

강우-빈도 곡선의 불확실성 분석을 이용한 매개변수 추정법의 평가

Evaluation of Parameter Estimation Methods Using Uncertainty Analysis of Rainfall-Frequency Curves

한정우*, 권현한**, 김태웅***

Jeong-Woo Han, Hyun-Han Kwon, Tae-Woong Kim

요 지

극치강우사상에 의한 설계 홍수량의 갑작스런 증·감은 홍수, 가뭄과 같은 기상학적 요인에 기인한 재난을 발생시킨다. 많은 연구자들은 보다 정확한 확률강우량의 예측과 유출량의 예측을 위해 많은 노력을 하고 있다. 본 연구에서는 강원도 강릉 강우관측소를 대상으로 강우-빈도곡선의 불확실성 분석을 수행하였다. 관측 자료의 수집에서 발생하는 불확실성을 최소화 하고자 ARMA 모형을 이용하여 합성강우자료를 구축하였으며, 발생된 합성강우량을 Bootstrap 방법을 이용하여 대규모의 자료집단으로 발생시킴으로서 신뢰구간에 사용할 자료집단을 발생시켰다. 본 연구에서는 극치강우사상에 적합한 것으로 알려진 Gumbel 분포와 일반극치분포(GEV 분포) 모형을 선정하였으며 각 확률분포모형에 대한 매개변수 추정방법으로 최우도법, 확률가중모멘트법 그리고 베이지안 추론방법을 사용하여 각 매개변수의 최후 추정치를 산정하였다. 또한 원 자료를 이용하여 최우도법, 확률가중모멘트법 그리고 베이지안 추론방법을 통해 매개변수를 산정 후 강우-빈도 곡선을 추정하여 합성강우자료의 Bootstrap 방법에 의해 발생된 자료로부터 산정한 강우-빈도 곡선의 신뢰구간과 비교함으로써 불확실성이 낮은 확률강우량을 산정할 수 있는 매개변수 추정방법을 평가하고자하였다.

핵심용어: 확률강우량, 불확실성, 매개변수추정

1. 서 론

강우량을 산정하고 예측하는 것은 댐, 운하, 제방과 같은 토목 수공구조물의 설계에 중요한 인자이다. 따라서 많은 연구자들은 관측기간 보다 상당히 큰 재현기간의 확률강우량을 정확하고 신뢰성 있는 결과로 추정하는 것에 관심을 두고 연구를 수행하고 있다(Chbab et al., 2002). 본 연구의 목적 또한 강우-빈도 곡선의 신뢰성의 정량화와 매개변수별 산정된 강우-빈도 곡선의 추정치와 신뢰구간을 비교하여 더 높은 신뢰성으로 강우-빈도 곡선을 추정해내는 매개변수 추정방법을 평가하는 것이다. 대상지역은 2002년 한반도를 통과하며 강우관측이래 가장 많은 강우량을 기록한 태풍 루사에 의해 피해가 많았던 강원도 지역으로 선정하였으며, 강릉 강우 관측소로부터 강우자료를 수집 하였다. 적합도 검정을 실시하여 강릉강우자료의 확률분포모형을 표현하기 적합한 Gumbel 분포와 일반극치분포(GEV 분포)를 이용하였다. 관측자료의 확장을 위해 자기회귀 이동평균(Auto Regressive Moving Average, ARMA)모형을 사용하여 합성 강우량을 발생하였으며 강우-빈도곡선의 신뢰구간을 산정하기위하여 Bootstrap 방법을 이용하여 자료를 발생시켰다. 최종적으로 Bootstrap 방법으로 발생한 자료집단을 빈도해석 함으로서 중심극한 정리에 따라 정규분포화된 강우-빈도 곡선을 산출

* 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : 00coolguy@hanmail.net

** 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원 · E-mail : hkwon@kict.or.kr

*** 정회원 · 교신저자 · 한양대학교 건설환경시스템공학전공 조교수 · E-mail : twkim72@hanyang.ac.kr

할 수 있고, 유의수준 5%의 신뢰구간을 추정할 수 있다. 따라서 확률분포형별 매개변수 추정방법 별로 추정된 신뢰구간의 길이를 정량화하고 비교함으로써 가장 신뢰성 높은 결과를 추정해내는 매개변수 추정법을 평가하였다.

2. 연구자료

본 연구는 기상청 산하 강릉관측소의 1960년부터 2006년까지의 46개년 자료를 연구자료로 사용하였다. 수집된 강우자료는 고정시간으로 관측된 시강우자료이기에 강우빈도해석을 위해서는 임의시간 강우자료로 환산하여야한다. 따라서 환산계수 회귀곡선 식을 이용하여 지속시간별 환산계수를 산정하여 이를 고정시간으로 관측된 자료에 곱함으로써 임의시간 자료로 변환하였다(정중호와 윤용남, 2008). 임의시간 시강우자료로부터 연 최대치 강우자료를 산정하였고 본 연구에서는 그림 1로 표현된 지속시간 24시간 연 최대 강우량을 사용하였다.

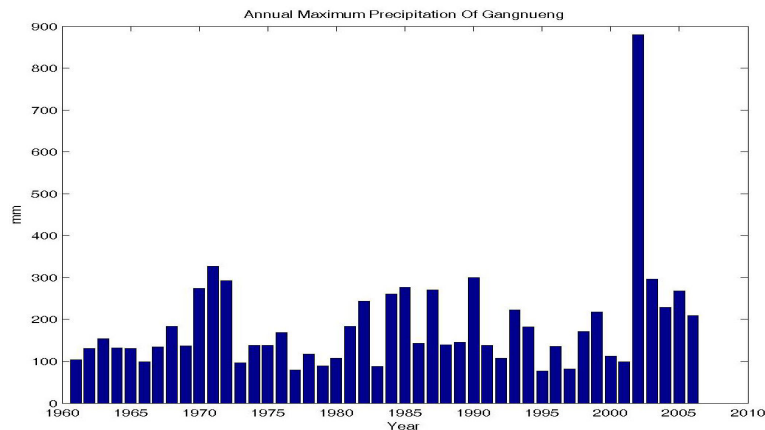


그림 1. 강릉지점 지속시간 24시간 연 최대 강우량

3. 합성강우자료 발생

Monte Carlo Simulation 방법은 반복적인 변수 추출 방법에 의거해 표본 자료를 추출하는 방법으로 입력 자료의 불확실성이 유의시되는 경우 자료를 확장시키기 위하여 널리 사용되는 방법이다. Monte Carlo Simulation 방법 중 하나인 자기회귀이동평균(ARMA) 모형을 이용하여 관측자료의 기록 기간보다 긴 합성강우자료를 발생시켰다(Salas et al., 1981). ARMA 모형의 차수는 자기상관함수(ACF)와 부분 자기상관함수(PACF)의 상관도를 도시하여 유의수준 5%안에 들어오는 차수를 모형의 고유 차수로 선정하였다. 그림 2(a)는 ACF의 상관도와 그림 2(b)는 PACF의 상관도를 도시한 것이며, 강릉 강우자료는 ARMA(1,1) 모형에 적합함을 확인할 수 있다. 그림 3은 합성강우량을 도시한 것이다. 신뢰구간을 산정하기 위한 자료로 Bootstrap 방법을 이용하여 발생된 자료 집단을 사용하였다. Bootstrap 방법은 비복원추출의 개념을 이용하여 많은 수의 표본을 추출함으로써 표본집단의 자료가 중심극한 정리에 의해 정규분포를 따르게 된다. 본 연구에서는 발생된 합성강우자료를 모집단으로 하여 Bootstrap 방법을 통하여 대규모의 자료 행렬을 발생시켰다.

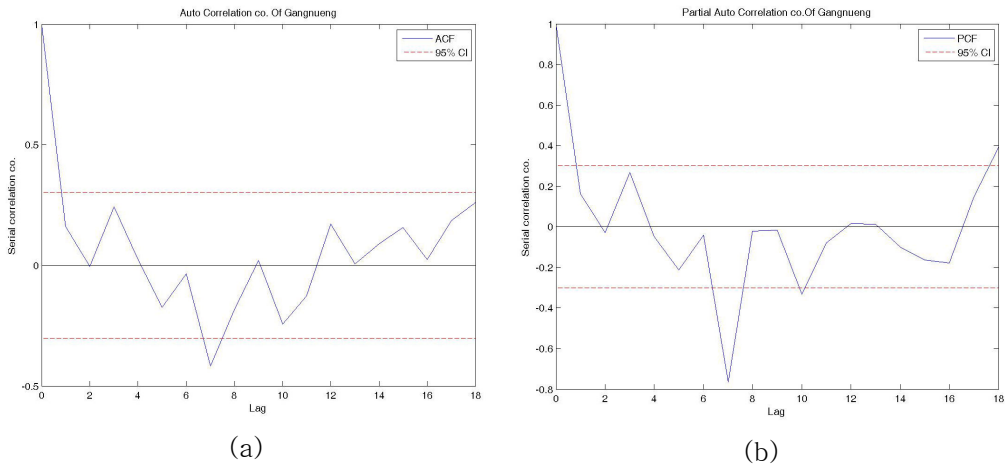


그림 2. ACF의 상관도 및 PACF의 상관도

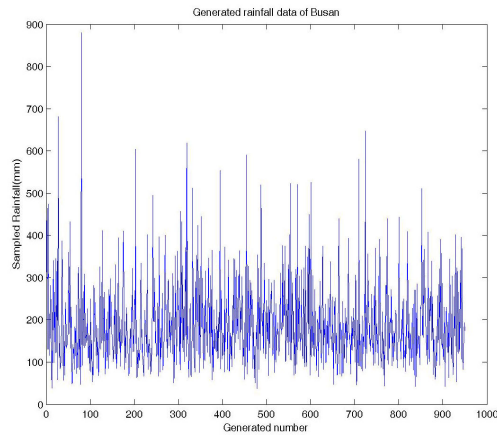


그림 3. 강릉지점의 합성강우량

4. 매개변수 추정

본 연구에서 적합도 검정을 통해 강릉 강우자료에 적합성이 검증된 Gumbel 분포모형과 GEV 분포모형의 매개변수를 산정하기 위하여 최우도방법(MLE), 확률가중모멘트법(PWM), 베이지안 추론방법(BAYS)을 사용하였다. 최우도 방법은 수학적으로 실무적으로 범용되는 매개변수 추정방법이며 확률가중 모멘트법은 자료의 수가 적을 경우도 비교적 정확한 결과를 추론해 주는 방법이다(이재수 2006). 베이지안 추론 방법은 추론의 불확실성을 정량화 해주며 신뢰도가 높은 추정 결과를 산출한다(Stuart et al., 2003). 각 분포형별, 매개변수 추정방법별 추정치는 표 1에 나타내었다.

표 1. 매개변수 최우추정치

Model	MLE		PWM		BAYS	
Gumbel	α	64.5633	α	77.8066	α	65.3288
	χ_0	141.7593	χ_0	139.9062	χ_0	141.4480
GEV	α	50.2530	α	54.3528	α	45.3290
	χ_0	129.7651	χ_0	131.3514	χ_0	129.5794
	β	0.3764	β	-0.2950	β	0.3303

5. 신뢰구간 추정

전술한 합성강우량의 발생과 발생된 합성강우자료를 Bootstrap 방법을 이용하여 발생시킨 자료 행렬을 각 분포형별 매개변수 추정방법별로 매개변수를 추정한 후 빈도해석을 수행하여 강우-빈도 곡선을 산정하였다. 강우-빈도 곡선은 각 재현기간 별로 정규분포화된 것을 확인할 수 있으며, 발생된 강우-빈도 곡선의 5% 유의 수준에서 신뢰구간의 상·하단의 한계값을 산출 하여, 그림 4와 같이 강우-빈도 곡선의 신뢰구간과 원자료로부터 추정된 강우-빈도 곡선을 도시하였다. 그림 4(a)는 최우도법을 이용하여 산정한 강우-빈도 곡선, 그림 4(b)는 확률가중모멘트법을 이용하여 산정한 강우-빈도 곡선 그리고 그림 4(c)는 베이지안 추정법을 이용하여 산정한 강우-빈도 곡선이다. 표 2는 신뢰구간의 크기를 빈도별 신뢰구간 길이로 정량화한 결과이다.

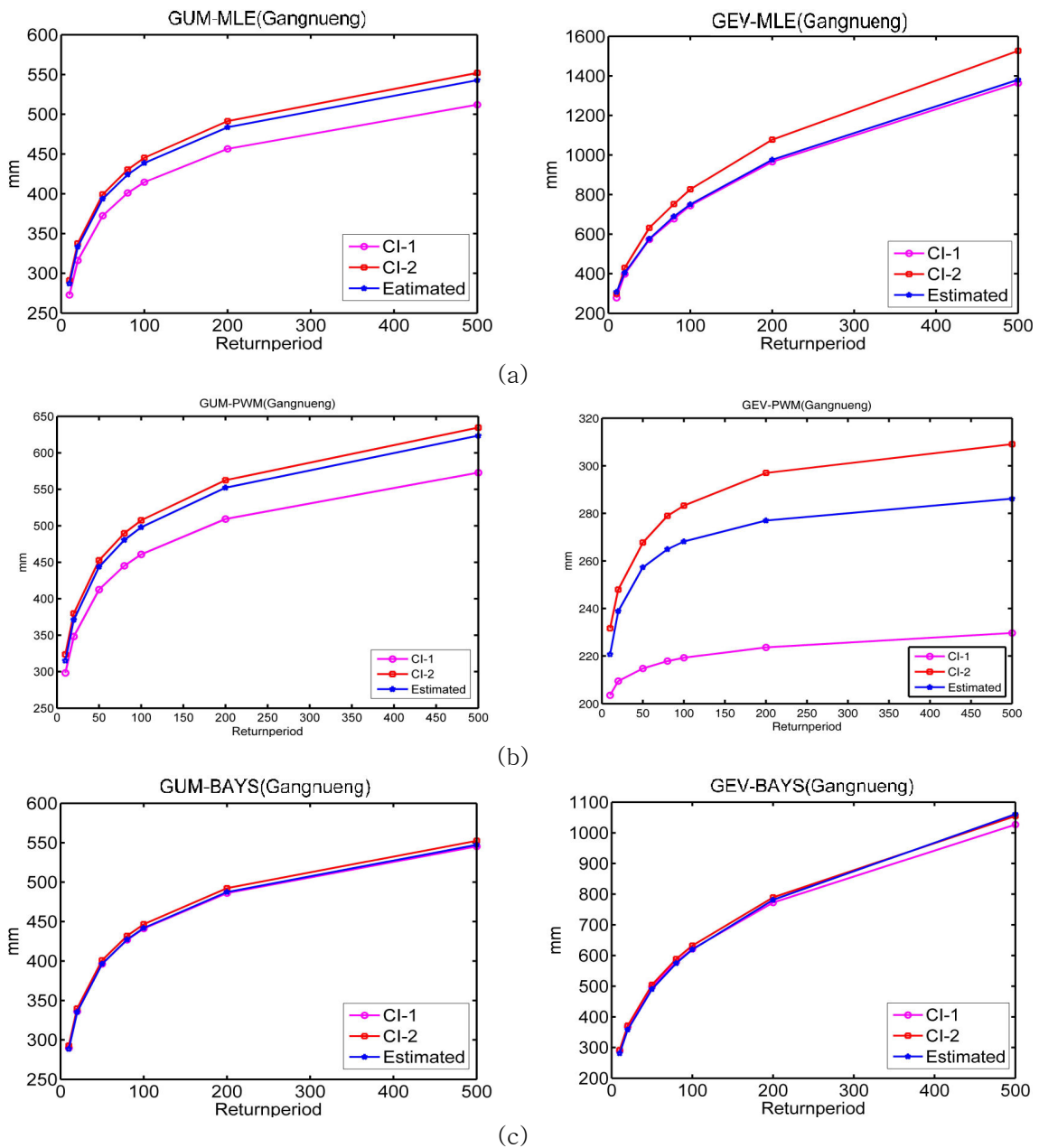


그림 4. 강우-빈도 곡선

표 2. 신뢰구간 길이

Return period(yr)	Gumbel MLE	Gumbel PWM	Gumbel BAYS	GEV MLE	GEV PWM	GEV BAYS
10	10.23	25.35	2.90	20.04	38.15	1.84
20	20.13	31.51	3.68	32.18	38.45	2.45
50	35.41	40.13	4.70	41.35	52.94	3.61
80	39.73	44.59	5.21	62.47	61.07	4.71
100	40.85	46.64	5.45	79.66	64.94	5.18
200	45.30	53.11	6.23	92.14	77.31	5.62
500	47.75	61.73	7.24	157.01	95.36	10.71

3. 결론

본 연구 결과, 신뢰구간길이에 근거하여 어떠한 매개변수 추정방법이 낮은 불확실성을 가지며 추정치를 산정하는가를 강우-빈도곡선의 신뢰성분석을 통해 알 수 있다. 동일한 분포형일 경우 베이지안 추정방법이 가장 낮은 불확실성을 가지며 다음으로 최우도법이 그리고 마지막으로 확률가중모멘트법 순으로 높은 불확실성을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 또한 동일 추정방법일 경우 Gumbel 분포가 GEV 분포 보다 낮은 불확실성을 가지는 것을 알 수 있다.

감사의글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. 이재수(2006), 수문학, 구미서관.
2. 정종호, 윤용남 (2008), 수자원 설계실무, 구미서관.
3. Chbab, E.H, Van Noortwijk, J.M, Kalk, H.J. (2002), Bayesian estimation of extreme river discharge, in *Proceedings of International Conference on Flood Estimation*, pp.285-294, Berne, Switzerland.
4. Salas J.D., Delleur J.W., Yevjevich, V., Lane, W.L. (1981), *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, Water resources publications.
5. Stuart C., Luis R.P., Scott S. (2003), A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling, *Journal of hydrology*, 273 (1), p.35-50