



## 설계강우량 산정을 위한 매개변수 추정방법 평가

### Evaluation of Parameter Estimation Method for Design Rainfall Estimation

김귀훈<sup>a</sup> · 전상민<sup>b</sup> · 장정렬<sup>c</sup> · 송인홍<sup>d</sup> · 강문성<sup>e</sup> · 최진용<sup>f, †</sup>

Kim, Kwihoon · Jun, Sang-Min · Jang, Jeongyeol · Song, Inhong · Kang, Moon-Seong · Choi, Jin-Yong

#### ABSTRACT

Determining design rainfall is the first step to plan an agricultural drainage facility. The objective of this study is to evaluate whether the current method for parameter estimation is reasonable for computing the design rainfall. The current Gumbel-Kendall (G-K) method was compared with two other methods which are Gumbel-Chow (G-C) method and Probability weighted moment (PWM). Hourly rainfall data were acquired from the 60 ASOS (Automated Synoptic Observing System) stations across the nation. For the goodness-of-fit test, this study used chi-squared ( $\chi^2$ ) and Kolmogorov-Smirnov (K-S) test. When using G-K method,  $\chi^2$  statistics of 18 stations exceeded the critical value ( $\chi_{\alpha=0.05, df=4}^2=9.4877$ ) and 10, 3 stations for G-C method, PWM method respectively. For K-S test, none of the stations exceeded the critical value ( $D_n^{\alpha=0.05}=0.19838$ ). However, G-K method showed the worst performances in both tests compared to other methods. Subsequently, this study computed design rainfall of 48-hour duration in 60 ASOS stations. G-K method showed 5.6 and 6.4% higher average design rainfall and 15.2 and 24.6% higher variance compared to G-C and PWM methods. In short, G-K showed the worst performance in goodness-of-fit tests and showed higher design rainfall with the least robustness. Likewise, considering the basic assumptions of the design rainfall estimation, G-K is not an appropriate method for the practical use. This study can be referenced and helpful when revising the agricultural drainage standards.

**Keywords:** Design rainfall; parameter estimation; goodness-of-fit test

## 1. 서론

농업 소유역의 배수시설 설계를 위한 과정은 설계강우량

산정, 강우의 시간분포, 단위도법을 이용한 홍수량 산정, 침수 분석으로 구분할 수 있다. 이 중 설계강우량은 분 혹은 시간 단위의 관측값을 바탕으로 설계 대상의 지속시간만큼 합산한 값을 구하고, 이 자료를 연최대치 계열을 추출하여 적절한 확률분포형으로 가정하여 산정한다.

미국에서는 강우 빈도해석을 위해 Hosking and Wallis (1997)의 L-모멘트를 지역빈도해석 기법에 적용하고 GEV 분포를 선택하여 주별 강우빈도 지도 (PF, Precipitation Frequency)를 제공하며 (Perica et al., 2011), 영국에서는 GEV 분포 대신 GLO (Generalized LOGistic) 분포형을 기본 확률분포형으로 하여 지역빈도해석 기법을 적용하고 있다 (Kjeldsen et al., 2008; ME, 2019). 호주에서는 “Australian Rainfall and Runoff” 보고서를 통해 설계강우량에 대한 지침을 제공하며, 2001년 보고서에서는 지점빈도해석을 위해 log-Pearson type III 분포를 최적 확률분포형으로 제안하였고 (MLTMA, 2011; Ball et al., 2019), 2019년 보고서에서는 지역빈도해석을 위해 GEV 분포를 최적 확률분포형으로 제안하고 있다. 농업배수 시설의 설계기준치를 제안하는 일본의 토지개발사업계획설계기준 계획배수기준에서는 대수정규분포와 Gumbel 분포를 제시하고 있으며, Gumbel 분포의 매개변수 산정은 Kendall 방법을 사용하고 있다.

국내에서는 MCT (2000)의 “수자원관리기법개발연구조사

<sup>a</sup> Ph.D. Student, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

<sup>b</sup> Research Professor, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

<sup>c</sup> Principal Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

<sup>d</sup> Associate Professor, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life sciences, Research Institute of Green Bio Science and Technology, Global Smart Farm Convergence Major, Seoul National University

<sup>e</sup> Professor, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Research Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

<sup>f</sup> Professor, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Research Institute of Green Bio Science and Technology, Global Smart Farm Convergence Major, Seoul National University

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-880-4583, Fax: +82-2-873-2087

E-mail: iamchoi@snu.ac.kr

Received: March 25, 2021

Revised: May 31, 2021

Accepted: July 02, 2021

보고서”와 MLTMA (2011)의 “확률강우량도 개선 및 보완 연구”에서 기상청 종관기상관측소 (ASOS, Automated Synoptic Observing System)의 연최대치 계열 값의 지점빈도해석을 실시하였다. MCT (2000)의 매개변수 추정방법은 모멘트법이 적용되었고 (Gumbel-Chow), MLTMA (2011)에서는 확률가중 모멘트법인  $L$ -모멘트법이 적용되었다. 또한, MLTMA (2011)에서는 각 관측소의 관측 시작연도부터 2010년까지의 연최대치 계열의 자료를 이용하여  $\chi^2$ -검정과 PPCC 검정으로 적합도 검정을 하였고, 대부분의 지점과 지속시간에서 Gumbel 분포가 최적 확률분포형임을 보였다. ME (2019)의 “홍수량 산정 표준지침”에서는 지역빈도해석의 적용으로 자료의 수가 많아져 3변수 함수인 GEV 분포를 최적확률분포형으로 제시하였다.

한편, 도로 배수시설이나 도시 우수관거와 같이 소유역이 적용되는 시설에 대한 국가건설기준센터 기준에 의하면 계획 기준 설계강우량은 지점빈도해석을 적용하고 있으며 (Moon et al., 2003; Park et al., 2019), 위에서 설명된 MLTMA (국토교통부)와 ME (환경부)의 지역빈도해석의 경우 중·대구역에서 측정된 값을 바탕으로 적용성이 평가되었기 때문에 유역면적이 소유역인 농업 배수시설에의 적용은 강우의 공간적 분포에 따른 변화 특성을 고려할 때 이의 적용이 적절한지는 검토되어야 할 것이다. 농업 배수시설과 비슷한 면적의 유역을 가진 도로 배수시설이나 도시 우수관거 설계에서는 농업 배수 시설 설계강우량에 비해 짧은 지속시간을 사용하는데, 이는 침수를 허용하는 논벼에서와는 다른 환경에서 기인한다. 침수를 허용하는 기준으로 설계된 논에서 향후 발작물 혹은 원예작물 재배면적이 유의미하게 증가한다면 강우의 지속시간에 대한 설계기준 검토도 필요할 것으로 보인다.

우리나라 농업용 배수시설의 설계기준은 1970년도에 “농지개발사업계획설계기준 (배수편)”으로 처음 제정된 후 1983년에 1차 개정되었으며, 2001년에 “농업생산기반정비사업계획설계기준 (배수편)”으로 2차 개정되었다 (Kim et al., 2014). 이후 2012년에 일부 내용의 개정이 있었으며, 2018년에는 2012년 개정된 내용을 바탕으로 국가건설기준센터에 농업생산기반정비사업 설계기준으로 코드화되어 현재에 이르고 있다. 설계강우량과 관련해서는 2001년 개정으로 고정시간 1일 강우량이 고정시간 2일 강우량으로 지속시간이 늘어났으며, 2012년 개정으로 논벼의 설계강우량을 기존 20년 빈도 고정시간 2일 강우량에서 20년 빈도 임의지속 48시간 강우량으로, 원예작물 설계강우량을 30년 빈도 임의지속 48시간 강우량으로까지 가능하도록 개정되었다.

하지만 국가건설기준센터의 설계기준 배수편에 의하면 강우의 지속시간과 재현빈도만 정의하고 있고, 확률분포형의

매개변수 추정방법에 대해서는 별도의 정의가 없는 실정이다. 이에 따라 실무에서는 매개변수 추정방법으로 모멘트법에 근거한 Gumbel-Kendall 방법과 Gumbel-Chow 방법이 적용 가능하며, 이중 주로 Gumbel-Kendall 방법을 적용하고 있다. 또한, 국내의 홍수량을 산정하는 지침으로 잘 알려진 MLTMA (2011)의 “확률강우량도 개선 및 보완 연구”와 ME (2019)의 “홍수량 산정 표준지침”에서는 매개변수 추정방법으로 확률가중모멘트 중  $L$ -모멘트를 제안하고 있으나 농업 배수시설 설계에 적용한지는 검토되지 않은 실정이다.

본 연구의 목적은 농업 배수설계기준 설계강우량 산정에서 매개변수를 추정하는 현행 방법의 이론적 타당성을 분석하는 것으로, 이를 위해 적합도 검정을 실시하고 설계강우량을 산정하여 Gumbel-Chow와 확률가중모멘트 방법으로 산정한 설계강우량과 비교하여 평가하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 종관기상관측소 강우량 자료

종관기상관측 (Automated Synoptic Observing System, ASOS)는 종관규모의 날씨를 파악하기 위하여 정해진 시각에 모든 관측소에서 같은 시각에 실시하는 지상관측이며, 현재 전국적으로 96곳의 관측소가 운영되고 있다. 본 연구에서는 ASOS에서 관측된 시간단위 강우량 자료를 사용하였으며, 농업기반시설설계기준 배수편의 기준에 따라 임의시간 48시간 강우량의 연최대치 계열 자료로 가공하여 사용하였다. ASOS

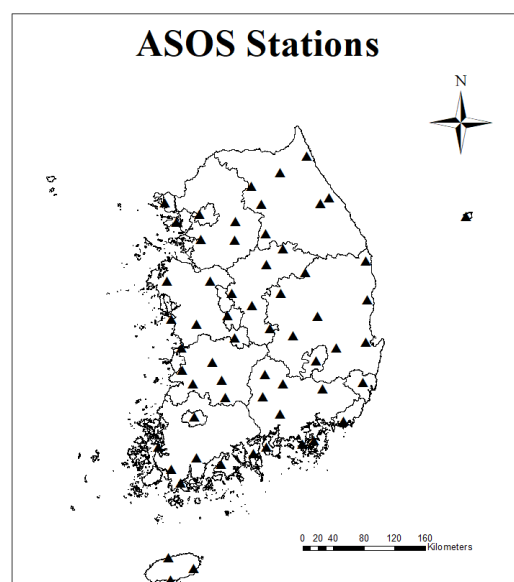


Fig. 1 Locations of ASOS stations used in this study

관측소는 충분히 길면서도 동일한 조건에서의 비교를 위해 1973년 이전부터 시우량을 관측한 관측소로 선정하였다. 결과적으로 강우량 자료는 전국 종관기상관측소 60개소의 1973~2019년 시우량 자료로 임의지속 48시간 강우량의 연최대치 값을 계산하여 분석하였으며, 관측소의 위치는 Fig. 1과 같다.

## 2. 확률분포형과 매개변수 추정

MCT (2000)의 “수자원 관리기법개발연구조사 보고서”에서는 적합도 검정과 매개변수 추정방법에 따라 GEV 분포와 Gumbel 분포, LN2 (2변수 log-normal 분포) 등이 지점과 지속 시간에 따라 국내에 적용 가능할 것이라 하였고, 국토해양부 (2011)의 확률강우량도 개선 및 보완 연구에서는 확률가중모멘트를 적용하였을 때 Gumbel 분포를 적정 확률분포형으로 제안하였다. Gumbel 분포는 3변수 GEV (Generalized Extreme Value) 분포에서 형상매개변수  $\beta = 0$ 인 형태이며, 본 연구에서는 농업용 배수시설 설계기준에 따라 Gumbel 분포를 확률분포형으로 가정하였다.

동일한 자료를 이용하여 확률밀도함수를 유도하더라도 매개변수를 추정하는 방법에 따라 설계강우량 값이 달라질 수 있다. 매개변수 추정방법으로는 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법 등이 있으나, 최우도법은 식이 비선형 연립방정식으로 표현되어 근사적으로 해를 구해야하는 등 표본자료의 크기가 작을 때에는 비효율적인 것으로 알려져 있다 (Yoon, 2013). 이에 따라 본 연구에서는 모멘트법을 기반으로 한 Gumbel-Kendall, Gumbel-Chow 방법과 확률가중모멘트법의 L-모멘트법을 적용하여 비교하였다.

## 3. 강우자료 지점 빈도해석

재현빈도에 따른 설계강우량을 산정하기 위해서는 표본수문 자료로부터 모집단의 확률분포형을 추정한다. 추정한 확률분포형을 가정 후 확률도시법과 빈도계수법 등을 이용하여 최종적으로 설계강우량을 산정한다. 본 연구에서는 빈도계수법에 의한 방법을 비교하였으며, 가공한 연최대치 강우량 자료가 Gumbel 분포를 따르는 것으로 가정한 후 Gumbel-Kendall 방법, Gumbel-Chow 방법, 확률가중모멘트 L-모멘트법으로 매개변수를 추정하였다. 가정한 확률분포형과 표본의 통계적 지표들을 이용하여 식 (1-1)과 같이 설계강우량이 산정된다. 여기서  $x_T$ 는 재현빈도 T년의 설계강우량,  $\bar{x}$ 는 표본 평균,  $s$ 는 표본 표준편차,  $K_T$ 는 빈도계수이다.

$$x_T = \bar{x} + sK_T \quad (1-1)$$

## 가. Gumbell-Kendall 방법

Gumbel 분포의 누기확률분포함수  $F(x)$ 는 식 (1-2)와 같고 이를 환원변수  $y_T = (x_T - x_0)/\alpha$ 를 이용하고 재현기간 T와의 관계인  $F(x) = 1 - 1/T$ 로 나타내면 식 (1-13)과 같이 표현된다.

$$F(x) = \exp[-\exp(-y_T)] = 1 - 1/T \quad (1-2)$$

또한, 위 식 (1-13)을  $y_T$ 에 대해 정리하면 식 (1-3)과 같이 표현된다.

$$y_T = -\ln(-\ln(1 - 1/T)) \quad (1-3)$$

자료계열  $y$ 를 내림차순으로 정렬한 후 Weibull 도시위치공식  $T = (n + 1)/m$ 을 이용하여 정리하면 식 (1-3)은 식 (1-4)와 같이 표현되며 새로운 자료계열  $w$ 가 생성된다.

$$w_m = -\ln[-\ln((n + 1 - m)/(n + 1))] \quad (1-4)$$

자료계열  $w$ 의 평균과 분산은 식 (1-5)와 같다.

$$\bar{w} = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n w_m, \quad s_w^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^n (w_m - \bar{w})^2 \quad (1-5)$$

자료계열  $x$ 의 평균과 분산이  $\bar{x}$ ,  $s_x^2$ 이고, 모멘트법을 이용하여 적분하면 매개변수  $\alpha$ 와  $x_0$ 는 식 (1-6)과 같이 정의된다 (Kite, 1978). 한편, 이러한 정의가 모멘트법에 의한 것이기 때문에 Gumbel-Kendall 방법은 매개변수 추정방법이 모멘트법인 경우에만 적용가능하다.

$$s_w = \frac{s_x}{\alpha}, \quad x_0 = \bar{x} - \alpha \bar{w} \quad (1-6)$$

식 (1-6)을 환원변수  $y_T = (x_T - x_0)/\alpha$ 에 대입하고,  $x_T$ 에 관해 정리하면 식 (1-7)과 같이 표현된다.

$$x_T = \bar{x} + (y_T - \bar{w}) \frac{s_x}{s_w} \quad (1-7)$$

따라서 Gumbel-Kendall 방법에 의한 빈도계수는 식 (1-8)과 같이 표현가능하다.

$$K_T = \frac{y_T - \bar{w}}{s_w} = \frac{-\ln[-\ln(1-1/T)] - \bar{w}}{s_w} \quad (1-8)$$

나. Gumbel-Chow 방법

Gumbel 분포가 Gumbel-Kendall 방법에서 사용한 Weibull 도시위치공식을 따르지 않는 경향을 보이고 있으며, 이러한 이유로 Chow에 의해 Gumbel-Chow 방법이 제안되었다. 이에 따라 앞서 Gumbel-Kendall 방법에서 적용된 식 (1-6)은 식 (1-9)와 같이 표현된다.

$$\alpha = 0.7797s_x, \quad x_0 = \bar{x} - 0.45s_x \quad (1-9)$$

Gumbel 분포의 누가확률분포함수  $F(x)$ 를 재현기간  $T$ 와 의 관계인  $F(x) = 1 - 1/T$ 와 관계를 이용하여 Gumbel-Kendall 방법과 같이 환원변수  $y_T = (x_T - x_0)/\alpha$ 에 대입하고,  $x_T$ 에 관해 정리하면 식 (1-10)과 같이 표현된다.

$$x_T = \bar{x} - [0.45 + 0.7797\ln(-\ln(1-1/T))]s \quad (1-10)$$

따라서 Gumbel-Chow 방법에 의한 빈도계수는 식 (1-11)과 같이 표현된다.

$$K_T = -[0.45 + 0.7797\ln(-\ln(1-1/T))] \quad (1-11)$$

다. 확률가중모멘트법

확률강우량을 산정하는 방법에는 확률분포형에 대한 누가 확률분포함수의 역함수를 이용하여 구하는 역함수법과 빈도 계수법으로 대별된다. 앞서 언급된 Gumbel-Kendall 방법과 Gumbel-Chow 방법은 빈도계수법으로 분류되나 Gumbel-Chow 방법은 역함수의 방법으로 빈도계수를 산정하였다. PWM으로 매개변수를 산정한 경우도 일반적으로 역함수법을 이용하여 확률강우량을 산정한다. Greenwood (1979)와 Hosking (1986)에 따르면, GEV 분포에서  $\beta = 0$ 인 Gumbel 분포의 경우  $\alpha$ 와  $x_0$  값은 식 (1-12)와 같이 유도된다.

$$\hat{\alpha} = \frac{l_2}{\ln 2}, \quad \hat{x}_0 = l_1 - 0.5772157\hat{\alpha} \quad (1-12)$$

역함수법은 누가확률분포함수  $F(x_T)$ 와 재현기간  $T$ 의 관 계에서 식 (1-13)과 같이 확률수문량을 산정하는 방법이다.

$$F(x_T) = P(X \leq x_T) = 1 - \frac{1}{T}, \quad x_T = F^{-1}(1 - \frac{1}{T}) \quad (1-13)$$

여기서,  $T$ 는 재현기간 (년),  $x_T$ 는 재현기간에 해당하는 수 문량,  $F^{-1}(\cdot)$ 는 누가확률분포함수의 역함수이다. 본 연구에 서는 확률가중모멘트  $L$ -모멘트법에 의해 매개변수를 추정하 고, Gumbel 분포의 역함수를 이용하였다.

4. 적합도 검정 (Goodness-of-fit test)

임의의 확률분포형에 대한 적합도 검정은 그 확률분포의 상대도수함수 (relative frequency function)와 누가도수함수 (cumulative frequency function)의 이론값과 표본값을 비교하 여 그 정도를 판별하게 된다. 대표적인 검정방법으로는  $\chi^2$ -검 정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정, 확률 도시 상관계수 (Probability Plot Correlation Coefficient; PPCC) 검정이 있다 (ME, 2020). 본 연구에서는 1900년경에 Karl Pearson에 의해 제안되어 광범위하게 사용되는  $\chi^2$ -검정과 Kolmogorov와 Smirnov에 의해 개발된 Kolmogorov-Smirnov 검정 (이하 KS 검정)을 사용하였다. 두 가지 검정방법을 이용 하여 매개변수 추정방법에 따른 상이한 Gumbel 분포와 종관 기상관측소의 임의지속 48시간 연최대치 강우자료의 적합도 를 확인하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 적합도 검정 결과

본 연구에서 사용한 연최대치 자료의 개수는 47개이므로 Sturges 공식에 의해  $\chi^2$ -검정을 위한 구간은 7개로 나누었다 (Sturges, 1926). 또한, Gumbel 분포의 매개변수는 2개이며 유 의수준 0.05에서 자유도 4인 통계기준치  $\chi^2_{\alpha=0.05, \nu=4}$ 는 9.4877 이다. Fig. 2는 ASOS 관측소 60개소에서 1973-2019년 임의지 속 48시간 연최대치 강우량 자료를 이용하여  $\chi^2$ -검정으로 적 합도 검정을 한 결과이다.

$x$ 축의 숫자는 ASOS 관측소의 코드번호를 의미하며,  $\chi^2$  통 계치를 의미한다. 파란색 x 표시는 Gumbel-Kendall 방법으로 매개변수를 추정된 Gumbel 분포와 관측값의  $\chi^2$  통계치이며, 주황색 동그라미와 회색 세모는 각각 Gumbel-Chow 방법과 PWM으로 매개변수를 추정된 Gumbel 분포와 관측값의  $\chi^2$  통계치를 나타낸다. Fig. 2를 살펴보면 매개변수 추정방법으 로 모멘트법을 적용한 Gumbel-Kendall 방법과 Gumbel-Chow 방법에서 통계기준치를 넘어선 관측소가 많은 것을 알 수 있

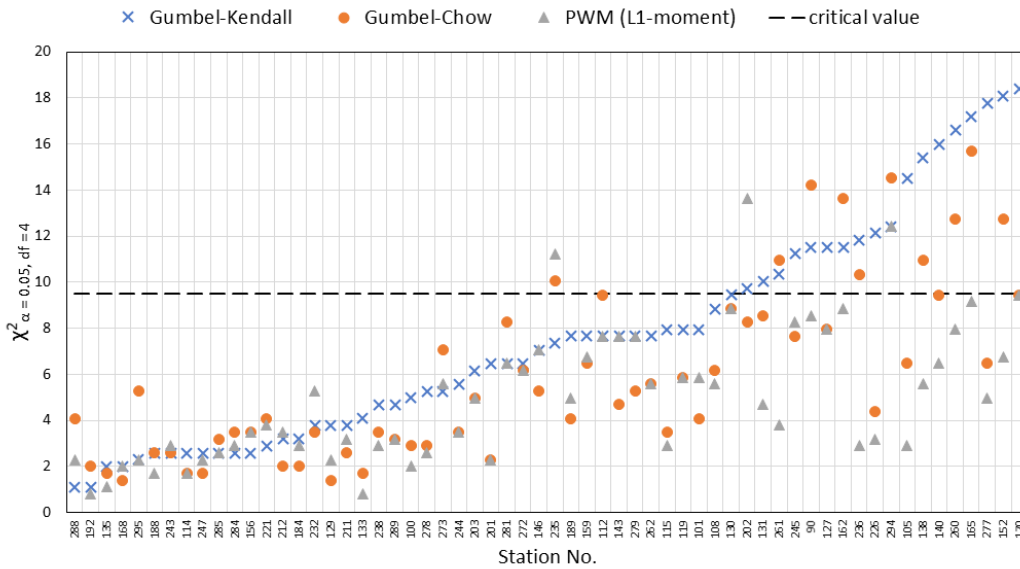


Fig. 2 Statistics of chi-squared goodness-of-fit test for three different Gumbel distributions

Table 1 Chi-squared goodness-of-fit test results of three different methods ( $\chi^2_{\alpha=0.05, df=4} = 9.4877$ )

Statistics	Gumbel-Kendall	Gumbel-Chow	PWM
Mean	7.60	5.98	5.04
Median	7.21	5.13	4.83
Standard deviation	4.72	3.74	2.90
No. of Station exceeding the critical value	18/60	10/60	3/60

으며, 대부분의 관측소에서 Kendall 방법의 Gumbel 분포와 관측값의  $\chi^2$  통계치가 다른 방법들에 비해 적합도가 가장 낮은 것으로 나타났다. Table 1은 세 가지 방법을 통해 매개변수를 추정된 Gumbel 분포의  $\chi^2$  통계치 평균, 중앙값, 통계기준치를 초과한 관측소의 개수를 나타내고 있다.

Gumbel-Kendall 방법의 경우 평균이 7.60, 중앙값이 7.21, 표준편차가 4.72, 초과한 관측소가 60곳 중 18곳으로 계산되었으며, Gumbel-Chow 방법의 경우 평균이 5.98, 중앙값이 5.13, 표준편차가 3.74, 초과한 관측소가 60곳 중 10곳으로 계산되었다. PWM 방법의 경우 평균이 5.04, 중앙값이 4.83, 표준편차가 2.90, 초과한 관측소가 60곳 중 3곳으로 계산되어  $\chi^2$ -검정에서는 세 방법 중 가장 적합한 것으로 나타났다. Fig. 3은 세 가지 방법으로 매개변수를 추정된 관측소 60곳의 Gumbel 분포에서  $\chi^2$  통계치의 분포를 나타내고 있다. Fig. 3을 살펴보면, Gumbel-Kendall 방법으로 매개변수를 추정된 경우

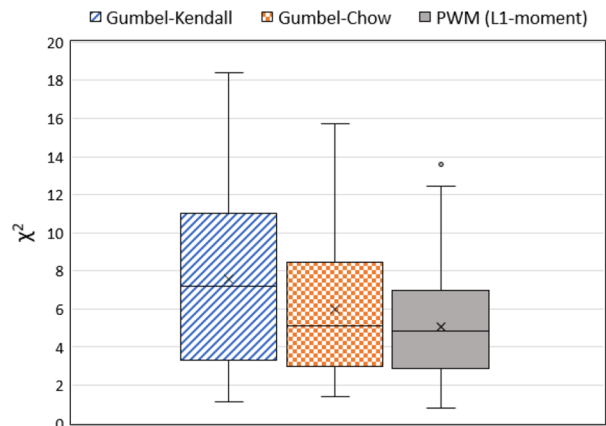


Fig. 3 Box plots of chi-square test statistics for three different Gumbel distributions

상자 위에 분포한 4/4 구간이 모두 통계기준치를 초과하는 것을 알 수 있으며, Table 1에 따르면 전체 중 30%가 통계기준치를 초과하였다. 이처럼 같은 Gumbel 분포이더라도 매개변수 추정방법에 따라 적합도가 큰 차이를 보이며, 이는 현행 매개변수 추정방법이 이론적으로 적절하지 않을 수 있음을 보여준다고 할 수 있다.

Fig. 4는 속초 관측소 (90)의 자료를 이용하여 도시한 그래프이다. Fig. 4의 ppp는 47개의 자료를 오름차순으로 정렬하여  $k/47$ 의 확률로 도시하여 나타낸 값이고, GK, GC, PWM은 각각 Gumbel-Kendall, Gumbel-Chow, PWM 방법으로 매개변수를 추정된 Gumbel 분포의 누가확률분포곡선을 나타낸다. 속초 관측소의 경우 KS 검정통계치가 Gumbel-Kendall 방법,

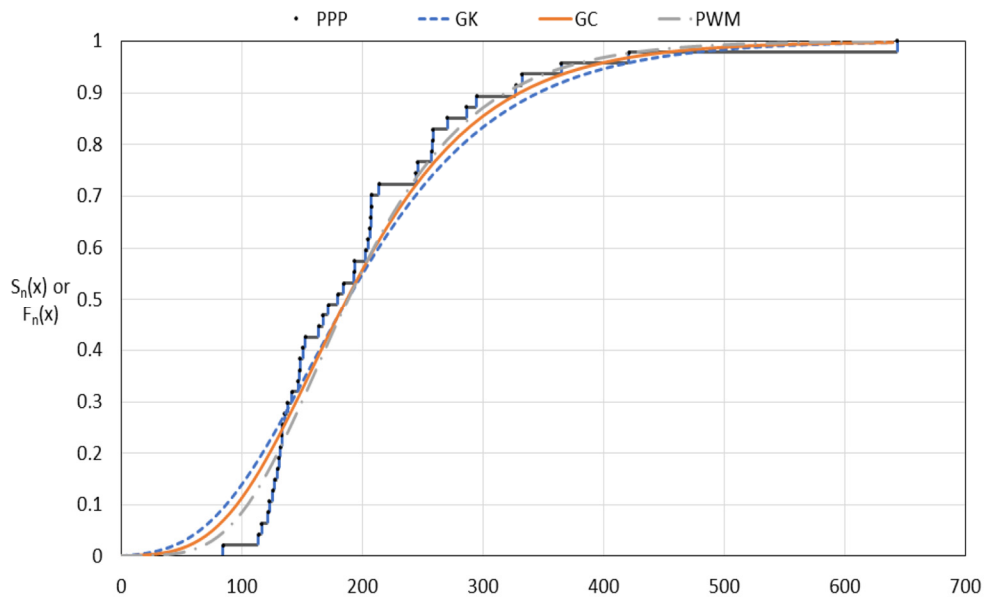


Fig. 4 Cumulative curves of three different Gumbel distributions (GK, GC, PWM) and observation data (PPP)

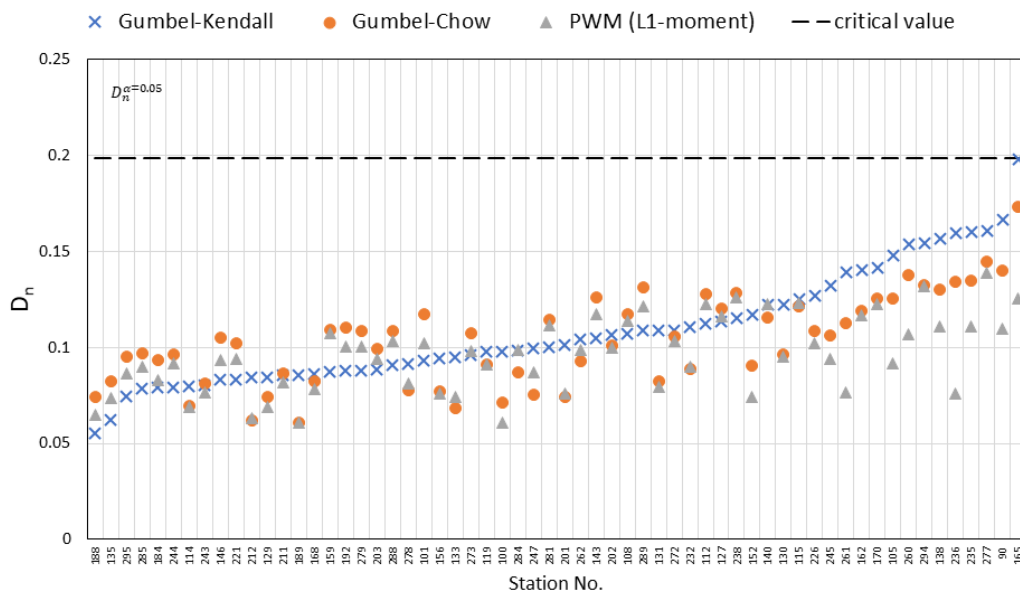


Fig. 5 Statistics of Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test for three different Gumbel distributions

Gumbel-Chow 방법, PWM 방법에서 각각 0.166, 0.140, 0.110으로 계산되었다.

속초 관측소를 포함한 60곳 관측소의 자료를 Fig. 4와 같이 계산하여 Fig. 5와 같이 검정통계치를 나타내었다. 기상자료의 연도 수가 47개이기 때문에 유의수준 0.05에서 Kolmogorov-Smirnov 검정을 위한 통계기준치  $D_n^{\alpha=0.05}$ 는 0.19838이다. Fig. 5에서 파란색 x 표시는 각 관측소의 자료를 Gumbel-Kendall

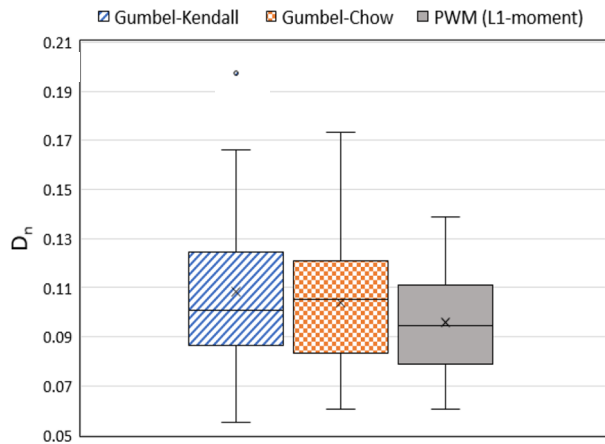
방법의 Kolmogorov-Smirnov 검정통계치이며, 주황색 동그라미와 회색 세모는 각각 Gumbel-Chow 방법과 PWM 방법의 Kolmogorov-Smirnov 검정통계치를 나타낸다.

Fig. 5를 살펴보면 Gumbel-Kendall 방법으로 매개변수를 추정된 Gumbel 분포의 검정통계치가 다른 방법들에 비해 전반적으로 큰 값을 보이는 것으로 나타났다. Table 2는 세 가지 방법을 통해 매개변수를 추정된 Gumbel 분포의 KS 검정통계치의 평균, 중앙값, 표준편차를 나타내고 있다.

**Table 2** Kolmogorov–Smirnov goodness-of-fit test results of three different methods ( $D_n^{\alpha=0.05} = 0.19838$ )

Statistics	Gumbel-Kendall	Gumbel-Chow	PWM
Mean	0.109	0.104	0.096
Median	0.101	0.105	0.095
Standard deviation	0.029	0.023	0.019

Table 2를 살펴보면, Gumbel-Kendall 방법의 경우 평균이 0.109, 중앙값이 0.101, 표준편차가 0.029로 계산되었으며, Gumbel-Chow 방법의 경우 평균이 0.104, 중앙값이 0.105, 표



**Fig. 6** Box plots of Kolmogorov–Smirnov test statistics for three different Gumbel distributions

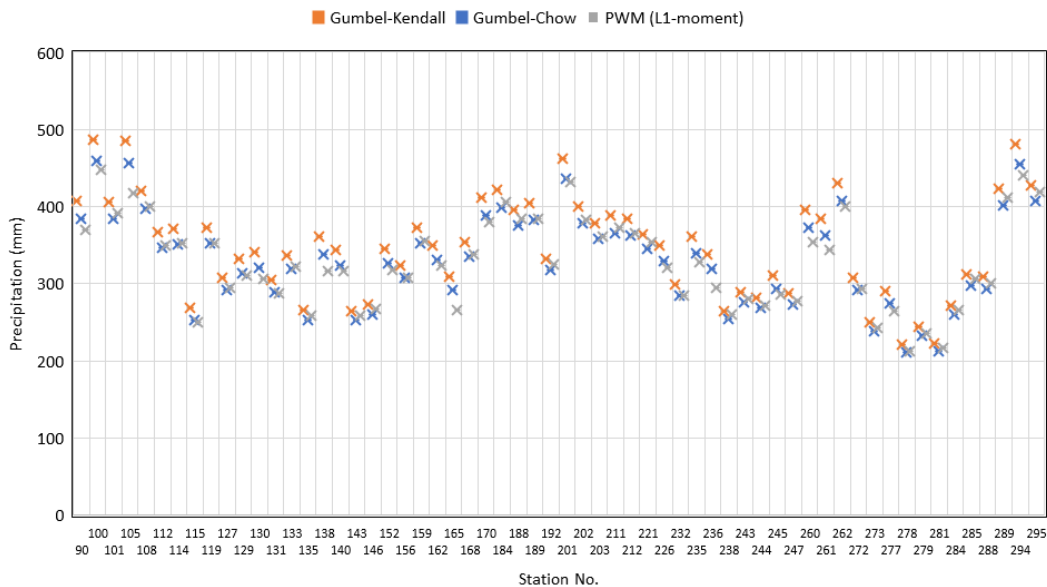
준편차가 0.023으로 계산되었다. PWM 방법의 경우 평균이 0.096, 중앙값이 0.095, 표준편차가 0.019로 계산되어 KS 검정에서도 세 방법 중 가장 적합한 것으로 나타났다. Gumbel-Kendall 방법과 Gumbel-Chow 방법의 KS 검정통계치 값은 비슷한 경향을 보였으나, Gumbel-Kendall 방법의 Gumbel 분포가 대체적으로 적합도가 낮은 것으로 나타났다. PWM 방법의 경우 다른 두 방법에 비해 통계치가 낮은 경향을 보였으며, 작은 분산을 가지는 것으로 계산되었다. Fig. 6은 관측소 60곳에서 세 가지 방법으로 매개변수를 추정된 Gumbel 분포의 KS 검정통계치의 분포를 나타낸다.

KS 검정통계치는 세 가지 방법에서 모두 Fig. 6과 같이 통계기준치를 초과하지 않았으나, Gumbel-Kendall 방법에서는 1곳의 관측소가 유의수준  $\alpha=0.05$ 의 통계기준치 0.19838에 근접한 것으로 나타났다.

## 2. 설계강우량 산정 결과

Fig. 7은 세 가지 방법으로 매개변수를 추정된 Gumbel 분포를 이용하여 기상관측소 60곳을 대상으로 산정한 임의지속 48시간 20년 빈도 설계강우량 값을 보여준다. 파란색 x 표시는 Gumbel-Kendall 방법의 임의지속 48시간 설계강우량이며, 주황색 동그라미와 회색 세모는 각각 Gumbel-Chow 방법과 PWM의 임의지속 48시간 설계강우량을 나타낸다.

Fig. 7에서 볼 수 있듯이 모든 관측소에서 Gumbel-Kendall 방법의 설계강우량이 다른 방법들에 비해 가장 큰 값을 보임을 알 수 있으며, Gumbel-Chow 방법과 PWM 방법을 비교하



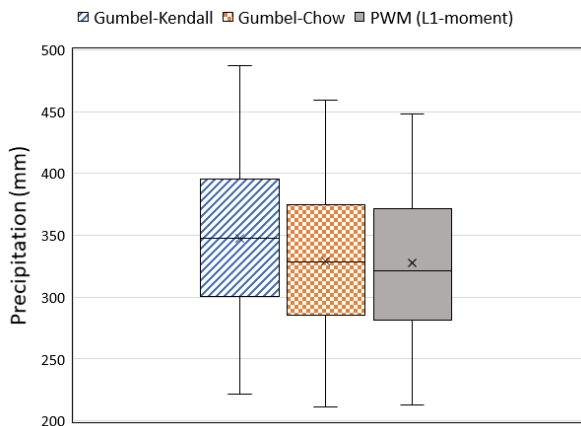
**Fig. 7** Designed 48-hour rainfall of 20 year return period in 60 ASOS Station (1973 - 2019)

면 Gumbel-Chow 방법의 설계강우량이 PWM보다 큰 기상관측소는 60곳 중 36곳이었다. Table 3은 세 가지 방법으로 산정한 60개 관측소의 설계강우량의 평균, 표준편차, 최댓값, 최솟값을 나타낸다.

**Table 3** Statistic values for three methods

Method	Mean (mm)	Standard deviation (mm)	Max. (mm)	Min. (mm)
Gumbel-Kendall	347.7	64.3	486.7	221.7
Gumbel-Chow	329.3	59.9	459.3	211.6
PWM	326.9	57.6	445.6	213.4

Table 3을 살펴보면 Gumbel-Kendall 방법의 경우 평균이 347.7mm, 표준편차가 64.3mm, 최댓값은 486.7mm, 최솟값은 221.7mm로 계산되었으며, Gumbel-Chow 방법의 경우 평균이 329.3mm, 표준편차가 59.9mm, 최댓값은 459.3mm, 최솟값은 211.6mm로 계산되었다. PWM 방법의 경우 평균이 326.9mm, 표준편차가 57.6mm, 최댓값은 445.6mm, 최솟값은 213.4mm로 계산되었다. Gumbel-Kendall 방법의 60곳 평균 설계강우량이 Gumbel-Chow, PWM 방법의 설계강우량에 비해 약 5~6% 더 큰 것으로 나타났고, 최댓값의 경우 PWM 방법에 비해 약 9% 큰 것으로 나타났다. 관측소 설계강우량의 분산은 Gumbel-Kendall 방법이 가장 컸으며 Gumbel-Chow, PWM 순이었다. Fig. 8은 60개 관측소에서 세 가지 방법으로 산정한 임의지속 48시간 설계강우량의 분포를 나타낸다.



**Fig. 8** Box plots of design 48-hour rainfall

Fig. 8을 살펴보면 Gumbel-Kendall 방법의 설계강우량이 Gumbel-Chow 방법과 PWM 방법의 설계강우량에 비해 평균, 표준편차, 최댓값, 최솟값이 모두 더 큰 것으로 나타났다. 이

는 Gumbel-Kendall 방법에서 빈도계수를 구할 때 Gumbel 분포의 환원변수  $y_T = (x_T - x_0)/\alpha$ 가 Weibull의 도시위치공식  $\frac{1}{T} = \frac{m}{n+1}$ 을 따른다고 가정하여 자료수  $n$ 이 작을수록 빈도계수가 크게 산정되기 때문이다. 설계기준에 의하면 전기간 자료와 최근 30년 이상의 자료로 설계강우량을 산정하여 비교하도록 되어있는데, 자료수가 30개라면 세 방법에 따른 설계강우량 값의 차이가 본 연구에서보다 더 커질 것으로 보인다.

#### IV. 요약 및 결론

농지배수 계획기준치 (KDS 67 45 20)에서 설계강우량은 Gumbel 분포로 가정하여 산정하도록 하는데 매개변수 추정 방법에 대한 별도의 지침은 없다. 실무에서는 Gumbel-Kendall 방법으로 매개변수를 추정하여 산정하는 반면, MCT (2000), MLTMA (2011), ME (2019)에서는 Gumbel-Chow 방법과 PWM 방법을 제안하고 있다. 본 연구는 설계강우량을 산정하는 현행 방법이 이론적으로 타당한지 살펴보기 위해 연최대치 강우량 자료를 Gumbel 분포로 가정한 후 Gumbel-Kendall 방법, Gumbel-Chow 방법, PWM L-모멘트법으로 매개변수를 추정하여  $\chi^2$ -검정과 Kolmogorov-Smirnov 검정을 통해 적합도를 확인하였다.

자료는 전국 중관기상관측소 60곳의 시우량 데이터를 이용하였고, 임의지속 48시간 강우량의 1973~2019년 연최대치 자료를 생성하였고, 적정 확률분포형으로 Gumbel 분포를 가정하였다. Gumbel 분포의 매개변수 추정방법으로 Gumbel-Kendall, Gumbel-Chow, PWM L-모멘트법을 적용하여 비교하였고,  $\chi^2$ -검정과 KS 검정 결과 현행 방법인 Gumbel-Kendall 방법이 가장 적합하지 않은 것으로 나타났으며, PWM 방법이 가장 적합도가 높은 것으로 나타났다. 세 가지 방법을 이용하여 임의지속 48시간 20년 빈도 설계강우량을 산정한 결과 Gumbel-Kendall 방법의 60곳 평균 설계강우량이 Gumbel-Chow, PWM 방법의 설계강우량에 비해 약 5~6% 더 큰 것으로 나타났고, 최댓값의 경우 PWM 방법에 비해 약 9% 큰 것으로 산정되었다. Gumbel-Kendall 방법에서 가장 큰 설계강우량이 산정된 것은 빈도계수를 구할 때 Gumbel 분포의 환원변수가 Weibull의 도시위치공식을 따른다고 가정하기 때문에 자료수  $n$ 이 적을수록 빈도계수가 작게 산정되기 때문이다. 이에 따라 30개의 연도로 설계강우량을 산정할 경우 Gumbel-Kendall 방법과 PWM의 차이가 본 연구에서보다 더 커질 것으로 예상된다.

본 연구에서는 모든 관측소의 자료를 사용하지 않았으며, 자료의 대상 기간 또한 1973~2019년으로 고정하여 분석하였



다는 한계점이 있다. 하지만 실무에서와 같이 Gumbel-Kendall 방법으로 매개변수를 추정하여 설계강우량을 산정할 경우 분포의 적합성이 다른 방법들에 비해 떨어지며, 동시에 설계강우량 값이 과다하게 산정되었다. 본 연구 결과는 향후 농업생산기반시설설계기준에서 설계기준치 개정을 위해 참고될 수 있을 것으로 보이며, 향후에는 국가 수자원시설 설계기준치의 통일성 및 농업 배수시설에 대한 적용성 등을 고려하여 환경부의 홍수량산정 표준지침 (ME, 2019)의 지역빈도분석 방법에 대한 검토도 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2020년도 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017R1E1A1A01077413).

## REFERENCES

- Ball, J., M. Babister, R. Nathan, W. Weeks, E. Weinmann, M. Retallick, and I. Testoni, 2019. Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation. Symonston, Canberra, Australia: Commonwealth of Australia (Geoscience Australia).
- 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 expressible in inverse form. *Water Resources Research* 15(5): 1049-1054. doi:10.1029/WR015i005p01049.
- Haan, C. T., 2002. *Statistical methods in hydrology*, 2nd edition. Ames, Iowa: Iowa State Press.
- 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. *Technometrics* 27(3): 251-261. doi:10.2307/1269706.
- Hosking, J. R. M., and J. R. Wallis, 1986. Paleoflood hydrology and flood frequency analysis. *Water Resources Research* 22(4): 543-550. doi:10.1029/WR022i004p00543.
- Kim, K. C., Y. Kim, J. Song, and S. Chung, 2014. Revision of agricultural drainage design standards. *KCID Journal* 21(1): 32-44 (in Korean).
- Kite, G. W., 1978. *Frequency and risk analyses in hydrology*. Fort Collins, CO: Water Resources Publications.
- Kjeldsen, T. R., D. A. Jones, and A. C. Bayliss, 2008. Improving the FEH statistical procedures for flood frequency estimation. Bristol, UK: Environment Agency.
- MCT (Ministry of Construction and Transportation), 2000. Report for research and survey of water resources management, probability rainfall in Korea (Republic of).
- ME (Ministry of Environment), 2019. Standard guideline for flood estimation.
- ME (Ministry of Environment), 2020. Report for developing program of rainfall frequency analysis.
- MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), 2011. Study on improvement and supplement of probability rainfall.
- Moon, Y. I., D. H. Park, and K. S. Yoon, 2003. The study of design flood for road drainage system. Korean Society of Civil Engineers Proceedings: 2586-2589 (in Korean).
- Park, J., T. Kang, and S. Lee, 2019. A temporal distribution method of probable rainfall for planning a storm sewer network in an urban area. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 19(1): 85-94 (in Korean). doi:10.9798/KOSHAM.2019.19.1.85.
- Stuart, A., and J. Keith Ord, 1994. *Kendall's advanced theory of statistics*, 6th edition. New York, NY.: John Wiley & Sons Inc..
- Sturges, H. A., 1926. The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association* 21: 65-66. doi:10.1080/01621459.1926.10502161.
- Yoon, Y. N., 2013. *Hydrology*. Paju: Cheong-moon-gak.
- Perica, S., S. Dietz, S. Heim, L. Hiner, K. Maitaria, D. Martin, S. Pavlovic, I. Roy, C. Trypaluk, D. Unruh, F. Yan, M. Yekta, T. Zhao, G. Bonnin, D. Brewer, L. Chen, T. Parzybok, and J. Yarchoan, 2011. Precipitation-frequency Atlas of the United States. Baltimore, MD: National Weather Service.

