

고차확률가중모멘트법에 의한 지역화빈도분석과  
GIS기법에 의한 설계강우량 추정(Ⅱ)  
- L-모멘트법을 중심으로 -

Estimation of Design Rainfall by the Regional Frequency Analysis  
using Higher Probability Weighted Moments and GIS Techniques(Ⅱ)  
- On the method of L-moments -

이 순 혁\* · 박 종 화\* · 류 경 식\*\*  
Lee, Soon Hyuk · Park, Jong Hwa · Ryoo, Kyong Sik  
지 호 근\*\* · 신 용 회\*\*  
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.

Using the L-moment ratios and Kolmogorov-Smirnov test, the underlying regional probability distribution was identified to be the Generalized extreme value distribution among applied distributions. Regional and at-site parameters of the generalized extreme value distribution were estimated by the linear combination of the probability weighted moments, L-moment.

The regional and at-site analysis for the design rainfall were tested by Monte Carlo simulation. Relative root-mean-square error(RRMSE), relative bias(RBIAS) and relative reduction(RR) in RRMSE were computed and compared with those resulting from at-site Monte Carlo simulation. All show that the regional analysis procedure can substantially reduce the RRMSE, RBIAS and RR in RRMSE in the prediction of design rainfall. Consequently, optimal design rainfalls following the regions and consecutive durations were derived by the regional frequency analysis.

\*충북대학교 농과대학  
\*\*충북대학교 대학원

키워드 : L-모멘트, GEV 분포, Monte Carlo  
기법 상대평균계급근오차, 상대편의,  
상대감소율, 점빈도분석, 지역빈도분석

I. 서 론

농업용수를 비롯한 각종 산업용수의 개발을 위하여 댐 또는 농업용 저수지를 설계할 경우의 물량이 단면결정, 하천의 개·보수사업, 배수시설물의 용량을 결정하고자 할 경우에는 우선적으로 정확한 설계홍수량이 제시되어야 한다. 그러나, 우리나라는 불행하게도 아직까지 홍수유출기록년수가 짧고, 있더라도 관측의 신빙성이 결여 되어있는 곳이 많은 실정이다. 그리고, 설계홍수량 산정을 위한 적절한 확률분포형의 선정과 확률분포형의 매개변수 추정기법에 대한 연구가 부족하여 종종 신빙성이 떨어지는 설계홍수량을 산정하게 되고 이를 설계에 반영하는 경우가 있다.

과거 국내·외에서 확률분포형의 매개변수 추정 방법으로 많이 사용되어 왔던 방법으로는 모멘트법, 최우법 등이 있으나 모멘트법은 왜곡된 분포의 경우 불확실한 매개변수 추정치를 갖게되며 고차모멘트로 갈수록 더욱 부정확하게 되며 최우법은 수치적으로 해를 구하는 과정이 복잡하고 매개변수 추정치를 얻을 수 없는 경우가 많은 단점이 있다. 그래서 최근에는 모멘트법과 최우법의 단점을 보완할 수 있는 대안으로 Greenwood(1979) 등은 매개변수 추정법으로 확률가중모멘트법을 제시하였다. 또한 Hosking(1990)은 확률가중모멘트의 선형조합으로 이루어진 L-모멘트법을 제시함으로써 정확성이 높은 확률분포형의 매개변수를 유도를 가능하게 하였다.

따라서, 본 연구에서는 지역화된 지속기간별 극치강우량의 적정확률분포형의 선정과 함께 확률분포형의 매개변수 유도를 위한 확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트법에 의해 점빈도 및 지역빈도분석을 수행하여 지속기간에 따른 빈도별 설계강우량을 추정하고 이들을 비교 분석함으로써 적절한 빈도분석 방법과 지속기간별 설계강우량 추정방법을 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.

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

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 0이 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 매개변수추정에 그리고 식 (3)의  $M_{1,0,s}$ 는 Weibull, Generalized Lambda 및 Wakeby 분포형의 매개변수 추정에 사용되었다. 이에 대한 표본자료의 불편 표본 확률가중모멘트(unbiased sample PWM)는 다음의 식 (4), (5)와 같이 나타낼 수 있다.

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

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

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

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

여기서  $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_N$ ,  $\beta_0 = \beta'_0 = \bar{X}$  이며,  $\bar{X}$ 는 표본자료의 평균을 나타낸다.

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

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

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

추정량  $\beta_r$  과  $\beta'_s$  간의 관계는 식 (6) ~ 식 (7)의 관계식으로부터 식 (8) ~ 식 (11)과 같이 주어지며,  $\beta_r$  과  $\beta'_s$  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 L-모멘트 방법에 의한 모집단의 추정량은 다음의 식 (12)와 같이 주어진다.

$$\lambda_{N+1} = \sum_{k=0}^N p^*_{N,k} \beta_k = (-1)^N \sum_{k=0}^N p^*_{N,k} \beta'_k \dots \dots (12)$$

여기서  $p^*_{N,k} = (-1)^{N-k} \binom{N}{k} \binom{N+k}{k}$  이다. 따라서 모집단의 L-모멘트는 확률가중 모멘트와 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\lambda_1 = \beta_0' = \beta_0 \dots \dots \dots (13)$$

$$\lambda_2 = \beta_0' - 2\beta_1' = 2\beta_1 - \beta_0 \dots \dots \dots (14)$$

$$\lambda_3 = \beta_0' - 6\beta_1' + 6\beta_2' = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \dots \dots \dots (15)$$

$$\lambda_4 = \beta_0' - 12\beta_1' + 30\beta_2' - 20\beta_3' = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \dots \dots (16)$$

위 관계식에서 보는 바와 같이 L-모멘트법은 확률가중 모멘트법의 선형조합이며, 확률가중 모멘트법에 의한 매개변수 추정치와 L-모멘트법에 의한 추정치는 동일한 값을 갖는다.

식 (13) ~ 식 (16)에 표시된 L-모멘트법의 경우에도 일반 모멘트법에서의 변동계수, 왜곡도 및 첨예도에 해당하는 L-모멘트비인 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도를 가지며, 각각 다음의 식과 같이 정의된다.

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \equiv \text{L-변동계수(L-coefficient of variation)} \dots \dots \dots (17)$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \equiv \text{L-왜곡도(L-skewness)} \dots \dots \dots (18)$$

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \equiv \text{L-첨예도(L-kurtosis)} \dots \dots \dots (19)$$

지역화 분석시 동질성인 지역의 L-모멘트비인 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도는 다음의 식 (20) ~ 식 (22)와 같다.

$$\tau_{2R} = \frac{2\beta_{1R} - \beta_{0R}}{\beta_{0R}} \dots \dots \dots (20)$$

$$\tau_{3R} = \frac{6\beta_{2R} - 6\beta_{1R} + \beta_{0R}}{2\beta_{1R} - \beta_{0R}} \dots \dots \dots (21)$$

$$\tau_{4R} = \frac{20\beta_{3R} - 30\beta_{2R} + 12\beta_{1R} - \beta_{0R}}{2\beta_{1R} - \beta_{0R}} \dots \dots \dots (22)$$

여기에서

$$\beta_{kR} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m n_i} \sum_{j=1}^m \left[ \frac{\beta_k}{\beta_0} \right]_{n_j}, \quad n_j, \quad k=0, 1, 2, \dots \dots (23)$$

$m$  = 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 지

리학적 인자는 제 I보의 Table 1과 같다.

## 2. 분석방법

가. 지역화된 지역에 대한 지속기간별 극치강우 자료의 적정분포형을 선정하기 위한 확률분포형은 Gumbel, Generalized extreme-value, Generalized logistic, Generalized pareto, Generalized normal 및 Pearson type III 분포를 대상으로 한다.

나. 지역별 지속시간에 따른 극치강우자료에 적용된 확률분포형들의 L-모멘트비를 각각 산정한다.

다. '가'항에서 적용된 확률분포형들을 대상으로 L-모멘트비도 및 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정에 의해 적절한 확률분포형을 선정한다.

라. 선정된 확률분포형의 매개변수를 지점 및 지역별로 L-모멘트법에 의해 산정한다.

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

바. 수개의 동질성 권역으로 분류된 지속기간별 강우량을 Monte Carlo 기법에 의해 강우관측지점별로 표본 크기(sample size)를 20, 40, 60 및 100으로 하고 각각 1,000회 모의발생 한다.

사. Monte Carlo 기법에 의해 모의발생된 연최대강우량에 대한 지점 및 지역빈도분석을 실시하여 빈도별 설계강우량을 유도한다.

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

자. L-모멘트법에 의한 지역별 지속기간에 따른 빈도별 적정 설계강우량을 제시한다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 적정 확률분포형의 선정

본 연구에서는 강우관측지점별 지속기간별 연최대강우량의 적정 확률분포형을 선정하기 위하여 도식적 방법인 L-모멘트비도와 비매개변수적 방

법인 Kolmogorov-Smirnov 검정 방법을 적용하였다.

### 가. L-모멘트비도에 의한 적정 확률분포형의 선정

5개 지역으로 구분된 강우관측지점들의 지속기간별 연최대강우량에 대한 적정 확률분포형의 선정은 L-모멘트비를 산정하여 L-모멘트비도를 도시함으로써 이루어질 수 있다. 본 분석에서는 Gumbel, Generalized extreme-value, Generalized logistic, Generalized normal, Generalized pareto 및 Pearson type III 확률분포형별로 각 지역별 지속기간별 연최대강우량의 L-왜곡도와 L-첨예도를 구하고, L-모멘트비도를 작성함으로써 이를 근거로 적절한 확률분포형을 선정하였다.

지역별 및 지속기간별 대상지점에 대한 연최대강우량 계열 L-모멘트비인 L-왜곡도, L-첨예도를 구하여 L-모멘트비도를 작성한 결과는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 지역별 지속기간별 연최대강우량 계열인 40개의 L-왜곡도와 L-첨예도의 무차원 L-모멘트 플로팅 포지션점이 GEV 분포형의 곡선에 고루 산재해 있고 L-왜곡도를 평균한 값이 0.23으로서 타 확률분포형의 L-모멘트비 곡선 보다 GEV 분포형의 L-모멘트비 곡선에 보다 근접되어 있음을 볼 수 있다.

결론적으로, 지역별 지속기간별 40개의 연최대강우량 계열에 L-모멘트법을 적용하여 L-모멘트비를 플로팅한 결과 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 보다 적절한 확률분포형으로 나타났다.

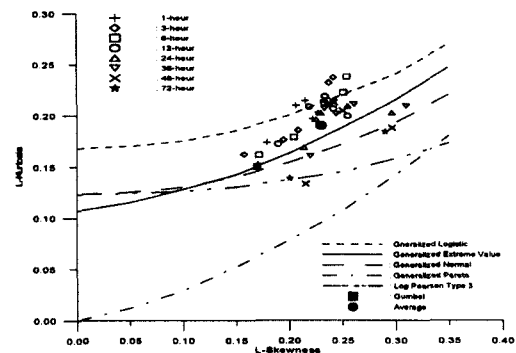


Fig. 1 Identification of distributions by L-skewness and L-kurtosis

나. Kolmogorov-Smirnov 검정에 의한 적정 확률분포형의 선정

강우관측지점별 지속기간별 적정 확률분포형을 선정하기 위해 Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시한 결과, 연최대강우량 계열에 대하여 L-모멘트법의 K-S 한계치가 5% 유의수준치보다는 작게 산정되었기 때문에 L-모멘트법에 따른 적용 확률분포형 전부가 적정 확률분포형으로 판정되었다.

다. 적합도 검정 결과에 의한 적정 확률분포형의 선정

L-모멘트비도에 의한 검정에서는 6개 확률분포형 중 GEV 분포형이 타 확률분포형에 비해 적정한 것으로 검정되었고 Kolmogorov-Smirnov 검정에서는 6개 확률분포형이 모두 적정한 것으로 검정되었으므로 GEV 분포형을 연최대강우량계열의 적정 확률분포형으로 선정하였다.

2. 적정 확률분포형의 매개변수 추정

적정 확률분포형으로 선정된 GEV 분포형의 매개변수인 척도매개변수  $\alpha$ , 위치매개변수  $\xi$  및 형상매개변수  $k$  를 지속기간별, 지점별 및 지역별로 L-모멘트법에 의하여 산정하였다(Naghavi, 1995).

3. 적정 확률분포형에 의한 실측치의 점빈도 및 지역빈도분석

L-모멘트법에 의해 추정된 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 강우관측지점들에 대한 점빈도분석과 지역빈도분석을 실시하고 각 경우에 대하여 빈도별 설계강우량을 유도하였다.

가. 점빈도분석

65개 강우관측지점에 대한 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 점빈도분석을 수행하였으며, 식 (24)에 의하여 지속기간별 빈도별 설계강우량을 산정하였다.

$$\widehat{X}_T = \xi + \left(\frac{\alpha}{k}\right) [1 - (-\ln F)^k] \dots\dots\dots (24)$$

여기서,  $T$ 는 재현기간,  $F$ 는 재현기간에 따른 비초과확률,  $\alpha$ ,  $\xi$ ,  $k$ 는 각각 GEV 확률분포형의 매개변수를 나타내고 있다.

나. 지역빈도분석

본 분석에서는 동질성으로 구분된 지역내 강우관측지점들에 대한 지역빈도분석을 위해 추정된 GEV 분포형의 매개변수를 이용하여 5개 지역내 강우관측지점들에 대한 지속기간별 빈도별 설계강우량을 다음의 식 (25)에 의해 유도하였다.

$$\widehat{X}_{T_i} = \overline{x}_i \widehat{X}_{T_k} \dots\dots\dots (25)$$

여기서,  $\overline{x}_i$ 는 해당지역  $i$  강우관측지점에 대한 연최대강우량의 평균이다.

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 안정성의 신빙성 여부를 판단하기 위한 것이다.

본 분석에서는 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 지역빈도 분석 결과 비교

가. 설계강우량의 비교

강우관측지점들의 실측 지속기간별 연최대강우량과 모의발생된 지속기간별 연최대강우량을 각각

점빈도분석과 지역빈도분석을 실시하여 빈도별 설계강우량을 추정하였다.

본 연구에서는 실측치와 모의발생치에 의해 추정된 각각의 빈도별 설계강우량에 대하여 상대평균제곱근오차와 상대편의에 의한 오차분석을 실시하므로써 지속기간에 따른 빈도별 설계강우량 추정방법의 적정성 여부를 판단하고자 한다.

상대평균제곱근오차(RRMSE)와 상대편의(RBIAS)의 일반식은 각각 다음의 식 (26) 및 식 (27)과 같다.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right\}^2} \dots\dots\dots (26)$$

$$RBIAS = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

여기에서  $Q_j$ 와  $Q_j^m$ 은 각각 실측치에 의한 빈도별 설계강우량과 모의발생된 자료에 의한 빈도별 설계강우량을 나타내고 있다.

지속기간이 24시간이고 표본의 크기를 20, 40,

60 및 100개로 하여 모의발생된 빈도별 설계강우량과 실측치에 의한 빈도별 설계강우량에 대하여 상대평균제곱근오차와 상대편의의 평균값을 산정한 결과는 각각 Table 1, Table 2, Table 3 및 Table 4와 같다.

또한, 강우관측지점별로 실측된 연최대강우량과 모의발생된 연최대강우량의 점빈도분석과 지역빈도분석에 의해 추정된 각각의 지속기간에 따른 표본크기별 빈도별 설계강우량별로 상대평균제곱근오차와 상대편의간의 관계를 도시하였으며 V 지역에 속하는 고흥과 마산 강우관측지점의 지속기간 24시간인 경우를 예로 도시한 결과는 Fig. 2와 같다.

일반적으로, 지역빈도분석에 의해 계산된 상대평균제곱근오차가 점빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차와 비교하여 상대적으로 감소한 비율을 나타내는 상대 감소율(relative reduction)을 산정함으로써 우리나라의 전역에 걸친 지속기간별 적정 설계강우량의 제시가 가능하게 된다. 상대 감소율은 다음 식 (28)을 이용하여 산정할 수 있다.

Table 1 RRMSE of the simulated quantile following the sample size and region for 24-hr consecutive duration of GEV distribution by point frequency analysis

Simulated sample size	Region	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>200</sub>	Q <sub>500</sub>
20	I	0.1253	0.1532	0.1951	0.2713	0.3457	0.4377	0.5944
	II	0.1098	0.1297	0.1615	0.2211	0.2793	0.3503	0.4675
	III	0.1050	0.1258	0.1589	0.2209	0.2816	0.3561	0.4812
	IV	0.1047	0.1254	0.1578	0.2175	0.2759	0.3471	0.4664
	V	0.1136	0.1372	0.1738	0.2415	0.3083	0.3909	0.5317
40	I	0.0880	0.1095	0.1428	0.2036	0.2619	0.3324	0.4483
	II	0.0767	0.0911	0.1153	0.1604	0.2036	0.2548	0.3364
	III	0.0740	0.0896	0.1149	0.1615	0.2061	0.2591	0.3445
	IV	0.0738	0.0895	0.1150	0.1621	0.2073	0.2616	0.3500
	V	0.0795	0.0966	0.1239	0.1738	0.2214	0.2777	0.3678
60	I	0.0723	0.0906	0.1193	0.1710	0.2200	0.2778	0.3705
	II	0.0628	0.0753	0.0961	0.1343	0.1701	0.2117	0.2760
	III	0.0605	0.0735	0.0947	0.1337	0.1705	0.2134	0.2806
	IV	0.0605	0.0735	0.0948	0.1340	0.1712	0.2153	0.2858
	V	0.0653	0.0801	0.1035	0.1459	0.1856	0.2320	0.3045
100	I	0.0561	0.0706	0.0932	0.1337	0.1713	0.2147	0.2820
	II	0.0495	0.0592	0.0753	0.1046	0.1316	0.1623	0.2087
	III	0.0471	0.0575	0.0747	0.1061	0.1352	0.1689	0.2205
	IV	0.0470	0.0573	0.0743	0.1052	0.1340	0.1673	0.2187
	V	0.0507	0.0624	0.0813	0.1155	0.1472	0.1838	0.2402

$$RR = \frac{1}{n} \left\{ \sum \frac{RRMSE_A - RRMSE_R}{RRMSE_A} \right\} \times 100 \dots (28)$$

여기서,  $RRMSE_A$ 와  $RRMSE_R$ 은 각각 점빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차와 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차이다.

점빈도분석과 지역빈도분석간의 상대 감소율을 지역별, 지속기간별 및 표본크기별로 구하였으며, 지역별로 지속기간이 24시간이며 20, 40, 60 및 100의 표본크기별로 상대 감소율을 구한 결과를 정리하면 Table 5와 같다.

Table 2 RBIAS of the simulated quantile following the sample size and region for 24-hr consecutive duration of GEV distribution by point frequency analysis

Simulated sample size	Region	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
20	I	0.0007	-0.0053	-0.0089	-0.0076	-0.0007	0.0126	0.0420
	II	-0.0001	-0.0006	0.0014	0.0091	0.0196	0.0349	0.0637
	III	0.0004	-0.0003	0.0010	0.0074	0.0169	0.0313	0.0593
	IV	0.0012	0.0001	0.0010	0.0066	0.0153	0.0286	0.0548
	V	0.0004	-0.0018	-0.0015	0.0046	0.0147	0.0305	0.0620
40	I	-0.0013	-0.0044	-0.0056	-0.0030	0.0032	0.0136	0.0353
	II	-0.0002	-0.0002	0.0015	0.0071	0.0143	0.0245	0.0433
	III	-0.0002	-0.0006	0.0003	0.0044	0.0104	0.0194	0.0366
	IV	-0.0004	-0.0009	0.0001	0.0045	0.0109	0.0203	0.0385
	V	-0.0010	-0.0024	-0.0023	0.0013	0.0073	0.0167	0.0351
60	I	-0.0010	-0.0034	-0.0045	-0.0028	0.0014	0.0088	0.0242
	II	-0.0009	-0.0009	0.0004	0.0046	0.0100	0.0175	0.0312
	III	-0.0002	-0.0006	-0.0001	0.0028	0.0071	0.0136	0.0261
	IV	-0.0002	-0.0006	0.0001	0.0032	0.0076	0.0144	0.0272
	V	-0.0008	-0.0019	-0.0018	0.0008	0.0051	0.0118	0.0249
100	I	-0.0003	-0.0018	-0.0024	-0.0012	0.0016	0.0064	0.0162
	II	-0.0005	-0.0008	-0.0003	0.0019	0.0048	0.0089	0.0167
	III	-0.0001	-0.0004	0.0000	0.0020	0.0049	0.0093	0.0176
	IV	-0.0001	-0.0002	0.0003	0.0024	0.0055	0.0100	0.0185
	V	-0.0004	-0.0011	-0.0010	0.0008	0.0037	0.0083	0.0171

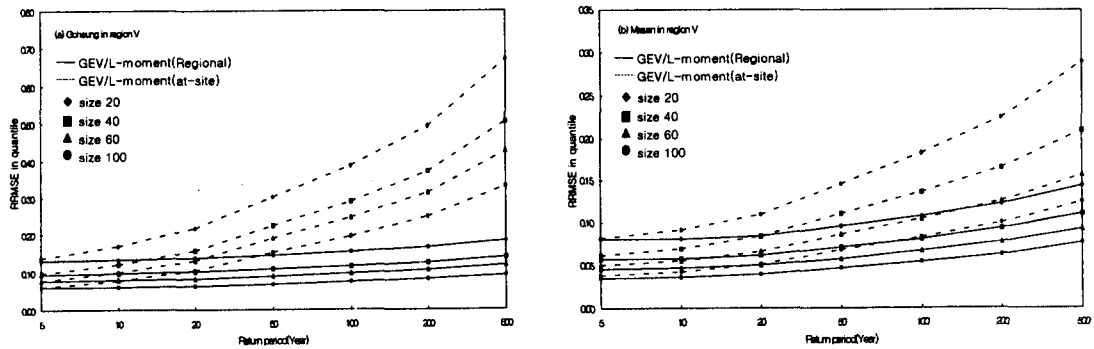


Fig. 2. Comparison of regional and at-site procedures for 24-hr consecutive duration in region V

Table 3 RRMSE of the simulated quantile following the sample size and region for 24-hr consecutive duration of GEV distribution by regional frequency analysis

Simulated sample size	Region	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>200</sub>	Q <sub>500</sub>
20	I	0.1236	0.1251	0.1295	0.1409	0.1537	0.1694	0.1936
	II	0.1043	0.1087	0.1162	0.1312	0.1463	0.1643	0.1921
	III	0.1021	0.1032	0.1053	0.1104	0.1160	0.1231	0.1345
	IV	0.1033	0.1053	0.1089	0.1167	0.1251	0.1353	0.1512
	V	0.1094	0.1107	0.1145	0.1239	0.1342	0.1468	0.1662
40	I	0.0874	0.0893	0.0936	0.1039	0.1151	0.1287	0.1496
	II	0.0729	0.0762	0.0825	0.0956	0.1089	0.1249	0.1496
	III	0.0724	0.0733	0.0752	0.0796	0.0843	0.0901	0.0994
	IV	0.0727	0.0746	0.0778	0.0846	0.0917	0.1003	0.1138
	V	0.0779	0.0793	0.0828	0.0910	0.0998	0.1104	0.1266
60	I	0.0709	0.0727	0.0767	0.0858	0.0953	0.1068	0.1244
	II	0.0593	0.0623	0.0678	0.0791	0.0904	0.1039	0.1245
	III	0.0591	0.0599	0.0616	0.0654	0.0694	0.0744	0.0822
	IV	0.0592	0.0608	0.0637	0.0696	0.0756	0.0830	0.0944
	V	0.0630	0.0644	0.0677	0.0753	0.0833	0.0928	0.1073
100	I	0.0547	0.0561	0.0590	0.0657	0.0729	0.0816	0.0951
	II	0.0464	0.0483	0.0520	0.0602	0.0686	0.0789	0.0947
	III	0.0456	0.0463	0.0477	0.0508	0.0541	0.0581	0.0644
	IV	0.0462	0.0476	0.0498	0.0543	0.0590	0.0646	0.0735
	V	0.0489	0.0499	0.0527	0.0591	0.0658	0.0738	0.0860

Table 4 RBIAS of the simulated quantile following the sample size and region for 24-hr consecutive duration of GEV distribution by regional frequency analysis

Simulated sample size	Region	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>200</sub>	Q <sub>500</sub>
20	I	0.0122	0.0018	-0.0111	-0.0306	-0.0463	-0.0625	-0.0842
	II	0.0016	0.0019	0.0027	0.0048	0.0072	0.0103	0.0158
	III	0.0055	0.0014	-0.0041	-0.0125	-0.0194	-0.0265	-0.0362
	IV	0.0166	0.0095	0.0053	-0.0022	-0.0086	-0.0155	-0.0249
	V	0.0080	-0.0009	-0.0115	-0.0271	-0.0396	-0.0524	-0.0695
40	I	0.0078	0.0019	-0.0056	-0.0168	-0.0259	-0.0353	-0.0480
	II	-0.0017	0.0001	0.0029	0.0080	0.0128	0.0184	0.0270
	III	0.0035	0.0009	-0.0024	-0.0072	-0.0111	-0.0152	-0.0206
	IV	0.0084	0.0081	0.0062	0.0025	-0.0009	-0.0046	-0.0097
	V	0.0056	-0.0006	-0.0079	-0.0185	-0.0271	-0.0358	-0.0476
60	I	0.0059	0.0012	-0.0046	-0.0135	-0.0208	-0.0284	-0.0386
	II	-0.0031	-0.0014	0.0012	0.0059	0.0103	0.0154	0.0230
	III	0.0021	-0.0003	-0.0031	-0.0073	-0.0106	-0.0141	-0.0188
	IV	0.0073	0.0073	0.0060	0.0031	0.0004	-0.0026	-0.0069
	V	0.0042	-0.0015	-0.0082	-0.0178	-0.0256	-0.0336	-0.0444
100	I	0.0041	0.0005	-0.0040	-0.0110	-0.0167	-0.0227	-0.0310
	II	-0.0036	-0.0019	0.0008	0.0055	0.0098	0.0146	0.0218
	III	0.0012	-0.0008	-0.0031	-0.0063	-0.0090	-0.0117	-0.0154
	IV	0.0063	0.0066	0.0057	0.0035	0.0013	-0.0012	-0.0049
	V	0.0028	-0.0024	-0.0085	-0.0174	-0.0245	-0.0319	-0.0420



Table 5 Relative reduction(%) in RRMSE by region for at-site for 24-hr consecutive duration of GEV distribution

Simulated sample size	Region	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>200</sub>	Q <sub>500</sub>
20	I	1.58	18.40	33.46	47.66	54.99	60.59	66.56
	II	5.04	15.90	27.45	39.83	46.69	52.04	57.68
	III	3.44	17.66	32.52	48.20	56.70	63.04	69.26
	IV	3.07	16.83	30.87	45.35	53.16	59.05	65.04
	V	3.83	18.49	32.50	46.39	53.72	59.29	65.05
40	I	1.12	18.72	34.35	48.45	55.30	60.29	65.33
	II	4.97	16.02	27.65	39.14	44.97	49.16	53.32
	III	3.08	17.97	33.09	48.32	56.19	61.84	67.14
	IV	2.84	16.75	31.08	45.30	52.51	57.67	62.57
	V	2.49	17.37	31.70	45.32	52.09	56.96	61.73
60	I	2.45	20.00	35.58	49.30	55.84	60.47	65.05
	II	5.47	16.85	28.57	39.68	45.07	48.79	52.31
	III	2.98	17.82	33.04	48.23	55.91	61.31	66.28
	IV	3.72	17.42	31.63	45.54	52.44	57.28	61.76
	V	3.96	18.95	32.95	45.72	51.83	56.11	60.19
100	I	2.87	20.65	36.41	50.12	56.41	60.72	64.70
	II	6.12	17.88	29.86	40.85	45.92	49.17	51.90
	III	3.75	18.55	33.55	48.26	55.61	60.72	65.30
	IV	2.92	19.96	31.51	45.47	52.20	56.77	60.77
	V	3.87	19.13	33.12	45.45	51.10	54.92	58.39

Table 1 ~ Table 3에서 보는 바와 같이 점빈도 분석에 의한 상대평균제곱근오차와 상대편의 및 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차는 각 지역별로 재현기간이 커짐에 따라 증가한 반면 모의 발생의 표본크기가 증가함에 따라 감소되는 양상을 나타내었다. 그리고, Table 4에서 보는 바와 같이 지역빈도분석에 의한 상대편의는 각 지역별로 재현기간이 크고 모의발생의 표본크기가 증가함에 따라 감소하였다. 또한, 동일한 지역, 동일한 표본자료 및 동일한 재현기간에서 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 점빈도분석에 의한 것보다 대부분 작게 산정되었으며 이러한 결과는 표본의 크기가 크고 빈도가 커질수록 작게 되는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 Fig. 2에서도 확인할 수 있다.

지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 점빈도분석에 의한 것에 비해 상대적으로 감소한 비율을 나타낸 Table 5의 결과를 보면 빈도가 커짐에 따라 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차

가 점빈도분석에 의한 것보다 상대 감소율이 증가함을 나타내었다. 이러한 결과는 빈도가 커질수록 더욱 증가됨을 보여주고 있으며 이는 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 지역빈도 분석에 의해 유도된 빈도별 설계강우량이 점빈도 분석에 의한 빈도별 설계강우량 보다 신빙도가 높음을 보여 주었다.

이는 B. Naghavi (1995)가 미국 Louisiana주의 24개 강우관측지점을 3개의 동질성 지역으로 지역화하고 GEV 분포형에 의해 점빈도 및 지역빈도 분석을 실시한 결과와 유사하게 나타났다.

나. 지역별 지속기간별 적정 설계강우량의 추정  
전술한 바와 같이 우리나라의 지역별 지속기간에 따른 빈도별 적정한 설계강우량의 추정은 점빈

Table 6 Regional quantiles for the different return periods, consecutive durations and regions in GEV distribution

Return period	Consecutive duration (hr)	Region I	Region II	Region III	Region IV	Region V
		RQ (mm)	RQ (mm)	RQ (mm)	RQ (mm)	RQ (mm)
5	1	46.7	42.7	45.6	35.8	47.4
	3	79.0	75.3	81.1	63.7	89.7
	6	115.5	111.3	109.4	86.7	125.7
	12	157.6	154.4	143.1	119.2	167.3
	24	203.1	189.9	176.8	152.4	206.5
	36	228.3	220.5	194.8	164.9	236.6
	48	249.4	233.1	210.3	173.0	244.1
10	72	278.2	269.1	228.2	188.3	263.9
	1	54.9	50.2	53.3	41.8	56.0
	3	94.1	87.6	96.4	75.4	106.7
	6	138.3	130.9	130.8	103.5	150.5
	12	191.0	183.9	172.1	142.9	201.1
	24	253.9	229.5	212.8	183.0	252.7
	36	287.5	268.0	236.2	198.5	291.7
20	48	313.8	284.4	254.9	208.6	300.8
	72	349.7	326.3	275.6	226.1	322.8
	1	63.0	57.8	60.7	47.5	64.7
	3	109.6	99.3	111.7	87.5	123.4
	6	162.4	149.7	152.8	121.2	175.3
	12	226.1	212.8	201.9	167.7	235.3
	24	309.9	269.4	249.4	214.4	301.5
50	36	353.6	316.3	279.3	233.0	350.1
	48	384.6	336.2	301.3	245.6	360.1
	72	428.0	383.1	324.6	264.6	383.2
	1	74.0	68.2	70.3	55.1	76.8
	3	131.6	114.2	132.5	104.7	145.8
	6	196.8	174.2	183.6	146.6	208.7
	12	276.8	251.2	243.9	202.6	282.5
100	24	394.6	323.9	300.3	258.2	371.7
	36	455.2	382.9	340.6	281.4	434.9
	48	491.8	407.1	367.0	298.1	444.9
	72	545.5	459.5	393.5	318.3	467.4
	1	82.6	76.5	77.5	60.9	86.5
	3	149.5	125.2	148.9	118.7	163.1
	6	225.3	192.5	208.6	167.7	234.9
100	12	318.9	280.7	277.9	231.3	320.1
	24	468.5	367.2	341.1	293.6	430.1
	36	545.2	435.9	391.0	320.7	505.8
	48	585.4	463.4	420.7	341.2	515.0
	72	647.3	519.1	449.7	361.5	535.2

Return period	Consecutive duration (hr)	Region I	Region II	Region III	Region IV	Region V
		RQ (mm)	RQ (mm)	RQ (mm)	RQ (mm)	RQ (mm)
200	1	91.5	85.1	84.7	66.7	96.7
	3	168.7	136.0	165.9	133.8	180.8
	6	256.3	210.9	235.2	190.8	262.0
	12	364.8	310.7	314.1	262.0	359.5
	24	552.5	412.3	384.3	331.1	493.7
	36	648.9	491.7	445.2	362.4	583.7
	48	691.8	522.3	478.5	387.4	591.1
500	72	762.3	580.4	509.7	407.2	607.1
	1	103.9	97.1	94.1	74.4	111.0
	3	196.1	150.0	189.4	155.6	204.8
	6	301.4	235.1	273.1	224.4	299.3
	12	431.9	351.3	365.9	306.4	414.7
	24	681.5	475.2	445.2	384.3	586.7
	36	810.5	570.0	523.5	422.0	698.4
48	855.1	604.5	561.7	454.1	701.8	
72	937.6	664.4	595.6	472.0	709.1	

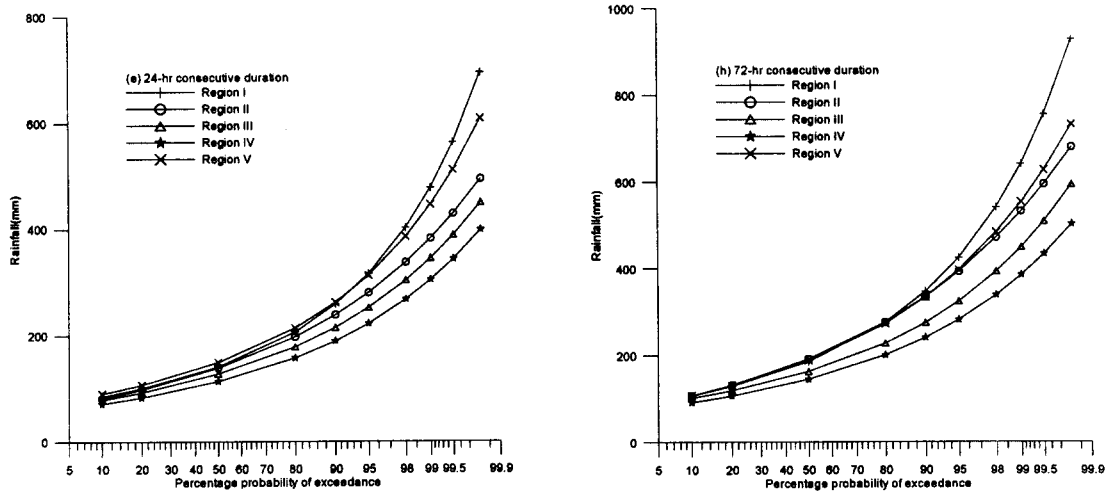


Fig. 3 Comparison of the regional quantiles for the consecutive durations of 24 and 72 hr of 5 regions

도분석보다는 지역빈도분석에 의한 것이 보다 신빙성이 높게 나타났으므로 지역빈도분석에 의해 지속기간별 및 빈도별 설계강우량을 산정하였으며, 산정 결과를 종합하면 Table 6과 같고 이 중 24 및 72 지속시간에 따른 지역별 설계강우량을 정규확률지수에 도시한 결과는 Fig. 3과 같다.

이상의 Table 6 및 Fig 3에서의 결과를 종합해 보면 지역별로 지속기간 및 재현기간이 커질수록

전반적으로 설계강우량의 크기가 커짐을 나타내었으며 또한, 지역화된 5개 지역에서 공히 I 지역인 강원, 경기 및 서울지방은 타지역에 비해 제일 높은 빈도별 설계강우량을 보여주고 있는 반면 IV 지역인 경북일원과 강원 일부지방은 타 지역에 비해 가장 낮은 빈도별 설계강우량을 나타내고 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 제 I보에서 실시한 대상 강우관측지점의 지형적, 기후적 특성을 변수화하여 지형적 및 기후적으로 동성인 권역으로 나누는 지역화에 이어서 지역별 지속기간별 강우량에 적합한 확률분포형을 선정한 다음 확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트법에 의해 점빈도 및 지역빈도 분석을 시도함으로써 각각에 대한 설계강우량을 유도하고 이를 비교 분석함으로써 적정 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 Gumbel, GEV, Generalized logistic, Generalized pareto, Generalized normal 및 Pearson type III 의 6개 분포형을 대상으로 L-모멘트비도 및 Kolmogorov-Smirnov 검정 결과 최종적으로 GEV 분포형이 적정 확률 분포형으로 판정되었다.
2. 지역 및 지점별 강우지속기간에 따른 연최대강우량에 적합한 확률분포형인 GEV 분포형의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 산정하였다.
3. 적정 확률분포형과 실측치에 의한 점빈도 및 지역빈도분석에 의해 빈도별 설계강우량을 유도하였다.
4. 5개의 동질성 권역으로 분류된 지속기간별 강우량을 Monte Carlo 기법에 의해 강우관측지점별로 표본 크기(sample size)를 20, 40, 60 및 100으로 하고 각각 1,000회 모의발생 하였다.
5. 실측치와 Monte Carlo 기법에 의한 모의발생치의 점빈도 및 지역빈도분석에 의한 각각의 빈도별 설계강우량을 유도하고 이들간의 상대평균제곱근오차와 상대편의에 의한 오차분석을 실시한 결과와 지역빈도분석에 의한 상대평균제곱근오차가 점빈도분석에 의한 것 보다 상대적인 감소율이 크게 나타남으로서 지역빈도분석에 의한 빈도별 설계강우량이 점빈도분석에 의한 것 보다 신빙성이 높음을 보여 주고 있다.

6. 신빙도가 높게 판정된 지역빈도분석에 의해서 지역별 지속기간별 적정 설계강우량을 유도하였다.

7. 지역별로 유도된 설계강우량의 크기는 지역화된 5개 지역중에서 I 지역인 강원, 경기 및 서울 지방은 타지역에 비해 제일 높은 빈도별 설계강우량을 나타낸 반면 IV 지역인 경북일원과 강원 일부지방은 타 지역에 비해 가장 낮은 빈도별 설계강우량을 보여주었다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(No. 2000-1-31600-001-2) 지원으로 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

1. 이순혁, 박명근, 맹승진, 정연수, 류경식, 1998, L-모멘트 및 LH-모멘트 기법에 의한 적정 설계홍수량의 유도(I), 한국농공학회지, Vol. 40, No. 4, pp. 64~76.
2. 이순혁, 박종화, 류경식, 지호근, 전택기, 신용희, 2001, 고차확률가중모멘트법에 의한 지역화빈도 분석과 GIS기법에 의한 설계강우량 추정(I), 한국농공학회지, Vol. 43 No. 4, pp. 57~68
3. 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, Vol. 15, No. 5, pp. 1049~1064.
4. Hosking, J. R. M., J. R. Wallis and E. F. Wood, 1985, Estimation of the Generalized Extreme-Value Distribution by the Method of Probability-Weighted Moments, Tachometrics, Vol. 27, No. 3.
5. Hosking, J. R. M., 1986, The Theory of Probability Weighted Moments, IBM Research Division T.Y. Watson Research Center Yorktown Heights, NY 10598.

6. Hosking, J. R. M., 1990, L-Moments : Analysis and Estimation of Distributions using Linear Combinations of Order Statistics, *J. R. Stat. Soc., Ser. B*, Vol. 52, No. 2, pp. 105~124.
7. Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis, 1993, Some Statistics useful in Regional Frequency Analysis, *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 2, pp. 271~281.
8. Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis, 1996, Regional Frequency Analysis of floods in Central Appalachia, IBM Research Division T.Y. Watson Research Center Yorktown Heights, NY 10598.
9. Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis, 1997, *Regional Frequency Analysis*, Cambridge University Press.
10. Naghavi, B. and F. X. Yu, 1995, Regional Frequency Analysis of Extreme Precipitation in Louisiana, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No. 11, pp. 819~827.
11. Schaefer, M. G., 1990, Regional Analysis of Precipitation Annual Maxima in Washington State, *Water Resources Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 119~131.