

GPD 모형 산정을 위한 부분시계열 자료의 임계값 산정방법 비교

Comparison of Methods of Selecting the Threshold of Partial Duration Series for GPD Model

엄 명 진* / 조 원 철** / 허 준 행**

Um, Myoung Jin / Cho, Woncheol / Heo, Jun-Haeng

Abstract

Generalized Pareto distribution (GPD) is frequently applied in hydrologic extreme value analysis. The main objective of statistics of extremes is the prediction of rare events, and the primary problem has been the estimation of the threshold and the exceedances which were difficult without an accurate method of calculation. In this paper, to obtain the threshold or the exceedances, four methods were considered. For this comparison a GPD model was used to estimate parameters and quantiles for the seven durations (1, 2, 3, 6, 12, 18 and 24 hours) and the ten return periods (2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 70, 80 and 100 years). The parameters and quantiles of the three-parameter generalized Pareto distribution were estimated with three methods (MOM, ML and PWM). To estimate the degree of fit, three methods (K-S, CVM and A-D test) were performed and the relative root mean squared error (RRMSE) was calculated for a Monte Carlo generated sample. Then the performance of these methods were compared with the objective of identifying the best method from their number.

keywords : Generalized Pareto distribution, Threshold

요 지

GPD 모형은 수문학 극치확률량 해석에 주로 적용되어 왔다. 극치 통계의 주목적은 드문 사상의 예측이며, 주요 문제점으로는 임계값 또는 임계값 초과치들에 대한 정확한 산정방법이 없어 그 추정이 매우 어렵다는 것이다. 본 연구에서는 임계값 또는 임계값 초과치들을 산정하기 위하여 4가지 방법을 적용하였다. 그 비교를 위하여 GPD 모형에 적용하여 7개의 지속시간(1, 2, 3, 6, 12, 18 및 24시간)과 10개의 재현기간(2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 70, 80 및 100년)에 대한 매개변수 및 Quantile을 추정하였다. 3변수 GPD의 매개변수 및 Quantile을 추정하기 위하여 MOM, ML과 PWM을 적용하였다. 적합도를 추정하기 위하여 K-S, CVM 및 A-D 검정을 수행하였고 Monte Carlo 실험으로 상대 제공근오차를 산정하였다. 이러한 방법들을 이용하여 임계값 산정방법들을 비교하여 최적화된 방법을 추정하였다.

핵심용어 : Generalized Pareto distribution, 임계값

* 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정
Doctoral Student, Dept. of Civil Eng., Yonsei Univ., Seoul, 120-749, Korea
(e-mail: movie21@yonsei.ac.kr)

** 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수
Professor, School of Civil and Environmental Eng., Yonsei Univ., Seoul, 120-749, Korea

1. 서론

최근 수문학 분야에서는 확률강우량을 구하기 위한 극치값 해석에서 주로 연최대치 계열을 이용하여 왔다. 그 이유는 연최대치 계열을 이용한 분석이 부분 시계열을 이용한 분석보다 자료 취득과 자료간 독립성 확보에 유리하기 때문이다. 하지만 연최대치 계열은 연최대값만을 고려하기 때문에 일정 기간에 가뭄 등이 발생할 경우 작은 관측치가 발생하므로 극치값 산정시 문제점을 초래할 수 있다. 또한 연간 하나의 최대값만을 고려하기 때문에 연중 호우가 많이 발생할 지라도 극치값 해석시 하나의 값만을 고려하는 모순이 있다. 따라서 전 기간 사상들에 대한 고려가 가능한 부분 시계열(PDS: Partial Duration Series)을 이용한 방법에 대한 연구가 진행되어 왔다. 하지만 부분시계열을 이용한 방법 적용시 자료간 독립성 확보 및 임계값 결정은 매우 어려운 문제이다.

시계열 자료간 독립성 확보 문제는 여러 학자들에 의해 연구되어 왔다(Howard and Associate, 1979; Restrepo-Posada and Eagleson, 1982; Nix, 1994; Heaney et al., 1977; Adams and Papa, 2000). 그들은 오랜 기간의 시계열 자료는 시간에 따른 일정한 규칙이 있다는 가정 하에 강우간 사상을 구분하기 위한 강우사상간의 최소 무강우 기간(Inter-event Time Definition)을 제안하였다. IETD 개념을 적용하면, 두 개의 강우사상 사이의 기간이 IETD보다 짧으면 두 개의 강우사상은 하나의 강우사상으로 결정되며, 반대로 두 개의 강우사상간 기간이 IETD보다 길면 두 개의 강우사상으로 결정된다.

부분시계열 모형에서 적절한 임계값을 산정하는 것은 중요한 문제이다. 너무 큰 임계값은 자료의 수가 너무 작아서 부정확한 모수 추정이 발생되고, 너무 작은 임계값은 모수의 추정은 정확해지나 추정된 모수들의 편의가 증가하게 된다. Cunnane(1973)은 부분시계열 모형에서의 임계값 초과치 개수가 연평균 1.65개 이상일 경우 연최대치 계열 모형보다 작은 분산을 가진다고 하였다. Rosbjerg and Madsen(1992)은 임계값을 평균과 표준편차의 함수로 제안하였고, 이 방법은 Rasmussen and Rosbjerg(1991) 및 Madsen et al.(1994)에 의해 응용되었다. 그 후 Madsen et al.(1997)은 0.4~15 범위의 연평균 임계값 초과치 개수에 대하여 연구하였다. 하지만 임계값 산정에 대한 정확한 해법은 제시하지 못하였다. 통계학 분야에서는 모형의 평균제곱오차를 최소화하기 위하여 Hill(1975)에 의하여 Log화된 평균 초과 함수가 제안된 후 최적화된 임계값을 결정하기 위한 Hall

and Welsh(1985), Hall(1990), Drees and Kaufmann(1998), Gomes and Pestan(2007) 등의 방법들이 제시되었다. 이러한 방법들은 금융, 사회, 생물학 등 여러 분야에 적용되어 활용되어 왔다.

본 연구에서는 확률강우량 산정시 적합한 임계값을 결정하기 위하여 통계학 분야에서 제시된 여러 가지 방법들을 적용하여 비교·분석하였다. 여러 가지 방법들을 비교하기 위한 분포 모형으로는 Generalized Pareto Distribution(GPD)를 선택하였고, 강우사상들을 구분하기 위해서 Restrepo-Posada and Eagleson(1982)등이 제안한 IETD 개념을 적용하였다.

2. GPD 모형

부분시계열 모형을 산정하기 위한 분포형으로는 전통적으로 Exponential 분포형이 사용되어 왔으나 최근 연구경향을 살펴보면 Pickands(1975)가 제시한 GPD가 주로 적용되었다. 이는 Exponential 분포형이 GPD의 특별한 경우이기 때문이다. GPD의 누적분포함수(CDF) 및 확률밀도함수(PDF)는 Eqs. (1)~(4)와 같다.

$$F(x) = 1 - \left(1 - \gamma \frac{x - \xi}{\alpha}\right)^{1/\gamma}, \quad \gamma \neq 0 \quad (1)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x - \xi}{\alpha}\right), \quad \gamma = 0 \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left(1 - \gamma \frac{x - \xi}{\alpha}\right)^{(1/\gamma) - 1}, \quad \gamma \neq 0 \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left(-\frac{x - \xi}{\alpha}\right), \quad \gamma = 0 \quad (4)$$

여기서, γ 는 형상매개변수, α 는 척도매개변수, ξ 는 위치매개변수이다. 일반적으로 x 의 범위는 $\gamma < 0$ 일 경우 $\xi \leq x < \infty$, $\gamma \geq 0$ 일 경우 $\xi \leq x < \xi + \alpha/\gamma$ 이다.

2.1 임계값 산정

분포모형의 최소제곱오차(MSE)가 최소가 되게 하는 임계값을 찾는 것은 매우 어려운 문제이다. 이러한 임계값을 찾기 위하여 Hill(1975)은 준모수 추정량(Semi-parametric estimator)을 제시하였다. 자료(X_1, X_2, \dots, X_n)가 독립적이라 가정하고 오름차순($X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq \dots \leq X_{n:n}$)으로 정렬한 후 Eq. (5)를 통하여 준모수 추정량($\gamma_n^{(1)}$)을 계산하였다. 적합한 임계값은 준모수 추정량이 안정화된 지점에서 도식적 방법을 통하여 구한다. 그러나 Hill의 graph는 종종 안정화

된 지점을 찾기 어려울 정도의 형태를 나타내며 안정화된 구간에서도 임계값을 찾는 것은 쉽지 않은 경향이 있다.

$$\gamma_n^{(1)}(k) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\ln X_{n-i+1:n} - \ln X_{n-k:n}),$$

$$k = 1, 2, \dots, n-1 \quad (5)$$

Hall(1982)은 최적화된 임계값 초과 개수(k_0)를 Eq. (6)과 같이 제시하였다.

$$k_0 = \lambda n^{-2\rho/(1-2\rho)} = \left(\frac{(1-\rho)^2}{-2\rho\beta^2} \right)^{1/(1-2\rho)} n^{-2\rho/(1-2\rho)} \quad (6)$$

여기서 β 및 ρ 는 매개변수이다.

Hall and Welsh(1985)은 Eqs. (5) and (6)을 이용하여 다음과 같은 산정방법을 제시하였다.

1. $\sigma = 0.5$, $\tau_1 = 0.9$, $\tau_2 = 0.95$ 일 경우 $s = n^\sigma$, $t_1 = n^{\tau_1}$, $t_2 = n^{\tau_2}$ 을 구한다.
2. 다음 값을 구한다.

$$\hat{\rho}_n = - \left| \log \left| \frac{1/\gamma_n^{(1)}(t_1) - 1/\gamma_n^{(1)}(s)}{1/\gamma_n^{(1)}(t_2) - 1/\gamma_n^{(1)}(s)} \right| / \log \frac{t_1}{t_2} \right| \quad (7)$$

$$\hat{\lambda} = \left| \sqrt{-2\hat{\rho}_n} \left(\frac{n}{t_1} \right)^{-\hat{\rho}_n} \frac{\gamma_n^{(1)}(s) - \gamma_n^{(1)}(t_1)}{\gamma_n^{(1)}(t_1)} \right|^{-2/(1-2\hat{\rho}_n)} \quad (8)$$

3. 임계값 초과치 개수를 산정한다.

$$\hat{k}_n^{HW} = \hat{\lambda}_n^{-2\hat{\rho}_n/(1-2\hat{\rho}_n)} \quad (9)$$

제시된 방법은 매개변수(σ , τ_1 , τ_2)에 따라 추정치가 매우 민감하게 변하는 단점이 있다.

Hall(1990)은 Hill(1975)이 제시한 방법에 Bootstrap 방법을 적용하여 적합한 임계값 초과치 개수(k_0)를 산정하였으며 Gomes and Oliveira(2001)은 Hall(1990)의 산정방법을 정리하여 다음과 같이 제시하였다.

1. 주어진 표본 크기가 n 일 경우, n_1 및 $n_2 = n_1/n$ 의 크기를 갖는 부표본을 고려한다. 이 때 Dress and

Kaufmann(1998)가 제시한 것처럼 고정된 값 $k_{aux} = 2\sqrt{n}$ 을 산정한다.

2. 표본(x_1, x_2, \dots, x_n)에 대하여, $\gamma_n^{(1)}(k)$ 을 계산한다.
3. 표본크기가 n_2 및 n_1 인 Bootstrap 표본을 발생시킨다.
4. 다음 값들을 구한다.

$$T_{n_i}^*(k) = \gamma_{n_i}^{(1)*} - \gamma_n^{(1)}(k_{aux}), \quad i = 1, 2 \quad (10)$$

$$\widehat{MSE}^*(n_i, k) = \frac{1}{B} \sum_{l=1}^B (T_{n_i}^*(k))^2,$$

$$k = 1, 2, \dots, n_i - 1, \quad i = 1, 2 \quad (11)$$

$$\bar{k}_0^{**}(n_i) = \arg \min_{1 \leq k \leq n_i - 1} \widehat{MSE}^*(n_i, k),$$

$$i = 1, 2 \quad (12)$$

5. 임계값 초과치 개수를 산정한다.

$$\hat{k}_n^H(n; k_{aux}; n_1) = \left\lfloor \frac{[\bar{k}_0^{**}(n_1)]^2}{\bar{k}_0^{**}(n_2)} \right\rfloor \quad (13)$$

이러한 Bootstrap 방법을 이용한 임계값 결정 방법은 Danielsson et al.(2001) 및 Gomes and Oliveira(2001)에 의해 수정·보완 되었다.

Drees and Kaufmann(1998)은 다음과 같은 산정방법을 제시하였다.

1. $\tilde{\gamma}_n = \gamma_n^{(1)}(2\sqrt{n})$ 을 구한다.
2. $r_n = 2.5\tilde{\gamma}_n n^{1/4}$ 일 경우, 다음 값을 계산한다.

$$\bar{k}_n(r_n) = \min_{1 \leq k \leq n-1} \{ \max_{1 \leq i \leq k} \sqrt{i} |\gamma_n^{(1)}(i) - \gamma_n^{(1)}(k)| > r_n \} \quad (14)$$

$$\bar{k}_n(r_n^{0.7}) = \min_{1 \leq k \leq n-1} \{ \max_{1 \leq i \leq k} \sqrt{i} |\gamma_n^{(1)}(i) - \gamma_n^{(1)}(k)| > r_n^{0.7} \} \quad (15)$$

3. $\rho = -1$ 일 경우, 임계값 초과치 개수를 산정한다.

$$\hat{k}_n^{DK} = (-2\rho + 1)^{1/\rho} (-2\tilde{\gamma}_n^2 \rho)^{1/(-2\rho+1)} \left(\frac{\bar{k}_n(r_n^{0.7})}{(\bar{k}_n(r_n))^{0.7}} \right)^{1/0.3} \quad (16)$$

Hall(1990) 및 Drees and Kaufmann(1998)이 제시한 방법은 k_{aux} 값에 따라 추정치가 민감하게 변화하고, Hall(1990) 방법은 Bootstrap 방법을 이용하기 때문에 그 결과 값이 항상 같지 않다는 단점이 있다.

Gomes and Pestana(2007)는 Eqs. (5) and (6)을 이용하여 다음과 같은 산정방법을 제시하였다.

1. 다음 값을 구한다.

$$\hat{\rho}_\tau(k) = \hat{\rho}_n^{(\tau)}(k) = \min\left(0, \frac{3(T_n^{(\tau)}(k) - 1)}{T_n^{(\tau)}(k) - 3}\right) \quad (17)$$

$$T_n^{(\tau)}(k) = \begin{cases} \frac{M_n^{(1)}(k)^{(\tau)} - (M_n^{(2)}(k)/2)^{(\tau/2)}}{(M_n^{(2)}(k)/2)^{(\tau/2)} - (M_n^{(3)}(k)/6)^{(\tau/3)}} & \text{if } \tau \neq 0 \\ \frac{\ln(M_n^{(1)}(k)) - (1/2)\ln(M_n^{(2)}(k)/2)}{(1/2)\ln(M_n^{(2)}(k)/2) - (1/3)\ln(M_n^{(3)}(k)/6)} & \text{if } \tau = 0, \end{cases} \quad (18)$$

여기서 $j=1,2,3$ 일 경우 $M_n^{(j)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left\{ \ln \frac{X_{n-i+1:n}}{X_{n-k:n}} \right\}^j$ 이다.

2. $k_1 = \min\left(n-1, \frac{2n^{0.995}}{\ln(\ln n)}\right)$ 을 산정한다.

3. 다음 값을 구한다.

$$\hat{\beta}(k) = \left(\frac{k}{n}\right)^\rho \frac{\left((1/k) \sum_{i=1}^k (i/k)^{-\rho}\right) \left((1/k) \sum_{i=1}^k Z_i\right) - \left((1/k) \sum_{i=1}^k (1/k)^{-\rho} Z_i\right)}{\left((1/k) \sum_{i=1}^k (i/k)^{-\rho}\right) \left((1/k) \sum_{i=1}^k (1/k)^{-\rho} Z_i\right) - \left((1/k) \sum_{i=1}^k (1/k)^{-2\rho} Z_i\right)} \quad (19)$$

4. $T = [0,1]$ 일 경우 $\tau \in T$ 이라 가정한다.

5. $k \in K = ([n^{0.995}], [n^{0.999}])$ 일 경우 $[\hat{\rho}_\tau(k)]_{k \in K}$ 을 계산하고 그 중앙값을 χ_τ 이라한다.

6. $\tau^* = \operatorname{argmin}_\tau \sum_{k \in K} (\hat{\rho}_\tau(k) - \chi_\tau)^2$ 을 계산한다.

7. $\hat{\rho}_\tau^* = \hat{\rho}_\tau^*(k_1)$, $\hat{\beta}_\tau^* = \hat{\beta}_\tau^*(k_1)$ 이라 가정한다.

8. $k = k_1$ 및 $p = 1/2n$ 일 경우, 임계값 초과치 개수 (Case 1 및 Case 2)를 산정한다.

Case 1 :

$$\hat{k}_n^{GPI} = \left(\frac{(1-\rho)^2}{-2\rho\beta^2} \right)^{1/(1-2\rho)} n^{-2\rho/(1-2\rho)} \quad (20)$$

Case 2 :

$$\hat{k}_n^{GP2} = \operatorname{argmin}_k \left\{ \ln^2 \left(\frac{k}{np} \right) \left(\frac{1}{k} + \frac{\beta^2 (n/k)^{2\rho}}{(1-\rho)^2} \right) \right\} \quad (21)$$

Case 1은 Hill의 추정량을 통하여 최적화된 임계값 초과치 개수를 산정하는 경우이고, Case 2는 Weissman(1978)이 제시한 개념을 로그화 시킨 후 Hill의 추정량 개념을 도입한 새로운 추정방법으로 Case 1의 경우보다 작은 점근적 평균 제곱근 오차를 가지는 것으로 제시되었다.

2.2 매개변수 추정 및 Quantile 산정

본 연구에서는 수자원분야에서 주로 사용된 매개변수 추정방법인 모멘트법(MOM), 최우도추정법(ML) 및 확률가중모멘트법(PWM)을 적용하였다. Rao and Hamed(2000) 및 Singh and Ahmad(2004)는 이러한 매개변수 추정방법들을 다음과 같이 요약하였다.

Hogg and Tanis(1988)는 확률 밀도 함수 형태의 최소값($X_{1:n}$)을 고려하여 Eq. (22)와 같이 모멘트 변수를 산정하였다.

$$f(X_{1:n}) = \frac{n}{\alpha} \left(1 - \gamma \frac{x - \xi}{\alpha} \right)^{n/\gamma - 1},$$

$$E(X_{1:n}) = \frac{\alpha}{n + \gamma} + \xi \quad (22)$$

Moharram et al.(1993)은 최우도추정법을 Eq. (23)으로 제시하였다.

$$\sum_{i=1}^n \frac{(X_{i:n} - \xi)\alpha}{1 - \gamma(X_{i:n} - \xi)/\alpha} = \frac{n}{1 - \gamma},$$

$$\sum_{i=1}^n \ln [1 - \gamma(X_{i:n} - \xi)/\alpha] = -n\gamma \quad (23)$$

최우도추정법은 위치매개변수(ξ)에 대한 산정 조건이 없기 때문에, 최우도추정법으로는 위치매개변수(ξ)를 산정할 수 없다. 따라서 최우도추정법은 위치매개변수(ξ)를 최소값($X_{1:n}$)으로 가정하고 모멘트법이나 확률가중모멘트법의 매개변수를 초기치로 가정하여 계산

한다.

Hosking and Wallis(1987)의 연구결과 $\gamma \leq -0.2$ 이고 입력 자료가 한정일 경우 확률가중모멘트법이 모멘트법이나 최우도법보다 덜 편의되기 때문에 확률가중모멘트법에서 가장 유용한 것으로 나타났다. 확률가중모멘트법은 Eqs. (24) ~ (26)으로 제시된다.

$$\gamma = \frac{n(l_1 - X_{1:n}) - 2(n-1)l_2}{(n-1)l_2 - (l_1 - X_{1:n})} \quad (24)$$

$$\alpha = (1 + \gamma)(2 + \gamma)l_2 \quad (25)$$

$$\xi = X_{1:n} - \frac{\alpha}{n + \gamma} \quad (26)$$

여기서 표본 L모멘트는 Eq. (27)과 같다.

$$l_1 = b_0, \quad l_2 = 2b_1 - b_0 \quad (27)$$

여기서 확률가중모멘트의 변수는 Eq. (28)로 정의된다.

$$b_0 = n^{-1} \sum_{j=1}^n X_{j:n}, \quad b_1 = n^{-1} \sum_{i=2}^n \frac{(i-1)}{(n-1)} X_{i:n} \quad (28)$$

만약 위치매개변수(ξ)를 알고 있거나 0으로 가정한다면, 형상매개변수(γ) 및 척도매개변수(α)는 Eq. (29)와 같다.

$$\gamma = (l_1 - \xi)/l_2 - 2, \quad \alpha = (1 + \gamma)(l_1 - \xi) \quad (29)$$

주어진 재현기간 T에 대한 Quantile 추정값은 Eq. (30)으로 산정된다.

$$x_T = \xi + \frac{\alpha}{\gamma} [1 - (\omega T)^{-\gamma}] \quad (30)$$

여기서 ω 는 연평균 임계값 초과 개수이다.

2.3 적합도 검정

적합도 검정방법은 도시적 방법과 통계적 적합도 검정이 있다. Quantile-Quantile (Q-Q) plot 또는 Probability-Probability (P-P) plot은 직관적으로 적합성을 판단하는데 도움을 주지만 통계적으로는 적합하지 않은 것으로 산정될 수도 있다. 적합도 검정은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫 번째 Pearson의 χ^2 검정, 두 번째 Kolmogorov-Smirnov 검정, Anderson-Darling 검정 및 Cramer-von Mises 검정 같은 경험적 분포 함수에 근거한 검정, 세 번째 Shapiro-Wilk 검정 같은 회귀식이나 상관관계에 근거한 검정, 네 번째 rectangle 검정 같은 3차 또는 4차 모멘트에 근거한 검정이 있다.

본 연구에서는 일반적으로 분포형에 대한 적합도 검정에 사용되는 Kolmogorov-Smirnov 검정, Anderson-Darling 검정, Cramer-von Mises 검정 및 Q-Q plot을 적용하였다. Anderson-Darling 검정 및 Cramer-von Mises 검정은 Choulakian and Stephens(2001)이 제안한 GPD에 적합하게 수정된 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 각 검정방법의 검정량을 구한 후 GPD의 매개변수 및 유의수준에 따른 한계값과 비교하여 적합성 검토를 하였다.

3. 모형 적용

본 연구에서는 제주도의 4개 기상관측소(Table 1)를 선정하여 유효성 검사, 적합도 검정 및 Monte Carlo 실험을 통하여 임계값 산정방법들을 비교하였다.

3.1 독립 강우 산정

극치 사상의 독립성은 부분시계열 모형에서 중요한 조건이다. 연최대치 모형의 경우 극치 사상들은 확실하게 독립적이라고 판단할 수 있으나, 부분시계열 모형의 경우 년당 극치의 수가 증가할수록 의존성은 강해지고 전체적인 통계적 독립성도 유지하기 어렵다.

강우의 경우 독립성은 국지적 크기의 강우사상들의 지속시간과 관련이 깊다(Willems et al., 2007). 그러나

Table 1. Overview of the Weather Stations

Station	Longitude	Latitude	Elevation (EL.m)	Period of non-missing data	Time resolution	Type
Gosan	126° 10′	33° 17′	71.2	1988-2006	Hourly	Meteorological office
Jeju	126° 32′	33° 31′	20.0	1981-2006	Hourly	Meteorological office
Seogwipo	126° 34′	33° 15′	50.5	1977-2006	Hourly	Meteorological office
Seongsanpo	126° 53′	33° 23′	18.6	1981-2006	Hourly	Meteorological office

강우기록자료를 통계적으로 독립사상으로 구분하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러므로 Poisson 발생 과정 같은 추계학적 표준화가 필요하다. Poisson 과정은 매우 짧은 시간간격에서 단 한번의 사상이 발생할 확률은 시간간격의 길이에 비례하며, 시간간격의 수와는 무관하다. 또한 단위시간간격에서 발생하는 사상의 수는 서로 겹치지 않은 다른 시간간격에서 발생하는 사상의 수와 독립적이다. 이러한 개념을 적용하여 Restrepo-Posada and Eagleson(1982)은 무강우 기간의 함수를 Eq. (31)로 제시하였다.

$$CV[t_b] = \sigma[t_b]/E[t_b] = 1 \quad (31)$$

여기서 t_b 는 사상간 시간, $CV[\cdot]$ 는 변동계수, $\sigma[\cdot]$ 은 표준편차, $E[\cdot]$ 은 평균이다.

본 연구에서는 각 관측소별로 강우자료에 적용한 결과를 Fig. 1에 도시하였고, 최소무강우기간(IETD)이 고산에서 10시간, 제주에서 11시간, 서귀포에서 12시간, 성산포에서 11시간으로 산정되었다.

최소무강우기간을 이용하여 강우사상들을 분류하면 각 관측소들의 강우사상 수는 Table 2와 같다.

3.2 방법별 임계값 초과 개수 산정

본 연구에서는 임계값 초과 개수 산정방법을 비교·분석하기 위하여 2.1절에서 제시한 4가지 방법(Hall and Welsh, 1985; Hall, 1990; Drees and Kaufmann, 1998;

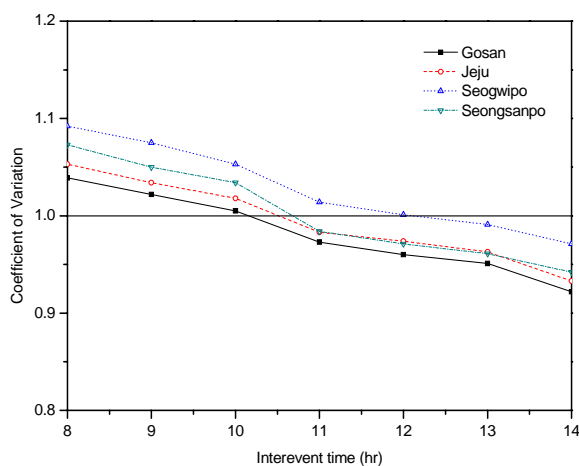
Gomes and Pestana, 2007)을 적용하였다.

지속시간별로 산정된 결과를 Figs. 2 and 3에 도시하였다. Hall and Welsh의 방법은 전반적으로 높은 임계값 초과 개수를 나타내었으며 특히 지속시간 1~6시간 일 경우 그 값이 크게 나타났다. Hall의 방법은 적합한 임계값 초과 개수가 지속시간에 따라 불규칙적으로 크게 변화하였으며 Hall and Welsh의 방법을 제외하면 가장 높은 값을 나타내었다. Drees and Kaufmann 방법은 지속시간이 증가하면서 최적화된 임계값 초과 개수가 조금씩 증가하는 경향을 나타내었다. Gomes and Pestana의 방법은 관측소별로 일정한 값을 나타내었으며, Gomes and Pestana의 방법(Case 2)은 대부분의 지속시간에서 가장 낮은 임계값 초과개수를 나타내었다.

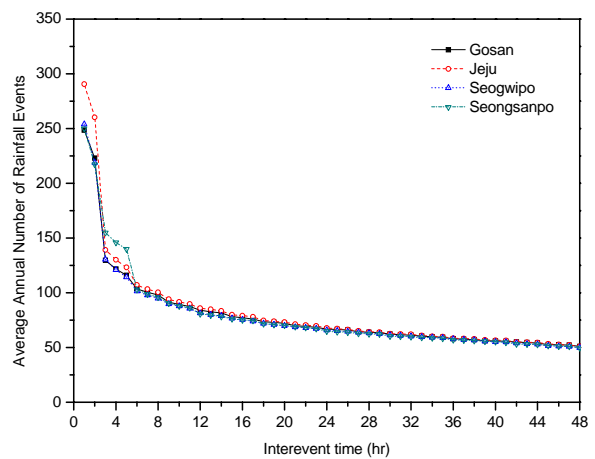
3.3 유효성 검사 및 Quantile 추정

지속시간별로 산정된 임계값 중 지속시간 1, 2, 3, 6, 12, 18, 24시간의 7가지의 경우를 GPD에 적용하여 적합성을 확인하였다. 매개변수는 3가지 방법(MOM, ML 및 PWM)에 의하여 추정하였다. 그리고 GPD에 대한 추정된 매개변수 및 Quantile의 유효성을 검토하였다.

유의수준 5%일 경우 매개변수 및 Quantile의 유효성 검사를 Table 3에 정리하였다. Hall and Welsh의 방법은 서귀포 지점에서 지속시간 2시간일 때 PWM 방법이 유효하지 않았다. Hall의 방법은 고산 지점에서 지속시간 1시간일 때 PWM 방법이 유효하지 않았다.



(a) Coefficient of Variation



(b) Average annual number of rainfall events

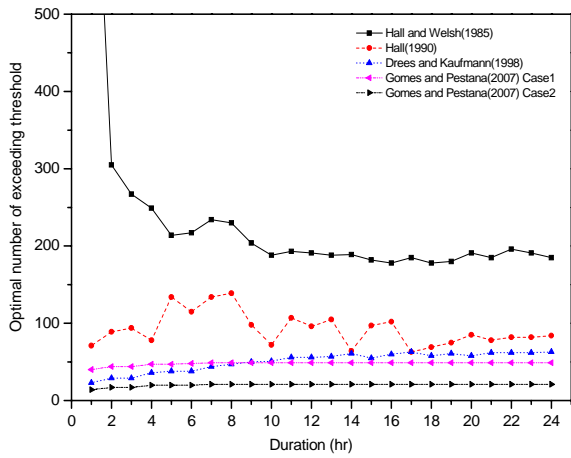
Fig. 1. Determination of Minimum Intervent Time

Table 2. The Number of Rainfall Events

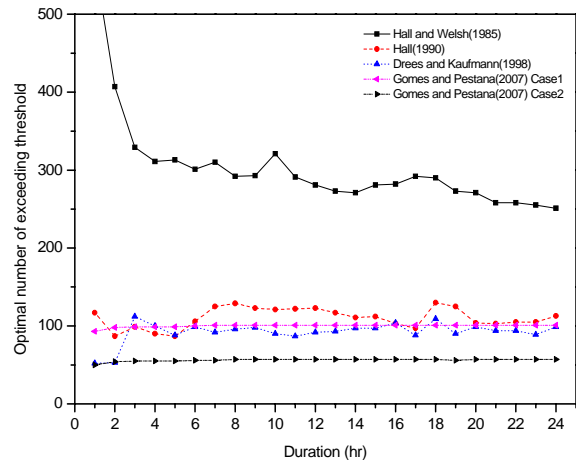
Station	Gosan	Jeju	Seogwipo	Seongsanpo
No. of events	1686	2320	2420	2223

Dress and Kaufmann의 방법은 성산포 지점에서 지속 시간 1시간일 때 ML 방법이 유효하지 않았다. Gomes and Pestana의 방법(Case 1)은 고산 지점에서 지속시간

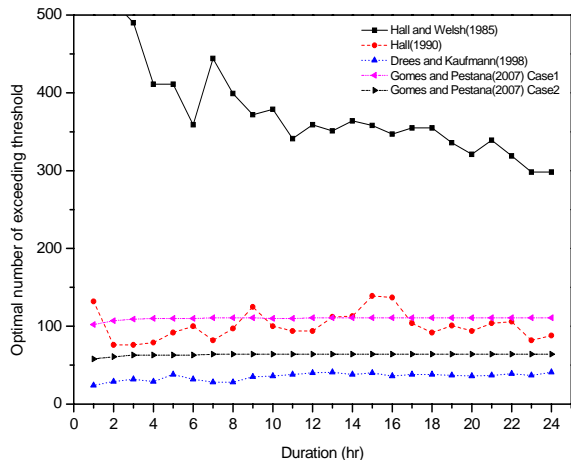
1시간 및 2시간일 때 PWM 방법이 유효하지 않았다. Gomes and Pestana의 방법(Case 2)은 모든 지점 및 지속시간에서 유효한 것으로 나타났다.



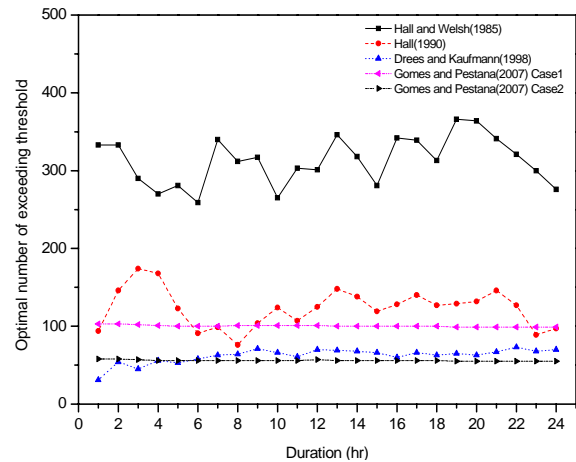
(a) Gosan



(b) Jeju

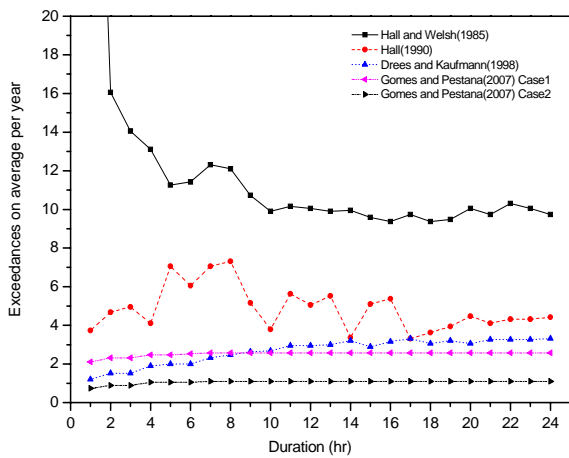


(c) Seogwipo

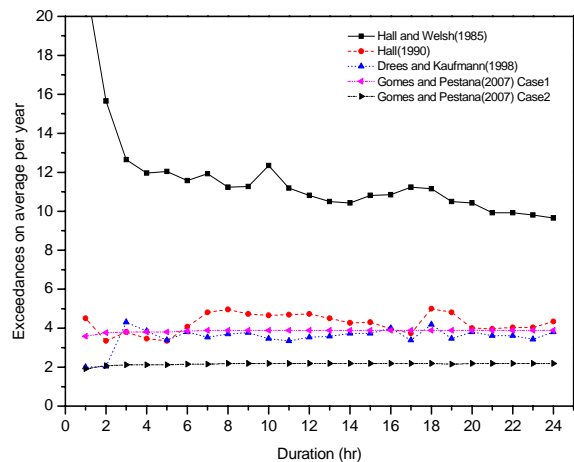


(d) Seongsanpo

Fig. 2. Optimal Number of Exceeding Threshold

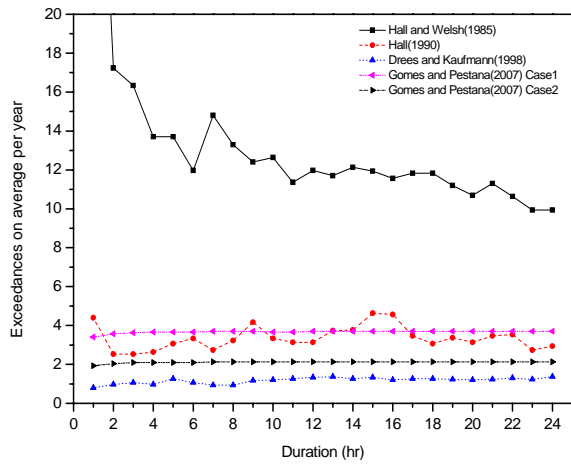


(a) Gosan

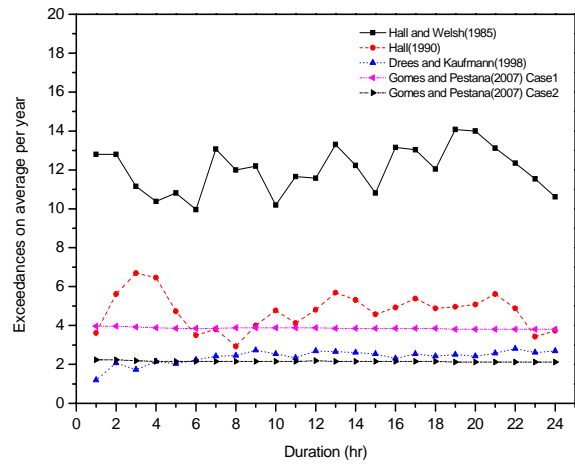


(b) Jeju

Fig. 3. Exceedances on Average Per Year(Continued)



(c) Seogwipo



(d) Seongsanpo

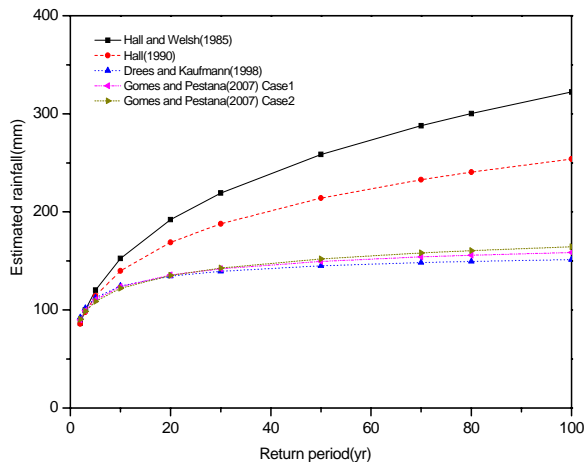
Fig. 3. Exceedances on Average Per Year

Table 3. Validity Check of Parameter and Quantile

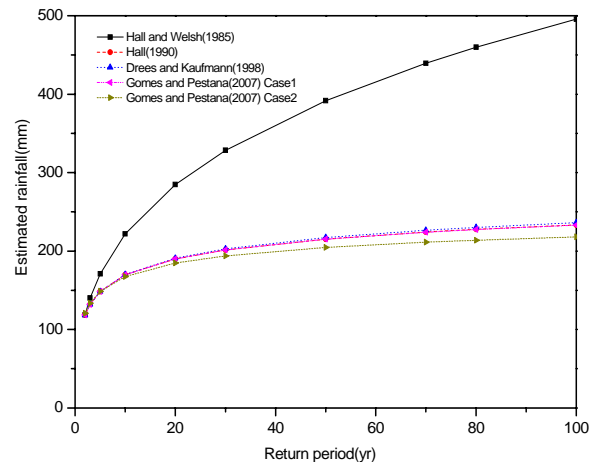
Station	Duration (hr)	Hall and Welsh(1985)			Hall(1990)			Drees and Kaufmann(1998)			Gomes and Pestana(2007)					
											Case 1			Case 2		
		MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM
Gosan	1	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O
	3	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O
	6	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	12	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	18	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	24	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Jeju	1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	3	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	6	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	12	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	18	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	24	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Seogwipo	1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	2	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	3	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	6	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	12	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	18	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	24	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Seongsanpo	1	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O
	2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	3	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	6	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	12	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	18	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	24	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

최우도추정법을 이용하여 지속시간 6시간 및 24시간에 대하여 재현기간별로 추정된 Quantile을 Figs. 4 and 5에 도시하였다. Hall and Welsh의 방법은 전반적으로

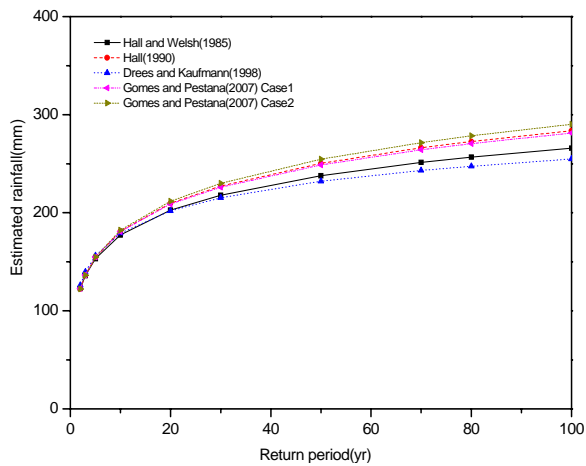
확률강우량이 크게 나타났으며, Dress and Kaufmann 및 Gomes and Pestana의 방법(Case 2)은 확률강우량이 작게 산정되었다.



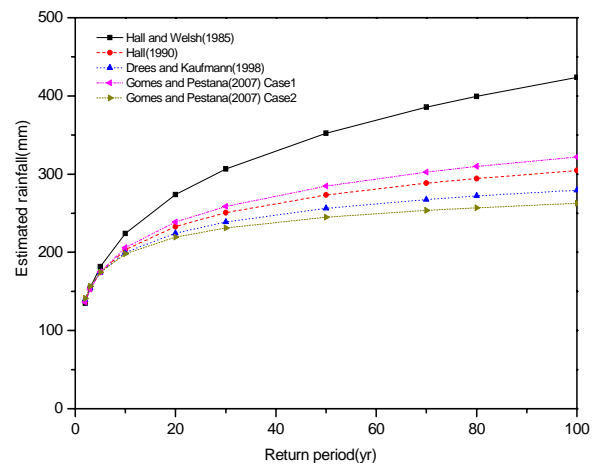
(a) Gosan



(b) Jeju

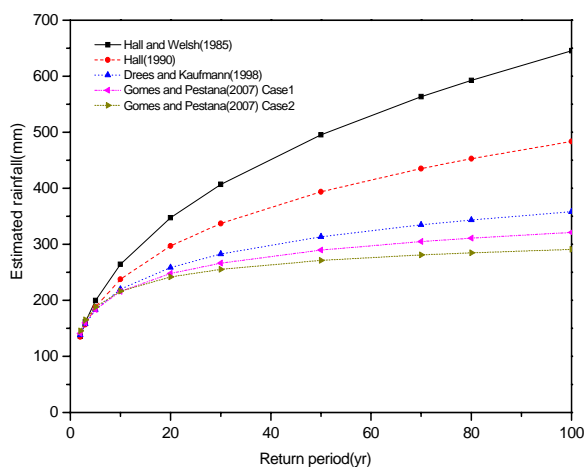


(c) Seogwipo

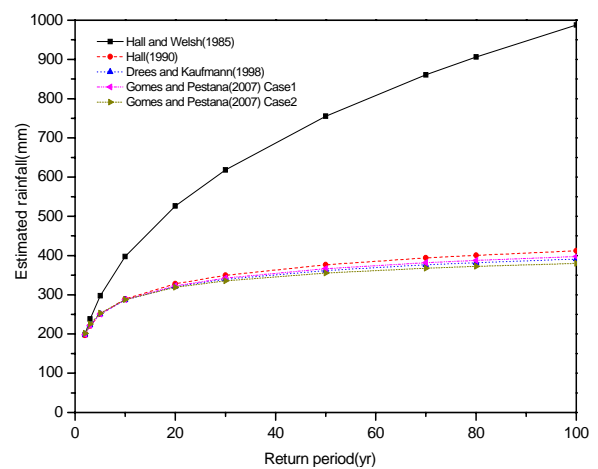


(d) Seongsanpo

Fig. 4. The Quantile Estimates for the 6 Hour Duration of the Each Methods (ML)

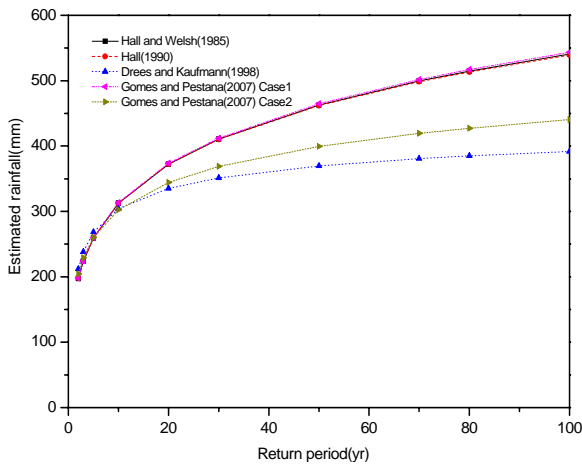


(a) Gosan

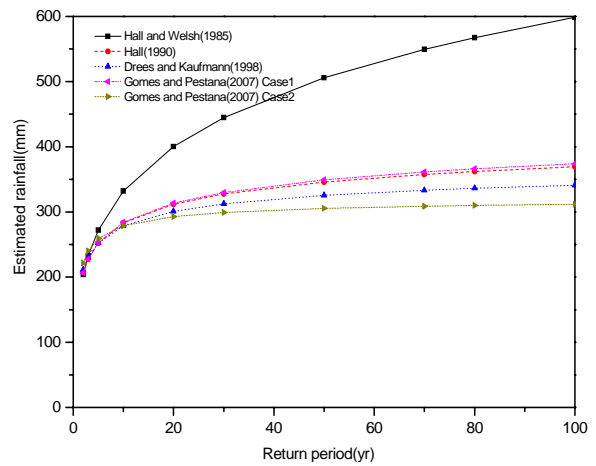


(b) Jeju

Fig. 5. The Quantile Estimates for the 24 Hour Duration of the Each Methods (ML)(Continued)



(c) Seogwipo



(d) Seongsanpo

Fig. 5. The Quantile Estimates for the 24 Hour Duration of the Each Methods (ML)

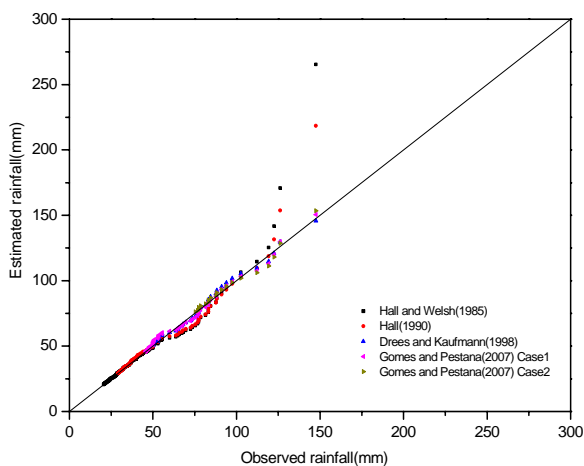
3.4 적합도 검정

추정된 매개변수 및 Quantile이 GPD에 대하여 유효성이 적합한 경우, 도시적 방법인 Q-Q plot은 직관적으로 적합하지만 통계적으로 적합하지 않을 수 있으므로 본 연구에서는 통계적 방법으로 앞에서 제안한 3가지 방법(K-S, CVM and A-D test)으로 적합성 검토를 수행하였다.

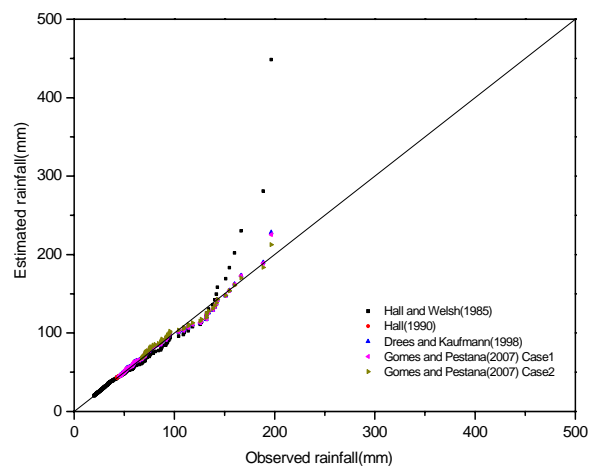
유효성 검사가 적합할 경우 수행된 적합도 검정방법 결과를 Table 4에 정리하였다. 표안의 숫자는 유의수준 5%일 경우 기각되지 않은 적합도 검정방법을 나타낸다. 이때 (1)은 MOM, (2)는 ML, (3)은 PWM을 나타낸다. 적합도 검정 결과를 살펴보면 Hall and Welsh의 방법은 63.10%가 적합하였고, Hall의 방법은 86.11%가 적합하였고, Drees and Kaufmann의 방법은 91.27% 적합

하였고, Gomes and Pestana의 방법(Case 1)은 92.46%가 적합하였고, Gomes and Pestana의 방법(Case 2)은 93.65%가 적합한 것으로 나타났다. 적용된 방법들 중에서 Gomes and Pestana의 방법(Case 2)이 가장 높은 적합성을 보였다. 또한 Gomes and Pestana의 방법은 전반적으로 적합성이 높게 나타났다.

최우도추정법을 이용한 지속시간 6시간 및 24시간에 대한 Quantile-Quantile plot을 Figs. 6 and 7에 도시하였다. 도시공식은 GPD가 Wakeby 분포의 특수한 경우이므로 Landwehr et al.(1979)가 제안한 $p = (i - 0.35) / N$ 을 사용하였다. 도시결과를 살펴보면 Drees and Kaufmann의 방법 및 Gomes and Pestana의 방법(Case 2)이 전반적으로 관측값과 추정값이 비슷한 것으로 나타났다.

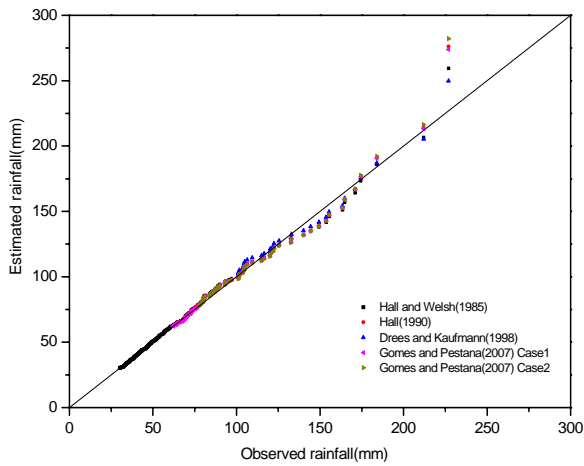


(a) Gosan

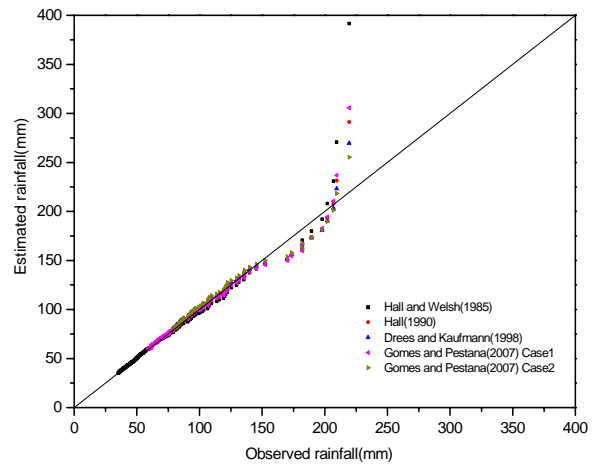


(b) Jeju

Fig. 6. The Quantile-Quantile Plot for the 6 Hour Duration of the Each Methods (ML) (Continued)



(c) Seogwipo



(d) Seongsanpo

Fig. 6. The Quantile-Quantile Plot for the 6 Hour Duration of the Each Methods (ML)

Table 4. Goodness-of-fit Tests

Station	Duration (hr)	Hall and Welsh(1985)			Hall(1990)			Drees and Kaufmann(1998)			Gomes and Pestana(2007)					
		Case 1		Case 2		Case 1		Case 2		Case 1			Case 2			
		K-S	CVM	A-D	K-S	CVM	A-D	K-S	CVM	A-D	K-S	CVM	A-D	K-S	CVM	A-D
Gosan	1	(1,2)	(2)	-	(1,2)	(1,2)	(1,2)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	2	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2)	(1,2)	(1,2)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	3	(1,2)	(1,2)	(1)	(2,3)	-	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2)	(1,2)	(1,2)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	6	(1,2,3)	(2,3)	(3)	(1,2,3)	(2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	12	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	18	(1,2,3)	(2,3)	(3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	24	(1,2,3)	(2,3)	(2,3)	(1,2,3)	(2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
Jeju	1	(1,2)	(2)	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	2	(2,3)	-	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	3	(1,2,3)	-	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	6	(2,3)	(2,3)	(2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	12	(2,3)	-	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	18	(2,3)	-	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	24	(2,3)	-	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
Seogwipo	1	(1,2)	-	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	2	(1,2)	(1,2)	(1,2)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(2)	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	3	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	6	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	12	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	18	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	24	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
Seongsanpo	1	(1,2,3)	(1,2)	(1,2)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,3)	(1,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(3)	(1,3)
	2	(1,2,3)	(1,2)	(1,2)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	3	(1,2,3)	(2)	(1,2)	(2,3)	-	-	(1,2,3)	(1,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)
	6	(1,2,3)	(1,2)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	12	(1,2,3)	(2,3)	(3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	18	(2,3)	-	-	(1,2,3)	(3)	-	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	24	(1,2,3)	(2,3)	(2,3)	(1,2,3)	(1,3)	(1,3)	(1,3)	(1)	-	(1,2,3)	(1,3)	(1,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)

The numbers in parentheses indicate those tests that were not rejected at the 5% significance level under following goodness-of-fit tests : (1)MOM, (2) ML, (3) PWM.

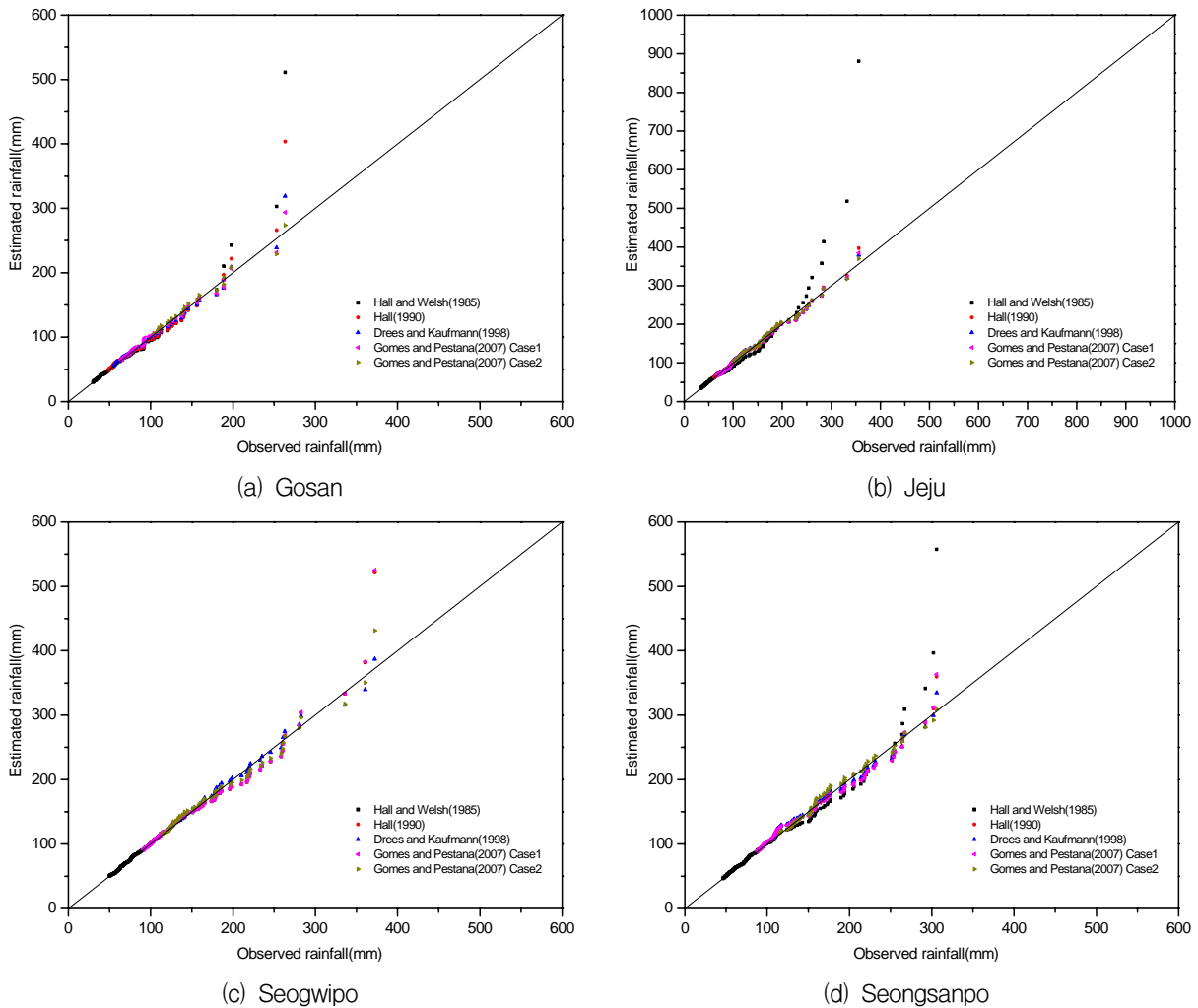


Fig. 7. The Quantile-Quantile Plot for the 24 Hour Duration of the Each Methods (ML)

3.5 Monte Carlo 모의실험

본 연구에서는 각 경우에 대하여 표본크기가 500인 표본을 1000번 발생시킨 후 3가지 방법(MOM, ML 및 PWM)으로 매개변수 및 Quantile을 추정하였다. 추정된 매개변수 및 Quantile에 대한 상대제곱근오차(RRMSE)를 Eq. (32)를 이용하여 모형의 수행능력을 비교하였다. RRMSE는 모형이 안정적이면 낮게 산정되고 불안정하면 높게 산정된다.

$$RRMSE = E \left[\left(\frac{\hat{\theta} - \theta}{\theta} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (32)$$

여기서 $\hat{\theta}$ 은 θ 의 추정값, $E[\cdot]$ 은 무작위 변수의 평균이다.

유효성 검사를 통과하였을 경우 유의수준 5%일 때 RRMSE를 산정한 결과를 Tables 5~8에 정리하였다.

Figs. 8~10을 살펴보면 Hall and Welsh의 방법의 경우 모든 관측소에서 RRMSE이 가장 높게 산정되었다. 그리고 Gomes and Pestana의 방법(Case 2)은 서귀포 지점을 제외한 관측소에서 RRMSE가 가장 낮게 산정되었으며, 서귀포 지점에서도 Dress and Kaufmann의 방법을 제외하면 가장 낮게 산정되었다.

4. 결론

본 연구에서는 3변수 GPD의 임계값을 산정하기 위하여 4가지 산정방법을 수행하여 비교하였다. 산정방법의 적합성을 비교하기 위하여 3가지 방법(유효성 검사, 적합도 검정 및 Monte carlo 모의 실험)을 적용하였다. 적용결과 모든 관측소에 적합한 임계값 초과 개수 산정 방법은 나타나지 않았다. 그러나 Hall and Welsh의 방법은 모든 관측소에서 임계값 초과 개수를 산정하는데 있어서 부적합한 것으로 나타났다. Gomes and Pestana의 방법(Case 2)은 관측소별로 지속시간과 관계없이

Table 5. RRMSE of the Simulated Quantiles for the Durations of GP Distribution for the 10-year Event

Station	Duration (hr)	Hall and Welsh(1985)			Hall(1990)			Dress and Kaufmann(1998)			Gomes and Pestana(2007)					
		MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	Case 1			Case 2		
											MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM
Gosan	1	0.1279	0.1445	0.3309	0.0300	0.0301	-	0.0177	0.0186	0.0161	0.0223	0.0224	0.0031	0.0142	0.0164	0.0218
	2	0.0909	0.1014	0.1316	0.0433	0.0452	0.0827	0.0204	0.0207	0.0209	0.0236	0.0246	-	0.0163	0.0162	0.0228
	3	0.0900	0.0992	0.1891	0.0552	0.0729	0.1010	0.0221	0.0218	0.0364	0.0252	0.0252	-	0.0174	0.0177	0.0217
	6	0.0940	0.1179	0.1415	0.0612	0.0757	0.1014	0.0201	0.0188	0.0289	0.0277	0.0248	0.0409	0.0177	0.0172	0.0225
	12	0.0892	0.1059	0.1290	0.0548	0.0621	0.0727	0.0376	0.0390	0.0531	0.0326	0.0309	0.0465	0.0185	0.0142	0.0227
	24	0.0914	0.1226	0.1136	0.0447	0.0493	0.0597	0.0357	0.0347	0.0490	0.0338	0.0331	0.0471	0.0168	0.0167	0.0181
Jeju	1	0.1144	0.1273	0.3060	0.0455	0.0467	0.0364	0.0338	0.0376	0.0448	0.0411	0.0420	0.0274	0.0343	0.0429	0.0331
	2	0.1075	0.1305	0.2011	0.0412	0.0425	0.0383	0.0338	0.0365	0.0540	0.0459	0.0485	0.0649	0.0337	0.0358	0.0532
	3	0.0983	0.1202	0.1479	0.0426	0.0440	0.0543	0.0453	0.0469	0.0619	0.0426	0.0440	0.0543	0.0311	0.0316	0.0460
	6	0.0982	0.1280	0.1323	0.0402	0.0387	0.0592	0.0395	0.0382	0.0568	0.0391	0.0375	0.0526	0.0276	0.0240	0.0415
	12	0.0998	0.1430	0.1445	0.0470	0.0476	0.0655	0.0337	0.0304	0.0431	0.0376	0.0349	0.0495	0.0291	0.0261	0.0374
	24	0.1021	0.1391	0.1337	0.0520	0.0554	0.0657	0.0427	0.0423	0.0558	0.0389	0.0378	0.0502	0.0279	0.0261	0.0331
Seogwipo	1	0.1113	0.1226	0.3047	0.0316	0.0315	0.0327	0.0134	0.0130	0.0125	0.0258	0.0258	0.0237	0.0212	0.0212	0.0047
	2	0.0772	0.0807	-	0.0326	0.0362	0.0498	0.0164	0.0149	0.0222	0.0361	0.0372	0.0449	0.0292	0.0339	0.0486
	3	0.0818	0.0855	0.1289	0.0327	0.0347	0.0503	0.0184	0.0161	0.0246	0.0413	0.0456	0.0609	0.0268	0.0260	0.0390
	6	0.0716	0.0740	0.0908	0.0405	0.0440	0.0539	0.0204	0.0204	0.0265	0.0424	0.0456	0.0578	0.0317	0.0358	0.0418
	12	0.0856	0.0947	0.1037	0.0403	0.0439	0.0506	0.0221	0.0215	0.0264	0.0462	0.0531	0.0562	0.0321	0.0343	0.0403
	24	0.0881	0.0959	0.1112	0.0416	0.0470	0.0525	0.0209	0.0191	0.0239	0.0481	0.0573	0.0623	0.0310	0.0310	0.0379
Seongsanpo	1	0.0778	0.0814	0.1500	0.0431	0.0488	0.0700	0.0162	-	0.0138	0.0464	0.0537	0.0844	0.0318	0.0345	0.0579
	2	0.0775	0.0821	0.0916	0.0549	0.0641	0.0891	0.0268	0.0237	0.0434	0.0421	0.0455	0.0619	0.0275	0.0243	0.0459
	3	0.0787	0.0846	0.1202	0.0682	0.0916	0.1042	0.0233	0.0157	0.0331	0.0406	0.0414	0.0559	0.0278	0.0232	0.0387
	6	0.0836	0.0982	0.0991	0.0404	0.0427	0.0542	0.0302	0.0293	0.0430	0.0440	0.0483	0.0588	0.0282	0.0253	0.0380
	12	0.0924	0.1175	0.1203	0.0504	0.0578	0.0680	0.0292	0.0262	0.0376	0.0399	0.0401	0.0556	0.0265	0.0232	0.0316
	24	0.0925	0.1165	0.1144	0.0511	0.0611	0.0667	0.0251	0.0209	0.0314	0.0391	0.0387	0.0540	0.0226	0.0186	0.0250
24	0.0802	0.0955	0.0928	0.0354	0.0314	0.0506	0.0279	0.0215	0.0360	0.0361	0.0325	0.0512	0.0160	0.0131	0.0154	

Table 6. RRMSE of the Simulated Quantiles for the Durations of GP Distribution for the 50-year Event

Station	Duration (hr)	Hall and Welsh(1985)			Hall(1990)			Dress and Kaufmann(1998)			Gomes and Pestana(2007)					
		MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	Case 1			Case 2		
											MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM
Gosan	1	0.1774	0.2037	0.6454	0.0485	0.0495	0.0000	0.0331	0.0378	0.0407	0.0378	0.0389	0.0730	0.0268	0.0419	0.0183
	2	0.1362	0.1546	0.2302	0.0691	0.0742	0.1432	0.0318	0.0330	0.0399	0.0357	0.0373	0.0000	0.0257	0.0271	0.0392
	3	0.1366	0.1527	0.2871	0.0928	0.1293	0.1792	0.0354	0.0355	0.0724	0.0383	0.0376	0.0000	0.0306	0.0342	0.0390
	6	0.1480	0.1896	0.2213	0.0985	0.1270	0.1714	0.0287	0.0236	0.0453	0.0421	0.0356	0.0702	0.0296	0.0299	0.0457
	12	0.1406	0.1703	0.2058	0.0874	0.1027	0.1197	0.0600	0.0644	0.0947	0.0508	0.0478	0.0825	0.0271	0.0161	0.0404
	24	0.1461	0.2009	0.1811	0.0714	0.0823	0.1028	0.0549	0.0535	0.0833	0.0530	0.0526	0.0841	0.0229	0.0214	0.0258
Jeju	1	0.1587	0.2108	0.2196	0.0998	0.1340	0.1374	0.0733	0.0832	0.1069	0.0577	0.0603	0.0800	0.0314	0.0280	0.0406
	2	0.1692	0.1907	0.4425	0.0735	0.0768	0.1012	0.0627	0.0739	0.0946	0.0682	0.0713	0.0774	0.0671	0.0914	0.0737
	3	0.1628	0.2012	0.3000	0.0682	0.0721	0.0656	0.0609	0.0689	0.1144	0.0770	0.0834	0.1099	0.0599	0.0665	0.1104
	6	0.1501	0.1873	0.2234	0.0675	0.0716	0.0884	0.0712	0.0754	0.1004	0.0675	0.0716	0.0884	0.0507	0.0530	0.0892
	12	0.1514	0.2023	0.2042	0.0611	0.0587	0.0973	0.0606	0.0588	0.0945	0.0597	0.0571	0.0858	0.0431	0.0354	0.0768
	24	0.1554	0.2289	0.2304	0.0715	0.0736	0.1066	0.0499	0.0432	0.0685	0.0563	0.0513	0.0793	0.0457	0.0397	0.0670
Seogwipo	1	0.1584	0.2210	0.2086	0.0799	0.0875	0.1055	0.0645	0.0645	0.0902	0.0584	0.0566	0.0811	0.0426	0.0384	0.0550
	2	0.1469	0.2137	0.1972	0.0662	0.0669	0.0824	0.0565	0.0550	0.0684	0.0592	0.0583	0.0728	0.0416	0.0374	0.0488
	3	0.1539	0.1722	0.4282	0.0499	0.0501	0.0911	0.0218	0.0218	0.0178	0.0405	0.0405	0.0710	0.0361	0.0369	0.0493
	6	0.1117	0.1183	0.0000	0.0572	0.0672	0.0936	0.0241	0.0195	0.0361	0.0596	0.0631	0.0780	0.0521	0.0657	0.1045
	12	0.1195	0.1267	0.1877	0.0553	0.0613	0.0982	0.0278	0.0217	0.0497	0.0702	0.0805	0.1106	0.0430	0.0418	0.0730
	24	0.1072	0.1122	0.1342	0.0691	0.0779	0.0983	0.0344	0.0358	0.0572	0.0714	0.0795	0.1037	0.0555	0.0670	0.0831
Seongsanpo	1	0.1322	0.1485	0.1601	0.0682	0.0774	0.0911	0.0342	0.0332	0.0485	0.0792	0.0948	0.1004	0.0547	0.0616	0.0764
	2	0.1363	0.1502	0.1727	0.0701	0.0833	0.0939	0.0307	0.0256	0.0402	0.0820	0.1024	0.1109	0.0501	0.0514	0.0683
	3	0.1264	0.1383	0.1391	0.0714	0.0895	0.1019	0.0303	0.0258	0.0419	0.0811	0.0988	0.1021	0.0509	0.0526	0.0678
	6	0.1167	0.1237	0.2280	0.0727	0.0859	0.1234	0.0215	0.0000	0.0241	0.0785	0.0951	0.1561	0.0534	0.0614	0.1202
	12	0.1158	0.1246	0.1325	0.0894	0.1082	0.1523	0.0429	0.0362	0.0855	0.0681	0.0764	0.1070	0.0435	0.0368	0.0890
	24	0.1203	0.1314	0.1853	0.1125	0.1571	0.1774	0.0358	0.0183	0.0619	0.0639	0.0667	0.0936	0.0435	0.0338	0.0700
Seongsanpo	1	0.1319	0.1580	0.1533	0.0650	0.0708	0.0947	0.0487	0.0476	0.0803	0.0713	0.0814	0.1014	0.0442	0.0384	0.0688
	2	0.1442	0.1877	0.1878	0.0810	0.0969	0.1152	0.0449	0.0386	0.0637	0.0624	0.0638	0.0946	0.0412	0.0341	0.0545
	3	0.1433	0.1848	0.1771	0.0825	0.1034	0.1123	0.0374	0.0279	0.0518	0.0610	0.0612	0.0917	0.0333	0.0237	0.0389
	6	0.1231	0.1506	0.1422	0.0543	0.0468	0.0855	0.0429	0.0295	0.0616	0.0556	0.0490	0.0863	0.0226	0.0126	0.0228
	12															
	24															

Table 7. RRMSE of the Simulated Quantiles for the Durations of GP Distribution for the 100-year Event

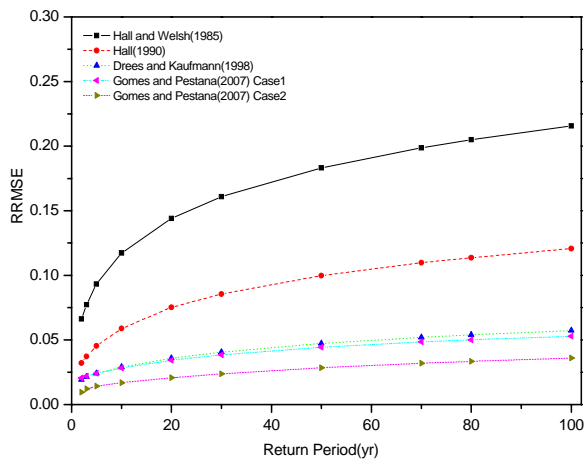
Station	Duration (hr)	Hall and Welsh(1985)			Hall(1990)			Dress and Kaufmann(1998)			Gomes and Pestana(2007)					
		MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	Case 1			Case 2		
											MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM
Gosan	1	0.2008	0.2322	0.8245	0.0579	0.0593	0.0000	0.0422	0.0496	0.0790	0.0462	0.0480	0.1116	0.0350	0.0594	0.0475
	2	0.1580	0.1804	0.2832	0.0820	0.0887	0.1732	0.0384	0.0401	0.0551	0.0422	0.0442	0.0000	0.0318	0.0341	0.0544
	3	0.1591	0.1789	0.3315	0.1117	0.1582	0.2155	0.0431	0.0435	0.0906	0.0453	0.0444	0.0000	0.0389	0.0447	0.0520
	6	0.1744	0.2252	0.2578	0.1169	0.1528	0.2042	0.0335	0.0267	0.0537	0.0497	0.0415	0.0838	0.0369	0.0378	0.0586
	12	0.1658	0.2022	0.2422	0.1036	0.1231	0.1412	0.0716	0.0775	0.1150	0.0603	0.0567	0.0998	0.0327	0.0180	0.0503
	18	0.1728	0.2398	0.2131	0.0850	0.0991	0.1236	0.0647	0.0632	0.0999	0.0632	0.0629	0.1025	0.0273	0.0249	0.0309
	24	0.1876	0.2513	0.2601	0.1199	0.1631	0.1658	0.0874	0.1004	0.1295	0.0688	0.0724	0.0969	0.0378	0.0334	0.0499
Jeju	1	0.1955	0.2216	0.5128	0.0874	0.0920	0.1380	0.0785	0.0940	0.1254	0.0820	0.0863	0.1046	0.0853	0.1186	0.1034
	2	0.1896	0.2360	0.3446	0.0820	0.0874	0.0801	0.0756	0.0867	0.1452	0.0929	0.1014	0.1306	0.0742	0.0834	0.1389
	3	0.1751	0.2204	0.2576	0.0801	0.0856	0.1038	0.0841	0.0897	0.1178	0.0801	0.0856	0.1038	0.0612	0.0646	0.1103
	6	0.1773	0.2390	0.2381	0.0714	0.0687	0.1149	0.0712	0.0691	0.1120	0.0699	0.0669	0.1011	0.0514	0.0417	0.0942
	12	0.1825	0.2714	0.2729	0.0836	0.0864	0.1263	0.0581	0.0497	0.0803	0.0656	0.0594	0.0933	0.0547	0.0470	0.0821
	18	0.1857	0.2616	0.2447	0.0937	0.1035	0.1244	0.0754	0.0755	0.1065	0.0681	0.0660	0.0959	0.0505	0.0451	0.0659
	24	0.1727	0.2538	0.2326	0.0773	0.0783	0.0966	0.0659	0.0641	0.0802	0.0691	0.0680	0.0857	0.0492	0.0438	0.0581
Seogwipo	1	0.1738	0.1957	0.4900	0.0589	0.0593	0.1256	0.0274	0.0276	0.0336	0.0480	0.0480	0.0977	0.0444	0.0456	0.0754
	2	0.1279	0.1361	0.0000	0.0704	0.0840	0.1146	0.0293	0.0229	0.0455	0.0716	0.0764	0.0943	0.0646	0.0834	0.1330
	3	0.1374	0.1464	0.2139	0.0673	0.0756	0.1216	0.0339	0.0255	0.0635	0.0850	0.0987	0.1340	0.0518	0.0504	0.0896
	6	0.1241	0.1306	0.1534	0.0838	0.0956	0.1196	0.0429	0.0453	0.0751	0.0863	0.0970	0.1256	0.0684	0.0842	0.1046
	12	0.1548	0.1749	0.1866	0.0826	0.0948	0.1114	0.0415	0.0401	0.0606	0.0961	0.1165	0.1225	0.0669	0.0765	0.0951
	18	0.1597	0.1769	0.2019	0.0849	0.1023	0.1148	0.0368	0.0300	0.0493	0.0993	0.1259	0.1353	0.0604	0.0624	0.0840
	24	0.1486	0.1634	0.1622	0.0868	0.1107	0.1258	0.0362	0.0300	0.0514	0.0981	0.1211	0.1240	0.0614	0.0639	0.0833
Seongsanpo	1	0.1353	0.1442	0.2641	0.0878	0.1052	0.1484	0.0255	0.0000	0.0326	0.0949	0.1164	0.1901	0.0650	0.0760	0.1515
	2	0.1341	0.1451	0.1505	0.1066	0.1305	0.1816	0.0517	0.0431	0.1061	0.0812	0.0921	0.1281	0.0522	0.0436	0.1099
	3	0.1404	0.1542	0.2149	0.1345	0.1901	0.2123	0.0428	0.0204	0.0763	0.0756	0.0794	0.1109	0.0520	0.0396	0.0853
	6	0.1554	0.1877	0.1780	0.0774	0.0852	0.1144	0.0586	0.0575	0.0995	0.0851	0.0983	0.1222	0.0529	0.0455	0.0844
	12	0.1694	0.2224	0.2198	0.0963	0.1166	0.1382	0.0531	0.0451	0.0766	0.0737	0.0757	0.1135	0.0492	0.0401	0.0660
	18	0.1680	0.2185	0.2069	0.0981	0.1249	0.1345	0.0441	0.0319	0.0618	0.0721	0.0725	0.1100	0.0392	0.0269	0.0458
	24	0.1439	0.1777	0.1653	0.0638	0.0545	0.1025	0.0507	0.0339	0.0744	0.0653	0.0572	0.1034	0.0261	0.0132	0.0268

Table 8. The Average of RRMSE for the Seven Durations of GP Distribution

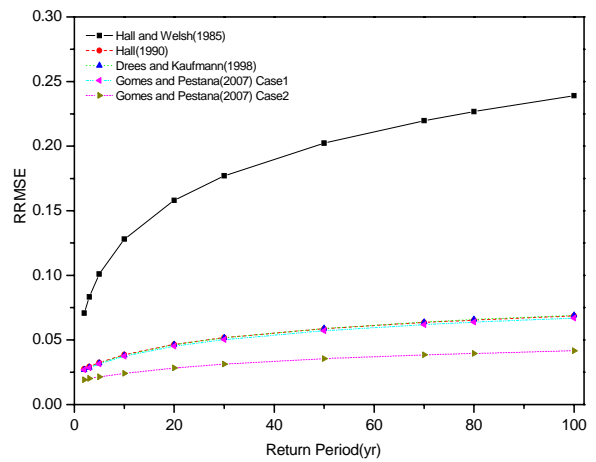
Station	Return Period (yr)	Hall and Welsh(1985)			Hall(1990)			Dress and Kaufmann(1998)			Gomes and Pestana(2007)					
		MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM	Case 1			Case 2		
											MOM	ML	PWM	MOM	ML	PWM
Gosan	2	0.0572	0.0662	0.0793	0.0296	0.0322	0.0403	0.0197	0.0194	0.0256	0.0210	0.0206	0.0273	0.0102	0.0095	0.0137
	3	0.0660	0.0773	0.0985	0.0334	0.0372	0.0483	0.0215	0.0214	0.0283	0.0224	0.0220	0.0287	0.0130	0.0122	0.0176
	5	0.0785	0.0932	0.1257	0.0395	0.0453	0.0614	0.0239	0.0241	0.0319	0.0245	0.0241	0.0310	0.0151	0.0143	0.0200
	10	0.0976	0.1173	0.1674	0.0499	0.0589	0.0828	0.0285	0.0290	0.0380	0.0288	0.0283	0.0368	0.0175	0.0169	0.0220
	20	0.1186	0.1440	0.2142	0.0623	0.0751	0.1072	0.0348	0.0359	0.0465	0.0350	0.0343	0.0529	0.0209	0.0207	0.0247
	30	0.1317	0.1609	0.2440	0.0703	0.0856	0.1223	0.0392	0.0406	0.0559	0.0392	0.0385	0.0636	0.0236	0.0237	0.0273
	50	0.1491	0.1832	0.2844	0.0811	0.0998	0.1423	0.0453	0.0473	0.0690	0.0450	0.0443	0.0780	0.0277	0.0284	0.0356
	70	0.1610	0.1987	0.3128	0.0885	0.1097	0.1558	0.0496	0.0520	0.0784	0.0491	0.0484	0.0879	0.0308	0.0319	0.0418
	80	0.1658	0.2050	0.3245	0.0916	0.1137	0.1613	0.0514	0.0539	0.0823	0.0508	0.0500	0.0920	0.0321	0.0334	0.0445
	100	0.1741	0.2157	0.3446	0.0967	0.1206	0.1706	0.0544	0.0573	0.0890	0.0537	0.0529	0.0989	0.0344	0.0360	0.0491
	2	0.0595	0.0734	0.0958	0.0293	0.0293	0.0326	0.0255	0.0252	0.0298	0.0274	0.0270	0.0301	0.0203	0.0199	0.0239
Jeju	3	0.0688	0.0862	0.1129	0.0320	0.0321	0.0353	0.0276	0.0274	0.0332	0.0296	0.0292	0.0327	0.0222	0.0218	0.0260
	5	0.0819	0.1042	0.1361	0.0365	0.0369	0.0410	0.0312	0.0312	0.0393	0.0334	0.0331	0.0379	0.0249	0.0247	0.0300
	10	0.1020	0.1316	0.1701	0.0446	0.0455	0.0531	0.0381	0.0384	0.0514	0.0407	0.0405	0.0492	0.0302	0.0303	0.0392
	20	0.1242	0.1620	0.2064	0.0546	0.0562	0.0687	0.0469	0.0478	0.0667	0.0497	0.0498	0.0636	0.0376	0.0383	0.0525
	30	0.1380	0.1810	0.2287	0.0610	0.0631	0.0788	0.0528	0.0542	0.0767	0.0557	0.0559	0.0728	0.0428	0.0438	0.0617
	50	0.1563	0.2064	0.2580	0.0697	0.0725	0.0924	0.0609	0.0628	0.0901	0.0637	0.0642	0.0850	0.0501	0.0517	0.0744
	70	0.1689	0.2240	0.2782	0.0757	0.0789	0.1018	0.0695	0.0689	0.0994	0.0693	0.0700	0.0932	0.0552	0.0573	0.0834
	80	0.1740	0.2312	0.2865	0.0781	0.0815	0.1056	0.0688	0.0713	0.1032	0.0716	0.0723	0.0965	0.0573	0.0595	0.0870
	100	0.1826	0.2434	0.3005	0.0822	0.0860	0.1120	0.0727	0.0755	0.1096	0.0754	0.0762	0.1021	0.0609	0.0635	0.0933
	2	0.0523	0.0550	0.0823	0.0223	0.0228	0.0256	0.0124	0.0120	0.0151	0.0241	0.0251	0.0278	0.0184	0.0184	0.0219
	Seogwipo	3	0.0595	0.0630	0.0952	0.0250	0.0261	0.0289	0.0149	0.0143	0.0181	0.0272	0.0289	0.0315	0.0206	0.0208
5		0.0697	0.0743	0.1127	0.0294	0.0314	0.0355	0.0167	0.0159	0.0201	0.0322	0.0350	0.0383	0.0235	0.0241	0.0276
10		0.0852	0.0915	0.1382	0.0373	0.0410	0.0493	0.0190	0.0178	0.0230	0.0411	0.0458	0.0520	0.0290	0.0305	0.0357
20		0.1023	0.1105	0.1653	0.0473	0.0531	0.0674	0.0223	0.0206	0.0277	0.0521	0.0592	0.0697	0.0365	0.0393	0.0505
30		0.1128	0.1224	0.1819	0.0539	0.0612	0.0793	0.0250	0.0228	0.0332	0.0593	0.0680	0.0812	0.0417	0.0454	0.0607
50		0.1267	0.1380	0.2037	0.0630	0.0724	0.0954	0.0290	0.0262	0.0416	0.0691	0.0799	0.0967	0.0489	0.0538	0.0746
70		0.1362	0.1488	0.2185	0.0694	0.0802	0.1067	0.0320	0.0287	0.0476	0.0760	0.0883	0.1073	0.0540	0.0599	0.0843
80		0.1401	0.1532	0.2245	0.0720	0.0834	0.1112	0.0333	0.0298	0.0500	0.0787	0.0918	0.1117	0.0561	0.0624	0.0883
100		0.1466	0.1606	0.2347	0.0764	0.0889	0.1190	0.0354	0.0316	0.0542	0.0835	0.0976	0.1190	0.0597	0.0666	0.0950
2		0.0488	0.0545	0.0622	0.0293	0.0316	0.0359	0.0192	0.0187	0.0216	0.0263	0.0264	0.0308	0.0194	0.0185	0.0218
Seongsanpo		3	0.0562	0.0636	0.0735	0.0330	0.0364	0.0427	0.0206	0.0195	0.0235	0.0289	0.0293	0.0360	0.0205	0.0194
	5	0.0668	0.0765	0.0893	0.0389	0.0439	0.0537	0.0222	0.0206	0.0268	0.0333	0.0342	0.0449	0.0222	0.0206	0.0274
	10	0.0833	0.0965	0.1126	0.0491	0.0568	0.0718	0.0255	0.0229	0.0340	0.0412	0.0429	0.0603	0.0257	0.0232	0.0360
	20	0.1015	0.1189	0.1375	0.0612	0.0722	0.0927	0.0305	0.0265	0.0443	0.0509	0.0538	0.0782	0.0311	0.0272	0.0479
	30	0.1129	0.1329	0.1527	0.0691	0.0821	0.1058	0.0341	0.0292	0.0515	0.0573	0.0609	0.0895	0.0349	0.0302	0.0558
	50	0.1279	0.1515	0.1723	0.0796	0.0956	0.1230	0.0392	0.0330	0.0613	0.0658	0.0705	0.1044	0.0403	0.0344	0.0663
	70	0.1382	0.1644	0.1856	0.08											

일정한 임계값 초과 개수를 나타내었으며, 서귀포 지점을 제외한 모든 관측소에서 다른 방법들 보다 유효성 검사, 적합도 검정 및 Monte carlo 실험에서 적합한 결과를 얻었다. 서귀포 지점에서 Dress and Kaufmann의

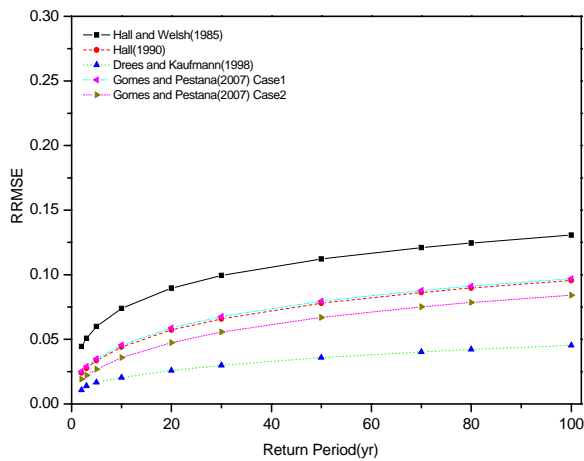
방법이 가장 적합한 것으로 산정되었다. 본 연구에서는 임계값 초과 개수가 낮을수록 수행능력은 좋아지는 것으로 나타났으나, 임계값 초과 개수는 낮을수록 매개변수 및 Quantile을 추정하는데 어려움이 있으므로 항상



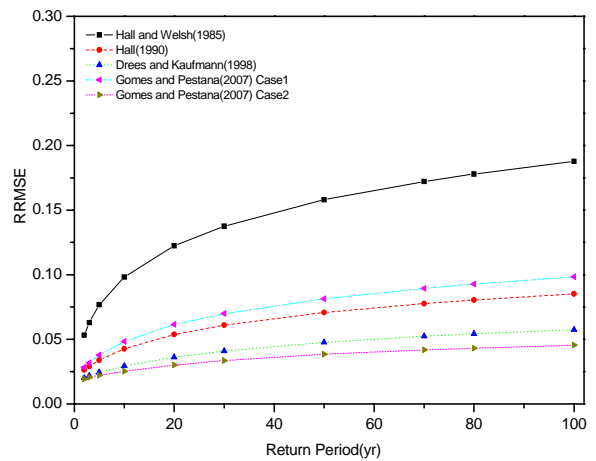
(a) Gosan



(b) Jeju

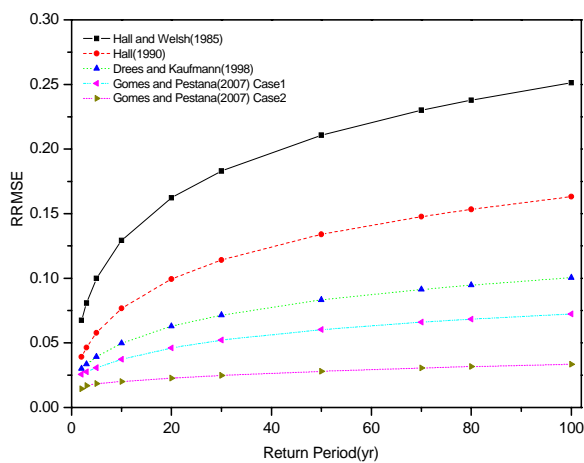


(c) Seogwipo

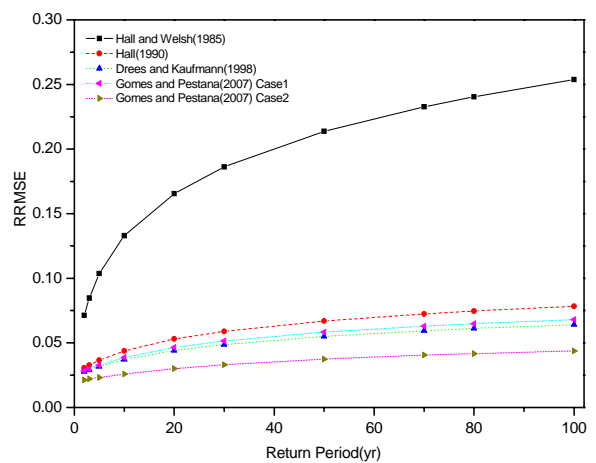


(d) Seongsanpo

Fig. 8. The RRMSE for the 6 Hour Duration of the Each Methods (ML)

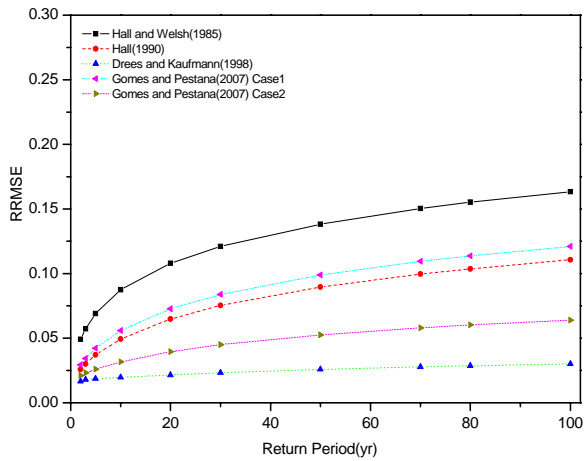


(a) Gosan

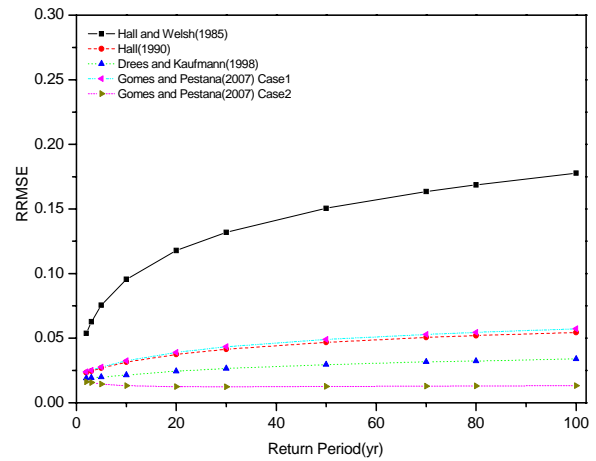


(b) Jeju

Fig. 9. The RRMSE for the 24 Hour Duration of the Each Methods (ML)(Continued)

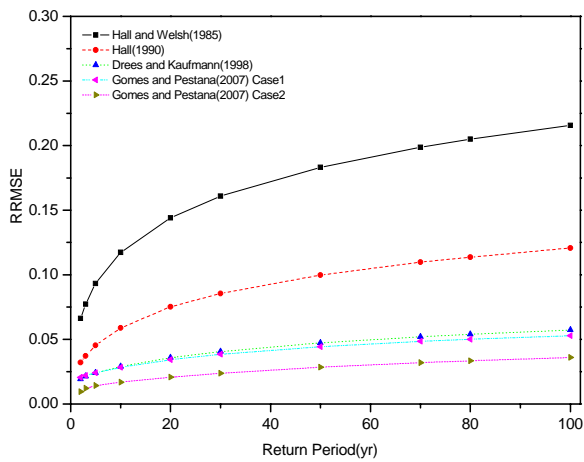


(c) Seogwipo

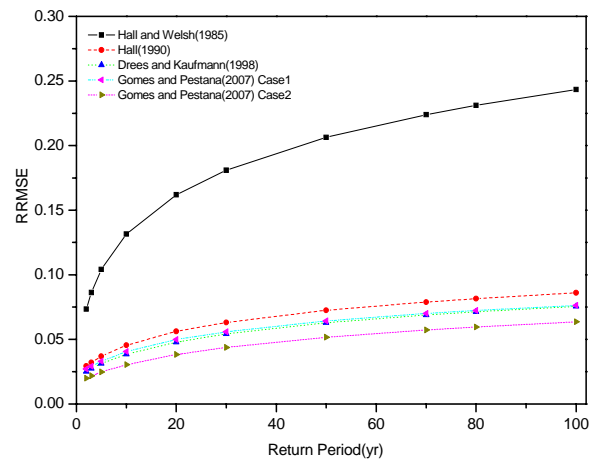


(d) Seongsanpo

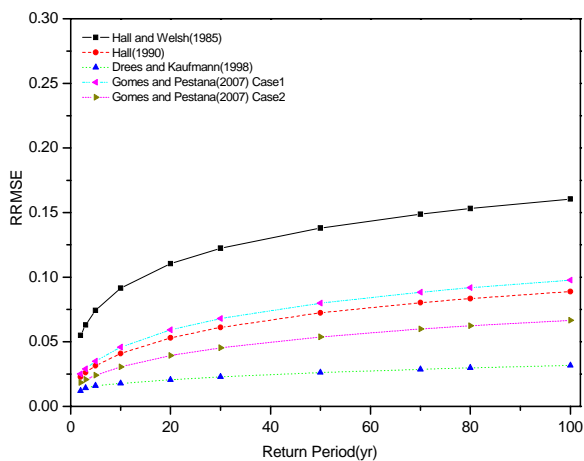
Fig. 9. The RRMSE for the 24 Hour Duration of the Each Methods (ML)



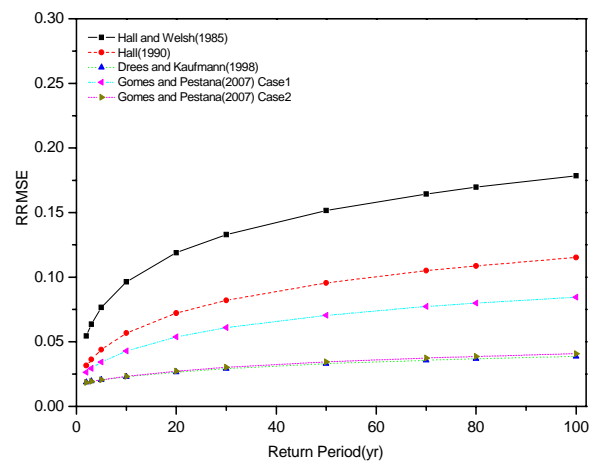
(a) Gosan



(b) Jeju



(c) Seogwipo



(d) Seongsanpo

Fig. 10. The Average of RRMSE for the Seven Durations of the Each Methods (ML)

좋은 결과를 나타내는 것이 아님을 유의해야 한다.
전체적으로 살펴보면 본 연구에서 고려된 4가지 산정방법을 제주도 4개 관측소에 적용한 결과 Gomes

and Pestana의 방법(Case 2)이 가장 적합한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Adams, B.J. and Papa, F. (2000). *Urban stormwater management planning with analytical probabilistic models*, John Wiley & Sons, Inc.
- Choulakian, V. and Stephens, M.A. (2001). "Goodness-of-fit tests for the Generalized Pareto Distribution", *Technometrics*, Vol. 43, No. 4, pp. 478-484.
- Cunnane, C. (1973). "A particular comparison of annual maxima and partial duration series methods of flood frequency prediction", *Journal of hydrology*, Vol. 18, pp. 257-271.
- Danielsson, J., and Haan, L. de, Peng, L. and de Vries, C.G. (2001). "Using a bootstrap method to choose the sample fraction in the tail index estimation", *Journal of Multivariate Analysis*, Vol. 76, pp. 226-248.
- Drees, H. and Kaufmann, E. (1998). "Selecting the optimal sample fraction in univariate extreme value estimation", *Stoch. Proc. and Appl.*, Vol. 75, pp. 149-172.
- Dutta, K. and Perry, J. (2007). *A Tale of Tails An Empirical Analysis of Loss Distribution Models for Estimating Operational Risk Capital*, Working Papers, No.06-13, Federal Reserve Bank of Boston.
- Gomes, M.I. and Oliveira, O. (2001). "The bootstrap methodology in statistics of extremes-Choice of the optimal sample fraction", *Extremes*, Vol. 4, pp. 331-358.
- Gomes, M.I. and Pestana, D. (2007). "A Sturdy Reduced-Bias Extreme Quantile (VAR) Estimator", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 102, No. 477, pp. 280-292.
- Hall, P. (1982). "On some simple estimates of an exponent of regular variation", *Journal of Royal Statistical Society*, pp. 37-42.
- Hall, P. (1990). "Using bootstrap to estimate mean squared error and selecting parameter in nonparametric problems", *Journal of Multivariate Analysis*, Vol. 32, pp. 177-203.
- Hall, P. and Welsh, A.H. (1985). "Adaptive estimates of parameters of regular variation", *Ann. Statist.*, Vol. 13, pp. 331-341.
- Heaney, J.P., Huber, W.C., Medina, M.A., Jr., Murphy, M.P., Nix, S.J. and Hasan, S.M. (1977). *Nationwide Assessment of Combined Sewer Overflows and Urban Stormwater Discharges: Vol. II, Cost Assessment*, EPA-600/2-77-064, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Hill, B.M. (1975). "A simple general approach to inference about the tail of a distribution", *Ann. Statist.*, Vol. 3, pp. 1163-1174.
- Hogg, R.V. and Tanis, E.A. (1988). *Probability and statistical inference*, 3rd edition, Macmillan Publishing Co., New York, NY.
- Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. (1987). "Parameter and Quantile Estimation for the Generalized Pareto Distribution", *Technometrics*, Vol. 29, No. 3, pp. 339-349.
- Howard, C. and Associates, Ltd. (1979). *Analysis and Use of Urban Rainfall in Canada*, Report EPS 3-WP-79-4, Water Pollution Control Directorate, Environmental Protection Service, Environment Canada, Ottawa, Ontario.
- Landwehr, J.M., Matalas, N.C., and Wallis, J.R. (1979). "Estimation of Parameters and Quantiles of Wakeby Distributions", *Water Resources Research*, Vol. 15, pp. 1361-1379.
- Madsen, H., Rasmussen, P.F. and Rosbjerg, D. (1997). "Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events-1. At-site modeling", *Water resources research*, Vol. 33, No. 4, pp. 747-757.
- Madsen, H., Rosbjerg, D. and Harremoës (1994). "PDS-modeling and regional Bayesian estimation of extreme rainfalls", *Nordic Hydrology*, Vol. 25, No. 4, pp. 279-300.
- Moharram, S.H., Gosain, A.K. and Kapoor, P.N. (1993). "A Comparative Study for the Estimators of the Generalized Pareto Distribution" *Journal of Hydrology*, Vol. 150, pp. 169-185
- Nix, S.J. (1994). *Urban Stormwater Modeling and Simulation*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Pickands, J. (1975). "Statistical inference using extreme order statistics", *Ann. Statist.*, Vol. 3, pp. 119-131.
- Rao, A.R. and Hamed, K.H. (2000). *Flood frequency analysis*, CRC Press, New York.

- Rasmussen, P.F. and Rosbjerg, D. (1991). "Application of Bayesian principles in regional flood frequency estimation", in *Advances in Water Resources Technology*, edited by G. Tsakiris, pp. 66-75
- Restrepo-Posada, P.J. and Eagleson, P.S. (1982). "Identification of independent rainstorms", *Journal of Hydrology*, Vol. 55, pp. 303-319.
- Rosbjerg, D., and Madsen H.(1992). "On the choice of threshold level in partial duration series." *Nordic Hydrological Conference*, Alta, NHP Rep. 30, pp. 604-615.
- Rosbjerg, D., Rasmussen, P.F. and Madsen, H. (1991). "Modeling of exceedances in partial duration series", *Proceedings of the International Hydrology and Water Resources Symposium*, pp. 755-760
- Singh, V.P. and Ahmad, M. (2004). "A comparative evaluation of the estimation of the three-parameter generalized pareto distribution", *Journal of Statistical Computation and Simulation*, Vol. 74, No. 2, pp. 91-106.
- Weissman, I. (1978). "Estimation of Parameters and Large Quantiles Based on the k Largest Observation", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 73, pp. 812-815.
- Willems, P., Guillou, A. and Beirlant, J. (2007). "Bias correction in hydrologic GPD based extreme value analysis by means of a slowly varying function", *Journal of Hydrology*, Vol. 338, pp. 221-236.
- (논문번호:07-153/접수:2007.12.21/심사완료:2008.03.26)