

고차확률가중모멘트법에 의한 지역화빈도분석과
GIS기법에 의한 설계강우량 추정 (III)
- LH-모멘트법과 GIS 기법을 중심으로 -

Estimation of Design Rainfall by the Regional Frequency Analysis
using Higher Probability Weighted Moments and GIS Techniques (III)
- On the Method of LH-moments and GIS Techniques -

이 순 혁* · 박 중 화* · 류 경 식** · 지 호 근** · 신 용 희**

Lee, Soon Hyuk · Park, Jong Hwa · Ryoo, Kyong Sik · Jee, Ho Keun · Shin, Yong Hee

Abstract

This study was conducted to derive the regional design rainfall by the regional frequency analysis based on the regionalization of the precipitation suggested by the first report of this project. According to the regions and consecutive durations, optimal design rainfalls were derived by the regional frequency analysis for L-moment in the second report of this project.

Using the LH-moment ratios and Kolmogorov-Smirnov test, the optimal regional probability distribution was identified to be the Generalized extreme value (GEV) distribution among applied distributions. regional and at-site parameters of the GEV distribution were estimated by the linear combination of the higher probability weighted moments, LH-moment.

Design rainfall using LH-moments following the consecutive duration were derived by the regional and at-site analysis using the observed and simulated data resulted from Monte Carlo techniques.

Relative root-mean-square error (RRMSE), relative bias (RBIAS) and relative reduction (RR) in RRMSE for the design rainfall were computed and compared in the regional and at-site frequency analysis.

Consequently, it was shown that the regional analysis can substantially more reduce the RRMSE, RBIAS and RR in RRMSE than at-site analysis in the prediction of design rainfall. Relative efficiency (RE) for an optimal order of L-moments was also computed by the methods of L, L1, L2, L3 and L4-moments for GEV distribution.

It was found that the method of L-moments is more effective than the others for getting optimal design rainfall according to the regions and consecutive durations in the regional frequency analysis.

* 충북대학교 농과대학

** 충북대학교 대학원

* Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2572

fax: +82-43-271-5922

E-mail address: ksryoo@trut.chungbuk.ac.kr

Diagrams for the design rainfall derived by the regional frequency analysis using L-moments were drawn according to the regions and consecutive durations by GIS techniques.

Keywords : LH-moment, GEV distribution, RRMSE, RBIAS, RE, Regional frequency analysis, GIS, Design rainfall map

I. 서 론

본 연구의 제I보¹⁾와 제II보²⁾에서는 확률가중모멘트법을 근간으로 한 L-모멘트법에 의한 지역화 빈도분석에 따른 설계강우량 추정에 관한 연구의 수행으로서 분석에 사용된 65개 강우관측소의 지역별, 지형적인 특성과 기후적인 특성의 조사와 함께 강우자료 수집과 선정된 강우관측지점의 강우자료의 지속기간별 연최대치 계열의 구성, 관측지점별 연평균강수량에 대한 변동계수와 왜곡도계수의 산정, Cluster 분석과 연평균강수량에 의한 합리적인 지역화의 시도, 지역별 가능일최대강수량의 유도, 지역화된 지역에 대한 지속기간별 극치강우자료의 적정분포형 선정에 위한 6가지 분포형의 적용, 적용분포형의 L-모멘트비 산정, L-모멘트비도와 K-S 검정에 의한 적정분포형의 선정, 강우관측치의 점 빈도 및 지역빈도분석에 의한 설계강우량 유도, Monte Carlo 기법에 의해 모의발생된 강우량의 점 빈도 및 지역빈도분석에 의한 설계강우량 유도, 실측치 및 모의발생치의 점 빈도 및 지역빈도분석에 의한 설계강우량의 비교분석에 의한 적정 설계강우량의 유도를 수행하였다.

그리고, 본 보에서는 확률가중모멘트의 차수를 증가시킨 고차확률가중모멘트인 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법(일명 LH-모멘트법)에 의한 지역화 빈도분석과 GIS 기법에 의한 설계강우량의 유도에 관한 연구로서 Gumbel, Generalized extreme value, Generalized logistic, Generalized pareto 분포형을 사용한다. 그리고 적용된 분포형들의 극치강우자료에 대한 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비(일명 LH-모멘트비)의 산정, L1, L2, L3 및 L4-

모멘트비도(일명 LH-모멘트비도)와 K-S검정에 의한 적정한 분포형의 선정, 적정분포형의 매개변수를 고차확률가중모멘트법에 의해 산정, 적정분포형에 의한 실측치의 점 빈도 및 지역빈도분석에 의한 설계강우량 유도, Monte Carlo 기법에 의해 모의발생된 강우량의 점 빈도 및 지역 빈도분석에 의한 설계강우량 유도, 이상의 실측치 및 모의발생치의 점 빈도 및 지역빈도분석에 의한 설계강우량의 비교분석 및 제II보에서 결과된 적정 설계강우량과 본 보에서 결과된 적정 설계강우량의 비교분석에 의해 최종적으로 지역별, 지속기간별 신빙성 높은 설계강우량을 제시한다. 또한, 이를 GIS 기법을 이용하여 전국을 망라한 지속기간별, 빈도별 설계강우량도를 작성하고자 한다.

II. 확률가중모멘트와 LH-모멘트의 이론적 분석

본 연구의 제II보에서 언급된 식 (1)인 확률가중모멘트의 차수를 증가시켜 이들을 선형조합한 LH-모멘트법은 Wang^{4),5)}에 의해 제시되었다. 여기에서 Wang은 LH-모멘트를 식 (1) ~ (4)와 같이 정의하였다.

$$\lambda_1^{\eta} = E[X_{(\eta+1):(\eta+1)}] \dots \dots \dots (1)$$

$$\lambda_2^{\eta} = \frac{1}{2} E[X_{(\eta+2):(\eta+2)} - X_{(\eta+1):(\eta+2)}] \dots \dots \dots (2)$$

$$\lambda_3^{\eta} = \frac{1}{3} E[X_{(\eta+3):(\eta+3)} - 2X_{(\eta+2):(\eta+3)} + X_{(\eta+1):(\eta+3)}] \dots \dots \dots (3)$$

$$\lambda_4^{\eta} = \frac{1}{4} E[X_{(\eta+4):(\eta+4)} - 3X_{(\eta+3):(\eta+4)} + 3X_{(\eta+2):(\eta+4)} - X_{(\eta+1):(\eta+4)}] \dots \dots \dots (4)$$

여기서, $E[X_{j:m}]$ 은 누가분포함수 $F(x) = P_r(X \leq x)$ 을 갖는 임의 표본크기 m 의 j 차 기대값이며 다음의 식 (5)와 같다.

$$E[X_{j:m}] = \frac{m!}{(j-1)!(m-j)!} \int_0^1 x(F)F^{j-1} (1-F)^{m-j} dF \quad \dots\dots (5)$$

또한, Wang은 식 (1) ~ (4)에 해당하는 LH-모멘트 추정식을 식 (6) ~ (9)와 같이 제시하였다.

$$\hat{\lambda}_1^\eta = \frac{1}{nC_{\eta+1}} \sum_{i=1}^n i^{-1} C_{\eta} x_{(i)} \quad \dots\dots (6)$$

$$\hat{\lambda}_2^\eta = \frac{1}{2} \frac{1}{nC_{\eta+2}} \sum_{i=1}^n (i^{-1} C_{\eta+1} - i^{-1} C_{\eta} n^{-i} C_1) x_{(i)} \quad \dots\dots (7)$$

$$\hat{\lambda}_3^\eta = \frac{1}{3} \frac{1}{nC_{\eta+3}} \sum_{i=1}^n (i^{-1} C_{\eta+2} - 2 i^{-1} C_{\eta+1} n^{-i} C_1 + i^{-1} C_{\eta} n^{-i} C_2) x_{(i)} \quad \dots\dots (8)$$

$$\hat{\lambda}_4^\eta = \frac{1}{4} \frac{1}{nC_{\eta+4}} \sum_{i=1}^n (i^{-1} C_{\eta+3} - 3 i^{-1} C_{\eta+2} n^{-i} C_1 + 3 i^{-1} C_{\eta+1} n^{-i} C_2 - i^{-1} C_{\eta} n^{-i} C_3) x_{(i)} \quad \dots\dots (9)$$

여기서,

$$nC_j = \binom{m}{j} = \frac{m!}{j!(m-j)!} \quad \dots\dots (10)$$

상기의 식 (6) ~ 식 (9)을 재정리하면 식 (11) ~ (14)와 같다.

$$\hat{\lambda}_1^\eta = B_\eta \quad \dots\dots (11)$$

$$\hat{\lambda}_2^\eta = \frac{1}{2!} (\eta+2) \{B_{\eta+1} - B_\eta\} \quad \dots\dots (12)$$

$$\hat{\lambda}_3^\eta = \frac{1}{3!} (\eta+3) \{(\eta+4)B_{\eta+2} - 2(\eta+3)B_{\eta+1} + (\eta+2)B_\eta\} \quad \dots\dots (13)$$

$$\hat{\lambda}_4^\eta = \frac{1}{4!} (\eta+4) \{(\eta+6)(\eta+5)B_{\eta+3} - 3(\eta+5)(\eta+4)B_{\eta+2} + 3(\eta+4)(\eta+3)B_{\eta+1} - (\eta+3)(\eta+2)B_\eta\} \quad \dots\dots (14)$$

여기서,

$$B_\eta = \frac{\int_0^1 x(F)F^\eta dF}{\int_0^1 F^\eta dF} = (\eta+1) \int_0^1 x(F)F^\eta dF = (\eta+1) \beta_\eta \quad \dots\dots (15)$$

LH-모멘트법의 경우에도 일반 모멘트법에서의 변동계수, 왜곡도 및 첨예도에 해당하는 LH-모멘트비인 LH-변동계수, LH-왜곡도 및 LH-첨예도를 가지며, 각각 식 (16) ~ (18)과 같이 정의된다.^{3),4),5)}

$$\tau_2^\eta = \frac{\hat{\lambda}_2^\eta}{\hat{\lambda}_1^\eta} \equiv \text{LH-변동계수(LH-coefficient of variation)} \quad \dots\dots (16)$$

$$\tau_3^\eta = \frac{\hat{\lambda}_3^\eta}{\hat{\lambda}_2^\eta} \equiv \text{LH-왜곡도(LH-skewness)} \quad \dots\dots (17)$$

$$\tau_4^\eta = \frac{\hat{\lambda}_4^\eta}{\hat{\lambda}_2^\eta} \equiv \text{LH-첨예도(LH-kurtosis)} \quad \dots\dots (18)$$

본 보에서는 차수 η 가 1 ~ 4까지 증가하는데 따른 L1, L2, L3 및 L4-모멘트에 의해 적용 확률 분포형의 매개변수를 추정하고자 한다.

지역화 분석시 동질성인 지역의 LH-모멘트비인 LH-변동계수, LH-왜곡도 및 LH-첨예도는 다음의 식 (19) ~ 식 (21)과 같다.

$$\tau_{2R}^\eta = \frac{(\eta+2) \{B_{(\eta+1)R} - B_{\eta R}\}}{2B_{\eta R}} \quad \dots\dots (19)$$

$$\tau_{3R}^{\eta} = \frac{(\eta+3)\{(\eta+4)B_{(\eta+2)R} - 2(\eta+3)B_{(\eta+1)R} + (\eta+2)B_{\eta R}\}}{3(\eta+2)(B_{(\eta+1)R} - B_{\eta R})} \dots\dots\dots (20)$$

$$\tau_{4R}^{\eta} = \frac{(\eta+4)\{(\eta+6)(\eta+5)B_{(\eta+3)R} - 3(\eta+5)(\eta+4)B_{(\eta+2)R} + 3(\eta+4)(\eta+3)B_{(\eta+1)R} - (\eta+3)(\eta+2)B_{\eta R}\}}{12(\eta+2)(B_{(\eta+1)R} - B_{\eta R})} \dots\dots\dots (21)$$

여기에서

$$B_{kR} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m n_i} \sum_{j=1}^m \left[\frac{B_k}{B_0} \right]_j n_j, \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (22)$$

m = 동질화된 지역에 속하는 지점의 수
 n_j = j 지점의 관측자료 수

III. 강우자료와 분석방법

1. 강우자료

본 연구에서는 자기강우관측자료의 신빙도가 높은 기상청산하 65개 기상대 및 기상관측소의 강우 자료를 선정하여 지역화 분석을 시도하였으며, 이들 강우관측지점의 일강우량 자료 보유현황과 지리학적 인자는 제I보의 Table 1과 같다.

2. 분석방법

가. 지역화된 지역에 대한 지속기간별 극치강우 자료의 적정분포형을 선정하기 위한 확률분포형은 국내외적으로 근자에 제시된 Gumbel(GUM), Generalized extreme value(GEV), Generalized logistic(GLO) 및 Generalized pareto(GPA) 분포를 대상으로 한다.

나. 지역별 지속기간(1, 3, 6, 12, 24, 36, 48 및 72시간)에 따른 극치강우자료에 적용된 확률분포형들의 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비(LH-모멘

트비)를 각각 산정한다.

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

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

마. 매개변수 유도방법별 적정 확률분포형에 의한 실측치의 지점 및 지역빈도분석을 통해 빈도별 설계강우량을 유도한다.

바. 수개의 동질한 권역으로 분류된 지속기간별 강우량을 Monte Carlo 기법에 의해 모의발생하고, 모의발생된 연최대강우량에 대한 지점 및 지역빈도 분석을 실시하여 빈도별 설계강우량을 유도한다.

사. 적정 확률분포형에 의해 유도된 실측치 및 모의발생치의 지점 및 지역빈도분석에 의한 설계강우량의 비교분석을 상대평균제곱근오차(relative root mean square error, RRMSE) 및 상대편의(relative bias, RBIAS)에 의해 수행한다.

아. 본 연구의 제II보에서 적용한 L-모멘트법과 본 보에서 적용한 L1, L2, L3, L4-모멘트법에 의해 유도된 지점 및 지역빈도분석의 결과인 설계강우량을 비교 분석하여 최종적으로 적정한 빈도분석법과 설계강우량을 제시한다.

자. 유도된 적정설계강우량을 GIS Tool 인 Arc View 3.1을 이용하여 전국에 걸쳐 지역별, 지속기간별로 설계강우량도를 작성한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 적정 확률분포형의 선정

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

가. LH-모멘트비도(比圖)에 의한 적정 확률분포형의 선정

5개 지역으로 구분된 강우관측지점들의 지속기간별 연최대강우량에 대한 적정 확률분포형의 선정은 LH-모멘트비의 산정과 함께 LH-모멘트비도를 도출함으로써 이루어질 수 있다. 따라서, 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-모멘트비도를 도출하고, 각 지역별 지속기간별 연최대강우량의 L1, L2, L3 및 L4-왜곡도와 L1, L2, L3 및 L4-첨예도를 구하여 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비도를 작성함으로써 이를 근거로 적정한 확률분포형을 선정한다.

지역별 및 지속기간별 대상지점에 대한 연최대강우량의 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.

L1, L2, L3 및 L4-모멘트비도는 지역별 지속기간별 연최대강우량 계열인 40개의 L1, L2, L3 및 L4-왜곡도와 L1, L2, L3 및 L4-첨예도의 무차원 L1, L2, L3 및 L4-모멘트 플로팅 위치선점이 GEV 분포형의 곡선에 고루 산재해 있고 L1-왜곡도를 평균한 값이 0.28, L2-왜곡도를 평균한 값이 0.29, L3-왜곡도를 평균한 값이 0.30 및 L4-왜곡도를 평균한 값이 0.30으로써 타 확률분포형의 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비 곡선 보다 GEV 분포형의 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비 곡선에 보다 근접되어 있음을 볼 수 있다.

결론적으로, 지역별 지속기간별 40개의 연최대강우량 계열에 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법을 적용하여 L1, L2, L3 및 L4-모멘트비를 플로팅한 결과 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 보다 적정한 확률분포형으로 나타났다.

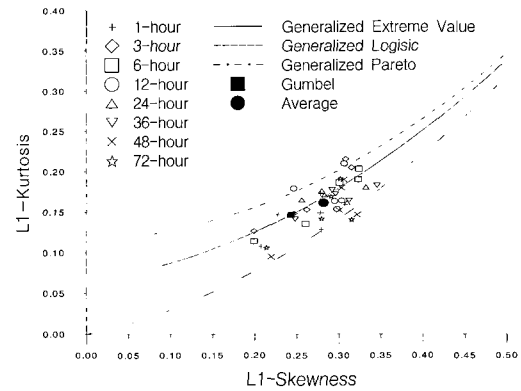


Fig. 1 Identification of distributions by L1-skewness and L1-kurtosis

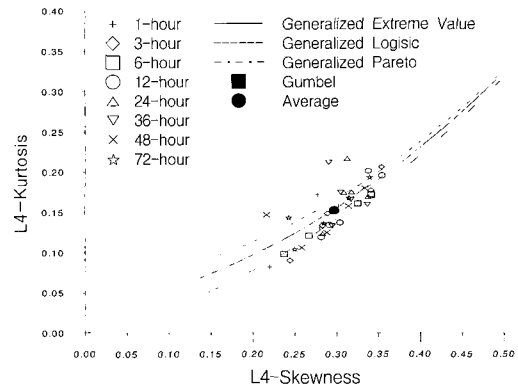


Fig. 2 Identification of distributions by L4-skewness and L4-kurtosis

나. Kolmogorov-Smirnov 검정에 의한 적정 확률분포형의 선정

강우관측지점별 지속기간별 적정 확률분포형을 선정하기 위해 Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시한 결과, 연최대강우량 계열에 대하여 4개 적용분포 중 GEV 분포형에서 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법의 K-S 한계치가 5% 유의수준치보다는 작게 산정되었다. 따라서, 연최대 강우량 계열에 대한 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법의 K-S 검정 결과 GEV 분포가 적정 확률분포형으로 판정되었다.

다. 적합도 검정 결과에 의한 적정 확률분포형의 선정

LH-모멘트비도에 의한 검정에서는 적용된 확률분포형 중 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 적정한 것으로 검정되었고 Kolmogorov-Smirnov 검정에서도 역시 적용된 확률분포형 중 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 적정한 것으로 검정되었다.

따라서, 이와 같은 사실에 비추어 양 방법에서 유일하게 적정 확률분포형으로 판정된 GEV 분포형을 최종적으로 선정하였다.

2. 적정 확률분포형의 매개변수 추정

적정 확률분포형으로 선정된 GEV 분포형의 매개변수인 척도매개변수 α , 위치매개변수 ξ 및 형상매개변수 k 를 지속기간별, 지점별 및 지역별로 LH-모멘트법에 의하여 산정하였다.

3. 적정 확률분포형에 의한 실측치의 점빈도 및 지역빈도분석

LH-모멘트법에 의해 추정된 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 강우관측지점들에 대한 점빈도분석과 지역빈도분석을 본 연구 제II보의 식 (24) 및 식 (25)에 의해 실시하고 각 경우에 대하여 빈도별 설계강우량을 유도하였다.

4. 모의발생치의 점빈도 및 지역 빈도분석

실측치의 통계특성을 가진 수문자료를 모의발생하는 것은 모의기법에 의해 유도된 모의발생치들의 점빈도분석과 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 설계강우량이 실측치에 의해 유도된 빈도별 설계강우량을 재현하는 정도를 평가함으로써 장차 발생할 수 있는 설계강우량의 신빙성 여부를 판단하기 위한 것이다.

본 분석에서는 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 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 점빈도 및 지역빈도분석을 수행함으로써 지속기간에 따른 빈도별 설계강우량을 산정하였다.

5. 실측치 및 모의발생치에 대한 점빈도 및 지역빈도분석 결과 비교

가. 실측치 및 모의발생치에 의한 설계강우량의 비교

강우관측지점들의 지속기간별 연최대강우량과 모의발생된 강우관측지점들의 지속기간별 연최대강우량을 각각 점빈도분석과 지역빈도분석에 적용하여 각각의 빈도별 설계강우량이 추정되었다.

본 분석에서는 실측치와 모의발생치에 의해 추정된 각각의 빈도별 설계강우량을 상대평균제곱근오차와 상대편의에 의한 오차분석을 실시하여 점빈도분석과 지역빈도분석에 의한 지속기간에 따른 빈도별 설계강우량간의 적정성 여부에 관한 비교 분석을 본 연구 제II보의 상대평균제곱근오차 및 상대편의인 식 (26) 및 식(27)에 의해 수행하고자 한다.

따라서, 본 분석에서는 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 각각의 강우관측지점별, 지역별, 지속기간별 및 표본의 크기별로 실측치의 빈도별 설계강우량에 대한 모의발생된 빈도별 설계강우량간의 상대평균제곱근오차 및 상대편의를 구하였으며, 이들 결과에 대한 전반적인 비교 분석을 원활히 하기 위해 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역별, 지속기간별, 빈도별 및 표본의 크기별로 점빈도분석과 지역빈도분석에 의한 설계강우량별 상대평균제곱근오차와 상대편의의 평균값을 산정하였다. 표본 예로 L1 및 L4-모멘트법에 따른 'V' 지역에 속하는 고흥 및 마산 강우관측지점의 24 지속기간에 대한 상대평균제곱근오차를 도시한 결과는 Fig.

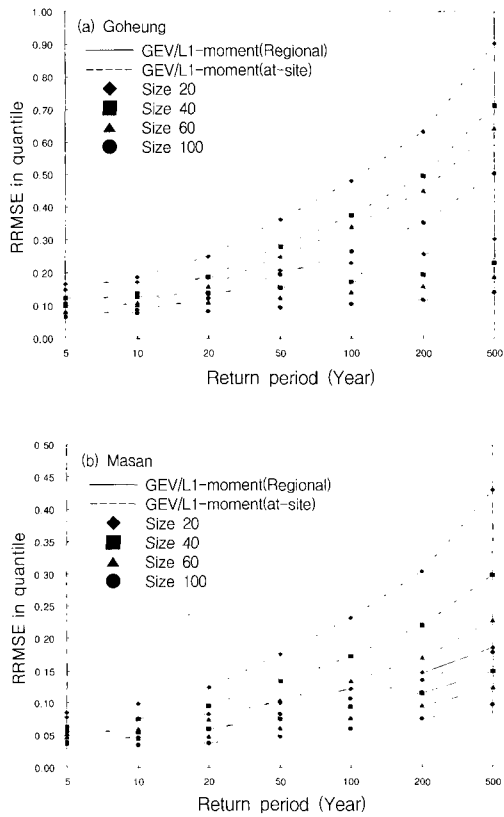


Fig. 3 Comparison of RRMSE estimated by regional and at-site frequency analysis for 24-hour consecutive duration in region V using L1-Moments

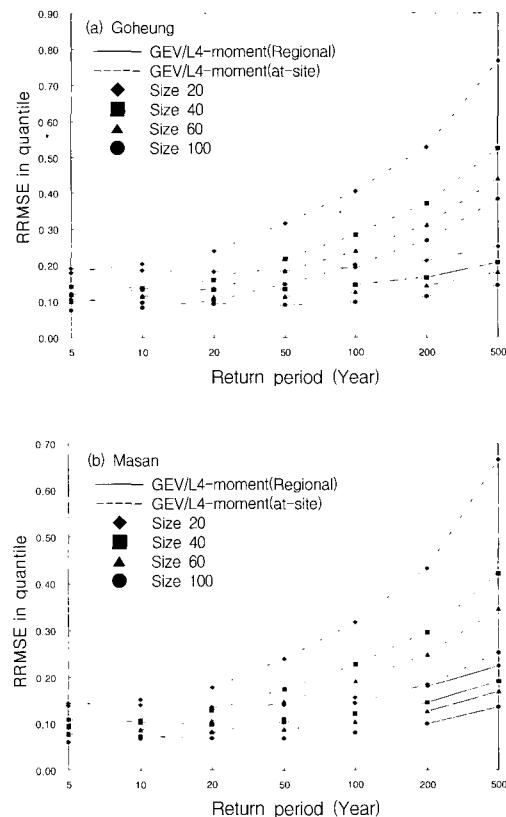


Fig. 4 Comparison of RRMSE estimated by regional and at-site frequency analysis for 24-hour consecutive duration in region V using L4-Moments

3 및 Fig. 4와 같다.

그리고, 지역빈도분석에 의해 계산된 상대평균제 공급오차가 점빈도분석에 의한 상대평균제 공급오차에 비해 상대적으로 감소한 비율을 나타내는 상대감소율(relative reduction)을 본 연구에서 제II보의 식 (28)에 의해 산정함으로써 우리나라의 전역에 걸친 빈도분석 방법과 지속기간별 적정 설계강우량의 제시가 가능하게 된다.

점빈도분석과 지역빈도분석간의 상대 감소율을 지역별, 지속기간별 및 표본크기별로 구하였으며, 표본 예로 L1 및 L4-모멘트법에 따른 지역별 표본크기별로 24 지속기간에 대한 상대 감소율을 구한 결과는 Table 1 및 Table 2와 같다.

L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역별, 지속기간별, 빈도별 및 표본의 크기별로 점빈도분석과 지역빈도분석에 의한 설계강우량의 비교분석을 상대평균제 공급오차와 상대편의에 의해 수행한 결과를 보면 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 점빈도분석에 의한 상대평균제 공급오차, 그리고 지역빈도분석에 의한 상대평균제 공급오차는 각 지역별로 재현기간이 커짐에 따라 증가한 반면 모의발생의 표본크기가 증가함에 따라 감소되는 양상을 나타내었다. 그리고, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 점빈도분석 및 지역빈도분석에 의한 상대편의는 각 지역별로 재현기간이 크고 모의발생의 표본크기가 증가함에 따라 감소함을 나타내었다. 또한,

Table 1 Relative reduction(%) in RRMSE by regional and at-site frequency analysis for 24-hour consecutive duration of GEV distribution using L1-Moments

Simulated sample size	Region	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀
20	I	8.87	19.95	32.27	45.79	53.26	59.15	65.55
	II	1.28	7.60	15.17	22.44	25.01	26.00	26.23
	III	5.60	15.31	26.95	40.47	47.91	53.50	59.15
	IV	0.58	9.46	19.28	30.14	36.13	40.92	46.34
	V	2.56	11.56	21.39	32.69	38.97	43.83	48.93
40	I	6.72	19.12	32.70	46.43	53.23	58.10	62.98
	II	2.11	5.01	13.14	19.27	19.97	18.84	15.94
	III	3.44	14.17	26.30	39.01	45.12	49.11	52.50
	IV	3.00	7.42	18.30	28.32	32.59	35.32	37.83
	V	1.62	7.84	17.74	27.99	32.78	35.71	38.01
60	I	7.28	19.92	33.64	47.22	53.73	58.25	62.64
	II	3.86	4.32	13.41	19.51	19.61	17.74	13.77
	III	2.38	13.23	25.58	38.27	44.16	47.80	50.67
	IV	4.93	5.45	15.96	24.90	28.29	30.03	31.29
	V	1.79	8.24	18.26	27.63	31.61	33.68	34.85
100	I	6.90	19.74	34.12	48.17	54.73	59.11	63.07
	II	6.44	2.94	14.03	21.38	21.30	18.68	13.53
	III	2.33	12.96	25.04	37.40	42.98	46.30	48.71
	IV	9.68	1.95	13.62	22.24	24.64	25.35	25.20
	V	3.93	5.84	15.44	24.55	28.25	30.00	30.47

Table 2 Relative reduction(%) in RRMSE by regional and at-site frequency analysis for 24-hour consecutive duration of GEV distribution using L4-Moments

Simulated sample size	Region	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀
20	I	0.99	6.58	14.99	28.52	37.98	46.00	54.92
	II	32.02	24.64	22.56	17.75	16.75	20.61	32.59
	III	4.35	4.03	11.82	23.92	32.28	39.20	46.73
	IV	83.30	99.72	120.99	76.42	47.62	31.16	20.43
	V	50.56	52.60	53.35	38.67	23.38	10.87	0.92
40	I	17.75	6.83	4.56	21.77	32.58	40.70	48.48
	II	53.26	46.53	45.72	40.65	40.97	49.40	72.24
	III	18.04	7.06	2.12	14.29	21.18	25.66	29.29
	IV	52.58	84.21	129.09	115.35	102.02	97.97	100.44
	V	70.12	73.78	80.68	72.02	60.23	52.46	48.77
60	I	28.62	16.25	2.79	16.96	28.91	37.55	45.36
	II	68.22	60.05	60.69	56.95	56.90	65.59	90.72
	III	29.10	16.85	6.62	6.57	13.46	17.43	19.74
	IV	67.17	10.92	78.80	61.28	46.43	43.36	49.48
	V	88.85	92.79	100.92	94.96	85.90	80.87	81.45
100	I	46.70	32.85	17.21	6.85	21.48	31.92	41.10
	II	93.09	86.70	86.31	75.60	70.37	75.22	97.17
	III	45.18	32.19	21.01	5.71	2.34	6.73	8.58
	IV	91.04	44.87	21.94	21.50	12.16	14.08	26.58
	V	17.12	23.38	33.44	29.57	21.78	17.77	21.38

L1, L2, L3 및 L4-모멘트법의 적용 결과 공히 동일한 지역, 동일한 표본자료 및 동일한 재현기간에서 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 점빈도분석에 의한 것보다 대부분 작게 산정되었으며 이러한 결과는 표본의 크기가 크고 빈도가 커질수록 더욱 작아지는 경향을 나타내었다.

이와 더불어, Fig. 3 및 Fig. 4에서의 결과에서 보는바와 같이 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법의 적용 결과 4가지 방법 모두 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 점빈도분석에 의한 것보다 작게 나타났으며, 이러한 결과는 표본의 크기가 커질수록 더욱 작아지는 경향을 나타내었다.

L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 점빈도분석에 의한 것에 비해 상대적으로 감소한 비율을 분석한 결과를 보면 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에서 공히 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 점빈도분석에 의한 것보다 상대 감소율이 증가함을 나타내었다. 이러한 결과는 지역빈도분석에 의한 지역별 지속기간별 설계강우량이 점빈도분석에 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 설계강우량이 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 점빈도분석에 의한 빈도별 설계강우량 보다 신빙도가 높음을 보여 주었다.

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

본 연구에서 제II보의 결과에 의하면 L-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 설계강우량이 L-모멘트법에 따른 점빈도분석에 의한 빈도별 설계강우량 보다 신빙도가 높음이 입증되었고 본 보의 결과에 의하면 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별

설계강우량이 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 따른 점빈도분석에 의한 빈도별 설계강우량 보다 신빙도가 높음이 입증되었다.

따라서, 본 분석에서는 L, L1, L2, L3, L4-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 설계강우량들의 상대적인 우열을 판정하기 위한 척도인 상대적 효율성(relative efficiency, RE)을 산정하여 L, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법 중 적정 설계강우량 유도가 가능한 매개변수 추정방법을 선정하기로 한다.

상대적 효율성, ϕ_i 는 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 계산된 상대평균제곱근오차에 대한 L-모멘트법에 의한 상대평균제곱근오차와의 비로서 상대적인 효율성을 나타내는 척도이다.⁴⁾ 이와 같은 상대적 효율성은 다음의 식 (23)과 같다.

$$\phi_i = \frac{\text{RRMSE in estimate using L-moment}}{\text{RRMSE in estimate using Li-moment}} \quad (i=1, 2, 3, 4) \dots\dots\dots(23)$$

L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 대한 L-모멘트법의 상대적 효율성을 지역별, 지속기간별, 표본크기별 및 빈도별로 구하였고 표본 예로 'V' 지역에 대한 24시간 지속기간에 대하여 표본크기 20과 100을 도시한 결과는 Fig. 5와 같다

Fig. 5의 결과를 보면, L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의한 상대평균제곱근오차에 대한 L-모멘트법에 의한 상대평균제곱근오차의 비인 상대효율성의 값, ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 및 ϕ_4 가 대체적으로 1 보다 작은 값을 나타내고 있다. 이와 같은 상대적 효율성인, ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 및 ϕ_4 의 값의 변화를 보면 ϕ_1 의 값 보다는 ϕ_2 의 값이, ϕ_2 의 값 보다는 ϕ_3 의 값이, ϕ_3 의 값 보다는 ϕ_4 의 값이 점차적으로 작아지는 경향을 나타내었다. 환언하면, 이는 곧 L 및 LH-모멘트 차수에 따른 상대효율성의 비교 척도로서 L4-모멘트법 보다는 L3-모멘트법이, L3-모멘트법 보다는 L2-모멘트법이, L2-모멘트법 보다

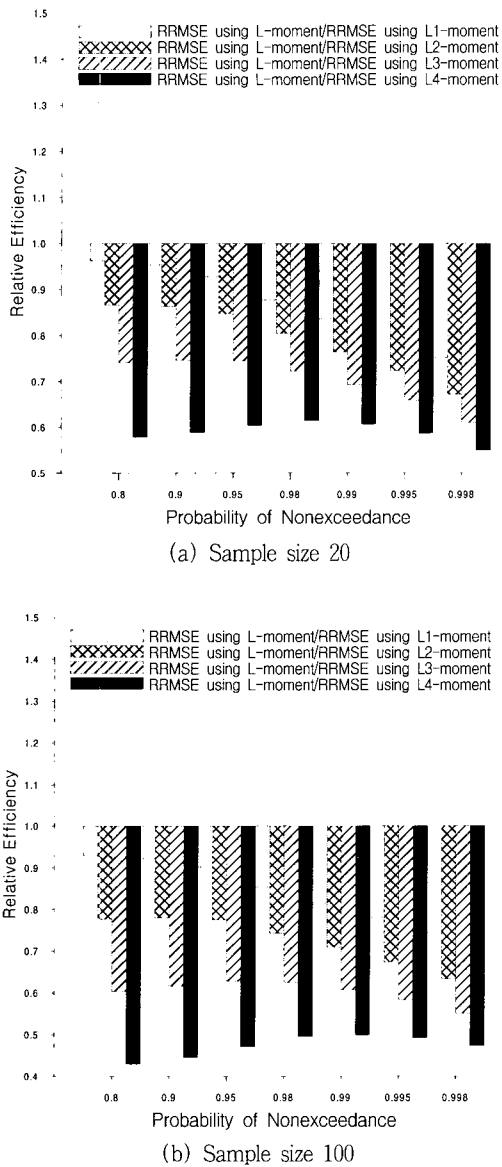


Fig. 5 Comparison of relative efficiency estimated by GEV distribution using method of LH-moment for 24-hour consecutive duration in region V

는 L1-모멘트법이, L1-모멘트법 보다는 L-모멘트법에 따른 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 설계강우량이 보다 효율성이 높음을 의미한다.

이와 같은 결과는 타 지역별, 지속기간별, 표본크기별 및 빈도별로 구한 상대적 효율성에서도 대체

적으로 동일한 양상을 나타내었다.

다. 지역별 지속기간별 적정 설계강우량의 추정

전술한 결과에서 언급한 바와 같이 우리나라의 지역별 지속기간에 따른 빈도별 적정한 설계강우량의 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 설계강우량을 산정하였다. 산정 결과를 종합하면 본 연구의 제II보의 Table 6 과 같고 표본 예로 24 및 72 지속시간에 따른 지역별 설계강우량을 정규확률지상에 도시한 결과는 본 연구에서 제II보의 Fig. 3과 같다.

이상의 결과를 종합해 보면 지역별로 지속기간 및 재현기간이 커질수록 전반적으로 설계강우량의 크기가 커짐을 나타내었으며 또한, 지역화된 5개 지역에서 'I' 지역인 강원, 경기 및 서울지방은 타 지역에 비해 제일 높은 빈도별 설계강우량을 보여 주고 있는 반면 'IV' 지역인 경북일원과 강원 일부 지방은 타 지역에 비해 가장 낮은 빈도별 설계강우량을 나타내고 있다.

8. GIS 기법에 의한 지속기간별 빈도별 설계강우량도 작성

전술한 바와 같이 우리나라의 지역별 지속기간에 따른 빈도별 적정한 설계강우량은 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 설계강우량을 제공하고자 한다.

지역빈도분석에 의해 추정된 강우관측지점별, 지속기간별 및 재현기간별 설계강우량과 같이 점자료로 획득되는 수자원관련 자료들의 공간 분포를 위해 많이 사용되고 있는 알고리즘으로는 Thiessen

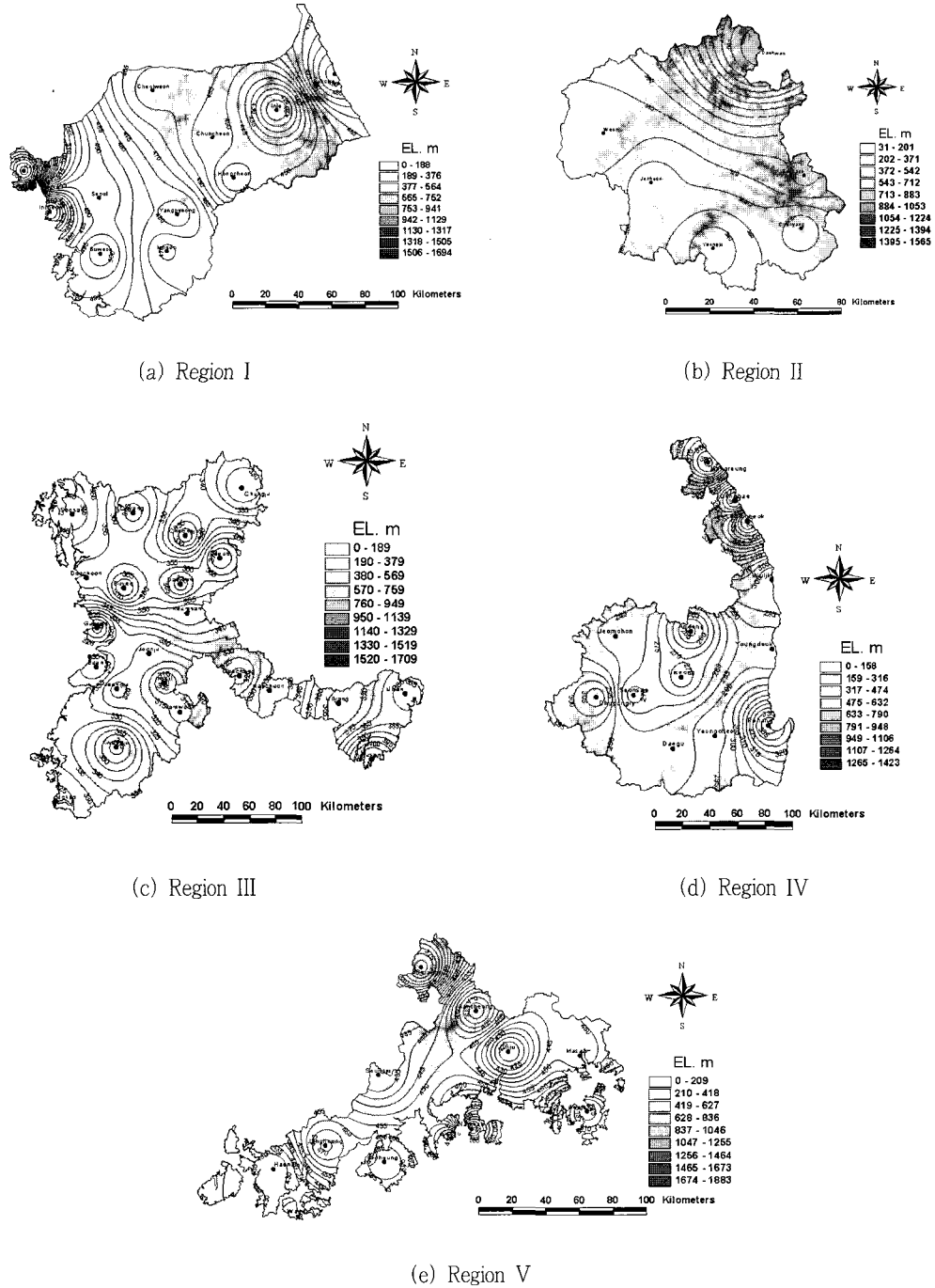


Fig. 6 Design rainfall map according to 100-yr return period of 24-hour consecutive duration for 5 regions

망에 의한 방법, 역거리가중법(IDW; Inverse Distance Weighting), Spline 방법, Isohyetal 방법, 추이분석(Trend Surface Analysis) 및 Kriging 기법 등이 있다. 본 연구에서는 전통적으로 널리 사용되고 있는 역거리가중법에 의해 지역별 지속기간별 설계강우량의 공간 분포를 시도하였다. 또한 이들의 공간 분포는 Arc View 3.1을 이용하여 도시하였다.

역거리가중법 알고리즘에 의해 지역화된 지속기간별 빈도별 설계강우량의 공간 분포를 도시하였다. 표본예로서 지역별로 지속기간 24 시간에 대한 100년 빈도 설계강우량의 공간 분포를 도시한 결과는 Fig. 6과 같다.

미계측 지점에서의 수공구조물 설계시 해당지역에서 필요한 설계강우량은 본 연구를 통해 작성된 설계강우량도에 의해 구해질 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 우리나라 전역에 걸쳐 비교적 장기간 관측되고 관측 정밀도가 높은 강우관측지점을 선정하여 지속기간별 연최대치 계열을 구성하고 대상 강우관측지점의 지형적, 기후적 특성을 변수화하여 지형적 및 기후학적으로 동성인 권역으로 나누는 지역화를 시도하였다. 이어서 지역별 지속기간별 강우량에 적합한 확률분포형을 선정한 다음 고차확률가중모멘트의 선형조합인 L 및 L1, L2, L3, L4-모멘트법에 의해 점빈도 및 지역빈도분석을 시도함으로써 각각에 대한 설계강우량을 유도하고 이를 비교 분석함으로써 적정 매개변수 유도방법과 빈도분석 방법을 제시하고 이에 의한 지역별 지속기간에 따른 빈도별 설계강우량을 유도하였으며 이의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 강우관측지점에 대한 지속기간별 연최대강우량의 적정 확률분포형을 선정하기 위해 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에서는 GUM, GEV, GLO 및 GPA 분포형을 대상으로 L1, L2, L3 및 L4-모멘트

트비도 및 Kolmogorov-Smirnov 검정 결과 최종적으로 GEV 분포형이 적정 확률 분포형으로 판정되었다.

2. 지역 및 지점별 지속기간에 따른 연최대강우량에 적합한 확률분포형인 GEV 분포형의 매개변수를 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에 의해 산정하였다.

3. 매개변수 추정방법별로 적정 확률분포형과 실측치에 의한 점빈도 및 지역빈도분석에 의해 빈도별 설계강우량을 유도하였다.

4. 매개변수 추정방법별로 실측치와 모의발생치의 점빈도 및 지역빈도분석에 의한 각각의 빈도별 설계강우량을 유도하고 이들간의 상대평균계급근오차와 상대편의에 의한 오차분석을 실시한 결과 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에서 공히 지역빈도분석에 의해 유도된 빈도별 설계강우량이 점빈도분석에 의한 빈도별 설계강우량 보다 신빙도가 높음을 나타내었다.

5. L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 지역빈도분석에 의한 상대평균계급근오차가 점빈도분석에 의한 것 보다 상대적인 감소율이 크게 나타남으로서 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법에서 공히 지역빈도분석에 의한 빈도별 설계강우량이 점빈도분석에 의한 것 보다 신빙성이 높음을 보여 주고 있다.

6. 본 연구의 제II보에서 적용한 L-모멘트법과 본 보에서 적용한 L1, L2, L3 및 L4-모멘트법별로 지역빈도분석에 의한 상대효율성을 분석한 결과 L-모멘트법과 지역빈도분석에 의한 설계홍수량이 타 방법에 의한 것보다 신빙도가 높게 판정되었다.

7. L-모멘트법과 지역빈도분석에 의해 추정된 지역별 지속기간별 빈도별 강우량의 공간 분포인 설계강우량도를 보간기법인 역거리 가중법과 GIS 기법의 하나인 Arc View 3.1에 의해 작성하였다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000-00390-0) 지원으로 수행되었음.

References

1. 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(I). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(4): 57~68. (in Korean)
2. 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)
3. 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)
4. Wang, Q. J. 1997. LH Moments for Statistical Analysis of Extreme Events. *Water Resources Research* 33(2): 2841~2848
5. Wang, Q. J. 1997. Using Higher Probability Weighted Moments for Flood Frequency Analysis. *Journal of Hydrology* 194: 95~106