

연최대강우량의 대표확률분포형 결정을 위한 Jackknife기법의 적용

Application of Jackknife Method for Determination of Representative Probability Distribution of Annual Maximum Rainfall

이 재 준* / 이 상 원** / 곽 창 재***

Lee, Jae Joon / Lee, Sang Won / Kwak, Chang Jae

Abstract

In this study, basic data is consisted annual maximum rainfall at 56 stations that has the rainfall records more than 30years in Korea. The 14 probability distributions which has been widely used in hydrologic frequency analysis are applied to the basic data. The method of moments, method of maximum likelihood and probability weighted moments method are used to estimate the parameters. And 4-tests (chi-square test, Kolmogorov-Smirnov test, Cramer von Mises test, probability plot correlation coefficient (PPCC) test) are used to determine the goodness of fit of probability distributions. This study emphasizes the necessity for considering the variability of the estimate of T-year event in hydrologic frequency analysis and proposes a framework for evaluating probability distribution models. The variability (or estimation error) of T-year event is used as a criterion for model evaluation as well as three goodness of fit criteria (SLSC, MLL, and AIC) in the framework. The Jackknife method plays a important role in estimating the variability. For the annual maxima of rainfall at 56 stations, the Gumble distribution is regarded as the best one among probability distribution models with two or three parameters.

keywords : annual maximum rainfall, goodness of fit criteria, frequency analysis, Jackknife method

요 지

본 연구에서는 전국의 30년 이상의 강우관측기록을 보유하고 있는 기상청 산하 56개 강우관측소의 연 최대치 강우자료들로부터 확률분포형에 대하여 모멘트법, 최우추정법, 확률가중모멘트법을 이용하여 모수를 추정하고, 그 모수의 범위와 확률변수의 범위에 대한 적정성을 알아보았다. 적정성이 있는 모수를 대상으로 적합도 검정법인 χ^2 -검정, K-S검정, Cramer von Mises (CVM)검정, Probability Plot Correlation Coefficient (PPCC) 검정을 실시한 결과 중, 최근 연구에서 많이 이용되고 있고 표본자료의 크기가 작거나 왜곡된 자료일 경우에도 비교적 안정적인 결과를 얻

* 국립금오공과대학교 토목환경공학부 교수
Professor / Ph.D., School. of Civil and Environmental Engrg., Kumoh National Institute of Technology,
1 Yangho-dong, Gumi, Gyeongbuk 730-701, Korea

** 교신저자, 국립방재연구소 연구원
Corresponding Author, Researcher / National Institute for Disaster Preverntion, (6F)135, Mapo-ro, Mapo-gu, Seoul
121-719, Korea
(e-mail: evolution80@lycos.co.kr)

*** 국립금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정
Doctoral Student / School. of Civil and Environmental Engrg., Kumoh National Institute of Technology, 1 Yangho- dong,
Gumi, Gyeongbuk 730-701, Korea

을 수 있는 확률가중모멘트법과 상관계수에 의한 검정인 PPCC검정을 통과한 분포형을 우선적으로 적합도 평가 대상 분포형으로 선정하였다. 선정된 분포형을 대상으로 적합도 평가기준인 SLSC, MLL, AIC를 적용하여 적합도 평가를 실시하여 대표확률분포형 후보군을 추출하였다. 대표확률분포형 후보군으로 선정된 확률분포형에 대하여 resampling방법인 Jackknife기법을 적용하여 변동성을 파악하고, 변동성이 가장 작게 나타난 분포형을 그 지점의 대표확률분포형으로 결정하였다. 본 논문에서는 분석 결과의 분량을 감안하여 대표적으로 서울, 강릉, 대구, 전주, 부산 지점에 대해 작성하였으며, 확률강우량의 변동성이 가장 작은 확률분포형을 56개 지점의 각 지점 대표확률분포형으로 제시하였으며, Gumbel 분포(GUM)의 선정 비율이 지속기간 12시간, 24시간에 대해 각각 41 %, 32 %로 가장 높게 나타났다. 본 연구에서는 적합도 평가를 함에 있어서 객관적 정량화가 가능한 세 가지 기준과 Jackknife기법을 이용한 새로운 확률분포형 선정의 가능성을 제시하였다.

핵심용어 : 연최대강우량, 적합도 평가기준, 빈도해석, Jackknife기법

1. 서 론

산업화가 급속하게 이루어지면서 우리 주변의 환경은 도시화에 의해 도달시간의 감소, 그에 따른 우수유출량의 증가로 홍수피해 발생이 증가하고 있다. 이러한 홍수 피해와 수자원의 이용에 관한 문제점을 해결하기 위하여 국내에서는 치수 및 이수 수공구조물을 설계·건설하고 장·단기 수자원계획을 수립하고 있다. 수공구조물의 설계와 장·단기 수자원계획의 수립시 기준이 되는 것은 설계홍수량이며, 설계홍수량에 따라 수공구조물의 규모와 수자원의 계획규모가 결정된다. 우리나라에서는 관측 유량자료가 부족하여 확률강우량을 이용하여 설계홍수량을 결정하고 있으며, 연구기관과 연구자에 따라서 자료와 해석방법의 차이에 따라 같은 지점에서 서로 다른 확률분포형이 최적확률분포형으로 결정되고 동일 연구자라고 하더라도 자료 관측년수의 증가와 해석방법의 차이에 따라 각기 다른 확률분포형이 발표되는 경우가 발생하고 있으며 한 지점에 대해서 여러 가지 형태의 확률강우강도식이 사용되는 등 실무에서의 활용시 혼란을 야기시키고 있는 실정이다. 강우의 대표확률분포형에 관한 연구는 안수환과 신응배(1964)가 서울지점에 대해 선정한 이후로 최근까지도 연구가 진행되고 있다. 1960년대는 Hazen's plot법에 의해 최적분포형이 산정되었으며, '70~'80년대에 대표적인 연구로는 이재준 등(1981)은 39개 지점의 강수빈도 및 강우강도의 시공간적 분포에 관한 연구에서 Y-k법의 χ^2 -검정을 이용하여 대표확률분포형을 선정한 바 있으며, 이원환(1980), 이원환(1987), 건설부(1987) 등이 χ^2 -검정을 통하여 대표확률분포형을 결정하였으며, '90년대의 대표적인 연구로는 신창동(1993)은 21개 지점에 대해 모멘트법과 최우추정법으로 모수를 추정한 후 χ^2 -검정, K-S 검정, 편차검정, 수정편차검정을 통해 대표확률분포형을

선정한 바 있으며, 김경덕 등(1996)은 22개 지점에 대해 모멘트법, 최우추정법, 확률가중모멘트법의 모수 추정치에 대해 분리효과를 적용하여 대표확률분포형을 선정하였으며, 허준행 등(1999)은 22개 지점에 대해 모멘트법, 최우추정법, 확률가중모멘트법의 추정 모수에 대해 χ^2 -검정, K-S검정, PPCC검정, CVM검정을 통해 대표확률분포형을 결정한 바 있으며 이외에 이원환 등(1993), 김양수 등(1994), 김경덕 등(1995), 허준행 등(1996), 이재준과 이정식(1999), 이재준 등(2000), 건설교통부(2000), 이정환(2006)등의 연구자들에 의해 모멘트법, 최우추정법, 확률가중모멘트법의 모수 추정치에 대해 여러 가지 검정방법을 이용하여 대표확률분포형을 선정에 관한 연구를 수행하였다. 국내의 경우 대표확률분포형을 결정할 때 사용기법과 검정방법에 관한 연구는 활발하였으나, 자료의 resampling방법을 수문학 분야에 적용한 예는 미비한 실정이며, 국외의 경우를 살펴보면, Bardsley(1977)는 극치 데이터에 대해 세 개의 극치분포 중 어느 것을 선택해야 하는가 하는 문제에 Jackknife기법을 적용하였다. Tung과 Mays (1981)는 유량자료가 적은 지점에서 홍수빈도해석을 실시할 때에 Log-Pearson TypeIII분포형에서 사용하는 빈도계수를 표본 왜곡도와 수자원평의회가 작성한 왜곡도 지도에 의한 왜곡도의 분산으로부터 추정하는 문제에 Jackknife기법과 Bootstrap기법을 적용하여 데이터 수의 많고 적음에 관계없이 또 지도의 정도의 좋고 나쁨에 관계없이 Jackknife기법이 빈도계수를 정도가 좋게 추정할 수 있음을 보였다. Cover와 Unny (1986)는 연유량시계열 자료에 ARMA모델을 적용시켜 모수 추정오차를 이들 resampling방법을 이용하여 논의하였다. 일본에서는 수문학 분야의 연구에서 Jackknife기법과 Bootstrap기법을 이용한 것을 발견할 수 있고(Takara *et al.*, 1987), 일반 데이터 해석 분야에서도 점차 사용되기 시작하고

있다. 본 연구에서는 기왕의 연구결과를 통한 통계학적인 관점과 실무적용면에서의 문제점을 파악하여 이를 개선하기 위한 대안을 모색하고자 한다.

2. 빈도해석이론

본 연구에서는 기왕의 강우량 빈도해석 결과를 개선하기 위하여 강우표본의 크기를 변화시키거나 강우량 값의 발생순서를 뒤섞어 가면서 최적분포형을 결정하는 resampling방법 중 강우표본의 크기를 변화시키는 Jackknife 기법을 적용하여 우리나라의 강우량 자료에 대한 대표확률분포형을 결정하고자 한다. 본 연구에서는 전국의 30년 이상의 강우관측기록을 보유하고 있는 기상청 산하 56개 강우관측소의 연 최대치 강우자료들로부터 확률분포형에 대하여 모멘트법, 최우추정법, 확률가중모멘트법을 이용하여 모수를 추정하고, 그 모수의 범위와 확률변수의 범위에 대한 적정성을 알아보았다. 적정성이 있는 모수를 대상으로 적합도 검정법인 χ^2 -검정, K-S검정, Cramer von Mises (CVM) 검정, Probability Plot Correlation Coefficient (PPCC) 검정을 실시하여 적합도를 검정한 결과 중 확률가중모멘트법(PWM)과 Probability Plot Correlation Coefficient (PPCC) 검정을 통과한 분포형을 대상으로 적합도 평가기준(Takara, 1988)인 SLSC, MLL, AIC를 적용하여 평가를 실시한다. 적합도 평가 결과를 반영하여 대표확률분포형 후보군을 선정하고, 대표확률분포형 후보군으로 선정된 확률분포형에 대하여 resampling방법인 Jackknife기법을 적용하여 변동성을 파악하고, 대표확률분포형을 결정한다.

2.1 적합도 평가기준

2.1.1 표준최소제곱기준(Standard Least Squares Criterion)

표준최소제곱기준(SLSC)은 최소제곱법에 의해 확률분포모형을 적용시킨 경우의 적합도 기준으로서 다음 식으로 기준치가 산정된다.

$$SLSC = \frac{\sqrt{\xi_{\min}^2}}{|s_{0.99} - s_{0.01}|} \quad (1)$$

여기서, $s_{0.99}$, $s_{0.01}$ 은 각각 비초과확률 0.99, 0.01에 대응하는 해당분포의 표준변량이며, ξ^2 은 순서통계량 데이터 y_i 에 대응하는 표준변량 s_i 와 적당한 확률 q_i 에 대응하는 표준변량 r_i 와의 차의 제곱평균이다.

$$\xi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s_i - r_i)^2 \quad (2)$$

여기서, N 은 데이터의 개수이고, 확률 q_i 는 확률도시위치공식을 이용할 수 있으며 Hazen공식을 이용하면 $q_i = \frac{(i-0.5)}{N}$ 이다. ξ_{\min}^2 은 Eq. (2)로 얻어지는 ξ^2 의 최소값이며 적합도의 지표로 볼 수 있다. 확률분포형에 따라 얻어지는 표준변량의 값이 다르기 때문에 다른 분포와의 상호비교를 위해서 ξ_{\min}^2 을 표준화한 식이 Eq. (1)이다. SLSC의 값이 작으면 잘 적합되고 있는 것으로 볼 수 있으며, 또한 적합도의 상대적 평가기준 뿐만 아니라 절대적 평가에도 유용하다. 참고로, SLSC ≈ 0.02 이면 양호한 적합도를 나타내며 SLSC > 0.3 이면 다른 분포형을 시험해야 한다.

2.1.2 최대대수우도(Maximum Log Likelihood)

최우법에 의해 확률분포모형을 적용할 경우에는 우도의 크기 자신이 적합도 양부의 지표가 된다. 최우법에서는 우도함수 자체보다도 그 대수를 취한 것(대수우도)을 최대화하는 편이 계산상 편리한 경우가 많다. 이와 같이 하여 얻어진 최대 대수우도(MLL)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$MLL = \sum_{i=1}^N \log f(x_i; \hat{\theta}) \quad (3)$$

동일한 데이터에 대해서 다른 확률분포모형을 최우법으로 적용한 경우 MLL 값이 가장 큰 모델이 적합도가 좋은 것이 된다.

2.1.3 Akaike의 정보량기준(Akaike's Information Criterion)

일반적으로 모수의 개수가 많은 확률분포모형 쪽이 적합도가 좋게 되는 것에 유의하지 않으면 안된다. 즉, 모수의 개수가 증가하면 SLSC는 작아지게 되고, MLL은 크게 된다. 따라서 SLSC, MLL 등을 모델의 평가기준으로 하면 모수의 개수가 많은 모델이 좋은 모델로 평가되게끔 된다. 모델을 평가하는 경우에는 모델의 간결성도 적합도와 같이 기본적인 요건이므로, Akaike (1974)는 모델평가에 있어 모수의 개수를 고려할 수 있는 정보량기준을 제안하였다.

$$AIC = -2 \log(\text{최대우도}) + 2p = -2MLL + 2p \quad (4)$$

여기서, p 는 모수의 개수이고, 모수가 증가하면 Eq. (4)

의 제2항은 크게 되지만 적합도는 좋아져서 제1항은 작게 된다. 이 trade-off 관계 중에서 AIC를 최소로 하는 모델이 가장 좋은 모델이 된다.

2.2 Jackknife기법을 이용한 대표확률분포형 결정

확률수문량의 변동성(추정정도)을 조사하기 위해서 본 연구에서는 resampling 방법(Jackknife 기법)을 적용하기로 한다. Resampling 방법은 간단히 말하면 현재 가지고 있는 한조의 데이터 세트(표본)에서 부분적으로 데이터를 추출하기도 하고, 반복을 허용하여 원래의 표본과 같은 데이터 개수만 추출하기도 하는 조작을 반복하여 다수개의 데이터 세트를 만들어 원래의 표본으로부터 구해진 통계량의 편의(bias)를 보정하기도 하고 통계량의 추정오차를 구하기도 하는 방법이다.

2.2.1 Jackknife 기법

N개의 데이터 x_1, x_2, \dots, x_N 을 이용하여 그 모집단의 특성을 나타내는 양을 추정하는 구조(통계량)를 $\psi(x_1, x_2, \dots, x_N)$ 으로 표기하기로 한다. Jackknife 기법의 순서를 정리하면 다음과 같다.

- i) n개의 데이터 전부를 이용하여 대상으로 하는 통계량을 구하고 그것을 Eq. (5)로 쓴다.

$$\hat{\psi} = \psi(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5)$$

- ii) n개의 데이터로부터 먼저 i번째의 데이터를 제거한 n-1개의 데이터를 이용하여 통계량을 구하여 다음과 같이 표기한다.

$$\hat{\psi}_{(i)} = \psi(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n) \quad (6)$$

$\hat{\psi}_{(i)}$ 는 모두 n개($i = 1, 2, \dots, n$)가 구해진다.

- iii) 다음 식에 의해서 $\hat{\psi}_{(i)}$ 의 평균 $\hat{\psi}_{(\cdot)}$ 을 구한다.

$$\hat{\psi}_{(\cdot)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\psi}_{(i)} \quad (7)$$

- iv) 편 의 추정치를 Quenouille (1949)의 식을 이용하여 구한다.

$$\widehat{Bias} = (n-1)(\hat{\psi}_{(\cdot)} - \hat{\psi}) \quad (8)$$

$$\tilde{\psi}_j = \hat{\psi} - \widehat{Bias} = n\hat{\psi} - (n-1)\hat{\psi}_{(\cdot)} \quad (9)$$

통계량 ψ 의 분산의 Jackknife 추정치 \hat{s}_{j^2} 은

$$\hat{s}_{j^2} = \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\psi}_{(i)} - \hat{\psi}_{(\cdot)})^2 \quad (10)$$

에 의해서 각각 구해진다. 또 $\tilde{\psi}_j$ 는 n^{-2} 정도의 편의를 가지고 있는 것으로 알려져 있다.

2.2.2 대표확률분포형 선정을 위한 Jackknife기법의 적용 절차

본 연구에서 제시한 적합도 평가 기준 및 resampling 방법 중 하나인 Jackknife기법을 이용하여 대표확률분포형을 선정하는 과정은 다음과 같다.

- i) 강우관측소의 고정지속시간별 연최대 강우량 자료를 수집하여 임의지속시간에 대한 강우량으로 환산하고, 모수 추정 및 적합도 검정을 하는 과정은 기존 방법의 빈도해석 과정과 같다.
- ii) 모수 추정과 적합도 검정 결과, 최근 연구에서 많이 이용되고 있고, 표본자료의 크기가 작거나 왜곡된 자료일 경우에도 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있는 확률가중모멘트법과 상관계수에 의한 검정인 PPCC검정을 통과한 분포형을 적합도 평가 대상 분포형으로 선정한다.
- iii) 적합도 평가 대상으로 선정된 확률분포형에 대해 적합도 평가기준인 표준최소제곱기준(SLSC), 최대대수우도(MLL), Akaike의 정보량기준(AIC)을 적용하여 적합도 평가를 실시한다.
- iv) 위의 과정에서 산정된 세가지 적합도 평가기준의 값을 이용하여 최대대수우도(MLL)은 가장 큰 값을, 표준최소제곱기준(SLSC) 및 Akaike의 정보량기준(AIC)은 가장 작은 값을 나타내는 분포형을 대표확률분포형 후보군으로 추출하여 Jackknife기법에 적용하도록 한다.
- v) 대표확률분포형 후보군으로 추출된 확률분포형의 재현기간별 확률강우량의 평균과 분산을 산정하여 변동성이 가장 작은 분포형을 Jackknife기법을 적용한 대표확률분포형으로 선정한다.

3. 적용 및 분석 결과

본 장에서는 모수의 추정과 적합도 검정과 같은 기존의 확률빈도해석 절차에 대한 결과는 수록하지 않았으며, 결과의 방대함을 고려하여 대표지점인 5개 지점(서울, 강릉, 대구, 전주, 부산)의 확률가중모멘트법

Table 1. Comparison of SLSC, MLL and AIC

| Duration | Station | Distribution | SLSC | MLL | AIC |
|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 12hr | Seoul | GAM2 | 0.001137① | -199.389881③ | 402.779763② |
| | | GEV | 0.008213 | -198.718216① | 403.436431③ |
| | | GUM | 0.002383② | -199.010919② | 402.021838① |
| | | WBU2 | 0.003755③ | -201.360024 | 406.720047 |
| | Gangneung | GEV | 0.014968② | -204.181042② | 414.362084② |
| | | LGU2 | 0.012279① | -203.357008① | 410.714016① |
| | Daegu | GAM2 | 0.003016③ | -183.667379 | 371.334757② |
| | | GAM3 | 0.001230① | -183.246908① | 372.493816③ |
| | | GEV | 0.003595 | -183.411378② | 372.822756 |
| | | GUM | 0.001304② | -183.436233③ | 370.872467① |
| | | WBU2 | 0.005835 | -185.616062 | 375.232123 |
| | Jeonju | LGU2 | 0.008048③ | -193.198171 | 390.396342 |
| | | GAM2 | 0.009302 | -189.675173③ | 383.350345③ |
| | | GAM3 | 0.003774① | -188.451647① | 382.903294② |
| | | GUM | 0.006853② | -189.025919② | 382.051839① |
| | Busan | WBU2 | 0.011931 | -192.980490 | 389.960980 |
| | | GAM3 | 0.006012 | -191.695526② | 389.391051② |
| | | GEV | 0.004445② | -193.085075 | 392.170149 |
| | | GUM | 0.011383 | -194.458004 | 392.916007 |
| | | LGU2 | 0.004004① | -187.471272① | 378.942544① |
| 24hr | Seoul | LGU3 | 0.005965③ | -193.001509③ | 392.003019③ |
| | | GAM2 | 0.005486② | -213.427780② | 430.855560② |
| | | GUM | 0.004506① | -213.460804③ | 430.921607③ |
| | | LGU2 | 0.015578 | -213.398116① | 430.796232① |
| | Gangneung | WBU2 | 0.008971③ | -215.536327 | 435.072653 |
| | | GEV | 0.026475③ | -217.273763③ | 440.547526③ |
| | | LGU2 | 0.020220① | -216.896940① | 437.793879① |
| | Daegu | LGU3 | 0.026035② | -217.218232② | 440.436464② |
| | | WBU3 | 0.009576 | -185.528607① | 377.057213① |
| | | LN2 | 0.000378① | -193.148278 | 390.296555③ |
| | | GAM2 | 0.004855③ | -193.024135 | 390.048270② |
| | | WBU2 | 0.001797② | -193.889478 | 391.778956 |
| | | GAM3 | 0.005366 | -192.936827② | 391.873654 |
| | | LN3 | 0.005170 | -193.144872③ | 392.289743 |
| | | GEV | 0.008273 | -193.207810 | 392.415620 |
| | Jeonju | GUM | 0.016619 | -193.181721 | 390.363443 |
| | | GAM2 | 0.003130 | -195.867690② | 395.735380② |
| | | GAM3 | 0.002283 | -196.082947③ | 398.165893 |
| | | GEV | 0.004981 | -196.153101 | 398.306201 |
| | | GUM | 0.005604 | -196.177134 | 396.354268 |
| LN2 | | 0.000394① | -196.139183 | 396.278365③ | |
| LN3 | | 0.002247 | -196.186349 | 396.372699 | |
| WBU2 | | 0.000608② | -196.770902 | 397.541805 | |
| Busan | WBU3 | 0.001922③ | -195.565411① | 395.130821① | |
| | GAM3 | 0.006721 | -201.985564② | 409.971129② | |
| | GEV | 0.005205② | -202.789950 | 411.579900 | |
| | GUM | 0.011550 | -203.970913 | 411.941825 | |
| | LGU2 | 0.004471① | -196.684294① | 397.368588① | |
| | | LGU3 | 0.006533③ | -202.739308③ | 411.478616③ |

where, LGU2(Log-Gumble distribution with 2 parameters), LGU3(Log-Gumble distribution with 3 parameters), GUM(Gumble distribution), GAM2(Gamma distribution with 2 parameters), GAM3(Gamma distribution with 3 parameters), GEV(General Extreme Value distribution), WBU2(Weibull distribution with 2 parameters), WBU3(Weibull distribution with 3 parameters), LN2(Log-Normal distribution with 2 parameters)

Table 2. A comparison of Jackknife estimate \hat{s}_J^2

| uration | Station | Frequency | | 50yr | 100yr | 200yr | 500yr | Mean |
|-----------|-----------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Distribution | | | | | | |
| 12hr | Seoul | GAM2② | | 4.88 | 5.61 | 6.29 | 7.21 | 6.00 |
| | | GEV③ | | 4.81 | 6.12 | 8.03 | 11.64 | 7.65 |
| | | GUM① | | 4.81 | 5.52 | 6.24 | 7.20 | 5.94 |
| | Gangneung | GEV② | | 18.97 | 29.25 | 43.75 | 71.59 | 40.89 |
| | | LGU2① | | 16.74 | 25.11 | 36.97 | 60.28 | 34.77 |
| | Daegu | GAM2② | | 3.33 | 3.84 | 4.36 | 5.03 | 4.14 |
| | | GAM3③ | | 3.87 | 4.66 | 5.48 | 6.58 | 5.15 |
| | | GUM① | | 3.25 | 3.76 | 4.27 | 4.94 | 4.05 |
| | Jeonju | GAM3③ | | 6.07 | 7.45 | 8.87 | 10.79 | 8.29 |
| | | GUM① | | 4.48 | 5.18 | 5.90 | 6.86 | 5.60 |
| | | GAM2② | | 4.58 | 5.30 | 6.01 | 6.92 | 5.71 |
| | Busan | GAM3② | | 9.09 | 11.47 | 13.91 | 17.26 | 12.93 |
| | | LGU2③ | | 8.06 | 11.24 | 15.38 | 22.80 | 14.37 |
| | | LGU3① | | 3.27 | 4.79 | 7.15 | 11.70 | 6.73 |
| | 24hr | Seoul | GAM2② | | 8.13 | 9.38 | 10.66 | 12.32 |
| GUM① | | | 7.70 | 8.85 | 10.01 | 11.55 | 9.53 | |
| LGU2③ | | | 10.65 | 15.24 | 21.57 | 33.66 | 20.28 | |
| Gangneung | | GEV② | | 31.9 | 48.1 | 69.7 | 108.3 | 64.5 |
| | | LGU2③ | | 25.6 | 38.5 | 56.9 | 93.0 | 53.5 |
| | | LGU3① | | 2.9 | 7.6 | 16.4 | 35.0 | 15.5 |
| Daegu | | GAM2① | | 3.37 | 3.85 | 4.34 | 4.98 | 4.13 |
| | | LN2③ | | 4.77 | 5.70 | 6.69 | 8.12 | 6.32 |
| | | WBU3② | | 3.27 | 3.92 | 4.61 | 5.59 | 4.35 |
| Jeonju | | GAM3② | | 5.62 | 6.19 | 7.04 | 8.52 | 6.84 |
| | | LN2③ | | 10.59 | 11.93 | 13.32 | 15.28 | 12.78 |
| | | WBU3① | | 5.40 | 5.81 | 6.48 | 7.69 | 6.35 |
| Busan | | GAM3② | | 11.83 | 14.90 | 18.07 | 22.39 | 16.80 |
| | | LGU2③ | | 10.54 | 14.84 | 20.53 | 30.86 | 19.19 |
| | | LGU3① | | 3.21 | 4.76 | 7.43 | 12.74 | 7.04 |

(PWM)과 PPCC검정을 통과한 분포형에 대해 적합도 평가를 실시한 결과와 Jackknife기법에 의해 대표확률 분포형으로 선정된 결과를 수록하였다.

3.1 빈도해석 및 적합도 평가기준의 적용 및 대표 확률분포형 후보군 선정

Table 1은 본 연구의 대표지점인 서울, 강릉, 대구, 전주, 부산 지점에 대하여 적합도 평가 대상으로 선정된 확률분포형에 대한 적합도 평가기준을 적용한 결과이다.

서울지점의 경우 지속기간 12시간과 24시간에서

GAM2, GUM 분포가 어떠한 평가기준에 대해서도 모두 베스트 3에 들어가 있다. 강릉지점의 경우 12시간, 24시간 지속기간에 대해 LGU2 분포가 SLSC, MLL, AIC 평가기준에 대해 모두 ①위를 보이고 있었다. 대구 지점의 경우 지속기간 12시간에 대해서는 GAM3 분포가 SLSC, MLL에서 ①위를 나타내고 있으며, 24시간에 대해서는 WBU3 분포가 MLL, AIC에서 ①위를 보이고 있다. 전주지점의 경우 지속기간 12시간에 대해서는 대구지점과 동일하게 GAM3 분포가 SLSC, MLL에서 ①위를 보이며, 24시간에 대해서는 MLL, AIC에서 WBU3

Table 3. Estimated probability rainfall by Jackknife's method

| Duration | Station | Frequency Distribution | | 50yr | 100yr | 200yr | 500yr | Representative Probability Distribution |
|-----------|-----------|------------------------|------|-------|-------|--------|--------|---|
| | | | | | | | | |
| 12hr | Seoul | GAM2 | | 292.3 | 317.9 | 342.6 | 374.0 | |
| | | GEV | | 320.8 | 361.4 | 410.6 | 475.8 | |
| | | GUM | | 304.4 | 337.1 | 369.7 | 412.8 | ⊙ |
| | Gangneung | GEV | | 436.1 | 551.6 | 694.5 | 936.8 | |
| | | LGU2 | | 453.9 | 596.6 | 783.2 | 1121.8 | ⊙ |
| | Daegu | GAM2 | | 187.6 | 204.2 | 220.1 | 240.5 | |
| | | GAM3 | | 195.7 | 215.6 | 235.0 | 260.1 | |
| | | GUM | | 195.2 | 216.3 | 237.3 | 265.1 | ⊙ |
| | Jeonju | GAM3 | | 238.8 | 264.8 | 290.3 | 323.5 | |
| | | GUM | | 231.9 | 256.5 | 281.1 | 313.5 | ⊙ |
| | | GAM2 | | 222.3 | 241.5 | 259.8 | 283.2 | |
| | Busan | GAM3 | | 295.1 | 329.4 | 363.4 | 408.0 | |
| | | LGU2 | | 322.5 | 390.9 | 437.4 | 609.6 | |
| | | LGU3 | | 303.9 | 352.0 | 405.2 | 484.8 | ⊙ |
| | 24hr | Seoul | GAM2 | | 407.7 | 450.1 | 491.3 | 544.2 |
| GUM | | | | 415.9 | 465.1 | 514.1 | 578.7 | ⊙ |
| LGU2 | | | | 505.5 | 642.4 | 815.6 | 1117.6 | |
| Gangneung | | GEV | | 577.4 | 713.7 | 876.2 | 1140.3 | |
| | | LGU2 | | 620.1 | 816.4 | 1073.6 | 1541.2 | |
| | | LGU3 | | 585.4 | 727.4 | 897.8 | 1176.9 | ⊙ |
| Daegu | | GAM2 | | 242.5 | 264.0 | 284.6 | 311.0 | ⊙ |
| | | LN2 | | 263.3 | 293.8 | 324.8 | 366.7 | |
| | | WBU3 | | 241.1 | 260.4 | 278.5 | 300.9 | |
| Jeonju | | GAM3 | | 259.3 | 280.2 | 300.2 | 325.5 | |
| | | LN2 | | 287.2 | 318.8 | 350.8 | 393.8 | |
| | | WBU3 | | 255.9 | 274.0 | 290.8 | 311.3 | ⊙ |
| Busan | | GAM3 | | 367.7 | 410.8 | 453.5 | 509.3 | |
| | | LGU2 | | 408.5 | 500.4 | 612.6 | 799.8 | |
| | | LGU3 | | 378.7 | 438.3 | 503.8 | 600.6 | ⊙ |

분포가 ①위를 보이고 있다. 부산지점의 경우 지속기간 12시간, 24시간에서 LGU2 분포가 평가기준 SLSC,MLL, AIC 모두에서 ①위를 보이고 있었다.

3.2 선정된 대표확률분포형 후보군에 대한 Jackknife 기법 적용

적합도 평가기준 적용을 통해 대표확률분포형 후보군으로 추출된 확률분포형에 대하여 Jackknife기법을 적용하였다. 후보군으로 선정된 분포형에 대해 각각 통계량 ψ 의 분산의 Jackknife 추정치 s_{ψ}^2 을 산정하여 비교

하여, 확률수문량의 변동이 작은 분포형을 대표확률분포형으로 선정하였다. Table 2는 서울, 강릉, 대구, 전주, 부산 지점의 지속기간 12시간과 24시간에 대한 제한기간별 Jackknife의 추정치 s_{ψ}^2 을 나타낸 것이다.

서울과 부산 지점은 Jackknife 기법의 적용결과 분산이 가장 작은 분포형이 지속기간 12시간과 24시간에서 각각 GUM 분포, LGU3 분포이었다. 지속기간 12시간에 대해 강릉, 대구, 전주 지점의 분산이 가장 작은 분포형은 LGU2, GUM, GUM 분포이었으며, 지속기간 24

Table 4. Determined Representative probability distribution of stations

| Station number | Station | Representative Probability Distribution using method of Jackknife | | Station number | Station | Representative Probability Distribution using method of Jackknife | |
|----------------|---------------|---|------------------|----------------|---------------|---|------------------|
| | | 12hr of duration | 24hr of duration | | | 12hr of duration | 24hr of duration |
| 105 | Gangneung | LGU2 | LGU3 | 202 | Yangpyeong | WBU3 | GAM3 |
| 201 | Ganghwa | LGU2 | LGU2 | 168 | Yeosu | GUM | GUM |
| 294 | Geoje | GEV | GUM | 277 | Yeongdeok | LGU2 | GUM |
| 284 | Geochang | WBU3 | WBU2 | 272 | Yeongju | WBU3 | GAM3 |
| 262 | Goheung | LGU2 | LGU2 | 281 | Yeongcheon | WBU3 | LN3 |
| 156 | Gwangju | GEV | GUM | 170 | Wando | GAM2 | WBU2 |
| 279 | Gumi | WBU3 | GUM | 152 | Ulsan | LGU2 | LGU3 |
| 238 | Geumsan | WBU3 | WBU2 | 130 | Uljin | WBU3 | GAM3 |
| 247 | Namwon | GAM2 | GAM2 | 114 | Wonju | GEV | GUM |
| 295 | Namhea | WBU3 | WBU3 | 278 | Uiseong | GUM | WBU2 |
| 100 | Daegwallyeong | LGU3 | LGU3 | 203 | Icheon | GAM3 | GAM3 |
| 143 | Daegu | WBU3 | GAM2 | 211 | Inje | LN2 | GAM3 |
| 133 | Daejeon | WBU3 | GAM3 | 112 | Incheon | LGU2 | GUM |
| 165 | Mokpo | LGU2 | LGU3 | 244 | Imsil | WBU3 | WBU2 |
| 273 | Mungyeong | LN3 | LN2 | 260 | Jangheung | GEV | LGU2 |
| 288 | Miryang | WBU3 | WBU3 | 146 | Jeonju | WBU3 | WBU3 |
| 235 | Boryeong | GEV | GUM | 245 | Jeongeup | GUM | WBU2 |
| 226 | Boeun | GEV | LGU2 | 221 | Jecheon | LN2 | GAM2 |
| 159 | Busan | LGU2 | LGU3 | 192 | Jinju | WBU3 | GAM2 |
| 243 | Buan | WBU3 | GUM | 232 | Cheonan | LN2 | GAM2 |
| 236 | Buyeo | LGU3 | LGU3 | 131 | Cheongju | GUM | GAM2 |
| 289 | Sancheong | GUM | GUM | 135 | Chupungnyeong | GAM3 | GUM |
| 129 | Seosan | WBU3 | GUM | 101 | Chuncheon | GUM | GUM |
| 108 | Seoul | GAM2 | GUM | 162 | Tongyeong | GEV | GUM |
| 090 | Sokcho | LGU2 | GUM | 138 | Pohang | GEV | LGU2 |
| 119 | Suwon | LGU2 | LGU2 | 285 | Hapcheon | LN2 | WBU2 |
| 256 | Suncheon | WBU3 | GAM2 | 261 | Haenam | LGU2 | GUM |
| 136 | Andong | WBU3 | WBU2 | 212 | Hongcheon | WBU3 | GUM |

시간에 대해서는 LGU3, GAM2, WBU3 분포로 나타났다.

Table 3은 본 연구의 대표지점에 해당하는 서울, 강릉, 대구, 전주, 부산 지점에 대해 Jackknife 기법을 적용하여 산출한 지점별 확률강우량을 수록한 것으로서 확률분포형에 따라 상이한 결과가 도출됨을 알 수 있다.

Fig. 1과 Fig. 2는 지속기간 12시간과 24시간, 전국 56개 지점에 대한 적합도 평가기준을 적용한 결과에 대해 1순위에 해당하는 대표확률분포형 후보군의 선

정비율을 나타낸 것으로서, 12시간 지속기간에서는 WBU3 분포형의 선정비율이 26.79 %로 가장 크게 나타나고, LGU2 분포형의 선정비율이 21.43 %로 두 분포형이 적합도 평가기준에서 높은 비중을 차지하고 있었으며, 24시간 지속기간에 대해서는 WBU3 분포형이 33.93 %로 가장 높은 선정비율을 보였다. Fig. 3과 Fig. 4는 대표확률분포형으로 선정된 비율을 도시한 것으로서 GUM 분포의 선정 비율이 각 지속기간 12시간과 24시간에 대해 41.07 %, 32.14 %를 보였다.

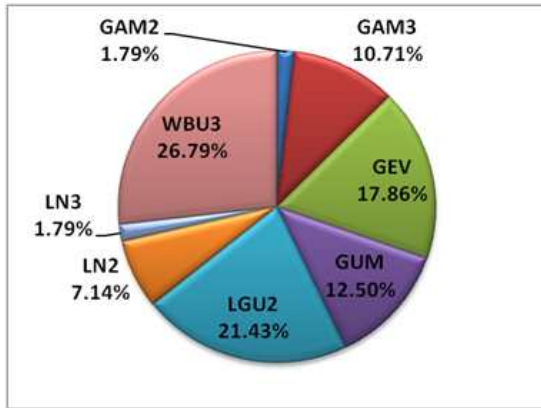


Fig. 1. Ratio of selected group of representative probability distribution candidate by goodness of fit criteria (12hr duration)

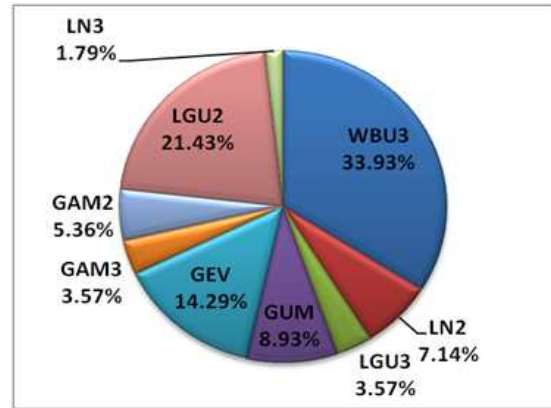


Fig. 2. Ratio of selected group of representative probability distribution candidate by goodness of fit criteria (24hr duration)

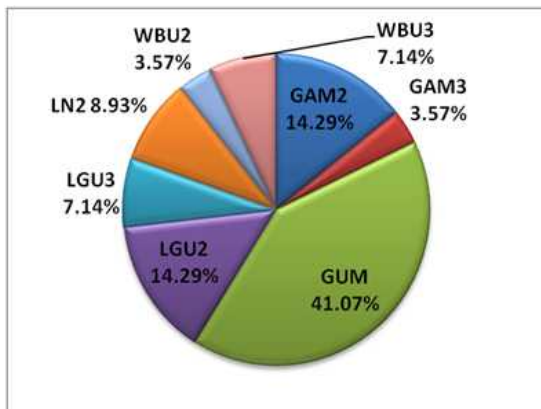


Fig. 3. Ratio of selected representative probability distribution using method of Jackknife (12hr duration)

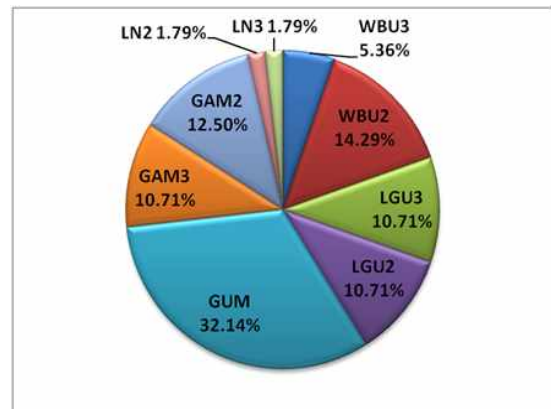


Fig. 4. Ratio of selected representative probability distribution using method of Jackknife (24hr duration)

4. 결론

본 연구에서는 기왕의 강우량 빈도해석 결과를 개선하기 위하여 강우표본의 크기를 변화시켜가면서 대표 확률분포형을 결정하는 resampling 방법 중 Jackknife 기법을 적용하여 우리나라의 강우량 자료에 대한 대표 확률분포형을 결정하였다. 전국의 30년 이상의 강우관측기록을 갖고 있는 강우관측소를 대상으로 기왕의 빈도해석에서 널리 사용된 14개의 확률분포형에 대해 3개의 모수추정 방법, 4개의 적합도 검정방법을 이용하여 모수추정과 적합도 검정을 시행하였다. 모수추정과 적합도 검정 결과 중 확률가중모멘트법과 PPCC검정을 통과한 분포형에 대하여 적합도 평가의 세 가지 기준인 SLSC, MLL, AIC 기준을 적용하여 각 지점별로 적합도가 우수한 분포형을 대표 확률분포형 후보군으로 추출하고, 추출된 분포형을 대상으로 Jackknife 기법을 사용하여 변동성이 가장 작은 분포형을 대표 확률분포형으로 선정하였으며, 본 연구를 통한 결과를 요약하면

다음과 같다.

- 1) 14개 확률분포형을 대상으로 확률가중모멘트법과 PPCC 검정을 통과한 확률분포형 중에서 객관적 수치화가 가능한 적합도 평가기준에 의거하여 대표 확률분포형 후보군으로 추출한 결과 지속기간 12시간과 24시간에 대해 WBU3 분포형의 선정비율이 각각 26.79%, 33.93%로 가장 크게 나타나고, LGU2 분포형의 선정비율이 21.43%, 21.43%로 두 분포형이 적합도 평가기준에서 높은 비중을 차지하고 있었다.
- 2) Resampling 방법인 Jackknife 기법을 적용하여 확률강우량의 변동성이 가장 작은 확률분포형을 56개 지점의 각 지점 대표 확률분포형으로 제시하였으며, Gumbel 분포(GUM)의 선정비율이 지속기간 12시간과 24시간에 대해 각각 41.07%, 32.14%로 가장 높게 나타났다.
- 3) 확률수문량을 결정함에 있어 확률분포형을 결정하

지 못하는 것은 확률분포형을 선정함에 있어 뚜렷한 기준이 없음을 가장 큰 원인이라 할 수 있다. 본 연구에서는 적합도 평가를 함에 있어서 객관적 수치화가 가능한 세 가지 기준과 Jackknife기법을 활용하여 새로운 확률분포형 선정의 가능성을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단에서 지원하는 2006년도 지역대학우수과목학자 지원사업의 연구성과입니다.

참고 문헌

건설부 (1988). “한국 가능최대강수량추정.” 수자원관리 기법연구개발보고서, 제3권.

건설교통부 (2000). “한국 확률강수량도 작성.” 1999년도 수자원관리기법개발연구조사보고서, 제1권.

김경덕, 허준행, 조원철 (1995). “의암댐 및 청평댐의 계획홍수량 재평가에 관한 연구.” **산업기술연구소 논문집**, 연세대학교, 제28권, 제1권, 제44호, pp. 37~41.

김경덕, 배덕효, 허준행, 조원철 (1996). “매개변수 추정 방법에 따른 강우자료의 분리효과.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제29권, 제1호, pp. 129~139.

김양수, 허준행, 류희정 (1994). “모멘트법과 PWM의 비교분석(강우빈도해석을 중심으로).” **한국수자원학회 학술대회 논문집**, 한국수공학 연구발표회 논문집, pp. 251~257.

신창동 (1993). 우리나라 강우의 적정분포형 결정에 관한 연구. 석사학위 논문, 국립금오공과대학교.

안수환, 신응배 (1964). “서울지방의 강우특성에 관한 연구.” **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제12권, 제4호, pp. 17~35.

이원환 (1980). “도시 하천 및 하수도 개수계획상의 계획강수량 설정에 관한 추계학적 해석.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제28권, 제4호, pp. 81~94.

이원환 (1987). “한국 확률강우강도 작성을 위한 수문해석 방법개발.” **한국수문학회지**, 한국수자원학회, 제20권, 제2호, pp. 139~150.

이원환, 박상덕, 최성렬 (1993). “한국 대표확률강우강도식의 유도.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제1호, 115~120.

이정환 (2006). “우리나라 강우의 권역별 대표확률분포형 결정에 관한 연구.” 석사학위 논문, 국립금오공과대학교.

이재준, 손광익, 이원환, 이길춘 (1981). “강수빈도 및

강우강도의 시공적 분포분석에 관한 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제14권, 제4호, pp. 53~72.

이재준, 이정식 (1999). “우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, pp. 403~415.

이재준, 이정식, 김병일, 박종영 (2000). “대표확률분포형에 의거한 권역별 확률강우강도식의 유도.” **한국수자원학회 학술발표대회 논문집**, 한국수자원학회 pp. 124~129.

허준행, 김경덕, 조원철 (1996). “연최대 강우자료의 빈도해석을 통한 지역적 고찰에 관한 연구.” **한국수자원학회 학술발표대회 논문집**, 한국수자원학회 pp. 199~204.

허준행, 김경덕, 한정훈 (1999). “지속기간별 강우자료의 적정분포형 선정을 통한 확률강우강도식의 유도.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제3호, pp. 247~254.

Akaike, H. (1974). “A New Look at the Statistical Model Identification.” *IEEE Trans. Autom. Contr.*, AC-19, pp. 716~723.

Bardsley, w. E. (1977). “A Test for Distinguishing between Extreme Value Distribution.” *Journal of Hydrology*, Vol. 34. pp. 377~381.

Cover, K. A. and T. E. Unny (1986). “Application of Computer Intensive Statistics to Parameter Uncertainty in Streamflow Synthesis.” *Water Resources research* Vol. 22, No. 3, pp. 495~507.

Quenouille, M. (1949). “Approximate tests of correlation in time series.” *Journal of the Royal Statistical Society*, Series B 11, pp. 18~84.

Takara, Kaoru and Takuma Takasao (1988). “Criteria for Evaluating Probability Distribution Models in Hydrologic Frequency Analysis.” *Journal of the Japan Society of Civil Engineers*, No. 393 II-9, pp. 151~160.

Tung, Y. K. and L. W. Mays, (1981), “Generalized Skew Coefficients for Flood Frequency Analysis.” *Water Resources Bulletin*, Vol. 17, No. 2, pp. 262~269.

| | |
|------------------|------------------|
| 논문번호: 09-076 | 접수: 2009.06.29 |
| 수정일자: 2009.08.28 | 심사완료: 2009.08.28 |