상대효율성의 값, ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 및 ϕ_4는 대체적으로 1 보다 작은 값을 나타내고 있으며, ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 및 ϕ_4의 값의 변화를 보면 ϕ_1의 값보다는 ϕ_2의 값이, ϕ_2의 값보다는 ϕ_3의 값이, ϕ_3의 값보다는 ϕ_4의 값이 점차적으로 작아지는 경향을 나타내었다. 이는 곧 L4-모멘트법 보다는 L3-모멘트법이, L3-모멘트법 보다는 L2-모멘트법이, L2-모멘트법 보다는 L1-모멘트법이, L1-모멘트법 보다는 L-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 가뭄우량이 보다 효율성이 높음을 의미한다.

Fig 5와 같은 결과는 타 지역별, 지속기간별, 표본크기별 및 빈도별로 구한 상대효율성에서도 대체적으로 동일한 양상을 나타내었다.

따라서, L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 가뭄우량들의 상대적인 우열을 판정한 척도인 상대효율성의 결과에 의하면 전반적으로 L-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 가뭄우량이 타 방법에 의해 유도된 빈도별 가뭄우량 보다 신빙도가 높음을 보여 주었다.



(a) Sample size 20



(b) Sample size 100

Fig. 5 Comparison of relative efficiency estimated by GEV distribution using method of LH-moment for 12 months consecutive duration in region III

다. 지역별 지속기간별 빈도별 적정 가뭄우량의 추정

우리나라의 지역별 지속기간에 따른 빈도별 적정한 가뭄우량의 유도는 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의한 지역빈도분석보다는 L-모멘트법에 의한 지역빈도분석에 의한 것이 보다 신빙성이 높음이 인정되었다. 따라서, L-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 지속기간별 및 빈도별 가뭄우량을 산정하였다. 표본 예로 지속기간 1, 2, 4, 6, 9, 12, 24 및 36개월에 따른 지역별 빈도별 가뭄우량은 Table 5와 같고 지속기간 6개월 및 12개월에 따른 지역별 가뭄우량을 정규확률지상에 도시한 결과는 본 연구에서 제I보의 Fig. 5와 같다.

이상의 결과를 종합해 보면 지역별로 지속기간이 커지고 재현기간이 작을수록 전반적으로 가뭄우량의 크기가 커짐을 나타내었다. 또한, 지역화된 5개 지역에 대한 빈도별 가뭄우량을 상대적으로 비교해 보면 'II' 지역인 동해 북부 지방과 'V' 지역인 경남 및 전남 남해안 지방이 타지역에 비해 높은 빈도별 가뭄우량을 보여주고 있는 반면 'IV' 지역인 경남 북부일원과 경북 지방은 타 지역에 비해 낮은 빈도별 가뭄우량을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 타 지속기간에서도 역시 동일한 양상을 보여주었다.

6. GIS 기법에 의한 지속기간별 빈도별 가뭄우량도 작성

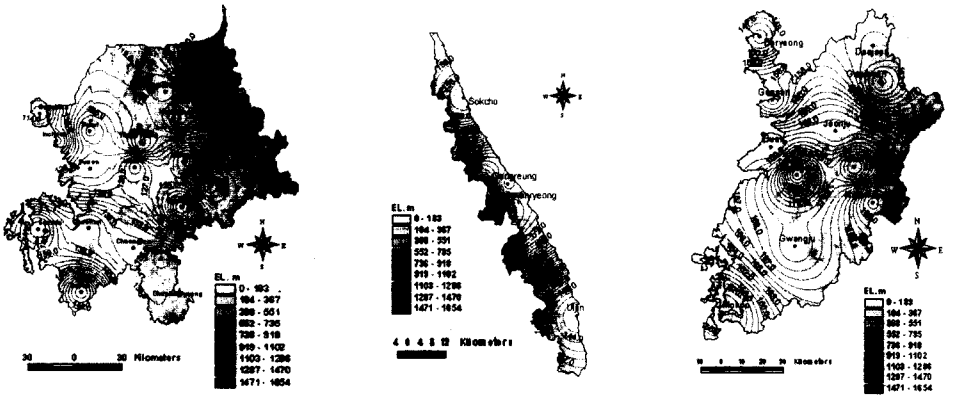
우리나라의 지역별 지속기간에 따른 빈도별 적정한 가뭄우량은 L-모멘트법에 의한 지역빈도분석에 의한 것이라고 판정되었다. 이러한 결과를 사용하여 본 분석에서는 GIS 기법을 이용한 강우자료의 공간적인 분포 양상을 분석함으로써 장차 해당 지역에서의 수공구조물 설계시 필요한 빈도별 가뭄우량을 제공하고자 한다.

본 연구에서는 점자료의 공간분포를 이해 전통적으로 널리 사용되고 있는 역거리가중법에 의해 지역별 지속기간별 빈도별 가뭄우량의 공간 분포를 시도하였으며, 표본 예로서 우리나라 전역의 지속기간 6개월에 대한 10년 빈도 가뭄우량 분포를 도시한 결과는 Fig. 6과 같다.

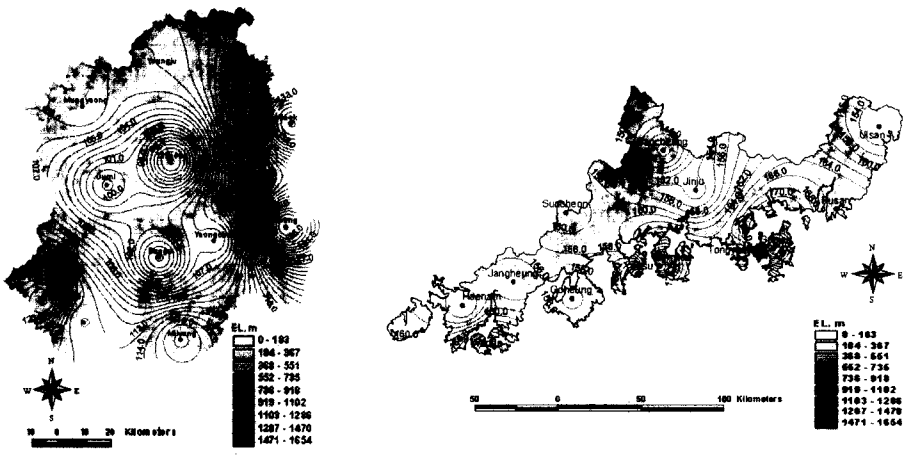
따라서, 미계측 지점에서의 수공구조물 설계시 해당지역에서 필요한 빈도별 가뭄우량은 본 연구를 통해 작성된 빈도별 가뭄우량도에 의해 구해질 수 있다.

Table 5 Regional quantiles for the different return periods, consecutive durations and regions in GEV distribution

Return period (Year)	Consecutive duration (months)	Region I RQ (mm)	Region II RQ (mm)	Region III RQ (mm)	Region IV RQ (mm)	Region V RQ (mm)
5	1	2.84	2.07	5.11	0.69	1.29
	2	16.89	20.62	27.91	10.48	18.06
	4	65.75	94.75	91.30	54.41	78.33
	6	143.61	197.45	184.63	128.82	182.94
	9	362.83	448.46	424.51	368.70	483.65
	12	814.60	887.15	791.43	731.72	902.00
	24	1940.39	2075.39	1786.69	1670.99	2093.48
	36	3100.76	3349.09	2913.38	2557.32	3221.88
10	1	1.66	0.70	3.18	0.08	0.34
	2	11.68	14.65	21.81	5.85	11.32
	4	54.17	70.93	75.16	41.17	62.27
	6	127.81	164.81	159.62	108.99	154.43
	9	323.99	390.33	373.82	320.98	424.77
	12	744.48	807.24	687.58	653.05	803.18
	24	1815.56	1942.52	1637.62	1513.82	1888.42
	36	2936.50	3172.06	2710.98	2374.43	3004.66
20	1	0.71	0.00	1.61	0.00	0.00
	2	7.32	9.89	16.64	2.04	5.85
	4	45.28	52.39	62.30	31.29	50.04
	6	116.62	141.23	140.54	94.53	132.95
	9	295.26	346.20	334.98	283.74	379.41
	12	689.59	743.34	602.39	588.99	723.28
	24	1712.64	1834.01	1516.48	1379.08	1711.97
	36	2802.19	3030.68	2541.75	2218.76	2829.63
40	1	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00
	2	3.52	5.89	12.08	0.00	1.19
	4	38.02	37.07	51.48	23.39	40.12
	6	108.02	122.82	125.00	83.16	115.62
	9	272.42	310.42	303.27	252.93	342.22
	12	644.05	689.45	529.12	534.21	655.32
	24	1623.81	1741.01	1413.07	1259.26	1554.62
	36	2686.97	2911.54	2394.10	2081.09	2681.15
50	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	2.39	4.72	10.71	0.00	0.00
	4	35.93	32.63	48.32	21.15	37.27
	6	105.63	117.66	120.54	79.97	110.68
	9	265.95	300.17	294.16	244.01	331.51
	12	630.85	673.68	507.44	518.06	635.34
	24	1597.48	1713.55	1382.60	1223.15	1507.11
	36	2652.93	2876.70	2350.07	2039.72	2637.56



(a) Region I (b) Region II (c) Region III



(d) Region IV (e) Region V

Fig. 6 Maps of design drought rainfall according to 10-yr return period of 6 months consecutive duration for five regions

V. 결 론

본 연구에서는 우리나라 전역에 걸쳐 비교적 장기간 관측되고 관측 정밀도가 높은 강우관측지점을 선정하여 지속기간별 실측가뭄우량계열을 구성하고 대상 강우관측지점의 지형적, 기후적 특성을 변수화하여 지형적 및 기후학적으로 동성인 권역으로 나누는 지역화를 시도하였다. 이어서 지역별 지속기간별 실측가뭄우량에 적합한 확률분포형을 선정한 다음 고차확률가중모멘트의 선형조합인 L 및 LH-모멘트법에 의해 지점 및 지역빈도분석을 시도함으로서 각각에 대한 빈도별 가뭄우량을 유도하고 이를 비교 분석함으로서 적정 빈도분석 방법을 제시하고 이에 의한 지역별 지속기간에 따른 빈도별 가뭄우량과 가뭄우량도를 유도하였으며 이들의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 강우관측지점에 대한 지속기간별 실측가뭄우량의 적정 확률분포형을 선정하기 위해 GUM, GEV, GLO 및 GPA의 4개 분포형을 대상으로 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비도, Kolmogorov-Smirnov

검정 결과 최종적으로 GEV 분포형이 적정 확률분포형으로 판정되었다.

2. 지역 및 지점별 지속기간에 따른 실측가뭄우량에 적합한 확률분포형인 GEV 분포형의 매개변수를 L1, L2, L3, L4-모멘트법에 의해 산정하고 각각에 대한 빈도별 가뭄우량을 유도하였다.

3. 제I보에서 5개의 동질성 권역으로 분류된 지속기간별 실측가뭄우량을 Monte Carlo 모의기법에 의해 표본크기 20, 40, 60 및 100개로 하여 1,000회 모의발생하였다.

4. 매개변수 추정방법별로 실측치와 모의발생치의 지점 및 지역빈도분석에 의한 각각의 빈도별 가뭄우량을 유도하고 이들간의 상대평균제곱근오차와 상대편의에 의한 오차분석 및 상대적인 감소율 분석을 실시한 결과 L1, L2, L3, L4-모멘트법에서 공히 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 가뭄우량이 지점빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량 보다 신빙도가 높음을 나타내었다.

5. 본 연구의 제I보에서 적용한 L-모멘트법과 본 II보에서 적용한 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 지역빈도분석에 의한 상대효율성을 분석한 결과 L-모멘트법과 지역빈도분석에 의한 가뭄우량이 타 방법에 의한 것보다 신빙도가 높게 판정되었다.

6. 이상에서 적정한 방법으로 판정된 GEV 분포형과 L-모멘트법 및 지역빈도분석에 의거한 5개 지역별 지속기간별 및 빈도별 가뭄우량을 유도하였다.

7. GEV 분포형과 L-모멘트법 및 지역빈도분석에 의해 추정된 지역별 지속기간별 빈도별 가뭄우량의 공간 분포인 가뭄우량도를 보간기법인 역거리가중법과 GIS 기법의 하나인 Arc View에 의해 작성하였다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(No. R01-2002-000-00036-0) 지원으로 수행되었음.

References

1. Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. 1993. Some Statistics useful in Regional Frequency Analysis. *Water Resources Research* 29(2): 271 ~ 281.
2. Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. 1997. *Regional Frequency Analysis*. Cambridge CB2 1RP, United Kingdom: Cambridge University Press.
3. Lee, S. H., J. H. Park, K. S. Ryoo, H. K. Jee, T. K. Jeon and Y. H. Shin. 2001. Estimation of Design Rainfall by the Regional Frequency Analysis using Higher Probability Weighted Moments and GIS Techniques(II). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(5): 70~82. (in Korean)
4. Lee, S. H., S. S. Yoon, S. J. Maeng, K. S. Ryoo and H. K. Joo. 2003. Estimation of Drought Rainfall by Regional Frequency Analysis using L and LH-Moments(I). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(5): 97~109. (in Korean)
5. Maeng, S. J. 2002. Estimation of Design Flood by the Determination of Best Fitting Order for LH-Moments. Ph. D. Thesis. Cheongju, Chungbuk Prov.: Chungbuk National University. (in Korean)
6. Wang, Q. J. 1997a. LH Moments for Statistical Analysis of Extreme Events. *Water Resources Research* 33(2): 2841~2848
7. Wang, Q. J. 1997b. Using Higher Probability Weighted Moments for Flood Frequency Analysis. *Journal of Hydrology* 194: 95~106
8. Yoon. Y. N. 1972. A study on the Statistical Analysis of Low Flows for Impounding Reservoir Design. *Journal of Korean Association of Hydrological Sciences* 20(1): 37~46. (in Korean)