

강우빈도해석에서의 측우기자료의 유용성 평가

Evaluation for usefulness of Chukwookee Data in Rainfall Frequency Analysis

김기욱* / 유철상** / 박민규*** / 김현준****

Kim, Keewook / Yoo, Chulsang / Park, Minkyu / Kim, Hyeon Jun

Abstract

In this study, the chukwookee data were evaluated by applying that for the historical rainfall frequency analysis. To derive a two parameter log-normal distribution by using historical data and modern data, censored data MLE and binomial censored data MLE were applied. As a result, we found that both average and standard deviation were all estimated smaller with chukwookee data than those with only modern data. This indicates that rather big events rarely happens during the period of chukwookee data than during the modern period. The frequency analysis results using the parameters estimated were also similar to those expected. The point to be noticed is that the rainfall quantiles estimated by both methods were similar. This result indicates that the historical document records like the annals of Chosun dynasty could be valuable and effective for the frequency analysis. This also means the extension of data available for frequency analysis.

keywords : historical frequency analysis, censored data MLE, binomial censored data MLE

요 지

본 연구에서는 역사자료를 이용하는 대표적인 빈도해석방법들을 이용하여 측우기관측자료의 유용성을 검토해 보았다. 근대관측자료와 역사적관측자료를 이용하여 2모수 대수정규분포를 유도하기 위해 중도절단자료에 대한 최우도법과 이항중도절단자료에 대한 최우도법을 적용하여 모수를 추정하였다. 그 결과, 근대관측자료와 측우기관측자료를 이용하여 최우도법을 적용한 경우가 근대자료만을 이용한 경우와 비교하여 평균과 표준편차가 모두 작게 산정되는 것을 알 수 있었다. 이는 측우기관측자료를 이용함으로써 증가된 자료의 기간에 비하여 관측된 자료에서 큰 값이 드물게 발생한다는 것을 의미한다. 얻어진 모수를 이용하여 확률강우량을 추정해 본 결과, 모수 추정결과와 유사한 결론을 얻을 수 있었다. 주목할 점은 측우기관측자료의 값을 이용한 중도절단자료에 대한 최우도법과 자료의 개수만을 이용한 이항중도절단자료에 대한 최우도법으로부터 얻어진 확률강우량이 대체로 비슷하게 나타난다는 것이다. 본 연구의 결과는 정량적인 값으로 나타나지 않는 조선왕조실록과 같은 국내의 역사적 자료를 빈도해석에 효과적으로 이용할 수 있다는 것을 의미하며 이는 빈도해석을 위한 자료의 양적 증가를 의미하는 것이기도 하다.

핵심용어 : 역사적빈도해석, 중도절단자료에 대한 최우도법, 이항중도절단자료에 대한 최우도법

* 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 박사수료

Doctoral Student, Dept. of Architectural, Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-713, Korea
(e-mail: kkw5287@korea.ac.kr)

** 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 교수

Prof., Dept. of Architectural, Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-713, Korea

*** 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 박사과정

Doctoral Student, Dept. of Architectural, Civil & Environmental Eng., Korea Univ., Seoul 136-713, Korea

**** 한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원

Chief Researcher, Korea Institute of Construction Technology, GyeongGi-Do 411-712, Korea

1. 서론

한정된 자료는 빈도해석을 수행함에 있어서 가장 큰 문제가 된다(Condie and Lee, 1982; Hosking and Wallis, 1986; Thorndycraft et al., 2003; Reis Jr. and Stedinger, 2005). 이 때, 역사적 증거나 문서, 물리적 증거 등의 역사적 자료(historical data)는 자료의 확장, 정확도의 증가 등에 기여하여 빈도해석 결과의 개선에 도움을 준다(Tasker and Thomas Jr., 1978; Stedinger and Cohn, 1986).

역사적 자료를 이용한 빈도해석에 관한 연구는 주로 홍수빈도해석에 대하여 이루어 졌다. Benson(Stedinger and Cohn에서 재인용, 1986)은 Harrisburg에 위치한 Susquehanna강의 홍수빈도해석에 역사적유출자료를 이용할 것을 제안하였으며 수위관측소가 건설되기 이전의 88년 자료 중 특정 값을 초과하는 역사적 자료를 분석에 이용하였다. 그는 역사적 자료와 근대자료(systematic data)를 이용한 도해법을 통해 홍수빈도의 관계를 추정하였다. 이후 여러 연구자(Gerard and Karpuk, 1979; Zhang, 1982)들이 홍수빈도의 관계를 추정하기 위해 도해법을 사용하였다.

역사적 자료는 그 자료가 특정한 임계치를 초과하기 때문에 관측된다. 통계학적 관점에서, 특정한 임계치를 초과하는 역사적 침투홍수량은 절단된 자료(censored data)로 구성된다(Stedinger and Cohn, 1986). 중도절단 자료에 대한 확률밀도함수의 모수를 추정하기 위한 최우도법은 Cohen(1950, 1976)에 의해 개발되었다. 그 후 Leese(1973)와 Condie and Lee(1982)는 절단된 형태의 역사적 자료와 근대자료를 가지는 일반적인 경우에 이를 적용하여 각각 Gumbel, three parameter lognormal distribution의 모수를 추정하였다.

빈도해석에 역사적 자료를 적용하기 위한 다른 방법은 USWRC(United States Water Resources Council Hydrology Committee, 1982)에 의해 제안되었다. 이 방법 역시 임계값 개념에 기초를 둔 방법으로, 각 자료에 가중치를 부여함으로써 보정된 모멘트 추정치를 얻어내는 방법이다.

마지막으로, Stedinger and Cohn(1986)은 2모수 대수 정규분포의 모수추정을 위한 중도절단자료에 대한 최우도법(censored data MLE)을 보완하였다. 이들은 역사적 자료 중 그 값을 모르는 정성적인 자료를 빈도해석에 적용할 수 있는 방법인 이항중도절단자료에 대한 최우도법(binomial censored data MLE)을 개발하였다. 또한 새롭게 개발된 방법과 기존의 최우도법에 의한 결과

를 비교함으로써 정성적인 역사적 자료에 대한 우수한 적용성을 확인하였다.

국내에서도 강우나 홍수의 빈도해석 시에 자료의 부족 문제가 끊임없이 발생하게 된다. 따라서 우리나라의 역사적 자료인 측우기관측자료와 조선왕조실록에 기록된 강우 및 홍수자료를 빈도해석에 이용한다면 자료의 확장에 도움이 될 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 측우기관측자료의 유용성을 검토하고 이후에 조선왕조실록자료와 같은 정성적 자료의 적용방향을 알아보려고 하였다. 이를 위해 역사적 자료를 이용하는 빈도해석방법에 측우기관측자료를 적용하여 그 유용성을 알아보았다. 역사적 자료를 이용하여 빈도해석을 수행하기 위한 대표적인 모수추정방법으로 2모수 대수정규분포의 모수추정을 위한 중도절단자료에 대한 최우도법, Stedinger and Cohn(1986)이 제안한 이항중도절단자료에 대한 최우도법을 고려하고자 하였으며 그 결과를 통해 조선왕조실록 자료의 적용가능성을 알아보았다.

2. Historical Frequency Analysis

본 연구에서는 역사적 자료를 이용하는 빈도해석방법에 측우기관측자료를 적용하여 그 유용성을 알아보았다. 역사적 자료를 이용하여 빈도해석을 수행하기 위한 대표적인 모수 추정방법으로 모멘트조정법, 중도절단자료에 대한 최우도법, 이항중도절단자료에 대한 최우도법을 고려하여 2모수 대수정규분포의 모수를 추정하고자 하였으나 모멘트조정법의 경우 Stedinger and Cohn(1986)에 의해 그 적용성에 문제가 있는 것으로 판단되어 본 연구에서는 제외하였다.

2.1 중도절단자료에 대한 최우도법

모멘트조정법은 정량적인 관측자료와 정량, 정성적인 역사적 자료가 함께 존재하는 경우에 적용에 문제점을 가진다. 따라서 일반적으로 범주형자료의 분석을 위해서는 최우도법을 많이 사용하게 된다(Bishop et al., 1975). 최우도법은 연속적인 관측자료와 역사적관측자료, 고자료 등이 섞여 있는 자료를 분석하는데 적절한 방법이다(Stedinger and Cohn, 1986).

s 개의 근대관측자료의 대수값 $\{X_1, X_2, \dots, X_s\}$ 과, 특정한 임계치 $X_0 = \ln(P_0)$ 를 초과하는 k 개의 역사적관측자료의 대수값 $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_k\}$ 이 있다고 가정하면 2모수 대수정규분포의 우도함수는 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L(\mu, \sigma) = \prod_{i=1}^s f_x(x_i) \times \left\{ \left[\frac{h}{k} \right] F_x(X_0)^{(h-k)} [1 - F_x(X_0)]^k \right\} \prod_{j=1}^k f_Y(y_j) \quad (1)$$

여기서, $\left[\frac{h}{k} \right] = {}_h C_k$, $f_x(\cdot)$, $F_x(\cdot)$ 는 각각 X 의 확률밀도 함수, 누가확률밀도함수, $f_Y(\cdot)$ 는 Y 의 확률밀도함수, h, μ, σ 는 각각 역사적관측자료의 기간, 대수정규분포의 평균, 표준편차이다. Y 가 X_0 보다 항상 크므로,

$$f_Y(y) = \frac{f_x(y)}{[1 - F_x(X_0)]} \quad (2)$$

Eq. (2)를 우도함수에 대입하면,

$$L(\mu, \sigma) = \prod_{i=1}^s f_x(x_i) \left[\frac{h}{k} \right] F_x(X_0)^{(h-k)} \prod_{j=1}^k f_x(y_j) \quad (3)$$

Eq. (3)의 양변에 대수를 취하면 대수우도함수를 얻을 수 있다.

$$L(\mu, \sigma) = \sum_{i=1}^s \ln[f(X_i|\mu, \sigma)] + \ln \left[\frac{h}{k} \right] + (h-k) \ln[F(X_0|\mu, \sigma)] + \sum_{i=1}^k \ln[f(Y_i|\mu, \sigma)] \quad (4)$$

수치해법을 통해 Eq. (4)를 최대화 하는 μ, σ 를 얻을 수 있다. 이를 위한 방법으로 두 가지를 들 수 있다. 첫 번째 방법은 위의 우도함수를 각 모수로 편미분하여 그 값이 '0'이 되는 모수의 조합을 찾아내는 방법이며, 두 번째 방법은 우도함수를 그림으로 그려 함수값이 최소가 되는 모수를 찾아내는 방법(도해법)이다. 일반적으로 첫 번째 방법이 많이 사용되지만 이 경우에도 모수를 결정하기 위해 수치해석기법을 이용해야 한다. 따라서 본 연구에서는 전역최적해를 그림을 통해 눈으로 확인할 수 있는 도해법을 사용하였다.

2.2 이항중도절단자료에 대한 최우도법

역사적관측자료는 그 특성상 정성적인 자료로 존재하는 경우가 많이 있다(Stedinger and Cohn, 1986). 이러한 경우에는 그 정확한 값을 알 수 없으므로 중도절단자료에 대한 최우도법을 그대로 적용하는 것은 어렵다. 따라서 역사적관측자료의 기간(h) 중 특정한 임계

치 $X_0 = \ln(P_0)$ 를 초과한 횟수(k)만을 이용하여 분석을 수행해야 한다. 이러한 자료를 이항중도절단자료라 한다(Stedinger and Cohn, 1986).

이항중도절단자료에 대한 우도함수는 중도절단자료의 우도함수(Eq. (1))에서 역사적관측자료의 값을 생략한 형태로 나타난다.

$$L(\mu, \sigma) = \prod_{i=1}^s f_x(x_i) \left\{ \left[\frac{h}{k} \right] F_x(X_0)^{(h-k)} [1 - F_x(X_0)]^k \right\} \quad (5)$$

식 (5)의 양변에 대수를 취하면 대수우도함수를 얻을 수 있다.

$$L(\mu, \sigma) = \sum_{i=1}^s \ln[f(X_i|\mu, \sigma)] + \ln \left[\frac{h}{k} \right] + (h-k) \ln[F(X_0|\mu, \sigma)] + k \ln[1 - F(X_0|\mu, \sigma)] \quad (6)$$

수치해법을 통해 식 (6)를 최대화 하는 μ, σ 를 얻을 수 있다.

3. 자료의 구축

본 연구에서는 우리나라의 측우기자료에 대한 historical frequency analysis의 적용성을 검토해 보았다. 이를 위하여 서울지점의 1777년부터 1907년까지의 측우기관측자료(historical data)와 1908년부터 2005년까지의 근대관측자료(systematic data)로부터 총 226년(1951-1953년 제외)의 연최대 일 강우자료를 추출하여 분석에 이용하였다.

측우기는 1441년(세종 23년)에 발명된 우량계로서 현대적인 우량계가 도입되기 이전인 1907년까지 우리나라의 정량적인 강우량 관측에 사용되었다(심태현과 임규호, 2007).和田雄治(심태현과 임규호에서 재인용, 2007)는 월별계수를 이용하여 측우기관측자료를 현대 우량계 관측에 상당하는 자료로 결정하였다. 그러나, 정현숙과 임규호(1994)는 수치실험을 통해 월별계수의 모순점을 증명함으로써 결정되지 않은 측우기관측자료의 신뢰성을 강조하였다. 이후, 전종갑(정현숙에서 재인용, 1999)은 승정원일기와 일성록을 이용한 측우기관측강우량 발체작업의 결과로 '측우기관측강우량 자료집(1801-1907) 수정판'을 완성하였다.

본 연구에서 사용한 측우기관측자료는 1777-1800년과 1801-1907년으로 구분되어 있으며 각각 조희구와

나일성(1979)과 전종갑(정현숙에서 재인용, 1999)의 연구결과로부터 얻어졌다. 기본적으로, 측우기관측자료는 근대관측자료와의 기록방법의 차이에 의한 차이점을 가진다. 측우기관측자료의 경우 강우의 시점, 종점 및 강우총량을 기록한 것이므로 근대자료와 함께 분석에 적용하는데 문제가 있을 수 있다. 실제로 본 연구에서 사용한 연최대 일 강우자료의 경우 강우기간동안 강우강도가 일정하다고 가정하고 계산한 준시간 강우자료(정현숙, 1999)이다. 이러한 부분은 본 연구가 가지는 한계이다.

측우기 자료의 정확성에 대한 분석은 정현숙(1999)에서 자세히 살펴볼 수 있다. 특히 1900년을 전후로 한 장기간의 건조기가 동아시아 지역에 실제 있었던 상황임을 증명하였으며, 아울러 이전의 기록에 대한 정도 및 전체기간의 정상성을 확인한 바 있다. 또한, 따라서 본 연구에 측우기 기록을 고려하는데 큰 무리가 없음을 확인할 수 있다.

Fig. 1은 측우기자료와 근대자료를 함께 도시한 것이다. 그림에서 보면 측우기관측기간 중인 1885년에 기왕 최대기록에 해당하는 392mm의 일 강우량이 기록된 것을 확인할 수 있다. 그러나 일강우 200mm 이상의 사상

은 근대관측기간에 오히려 더 많이 발생하고 있다. 이는 특히 최근에 기록된 극치사상이 많아서이기도 하다.

본 연구에서 사용한 일최대 강우량의 경우는 여러 가지 확률밀도함수를 적용하여 설명할 수 있다(Table 1). 특히 본 연구에서는 사용하고자 하는 2모수 대수정규분포의 경우도 KS test 및 χ^2 -test를 모두 통과하여 그 적용에 무리가 없음을 확인하였다.

4. 측우기관측자료를 이용한 Historical Frequency Analysis

2장에서 설명한 증도절단자료에 대한 최우도법과 이항증도절단자료에 대한 최우도법을 이용하여 historical frequency analysis를 수행하였다. 분석에 필요한 임계치로 전체 자료 분포의 상위 90, 99%의 두 값을 임의로 결정하여 고려하였다. 여기서, 임계치란 역사적 자료가 기록되기 위한 최소치로서 예를 들어 역사적 자료가 홍수흔적과 같은 형식일 경우 가용한 홍수흔적의 최소치가 임계치로 사용될 수 있을 것이다. 임의의 두 임계치를 고려한 결과 90%의 임계치는 201.5mm, 99%의 임계치는 354.7mm로 산정되었다(Fig. 1). 두 개의 임계치에 의해 얻어진 자료의 분포를 Fig. 2에 나타내었다.

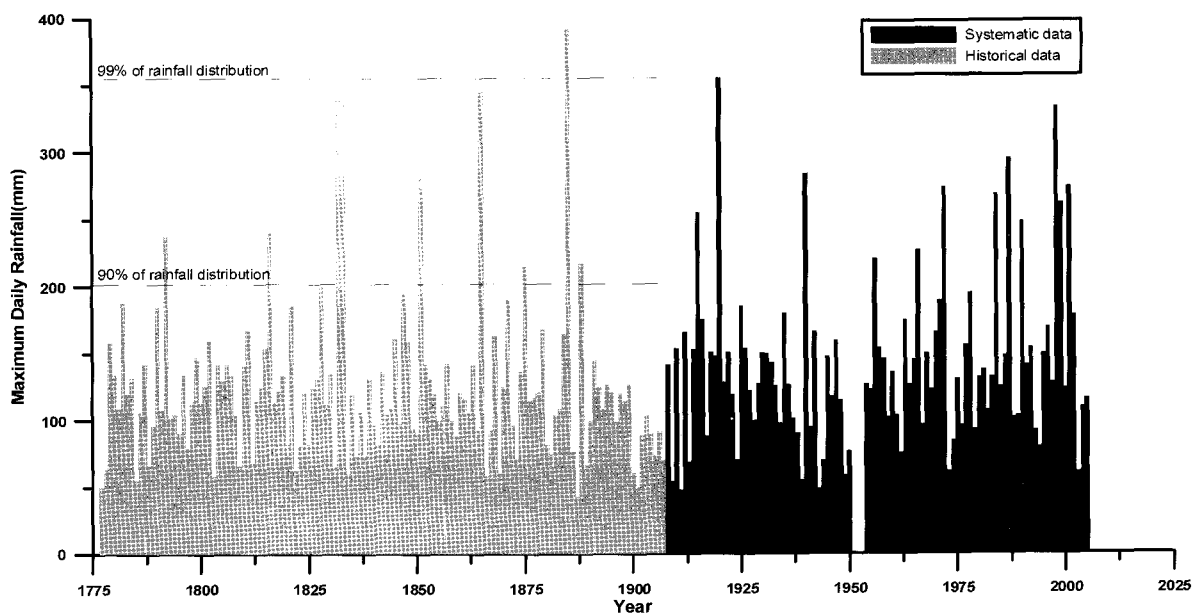


Fig. 1. Annual maximum daily rainfall and 90%, 99% thresholds of rainfall distribution

Table 1. Goodness of fit test on systematic rainfall data

Test	LN2	LN3	Gamma2	Gamma3	GEV	Gumbel	Weibull
KS test	O	O	O	O	O	O	O
χ^2 -test	O	X	O	O	X	X	X

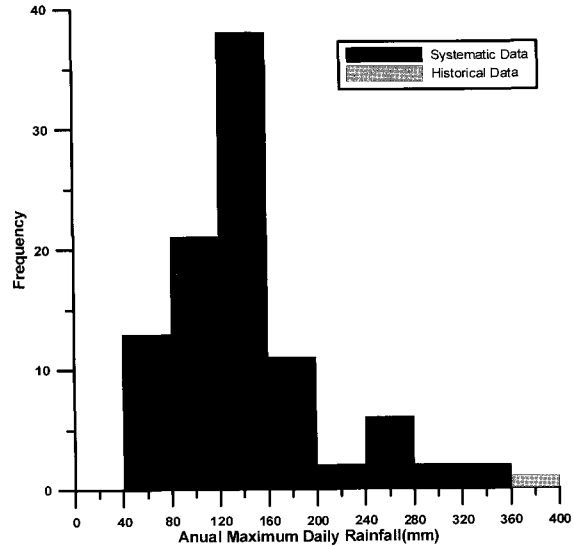
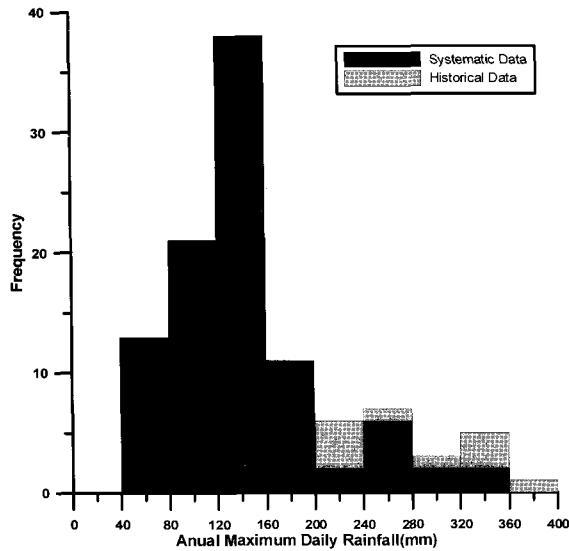


Fig. 2. Rainfall distribution according to thresholds(left: 90%, right: 99%)

Fig. 2를 보면 90%의 임계치에 의한 경우는 201.5mm보다 큰 10개의 측우기관측자료를 이용하며, 99%의 임계치에 의한 경우는 354.7mm보다 크게 나타난 1885년의 관측자료 하나만을 이용하게 되는 것을 알 수 있다. Fig. 2의 자료를 이용하여 중도절단자료에 대한 최우도법과 이항중도절단자료에 대한 최우도법을 적용하였다.

4.1 중도절단자료에 대한 최우도법의 적용을 통한 모수의 추정

본 절에서는 Fig. 2의 두 자료에 대하여 중도절단자료에 대한 최우도법을 적용하여 2모수 대수정규분포의 모수를 추정해 보았다. 모수를 추정하기 위해서 Eq. (4)를 최대로 만드는 모수를 도해법을 이용하여 추정하였다. 먼저 90%의 임계치에 대한 도해법의 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3을 보면 모수의 구간을 점차 줄여가면서 그래프를 그려 본 결과 $\mu = 4.8240$, $\sigma = 0.4179$ 일 때 대수우도함수가 최대값을 가지는 것을 알 수 있다. 같은 방법으로 99%의 임계치에 대하여 산정된 모수는 $\mu = 4.8639$, $\sigma = 0.4217$ 로 나타났다.

4.2 이항중도절단자료에 대한 최우도법의 적용을 통한 모수의 추정

본 절에서는 Fig. 2의 두 자료에 대하여 이항중도절단자료에 대한 최우도법을 적용하여 2모수 대수정규분포의 모수를 추정해 보았다. 4.1절과 같이 본 연구에서는 Eq. (6)을 최대로 만드는 모수를 도해법을 이용하여 추정하였다. 먼저 90%의 임계치에 대한 도해법의 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4를 보면 모수의 구간을 점차 줄여가면서 그래프를 그려 본 결과 $\mu = 4.8241$, $\sigma = 0.4024$ 일 때 대수우도함수가 최대값을 가지는 것을 알 수 있다. 같은 방법으로 99%의 임계치에 대하여 산정된 모수는 $\mu = 4.8641$, $\sigma = 0.4227$ 으로 나타났다.

4.3 확률강우량의 산정

앞의 4.1, 4.2절에서 얻어진 2모수 대수정규분포의 모수와 측우기관측자료, 근대관측자료, 전체자료를 이용하여 얻어진 모수를 Table 2에 정리해 보았다.

Table 2를 보면 근대관측자료와 측우기관측자료를 이용하여 최우도법을 적용한 경우가 근대자료만을 이용한 경우와 비교하여 평균과 표준편차가 모두 작게 산정되는 것을 알 수 있다. 이는 측우기관측자료를 이용함으로써 증가된 자료의 기간에 비하여 큰 강우가 드물게 발생한다는 것을 의미한다. 즉, 근대관측기간의 자료에서 큰 강우가 더 빈번하게 발생한다는 것이다. 이는 Table 2의 측우기관측자료, 근대관측자료만을 이용하여 얻어진 모수에서도 확인할 수 있다. 또한 최우도법을 이용하는 경우 측우기관측자료에서 특정 임계치를 초과하는 자료만을 사용하였으므로 전체자료를 이용한 결과보다는 큰 모수를 가지는 것을 알 수 있다.

다음으로 얻어진 모수를 이용하여 확률강우량을 산정해보았다. 재현기간 2, 5, 10, 50, 100, 500년에 대한 확률강우량을 산정하였다. 재현기간 T 에 대한 초과확률은 Eq. (7)과 같이 나타난다.

$$P(x \geq x_T) = \frac{1}{T} \quad (7)$$

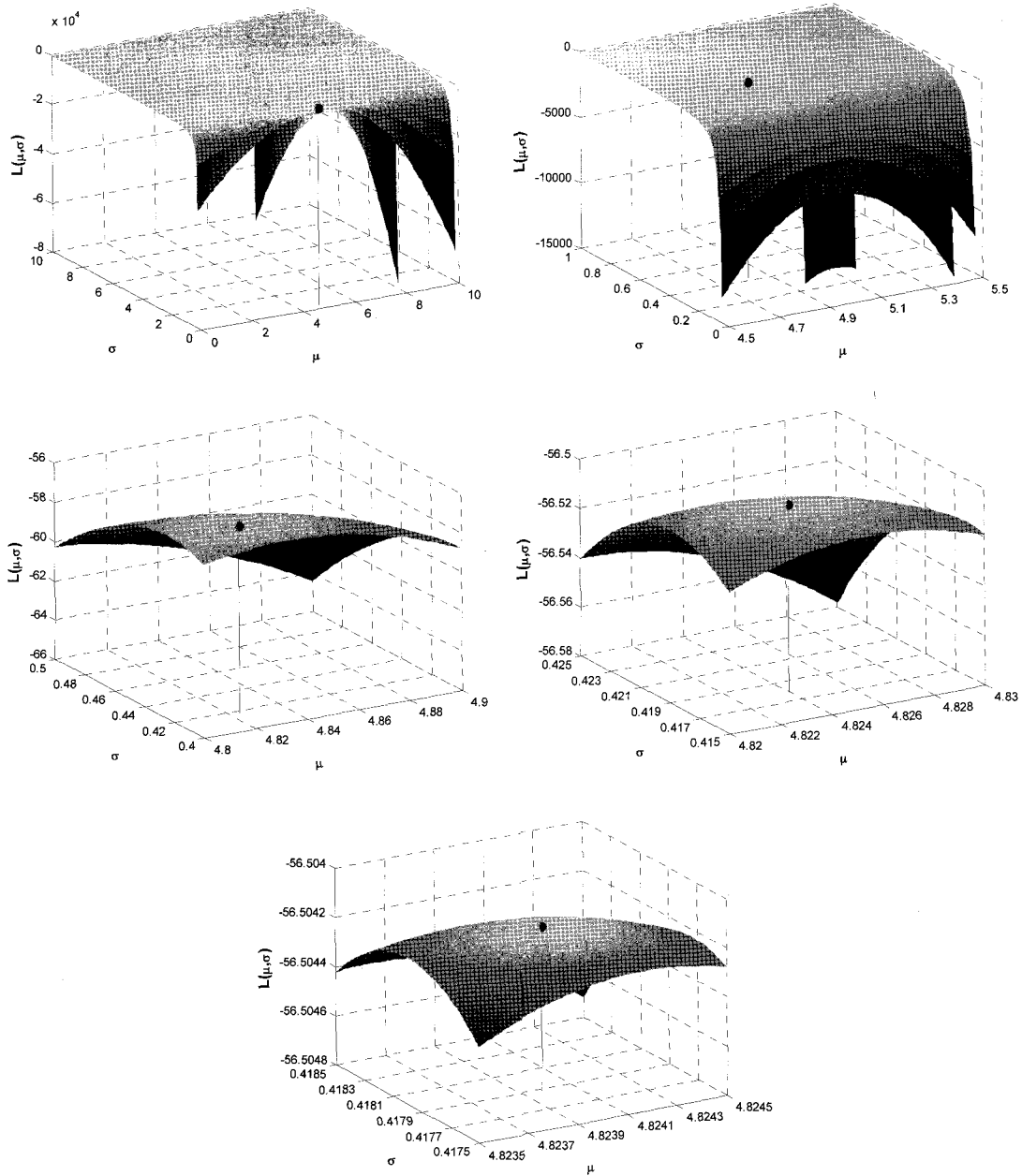


Fig. 3. Parameters estimation of PDF using graphical method(censored data MLE)

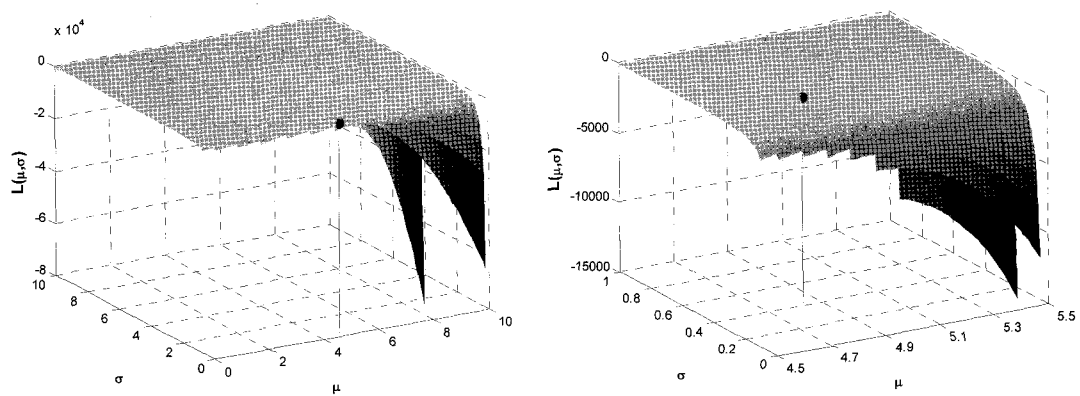


Fig. 4. Parameters estimation of PDF using graphical method(binomial censored data MLE)

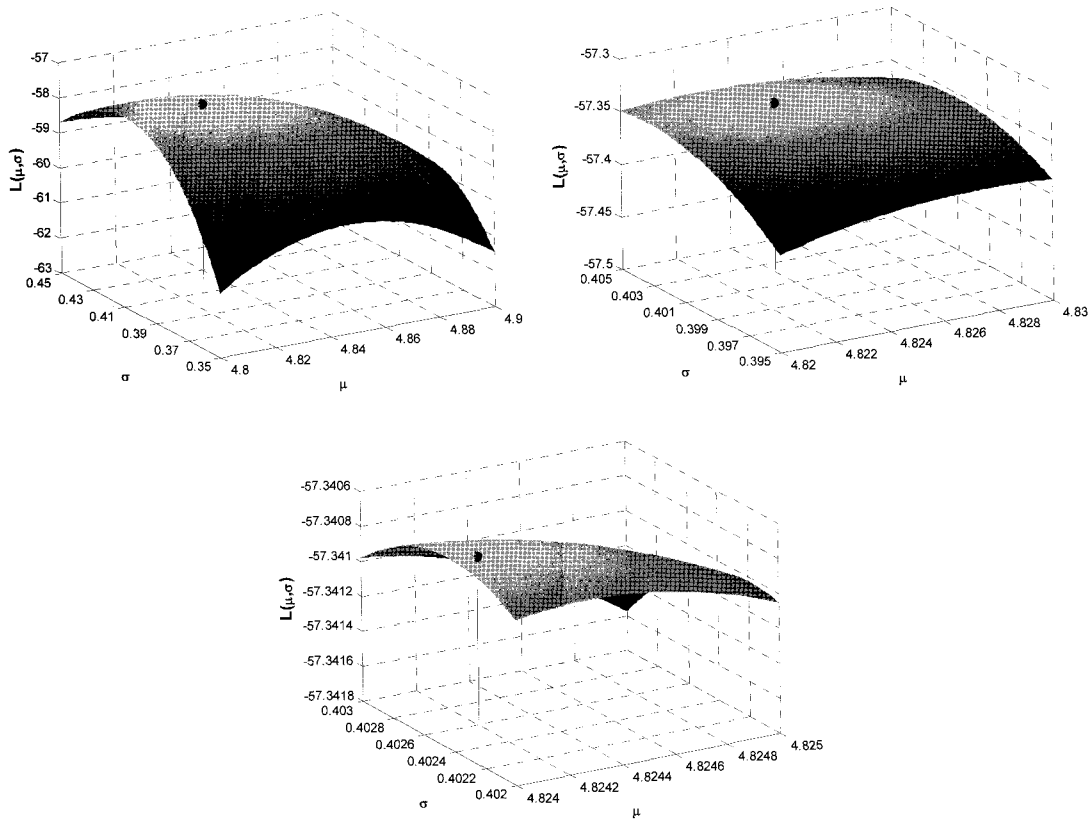


Fig. 4. Parameters estimation of PDF using graphical method(binomial censored data MLE)(continued)

Table 2. Parameters of 2-parameter log-normal distribution estimated

	Mean		Standard deviation	
	Censored	Binomial	Censored	Binomial
Systematic data	4.8656		0.4268	
Historical data	4.7309		0.4047	
All data	4.7875		0.4194	
MLE(99%)	4.8639	4.8641	0.4217	0.4227
MLE(90%)	4.8240	4.8241	0.4179	0.4024

※ Systematic data : 근대관측자료만을 이용하여 산정한 2모수 대수정규분포의 모수

Historical data : 역사적관측자료만을 이용하여 산정한 2모수 대수정규분포의 모수

All data : 근대관측자료+역사적관측자료를 이용하여 산정한 2모수 대수정규분포의 모수

MLE : 중도절단자료, 이항중도절단자료에 대한 최우도법을 이용하여 산정한 2모수 대수정규분포의 모수

Eq. (7)을 이용하여 각 재현기간에 따른 초과확률을 계산한 후 확률강우량을 산정하였다. 그 결과를 Table 3과 Fig. 5에 나타내었다.

Table 3을 보면 Table 2에서 나타난 모수의 차이와 같이 근대관측자료만을 이용한 경우가 가장 큰 확률강우량을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 역사적 자료에 의해 증가된 자료의 기간에 비하여 큰 강우가 발생하는 빈도가 적기 때문이며 최근 큰 강우가 빈번하게 발생하는 것을 고려할 때 당연한 결과인 것으로 판단된다. 주목할 점은 측우기관측자료의 값을 이용한 중도절단자료에 대한 최우도법과 자료

의 개수만을 이용한 이항중도절단자료에 대한 최우도법으로부터 얻어진 확률강우량이 대체로 비슷하게 나타난다는 점이다. 90%의 임계치를 이용한 결과의 경우 그 차이가 재현기간 500년에서 약 18 mm로 다소 크게 나타나고 있지만 이는 추정된 확률강우량의 5% 이내에 해당하는 정도로 비교적 작은 차이라고 할 수 있다. 이러한 결과는 빈도해석에 있어서 정량적인 값을 가지지 않는 자료의 적용성을 나타내는 것으로서 우리나라의 조선왕조실록과 같은 홍수기록을 빈도해석에 이용할 수 있다는 것을 의미한다.

Table 3. Probable rainfall according to return periods

Return period (yr)	Systematic data (mm)	Historical data (mm)	All data (mm)	MLE(90%)		MLE(99%)	
				Censored (mm)	Binomial (mm)	Censored (mm)	Binomial (mm)
2	129.7	113.4	120.0	124.5	124.5	129.5	129.6
5	185.8	159.4	170.8	176.9	174.6	184.7	184.9
10	224.2	190.5	205.4	212.6	208.5	222.4	222.7
50	311.7	260.4	284.0	293.6	284.4	308.0	308.7
100	350.2	290.7	318.4	329.0	317.4	345.5	346.3
500	443.2	363.5	401.3	414.4	396.3	436.0	437.3

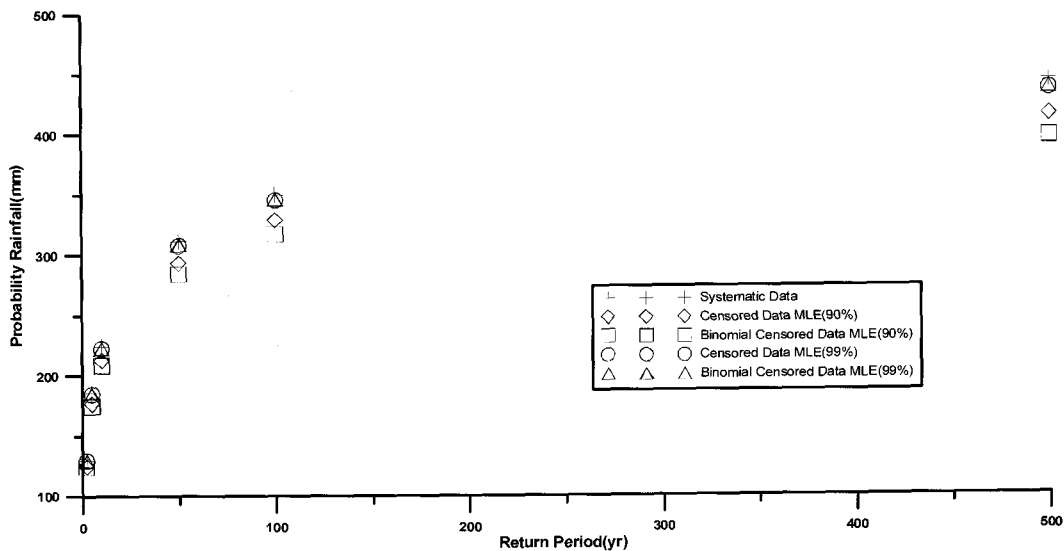


Fig. 5. Changes of probable rainfall according to increasing return period

5. 결 론

본 연구에서는 우리나라의 측우기자료에 대한 historical frequency analysis의 적용성을 검토하기 위해 중도절단자료에 대한 최우도법과 이항중도절단자료에 대한 최우도법을 이용하여 2모수 대수정규분포의 모수를 추정하였다. 또한 추정된 모수를 이용하여 확률강우량을 산정한 뒤 이를 비교해 보았다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 모수 및 이를 이용한 확률강우량 추정결과, 근대 관측자료와 측우기관측자료를 이용하여 최우도법을 적용한 경우가 근대자료만을 이용한 경우와 비교하여 평균과 표준편차가 모두 작게 산정되며 확률강우량 또한 작게 산정되는 것을 알 수 있었다. 이는 측우기관측자료를 이용함으로써 증가된 자료의 기간에 비하여 큰 강우가 발생하는 빈도가 적다는 것을 의미하며 최근 큰 강우가 빈번하게 발생하는 것을 고려할 때 당연한 결과로 판단

된다.

- 2) 주목할 점은 측우기관측자료의 값을 이용한 중도절단자료에 대한 최우도법과 자료의 개수만을 이용한 이항중도절단자료에 대한 최우도법으로부터 얻어진 확률강우량이 대체로 비슷하게 나타나는 점이다. 90%의 임계치를 이용한 결과의 경우 그 차이가 재현기간 500년에서 약 18 mm로 다소 크게 나타나고 있긴 하지만 이는 추정된 확률강우량의 5% 이내에 해당하는 정도로 비교적 작은 차이라고 할 수 있다.
- 3) 이러한 결과는 조선왕조실록에 나타난 홍수기록의 규모를 상중하 정도와 같이 간단히 구분하고, 아울러 그 경계값을 적절하게 추정할 수 있다면 이를 빈도해석에 유용하게 사용할 수 있다는 것을 의미한다.

본 연구의 결과는 정량적인 값으로 나타나지 않는 조선왕조실록과 같은 국내의 역사적 자료를 빈도해석에 효과적으로 이용할 수 있다는 것을 의미하며 이는 기존

에 비하여 방대한 양의 자료를 추가로 확보할 수 있도록 해 줄 것이다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01) 및 2003 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C01-01)의 지원으로 수행된 것입니다. 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 심태현, 임규호 (2007). 측우기 관측 자료에서 나타난 서울 강수 시계열의 특징. **한국기상학회 봄학술대회 논문집**, pp. 500-501.
- 정현숙 (1999). 서울 지역 강수량의 시계열에 나타난 시간 변동성 해석. 박사학위논문, 서울대학교, pp. 9-118.
- 정현숙, 임규호 (1994). 서울 지역 월 강수량과 강수일수, 1770-1907. **한국기상학회지**, Vol. 30, No. 4, pp. 487-505.
- 조희구, 나일성 (1979). 18세기 한국의 기후변동 : 강수량을 중심으로. **동방학지**, Vol. 22, pp. 83-103.
- Bishop, Y. M., Fienberg, S. E., and Holland, P. W. (1975). *Discrete Multivariate Analysis: Theory and Practice*, MIT Press, Cambridge, Mass, pp. 57-58.
- Cohen, A. C. (1950). "Estimating the Mean and Variance of Normal Populations from Singly Truncated and Doubly Truncated Samples", *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 21, No. 4, pp. 557-569.
- Cohen, A. C. (1976). "Progressively Censored Sampling in the Three Parameter Log-Normal Distribution", *Technometrics*, Vol. 18, No. 1, pp. 99-103.
- Condie, R. and Lee, K. A. (1982). "Flood Frequency Analysis with Historic Information", *Journal of hydrology*, Vol. 58, pp. 47-61.
- Gerard, R. and Karpuk, E. W. (1979). "Probability Analysis of Historical Flood Data", *Journal of Hydraulics Division*. ASCE, Vol. 105, pp. 1153-1165.
- Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R. (1986). "Paleoflood Hydrology and Flood Frequency Analysis", *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 4, pp. 543-550.
- Leese, M. N. (1973). "Use of Censored Data in the Estimation of Gumbel Distribution Parameters for Annual Maximum Flood Series", *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 6, pp. 1534-1542.
- Reis Jr., D. S. and Stedinger, J. R. (2005). "Bayesian MCMC Flood Frequency Analysis with Historical Information", *Journal of hydrology*, Vol. 313, pp. 97-116.
- Stedinger, J. R. and Cohn, T. A. (1986). "Flood Frequency Analysis with Historical and Paleoflood Information", *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 5, pp. 785-793.
- Tasker, G. D. and Thomas Jr., W. O. (1978). "Flood-Frequency Analyses with Prerecord Information", *Journal of Hydraulics Division*. ASCE, Vol. 104, No. 2, pp. 249-259.
- Thorndycraft, V. R., Benito, G., Llasat, C., and Barriendos, M. (2003). "Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment", *Proceedings of the PHEFRA Workshop*, Barcelona, 16-19th, October, pp. 3-9.
- United States Water Resources Council Hydrology Committee(USWRC) (1982). "Guidelines for Determining Flood Flow Frequency, *Bulletin 17B*", U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., pp. 6.1-6.7
- Zhang, Y. (1982). "Plotting Positions of Annual Flood Extremes Considering Extraordinary Values", *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 859-864.

(논문번호:07-56/접수:2007.06.14/심사완료:2007.09.27)