

**L 및 LH-모멘트법과 지역빈도분석에 의한
가뭄우량의 추정(I)**
- L-모멘트법을 중심으로 -

**Estimation of Drought Rainfall by Regional Frequency
Analysis using L and LH-Moments(I)**
- On the Method of L-Moments -

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

Abstract

This study is mainly conducted to derive the design drought rainfall by the consecutive duration using probability weighted moments with rainfall in the regional drought frequency analysis. It is anticipated to suggest optimal design drought rainfall of hydraulic structures for the water requirement and drought frequency of occurrence for the safety of water utilization through this study.

Preferentially, this study was conducted to derive the optimal regionalization of the precipitation data that can be classified by the climatologically and geographically homogeneous regions all over the regions except Cheju and Ulreung islands in Korea. Five homogeneous regions in view of topographical and climatological aspects were accomplished by K-means clustering method.

Using the L-moment ratio diagram and Kolmogorov-Smirnov test, generalized extreme value distribution was confirmed as the best fitting one among applied distributions. At-site and regional parameters of the generalized extreme value distribution were estimated by the method of L-moments. Design drought rainfalls using L-moments following the consecutive duration were derived by the at-site and regional analysis using the observed and simulated data resulted from Monte Carlo techniques. Relative root-mean-square error

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

(RRMSE), relative bias (RBIAS) and relative reduction (RR) in RRMSE for the design drought rainfall derived by at-site and regional analysis in the observed and simulated data were computed and compared. It has shown that the regional frequency analysis procedure can substantially more reduce the RRMSE, RBIAS and RR in RRMSE than those of at-site analysis in the prediction of design drought rainfall.

Consequently, optimal design drought rainfalls following the regions and consecutive durations were derived by the regional frequency analysis.

Keywords : Region, Cluster analysis, L-moment, Monte Carlo simulation, Error, At-site/Regional frequency analysis, Design drought rainfall

I. 서 론

우리나라의 연도별 강수량 변화는 753 mm에서 1,758 mm까지의 차이를 보일 정도로 변화 폭이 크고, 계절적 변동은 더욱 심하여 전체 강우량의 2/3가 6~9월에 집중되어 있다. 또한 강수량의 지역별 불균형이 심하고 산지가 많아 하천경사도 급한 편이어서 바다로의 유출이 짧은 기간에 이루어 지므로 수자원 관리에 어려움을 겪고 있다. 이로 인해 여름에는 홍수로 인한 피해를 입고 있으며 봄에는 가뭄피해를 입고 있는 실정이다.

특히, 1960년대 이후 우리나라에 발생했던 주요 가뭄으로는 호남과 영남지방을 중심으로 발생했던 1967~1968년의 가뭄과 1976~1977년, 1981~1982년, 1987~1988년 및 1994~1995년의 가뭄으로 발생주기가 대략 6~7년 정도인 것으로 나타났다. 특히, 2001년에는 매년 수 차례에 걸쳐 발생하던 태풍이 한차례도 발생하지 않아 2002년도 봄까지 최악의 가뭄피해를 겪었다. 2001년 3월 1일부터 6월 16일까지의 기상청 관측소 72개중 기간 최소 강우량을 기록한 관측소는 58개소에 달했으며, 일부 관측소 지점에서의 3월~5월의 3개월 강우량의 발생빈도는 50~60년에 달할 정도로 봄 가뭄이 극심하였다. 또한 동일 기간 중 용수부족으로 인한 생활용수의 비상급수지역은 381개 읍·면으로 제한급수인구는 약 30만명에 달하였으며, 가뭄 피해를 입은 농경지는 약 19,000 ha에 이르렀다.

이와 같이 1960년대 이후의 가뭄, 특히 2001년

에서 2002년 봄까지의 극심한 가뭄으로 인한 용수 부족은 생활용수 및 농업용수의 제한급수, 급수 중단 등의 사태로 피해지역이 점차적으로 확산되었다. 또한, 농업용 저수지 고갈로 인한 농업용수 공급 부족은 막대한 농작물의 피해로 이어졌다. 이와 같은 극심한 가뭄피해를 겪어 오면서 정부에서는 각종 가뭄 대책을 펴왔으나 이는 주로 가뭄문제지역의 임시대체 용수개발, 제한급수, 절수유도 및 대국민 절수 홍보 등의 소극적인 대책 밖에 없었다.

가뭄에 관한 최근의 연구로서, MOCT (1997)는 1994년부터 1995년 가뭄 심도의 평가를 위해 전국에 걸친 수문관측지점별 월강우량을 사용하여 가뭄지속기간별 월가뭄우량과 월가뭄우량 시계열을 작성하고 이를 분석함으로써 관측지점별 및 소유역 단위별 확률가뭄우량을 산정하여 전국적인 확률 가뭄우량도를 작성하여 갈수의 지역적 특성 등을 분석하였다.

본 연구에서는 1995년 이후 우리나라의 강우관측지점에 대한 최근의 강우자료를 포함하여 수문관측지점별 월강우량을 사용하여 가뭄지속기간별 월갈수우량 시계열을 작성하고 지역별, 가뭄지속기간별 빈도별 가뭄우량을 유도함으로써 가뭄시 용수공급의 원활을 위한 각종 댐의 가뭄대책 방안 수립과 운영지침이 될 수 있는 기반을 마련코자 하였다.

이를 위해 본 연구의 제 I보에서는 강우의 장·단기 강우특성과 지리·지형학적 특성을 고려한 강우의 동질성의 지역화를 시도하고, 지역화된 지속기간별 가뭄우량의 적정확률분포형의 선정과 함께

확률분포형의 매개변수 유도를 위한 확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트법에 의해 지점빈도 및 지역빈도분석을 수행하여 지속기간에 따른 빈도별 가뭄우량을 추정하고 이들을 비교 분석함으로써 적절한 빈도분석 방법과 지속기간별 가뭄우량 추정방법을 제시하고자 한다. 그리고, 제 II보에서는 고차 확률가중모멘트인 LH-모멘트법에 의해 지점빈도 및 지역빈도분석을 수행하여 지속기간별 가뭄우량을 유도하고 이들을 본 I보의 결과와 비교 분석하여 최종적으로 합리적인 적정 가뭄우량을 제시하고자 한다.

II. 확률가중 모멘트와 L-모멘트의 이론적 분석

누가분포함수 $F(X)$ 를 갖는 확률변수 X 에 대한 확률가중모멘트(probability weighted moments, PWM)의 일반식은 다음의 식 (1)과 같이 주어진다(Greenwood *et al*, 1979, Hosking, 1990).

$$M_{p,r,s} = E[X^p \{F(X)\}^r \{1-F(X)\}^s] \\ = \int x^p \{F(x)\}^r \{1-F(x)\}^s dF(x) \dots \dots \dots (1)$$

여기서 p, r, s 는 정수이고, $r=s=0$ 인 $M_{p,0,0}$ 이면 p 는 비부성정수(非負性定數)가 되고, $M_{p,0,0}$ 은 원점에 대한 기존의 p 차 모멘트와 동일한 값을 나타낸다. 특히, $p=1$ 이고 r 또는 s 가 0 이 되는 경우에 $M_{1,r,0}$ 와 $M_{1,0,s}$ 는 X 에 선형이 되며 매개변수 추정을 위해 사용된다. 모집단의 확률가중모멘트(population PWM)는 식 (2), (3)과 같이 두 가지 형태로 나타낼 수 있으며, 식 (2)의 $M_{1,r,0}$ 는 Greenwood 및 Hosking 등에 의해 Extreme-value type 1, Kappa 및 GEV분포형의 매개변수 추정에 그리고 식 (3)의 $M_{1,0,s}$ 는 Weibull, Generalized Lambda 및 Wakeby 분포형의 매개변수 추정에 사용되었다. 이에 대한 표본자료의 불

편 표본 확률가중모멘트(unbiased sample PWM)는 다음의 식 (4), (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M_{1,r,0} = E[X\{F(X)\}^r] \equiv \beta_r, \quad p=1, r, s=0 \\ \dots \dots \dots (2)$$

$$M_{1,0,s} = E[X\{1-F(X)\}^s] \equiv \beta'_s, \quad p=1, r=0, s \\ \dots \dots \dots (3)$$

$$\hat{\beta}_r = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(N-1)(N-2)\dots(N-r)}, \quad r \geq 0 \\ \dots \dots \dots (4)$$

$$\hat{\beta}'_s = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \frac{(N-j)!(N-s-1)!}{(N-j-s)!(N-1)!}, \quad s \geq 0 \dots (5)$$

여기서 $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_N$, $\hat{\beta}_0 = \hat{\beta}'_0 = \bar{X}$ 이며, \bar{X} 는 표본자료의 평균을 나타낸다.

$M_{1,r,0}$ 와 $M_{1,0,s}$ 는 다음과 같이 상호의존적인 관계를 갖고 있다.

$$M_{1,r,0} = \sum_{s=0}^r \binom{r}{s} (-1)^s M_{1,0,s} \equiv \beta_r \dots \dots \dots (6)$$

$$M_{1,0,s} = \sum_{r=0}^s \binom{s}{r} (-1)^r M_{1,r,0} \equiv \beta'_s \dots \dots \dots (7)$$

추정량 β_r 과 β'_s 간의 관계는 식 (6) ~ 식 (7)의 관계식으로부터 식 (8) ~ 식 (11)과 같이 주어지며, β_r 과 β'_s 중 한가지를 알고 있는 경우에도 다른 추정량을 이용하여 확률가중 모멘트법에 의한 매개변수 추정치를 구할 수 있다.

$$\beta_0 = \beta_0 \dots \dots \dots (8)$$

$$\beta_1 = \beta_0 - \beta_1 \dots \dots \dots (9)$$

$$\beta_2 = \beta_0 - 2\beta_1 + \beta_2 \dots \dots \dots (10)$$

$$\beta_3 = \beta_0 - 3\beta_1 + 3\beta_2 - \beta_3 \dots \dots \dots (11)$$

또한, 확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트 방법에 의한 모집단의 추정량과 L-모멘트비인 L-

변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도는 Lee (2001b) 등에 의해 언급되었다.

Ⅲ. 강우자료 및 분석방법

우리나라의 강우자료에 대한 지역화 분석을 시도하기 위해 강우관측자료의 신빙도가 높은 기상청 산하 57개 기상대 및 기상관측소(이하 강우관측지점이라 한다.)의 강우자료를 선정하였다. 선정된 강우관측지점에서 관측된 일강우량 자료는 기상청의 기상 DB로부터 수집하였고 지리학적 인자인 위도, 경도 및 표고는 기상연보 등에 의해 수집하였다. 본 분석에서는 우리나라의 도서지방인 제주도와 울릉도를 제외한 내륙지방만을 분석 대상지역으로 설정하였다.

이상에서 수집한 강우자료를 사용하여 가뭄분석을 실시할 경우에는 총우량계열의 분석에서와 달리 지속기간이 대단히 중요하므로 관측소별 가뭄지속

기간별 부분기간치계열을 작성하여야 한다. 부분기간치 계열을 작성하기 위해서는 각 기상관측소의 기록기간 동안의 월강우량 자료를 사용하여 강우지속기간별로 이동누가우량 계열을 작성하여 시작 월에 관계없이 제일 작은 값부터 크기 역순위로 자료 계열을 구성한다. 이 때 계열을 구성하는 최소 누가우량을 선정하고 나면 그 누가우량의 계산에 사용된 앞 및 뒤에 위치하는 누가우량은 강우지속기간에 해당하는 개월수 만큼 제외시키고 두번째로 작은 누가우량을 선정한다. 두번째 작은 크기의 누가우량을 선정 한 후의 다음 누가우량의 선정방법도 동일하다. 이와 같은 방법으로 반복 선택해 나감으로써 관측소별 지속기간별 가뭄우량자료 계열을 구성한다(Yoon, 1972, MOCT, 1997).

이상에서 구성된 관측소별 지속기간별 가뭄우량자료 계열을 사용하여 지점빈도 및 지역빈도 분석을 수행하는 절차는 Fig. 1과 같다.

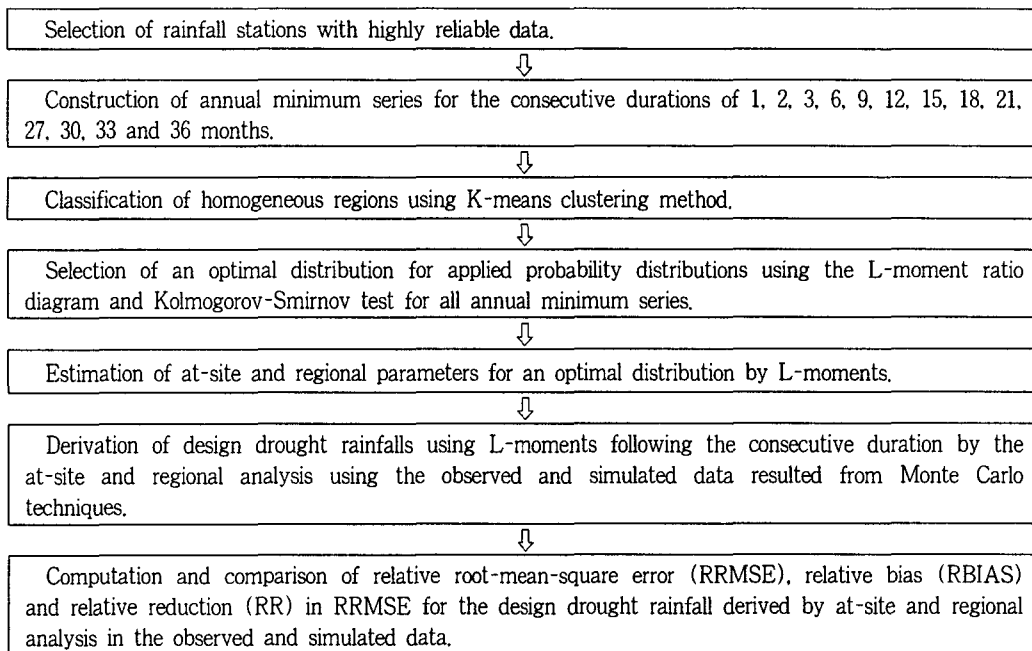


Fig. 1 Algorithm for at-site and regional frequency analysis

IV. 결과 및 고찰

1. 강우관측 지점의 지역화

강우관측지점의 지역화를 위해 Cluster 분석이 사용되었다. Cluster 분석은 크게 계층적(hierarchical) 방법과 비계층적(nonhierarchical) 방법으로 구분된다. 본 분석에서는 후자의 방법인 K-means clustering 알고리즘(Lee *et al.*, 2001a)을 사용하여 강우관측지점들을 동질성인 수개의 지역(cluster)들로 나누었다.

가. K-means clustering에 의한 지역화 분석

강우관측지점의 지역화 분석을 위해 57개 강우관측지점에서 연최소월강우량의 최솟값, 평균, 표준편차, 왜곡도, 첨예도와 같은 월강우특성과 연평균강우량, 평수기 및 갈수기 평균강우량(10월~익년 5월)과 같은 장기강우특성, 그리고 지리적 위치인 위도, 경도 및 표고와 같은 지리·지형적 특성을 변수화 하여 분석하였다. 또한, 본 분석에 사용된 평수기 및 갈수기 평균강우량은 일반적으로 수문년의 개념으로 보아 10월부터 익년 5월까지의 평균강우량을 사용하였다. 강우관측지점의 지역화 분석을 위해 사용 강우자료와 변수들을 정리한 결과, 연최소월강우량의 평균과 표준편차는 각각 4.43 mm~15.97 mm 및 4.25 mm~11.35 mm의 범

위를 나타내었고, 왜곡도와 첨예도는 각각 0.55~1.41 및 2.19~11.28의 범위를 나타내었다. 그리고 연평균강우량과 평수기 및 갈수기 평균강우량은 각각 961.9 mm~1,785.1 mm 및 318.4 mm~712.7 mm의 범위를 나타내었다.

Cluster 분석은 변수의 수, 단위 및 알고리즘에 따라서 상이한 결과를 나타낸다. 이러한 문제점은 일반적으로 널리 사용되는 범용 소프트웨어를 사용함으로써 극복할 수 있는데, 본 분석에서는 미국 SPSS사의 SYSTAT 8.0의 모듈을 사용하였고 변수들의 단위는 SYSTAT 8.0의 모듈에 포함된 단위 변환(transformation) 기능을 사용하여 분석하였다.

그리고, 강우관측지점들이 동질성의 지역으로 분리되는 개수를 4에서부터 9까지 변화해 가면서 분석하였다. 그 결과 강우관측지점들이 동질성인 지역으로 구분되는 개수를 5개 지역으로 구분함이 적절한 것으로 나타났으며 이들 57개 강우관측지점들을 5개의 지역으로 구분한 결과는 Table 1과 같다.

나. 동질성 검정에 의한 강우관측지점의 적정 지역화

K-means clustering에 의한 강우관측지점들의 지역화 결과는 5개 지역으로 나타났다. 그런데 이 방법은 지형적 특성을 고려했음에도 불구하고 Table 1의 결과에서 보는 바와 같이 'II' 지역에서 지형

Table 1 5 regions classified by the method of K-means clustering

Region	Stations	Number of stations
I	Chuncheon, Seoul, Incheon, Weonju, Suwon, Chungju, Seosan, Cheongju, Ganghwa, Yangpyeong, Icheon, Inje, Hongcheon, Jecheon, Boeun, Cheonan, Buyeo, Geumsan	18
II	Sokcho, Daegwanryeong, Gangreung, Uljin, Chupungryeong, Ulsan	6
III	Daejeon, Gunsan, Jeonju, Gwangju, Mokpo, Boryeong, Buan, Imsil, Jeongeup, Namwon, Suncheon, Jangheung, Haenam	13
IV	Pohang, Daegu, Youngju, Mungyeong, Yeongdeok, Uiseong, Gumi, Yeongcheon, Geochang, Hapcheon, Milyang	11
V	Busan, Tongyeong, Yeosu, Wando, Jinju, Goheung, Sancheong, Geoje, Namhae	9

적으로 다른 경상남도에 위치한 울산 강우관측지점과 충청북도에 위치한 추풍령이 강원도의 동해안에 위치한 속초, 대관령, 강릉 및 울진 강우관측지점들과 함께 동질성의 지역으로 합류되었다.

따라서, 상기한 바와 같이 K-means clustering 방법에 의한 지역화에서 결과된 문제점 해결을 위한 합리적인 동질성의 지역화를 위해 χ^2 분포의 통계량(Lee et al., 2001a)을 사용하였다.

지형적 및 기상학적 특성으로 보아 동질성인 강우관측지점들의 지역화를 위해 K-means clustering 방법에 의한 지역화 분석 결과를 보건데 우선적으로, 지형적으로 멀리 위치하고 있는 강우관측지점이 타지역의 동질성인 지점으로 분류되는 모순점을 보완함이 중요하다는 결론과 함께 지형적으로 동질성의 지역으로 분류될 수 있도록 χ^2 분포의 통계량과 시행착오법을 사용하여 분석한 결과 최종

적으로 5개 지역으로 분류되었으며 이의 결과를 도시하면 Fig. 2와 같다.

2. 적정 확률분포형의 선정

강우관측지점들의 지역별 지속기간별 가뭄우량의 적정 확률분포형을 선정하기 위해 도식적 방법인 L-모멘트비도와 비매개변수적 방법인 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 검정을 수행한다.

가. L-모멘트비도에 의한 적정 확률분포형의 선정

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

따라서 본 분석에서 사용된 Gumbel, GEV, GLO 및 GPA 분포형의 L-왜곡도와 L-첨예도의 관계인 L-모멘트비도를 도시하고, 각 지역별 지속기간별 가뭄우량의 L-왜곡도와 L-첨예도를 구하여 L-모멘트비도를 작성함으로써 이를 근거로 적절한 확률분포형을 선정하였다(Durrans, 1996).

지역별 및 지속기간별 대상지점에 대한 가뭄우량의 L-모멘트비인 L-왜곡도, L-첨예도를 구하여 L-모멘트비도를 작성한 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 지역별 지속기간별 가뭄우량 계열인 70개의 L-왜곡도와 L-첨예도의 무차원 L-모멘트 플로팅 포지션점이 GEV 분포 곡선을 중심으로 상하로 고루 산재해 있고 L-왜곡도를 평균한 값이 0.013으로서 타 확률분포의 L-모멘트비 곡선 보다 GEV 분포의 L-모멘트비 곡선에 보다 근접되어 있음을 볼 수 있다.

결론적으로, 지역별 지속기간별 70개의 가뭄우량 계열에 L-모멘트법을 적용하여 L-모멘트비를 플로팅한 결과 적용된 4개 분포형 중 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 보다 적절한 확률분포형으로 나타났다.

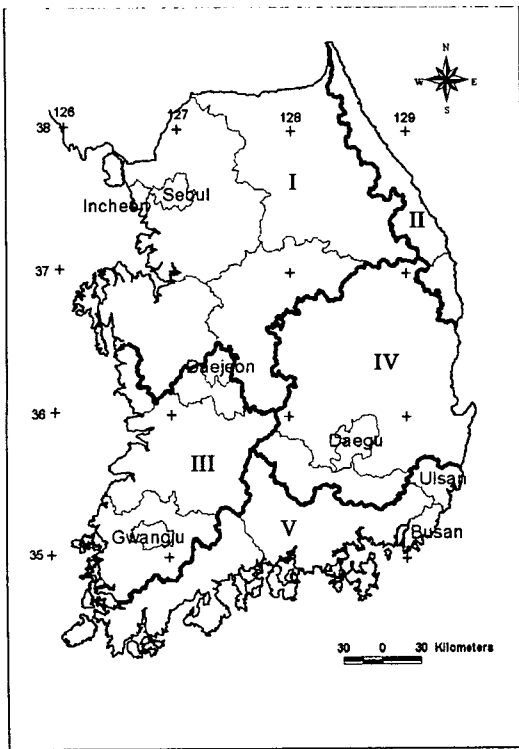


Fig. 2 5 regions classified by cluster analysis

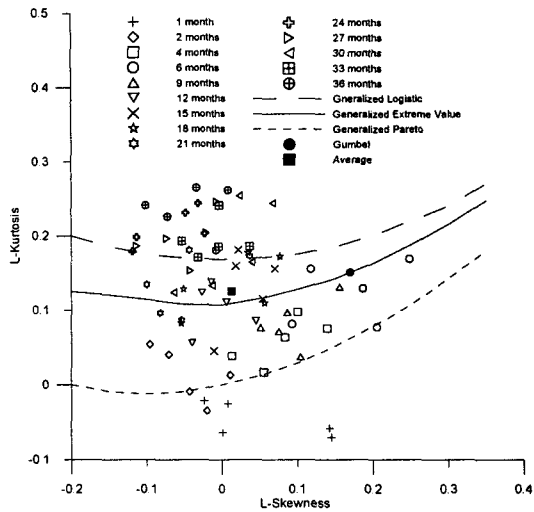


Fig. 3 Identification of distributions by L-skewness and L-kurtosis

나. K-S 검정에 의한 적정 확률분포형의 선정

강우관측지점들의 지속기간별 가뭄우량에 대한 적정 확률분포형을 선정하기 위해 적용된 4개의 확률분포형의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 산정한 후 K-S 검정을 실시하였다. 그 결과 강우관측지점별 지속기간별 가뭄우량은 4개 적용 확률분포형 모두가 적정 확률분포형으로 판정되었다.

다. L-모멘트비와 K-S 검정 결과에 의한 적정 확률분포형의 선정

L-모멘트비도에 의한 검정에서는 적용된 4개 확률분포형 중 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 적정한 것으로 검정되었고, K-S 검정에서는 전술한 바와 같이 적용된 4개 확률분포형이 모두 적정한 것으로 검정되었다. 이와 같은 사실에 비추어 양 방법에서 유일하게 적정 확률분포형으로 판정된 GEV 분포형을 최종적으로 선정하였다.

3. 적정 확률분포형의 매개변수 추정

적정 확률분포형으로 선정된 GEV 분포형의 매개

변수인 척도매개변수 α , 위치매개변수 ξ 및 형상매개변수 k 를 지속기간별, 지점별 및 지역별로 L-모멘트법에 의하여 산정하였다(Naghavi, 1995, Schaefer, 1990).

4. 적정 확률분포형에 의한 실측치의 지점빈도 및 지역빈도 분석

L-모멘트법에 의해 추정된 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 강우관측지점들에 대한 지점빈도 분석과 지역빈도분석에 의한 각각의 빈도별 가뭄우량을 유도하였다.

가. 지점빈도분석

강우관측지점들의 각각에 대한 지점빈도분석을 위해 L-모멘트법에 의해 추정된 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 57개 강우관측지점에 대한 지속기간별 빈도별 가뭄우량을 다음의 식 (12)에 의해 유도하였다.

$$\widehat{X}_T = \widehat{\xi} + \left(\frac{\alpha}{k}\right) [1 - (-\ln F)^k] \dots \dots \dots (12)$$

여기서, T 는 재현기간이며, F 는 재현기간에 따른 비초과확률이다.

나. 지역빈도분석

동질성으로 구분된 지역내 강우관측지점들에 대한 지역빈도분석을 위해 L-모멘트법에 의해 추정된 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 5개 지역내 강우관측지점들에 대한 지속기간별 빈도별 가뭄우량을 다음의 식 (13)에 의해 유도하였다.

$$\widehat{X}_{T_i} = \bar{x}_i \widehat{X}_{T_i} \dots \dots \dots (13)$$

여기에서 $\widehat{X}_{T_i} = \widehat{\xi} + \left(\frac{\alpha}{k}\right) [1 - (-\ln F)^k]$ 이며 \bar{x}_i 는 해당지역 i 강우관측지점에 대한 연최소가뭄우량의 평균이다.

5. 모의발생치의 지점빈도 및 지역빈도 분석

Monte Carlo 기법에 의해 강우관측지점별로 표본 크기(sample size)를 20, 40, 60 및 100으로 구분하고 각각의 경우에 대하여 1,000회 모의발생 결과치를 얻었으며, 이들 모의발생치를 이용하여 지점빈도 및 지역빈도분석을 수행함으로써 지속기간에 따른 빈도별 가뭄우량을 산정하였다(Hosking et al., 1993, 1997).

6. 실측치 및 모의발생치에 의한 지점빈도 및 지역빈도 비교 분석

가. 실측치 및 모의발생치에 의한 빈도별 가뭄우량의 비교

실측치와 모의발생치에 의해 추정된 각각의 빈도별 가뭄우량을 상대평균제곱근오차와 상대편의에 의한 오차분석을 실시하여 지점빈도분석과 지역빈도분석에 의한 지속기간에 따른 빈도별 가뭄우량의 적정성 여부에 관한 비교분석을 수행하고자 한다.

상대평균제곱근오차(RRMSE)와 상대편의(RBIAS)의 일반식은 각각 다음의 식 (14) 및 식 (15)와 같다.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right\}^2} \dots\dots\dots (14)$$

$$RBIAS = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

여기에서 Q_j 와 Q_j^m 은 각각 실측치에 의한 빈도별 가뭄우량과 모의발생된 자료에 의한 빈도별 가뭄우량이다.

따라서, 전술한 지점빈도분석과 지역빈도분석 절차에 의해 각각의 강우관측지점별, 지역별, 지속기간별 및 표본의 크기별로 실측치의 빈도별 가뭄우량에 대한 모의발생된 빈도별 가뭄우량간의 상대평균제곱근오차 및 상대편의를 구하였으며, 이들 결

과에 대한 전반적인 비교 분석을 원활히 하기 위해 지역별, 지속기간별, 빈도별 및 표본의 크기별로 지점빈도분석과 지역빈도분석에 의해 해당되는 상대평균제곱근오차와 상대편의의 평균값을 산정하였다.

표본 예로, 지점빈도분석과 지역빈도분석의 결과인 지속기간을 12개월로 하고 표본의 크기를 20, 40, 60 및 100개로 하여 실측치에 의한 빈도별 가뭄우량에 대한 모의발생된 빈도별 가뭄우량간의 상대평균제곱근오차의 평균값을 나타낸 결과는 Table 2 및 Table 3과 같다.

또한, 강우관측지점별로 실측된 연최소강우량과 모의발생된 연최소강우량의 지점빈도분석과 지역빈도분석에 의해 추정된 각각의 지속기간에 따른 표본크기별 빈도별 가뭄우량별로 상대평균제곱근오차와 상대편의간의 관계를 도시하였으며, 표본 예로 'III' 지역에 속하는 군산과 전주 강우관측지점의 12개월 지속기간별로 도시한 결과는 Fig. 4와 같다.

그리고, 지역빈도분석에 의해 계산된 상대평균제곱근오차가 지점빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차에 비해 상대적으로 감소한 비율을 나타내는 상대 감소율(relative reduction, RR)을 산정함으로써 우리나라의 전역에 걸친 빈도분석 방법과 지속기간별 빈도별 적정 가뭄우량의 제시가 가능하게 된다.

따라서, 상대 감소율 산정을 위한 식은 다음의 식 (16)과 같다.

$$RR = \frac{1}{n} \left\{ \sum \frac{RRMSE_A - RRMSE_R}{RRMSE_A} \right\} \times 100 \dots\dots (16)$$

여기에서 $RRMSE_A$ 와 $RRMSE_R$ 은 각각 지점빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차와 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차이다.

지점빈도분석과 지역빈도분석간의 상대 감소율을 지역별, 지속기간별 및 표본크기별로 구하였으며 표본 예로 지역별 12개월 지속기간 및 20, 40, 60 및 100의 표본크기별로 상대 감소율을 구한 결과는 Table 4와 같다.

Table 2 RRMSE of the simulated quantile following the sample size and region for 12 months consecutive duration of GEV distribution by at-site frequency analysis

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	0.0460	0.0545	0.0675	0.0852	0.0917	0.0972	0.1021	0.1064	0.1103	0.1139
	II	0.0448	0.0556	0.0702	0.0901	0.0975	0.1039	0.1095	0.1146	0.1191	0.1233
	III	0.0566	0.0769	0.1030	0.1409	0.1559	0.1692	0.1813	0.1925	0.2029	0.2126
	IV	0.0497	0.0666	0.0875	0.1166	0.1278	0.1376	0.1464	0.1544	0.1617	0.1685
	V	0.0511	0.0667	0.0869	0.1149	0.1255	0.1349	0.1431	0.1506	0.1575	0.1639
40	I	0.0327	0.0380	0.0471	0.0600	0.0647	0.0688	0.0724	0.0756	0.0785	0.0811
	II	0.0318	0.0393	0.0500	0.0650	0.0706	0.0754	0.0796	0.0834	0.0869	0.0900
	III	0.0402	0.0543	0.0736	0.1022	0.1135	0.1236	0.1328	0.1413	0.1492	0.1565
	IV	0.0353	0.0467	0.0619	0.0839	0.0924	0.0998	0.1065	0.1126	0.1182	0.1234
	V	0.0363	0.0469	0.0616	0.0825	0.0906	0.0976	0.1038	0.1095	0.1147	0.1195
60	I	0.0267	0.0308	0.0381	0.0486	0.0526	0.0559	0.0589	0.0615	0.0639	0.0661
	II	0.0260	0.0322	0.0411	0.0538	0.0585	0.0625	0.0661	0.0694	0.0723	0.0750
	III	0.0329	0.0448	0.0610	0.0851	0.0947	0.1032	0.1110	0.1181	0.1248	0.1310
	IV	0.0290	0.0383	0.0511	0.0694	0.0766	0.0829	0.0885	0.0936	0.0983	0.1027
	V	0.0298	0.0385	0.0507	0.0683	0.0751	0.0810	0.0863	0.0910	0.0954	0.0995
100	I	0.0207	0.0237	0.0294	0.0377	0.0408	0.0435	0.0458	0.0479	0.0498	0.0515
	II	0.0203	0.0246	0.0314	0.0411	0.0448	0.0480	0.0508	0.0533	0.0556	0.0577
	III	0.0255	0.0344	0.0469	0.0659	0.0734	0.0801	0.0862	0.0919	0.0971	0.1020
	IV	0.0224	0.0295	0.0394	0.0539	0.0595	0.0644	0.0688	0.0728	0.0765	0.0799
	V	0.0231	0.0298	0.0392	0.0530	0.0583	0.0629	0.0670	0.0708	0.0742	0.0773

Table 3 RRMSE of the simulated quantile following the sample size and region for 12 months consecutive duration of GEV distribution by regional frequency analysis

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	0.0420	0.0452	0.0485	0.0522	0.0534	0.0545	0.0554	0.0562	0.0569	0.0576
	II	0.0417	0.0472	0.0539	0.0625	0.0656	0.0683	0.0706	0.0727	0.0746	0.0764
	III	0.0518	0.0553	0.0584	0.0640	0.0667	0.0692	0.0716	0.0740	0.0762	0.0784
	IV	0.0451	0.0498	0.0543	0.0598	0.0619	0.0637	0.0653	0.0667	0.0681	0.0693
	V	0.0464	0.0501	0.0532	0.0571	0.0586	0.0600	0.0612	0.0623	0.0633	0.0643
40	I	0.0297	0.0310	0.0324	0.0340	0.0346	0.0351	0.0356	0.0360	0.0363	0.0367
	II	0.0293	0.0326	0.0370	0.0430	0.0453	0.0473	0.0490	0.0506	0.0521	0.0534
	III	0.0366	0.0385	0.0409	0.0460	0.0484	0.0508	0.0530	0.0551	0.0571	0.0591
	IV	0.0318	0.0343	0.0372	0.0412	0.0428	0.0442	0.0454	0.0466	0.0477	0.0487
	V	0.0328	0.0347	0.0366	0.0393	0.0405	0.0416	0.0425	0.0434	0.0443	0.0451
60	I	0.0243	0.0251	0.0260	0.0271	0.0275	0.0279	0.0282	0.0285	0.0288	0.0290
	II	0.0235	0.0261	0.0296	0.0346	0.0365	0.0382	0.0396	0.0409	0.0421	0.0432
	III	0.0299	0.0314	0.0335	0.0381	0.0403	0.0423	0.0442	0.0461	0.0478	0.0495
	IV	0.0259	0.0279	0.0304	0.0339	0.0353	0.0365	0.0376	0.0386	0.0395	0.0404
	V	0.0267	0.0282	0.0297	0.0321	0.0331	0.0340	0.0348	0.0356	0.0363	0.0369
100	I	0.0188	0.0193	0.0198	0.0206	0.0209	0.0212	0.0214	0.0217	0.0219	0.0221
	II	0.0185	0.0203	0.0227	0.0263	0.0278	0.0290	0.0300	0.0311	0.0320	0.0328
	III	0.0233	0.0243	0.0260	0.0298	0.0316	0.0333	0.0349	0.0364	0.0379	0.0393
	IV	0.0202	0.0216	0.0236	0.0266	0.0278	0.0289	0.0298	0.0307	0.0315	0.0322
	V	0.0209	0.0218	0.0230	0.0248	0.0256	0.0263	0.0270	0.0276	0.0282	0.0287

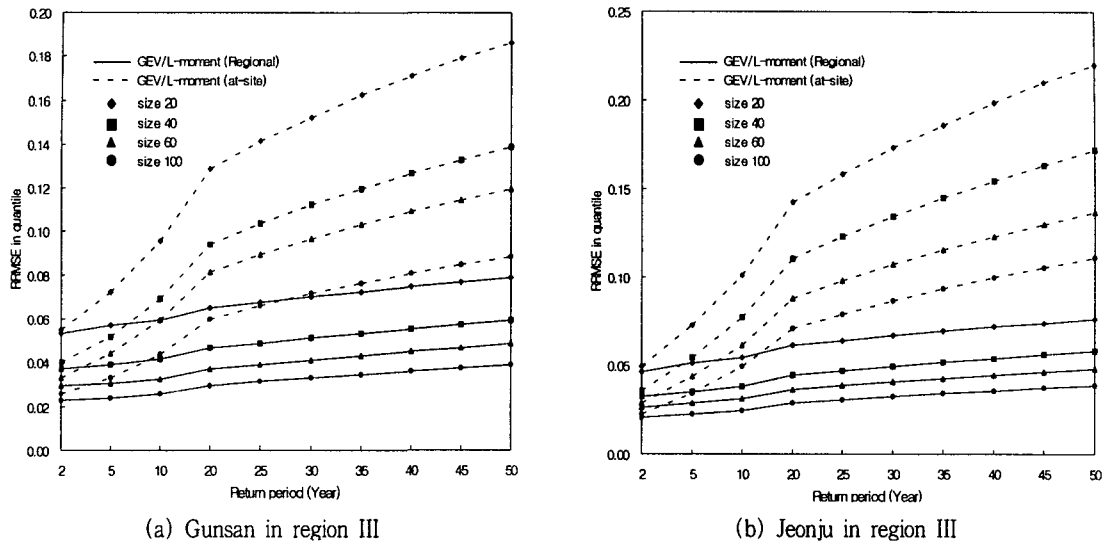


Fig. 4 Comparison of regional and at-site procedures for 12 months consecutive duration in region III

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

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	8.46	16.05	26.78	37.10	40.01	42.17	43.90	45.29	46.48	47.49
	II	6.67	14.25	21.74	28.51	30.33	31.69	32.72	33.59	34.25	34.87
	III	8.33	26.99	41.54	52.14	54.52	56.16	57.34	58.21	58.89	59.41
	IV	8.99	23.85	35.84	45.80	48.43	50.36	51.83	53.04	54.02	54.85
	V	8.92	23.67	36.85	47.89	50.77	52.89	54.49	55.77	56.85	57.73
40	I	8.91	17.18	29.51	41.15	44.31	46.64	48.48	49.96	51.22	52.25
	II	7.74	16.27	24.43	31.14	32.82	34.03	34.98	35.71	36.27	36.78
	III	8.70	27.88	42.41	52.19	54.23	55.54	56.47	57.11	57.60	57.96
	IV	9.84	25.25	37.77	47.81	50.33	52.13	53.52	54.61	55.51	56.24
	V	9.23	24.67	38.59	49.78	52.61	54.60	56.12	57.30	58.26	59.05
60	I	9.06	17.50	30.22	42.21	45.43	47.85	49.75	51.23	52.47	53.52
	II	9.62	17.57	25.63	32.12	33.77	34.85	35.84	36.53	37.07	37.56
	III	9.16	28.44	42.78	52.20	54.11	55.38	56.23	56.82	57.27	57.59
	IV	10.44	26.00	38.37	48.07	50.52	52.29	53.59	54.64	55.51	56.19
	V	10.01	25.51	39.28	50.24	52.94	54.91	56.36	57.50	58.42	59.21
100	I	9.14	17.62	31.02	43.22	46.45	48.87	50.76	52.27	53.54	54.59
	II	8.54	16.81	25.88	33.26	35.06	36.34	37.32	38.06	38.69	39.17
	III	8.68	28.30	42.74	51.88	53.70	54.88	55.62	56.17	56.53	56.81
	IV	9.95	25.55	37.73	47.27	49.60	51.29	52.60	53.59	54.42	55.11
	V	9.74	25.40	39.21	50.29	52.98	54.92	56.37	57.52	58.43	59.19

이상의 결과를 보면 Table 2 및 Table 3에서 보는 바와 같이 지점빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차와 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차는 각 지역별로 재현기간이 커짐에 따라 증가한 반면 모의발생의 표본크기가 증가함에 따라 감소되는 양상을 나타내었다. 그리고, 지점빈도분석에 의한 상대편의와 지역빈도분석에 의한 상대편의는 각 지역별로 재현기간이 클수록 상대편의의 절대값이 증가하고 모의발생의 표본크기가 증가함에 따라 감소함을 나타내었다. 또한, 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. 4에서의 결과에서도 마찬가지로 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 지점빈도분석에 의한 것보다 작게 나타났으며, 이러한 결과는 표본의 크기가 커질수록 작게 산정되는 경향을 나타내었다.

지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 지점

빈도분석에 의한 것에 비해 상대적으로 감소한 비율을 나타낸 Table 4의 결과를 보면 빈도가 커짐에 따라 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 지점빈도분석에 의한 것보다 상대 감소율이 증가함을 나타내었다. 이러한 결과는 빈도가 커질수록 더욱 증가됨을 보여주고 있으며, 이는 지역빈도분석에 의한 지역별 지속기간별 가뭄우량이 지점빈도분석에 의한 것보다 신빙도가 높음을 나타낸다. 이와 같은 상기의 결과는 타 지속기간에서도 역시 동일한 양상을 보여주었다.

따라서, 이상의 결과를 종합해 볼 때 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 가뭄우량이 지점빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량 보다 신빙도가 높음을 보여 주었다.

나. 지역별 지속기간별 적정 가뭄우량의 추정

전술한 바와 같이 우리나라의 지역별 지속기간에 따른 빈도별 적정한 가뭄우량의 유도는 L-모멘트법에 의한 지점빈도분석 보다는 L-모멘트법에 의한 지역빈도분석에 의한 것이 보다 신빙성이 높게 나타났으므로 지역빈도분석에 의한 지역별 지속기

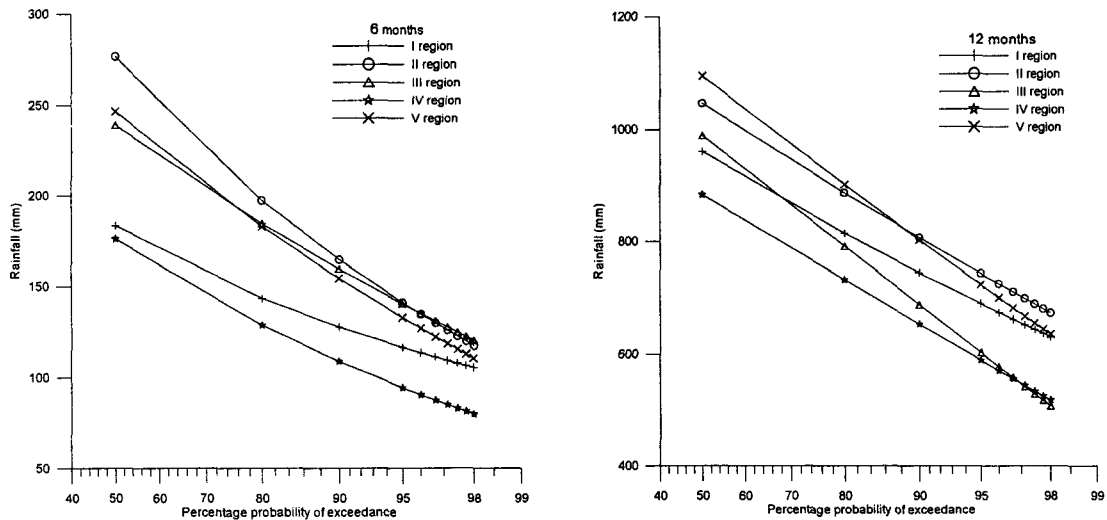


Fig. 5 Comparison of the region quantiles following consecutive duration and region of GEV distribution

간별 및 빈도별 가뭄우량을 산정하였다. 표본 예로 지속기간 6개월 및 12개월에 따른 지역별 가뭄우량을 정규확률지상에 도식한 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5의 결과를 종합해보면 지역별로 지속기간이 커지고 재현기간이 작을수록 전반적으로 가뭄우량의 크기가 커짐을 나타내었으며 또한, 지역화된 5개 지역에서 일반적으로 '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 타지역에 비해 낮은 빈도별 가뭄우량을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 타 지속기간에서도 역시 동일한 양상을 보여주었다.

V. 결 론

우리나라 전역에 걸쳐 비교적 장기간 관측되고 관측 정밀도가 높은 강우관측지점을 선정하여 지속기간별 연최소치 계열을 구성하고 대상 강우관측지점의 지형적, 기후적 특성을 변수화하여 지형적 및 기후학적으로 동성인 권역으로 나누는 지역화를 시도하였다. 이어서 지역별 지속기간별 가뭄우량에 적합한 확률분포형을 선정한 다음 확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트법에 의해 점빈도 및 지역빈도 분석을 시도함으로써 각각에 대한 빈도별 가뭄우량을 유도하고 이를 비교 분석함으로써 적정 빈도분석 방법을 제시하고 이에 의한 지역별 지속기간에 따른 빈도별 가뭄우량을 유도하였으며 이의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 자기강우관측자료의 신빙도가 높은 기상청산하 57개 기상대 및 기상관측소의 강우자료를 선정하여 강우관측지점의 강우자료를 지속기간 1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33 및 36개월에 대한 연최소치 강우시계열을 구성하였다.

2) 강우관측지점의 연최소월강우량의 최고치, 평균치, 표준편차, 왜곡도 및 첨예도와 같은 월강우특성과 연평균강우량, 평갈수기 평균강우량과 같은

장기강우특성, 그리고 지리적 위치인 위도, 경도 및 표고와 같은 지리·지형적 특성을 변수화하여 K-menas clustering 분석에 의거하여 지역화된 결과는 5개 지역으로 분류되었다.

3) '2'의 K-means clustering 방법에 의해 지역화된 결과에서 합리적인 지역화를 가능케 하는 χ^2 통계량에 의한 분석을 시도한 결과 최종적으로 지형적 및 기후적으로 동성인 5개의 지역화 분류가 이루어졌다.

4) 강우관측지점에 대한 지속기간별 연최소강우량의 적정 확률분포형을 선정하기 위해 Gumbel, GEV, GLO 및 GPA의 4개 분포를 대상으로 L-모멘트비도 및 K-S 검정 결과 최종적으로 GEV 분포가 적정 확률 분포형으로 판정되었다.

6) 지역 및 지점별 지속기간에 따른 연최소강우량에 적합한 확률분포형인 GEV 분포형의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 산정하였다.

7) 적정 확률분포형과 실측치에 의한 지점빈도 및 지역빈도분석에 의해 빈도별 가뭄우량을 유도하였다.

8) 5개의 동질성 권역으로 분류된 지속기간별 강우량을 Monte Carlo 모의기법에 의해 표본크기 20, 40, 60 및 100개로 하여 1,000회 모의발생을 수행하였다.

9) 실측치와 모의발생치의 지점빈도 및 지역빈도 분석에 의한 각각의 빈도별 가뭄우량을 유도하고 이들간의 상대평균제곱근오차와 상대편의에 의한 오차분석을 실시한 결과 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 가뭄우량이 지점빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량 보다 신빙도가 높음을 나타내었다.

10) 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 지점빈도분석에 의한 것 보다 상대적인 감소율이 크게 나타남으로서 지역빈도분석에 의한 빈도별 가뭄우량이 지점빈도분석에 의한 것 보다 신빙성이 높음을 보여 주었다.

11) 지역별로 유도된 가뭄우량의 크기는 지역화된 5개 지역 중에서 일반적으로 '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 나타내었다.

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

References

1. Durrans, S. R. and S. Tomic. 1996. Regional of Low-Flow Frequency Estimates: an Alabama Case Study. *Water Resources Bulletin* 32(1): 23~37.
2. Greenwood J. A., J. M. Landwehr, N. C. Matalas, and J. R. Wallis, 1979. Probability Weighted Moments : Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressed in Inverse Form. *Water Resources Research* 15(5): 1049~1064.
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. and J. R. Wallis. 1993. Some Statistics useful in Regional Frequency Analysis. *Water Resources Research* 29(2): 271~281.
5. Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. 1997. *Regional Frequency Analysis*. Cambridge CB2 1RP, United Kingdom: Cambridge University Press.
6. Lee, S. H., J. H. Park, K. S. Ryoo, H. K. Jee, T. K. Jeon and Y. H. Shin. 2001a. Estimation of Design Rainfall by the Regional Frequency Analysis using Higher Probability Weighted Moments and GIS Techniques(I). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(4): 57~68. (in Korean)
7. Lee, S. H., J. H. Park, K. S. Ryoo, H. K. Jee, T. K. Jeon and Y. H. Shin. 2001b. 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)
8. Ministry of Construction and Transportation. 1997. *Drought Record Investigation Report: III-1~III-31*. (in Korean)
9. Naghavi, B. and F. X. Yu. 1995. Regional Frequency Analysis of Extreme Precipitation in Louisiana. *Journal of Hydraulic Engineering* 121(11): 819~827.
10. Schaefer, M. G. 1990. Regional Analysis of Precipitation Annual Maxima in Washington State. *Water Resources Research* 26(1): 119~131.
11. SYSTAT. 1998. SYSTAT 8.0 Statistics. SPSS Inc.
12. 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)