韓國水資源學會論文集
第46卷 第5號·2013年 5月
pp. 439～447

J. KOREA WATER RESOURCES ASSOCIATION
Vol. 46, No. 5:439-447, May 2013
http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2013.46.5.439
pISSN 1226-6280 • eISSN 2287-6138

포아송 클러스터 강우생성 모형의 홍수 모의 적용성 평가

The Application of the Poisson Cluster Rainfall Generation Model to the Flood Analysis

김 동 균* / 신 지 예** / 이 승 오*** / 김 태 웅****
Kim, Dongkyun / Shin, Ji Yae / Lee, Seung-Oh / Kim, Tae-Woong

Abstract

The applicability of the parameter map of the Modified Bartlett-Lewis Rectangular Pulse (MBLRP) model for the Korean Peninsula was assessed from the perspective of flood prediction. The design rainfalls estimated from the MBLRP model were smaller than those from observed values by 5% to 40%, and the degree of underestimation of design rainfall increases with the increase of the recurrence interval of the design rainfall. The design floods at a virtual watershed estimated using the simulated rainfall time series based on MBLRP model were also smaller than those derived from the observed rainfall time series by 20% to 45%. The degree of underestimation of design flood increases with the increase of the recurrence interval of the design flood.

Keywords : Poisson cluster, parameter map, design rainfall, design flood

요 지

본 연구는 우리나라 전역에 대하여 제작된 Modified Bartlett-Lewis Rectangular Pulse (MBLRP) 강우생성 모형의 모수지도의 적용성을 홍수 재현의 관점에서 평가하였다. MBLRP 모형을 통해 생성된 가상 강우시계열을 사용하여 산정된 확률강우량은 관측치를 사용하여 산정된 확률강우량 보다 약 5%에서 40% 정도 작았고, 확률강우량의 재현기간이 클수록 과소산정의 정도가 크게 나타났다. 가상의 도시 유역에 MBLRP 모형을 적용하여 산정한 확률홍수량은 관측치를 사용하여 산정한 확률홍수량 보다 약 20%에서 45% 정도 작게 나타났고, 확률홍수량의 재현기간이 클수록, 그리고 유역의 불투수성이 작을수록 과소산정의 정도가 크게 나타났다.

핵심용어 : 포아송 클러스터, 모수지도, 확률강우량, 확률홍수량

1. 서 론

강우자료는 수문현상과 관련된 다양한 모의 연구에 있어 필수적인 입력자료이지만, 다양한 이유로 인하여 원하는 시간과 공간에 대하여 확보할 수 없는 경우가 많다. 포아송 클러스터 강우생성 모형(Poisson Cluster Rainfall

* 홍익대학교 건설도시공학부 조교수 (e-mail: kim.dongkyun@hongik.ac.kr)
Assistant Professor, Department of Civil and Urban Engineering, Hongik University, Seoul 121-791, Korea
** 한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정 (e-mail: starzee@hanyang.ac.kr)
Graduate Research Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
*** 홍익대학교 건설도시공학부 조교수 (e-mail: seungoh.lee@hongik.ac.kr)
Assistant Professor, Department of Civil and Urban Engineering, Hongik University, Seoul 121-791, Korea
**** 교신저자, 한양대학교 공학대학 건설환경플랜트공학과 부교수 (e-mail: twkim72@hanyang.ac.kr, Tel: 031-400-5184)
Corresponding Author, Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Ansan 426-791, Korea

Generation Model)은 가상의 강우자료를 생성하여 제공함으로써 이러한 문제를 해결해 준다(Rodriguez-Iturbe et al., 1988). 포아송 클러스터 강우생성 모형은 기존의 자기 상관성에 기반을 둔 모형과 비교하였을 때, (1) 넓은 시간대(1시간-1개월)에 대하여 관측강우의 통계치를 재현할 수 있으며, (2) 세밀한 시간 해상도(1시간 단위)를 가진 강우시계열의 생성이 가능하고, (3) 극한값들을 잘 재현한다는 강점을 가지고 있다(Burton et al., 2008). 이러한 모형의 장점으로 인하여, 포아송 클러스터 강우생성 모형은 도시지역에서의 홍수(Moretti and Montanari, 2004; Brath et al., 2006, Dawson et al., 2006), 농약의 확산(Nolan et al., 2008), 산사태(Bathurst et al., 2005), 사막화(Bathurst and Bovolo, 2004), 수자원 평가(Fowler et al., 2005), 홍수위험도 평가(Kilsby et al., 2000) 등에서 몬테카를로 모의를 통해 수문 현상과 관련된 변수들의 불확실성을 분석하는 다양한 분야의 연구에 응용되어 왔다.

한편, 국내에서 포아송 클러스터 강우생성 모형과 관련하여 진행된 연구는, 앞서 언급된 포아송 클러스터의 폭넓은 적용성에 비하여 미미한 실정이다. 그 가장 큰 이유로는 모형의 모수 산정과정이 경험적 최적화 알고리즘(Heuristic Optimization Algorithm)을 필요로 하여 그 적용이 쉽지 않다는 한계점이 있기 때문이다. 이와 관련하여, Kim et al. (2012)은 이러한 한계점을 극복할 수 있도록 우리나라 전역에 대한 포아송 클러스터 강우생성 모형의 모수지도를 작성하였다. 모수지도는 국내 59개의 관측지점에 대해 Isolated Species Particle Swarm Optimization 알고리즘(Cho et al., 2011)을 사용하여 모형의 모수를 산정한 후, Ordinary Kriging 방법을 이용하여 모수들을 공간적으로 보간하여 작성되었다. 모수지도로 부터 추정된 모수값들을 사용하여 생성된 가상 강우시계열은 관측 강우시계열의 통계값을 비교적 정확히 재현한다는 것이 같은 연구에서 증명되었다. 본 연구에서는 Kim et al. (2012)이 작성한 모수지도를 홍수 및 유출량 모의에 대한 적용성을 평가하고자 한다.

2. Modified Bartlett-Lewis Rectangular Pulse 모형

본 연구는 포아송 클러스터 강우생성 모형 중, Rodriguez-Iturbe et al. (1988)에서 제안된 Modified Bartlett-Lewis Rectangular Pulse (MBLRP) 모형을 적용하였다. Fig. 1은 MBLRP 모형의 개념도를 보여준다.

MBLRP 모형에서, X1[T]-[ ]안의 글자는 차원의 종류를 나타냄. L: 길이, T: 시간-은 호우(Fig. 1에서의 흰색 원)의 도착을 나타내는 무작위 변수로써, 모수 λ[1/T]를 가지는 포아송 과정(Poisson process)에 의해 지배 받는다. X2[T]는 호우의 활동기간(호우가 포함하는 강우세포-rain cell, Fig. 1의 붉은색 원-가 도래할 수 있는 기간)을 나타내는 무작위 변수이며, 이는 모수 γ[1/T]를 가진 지수분포(Exponential distribution)를 가진다. X3[T]는 호

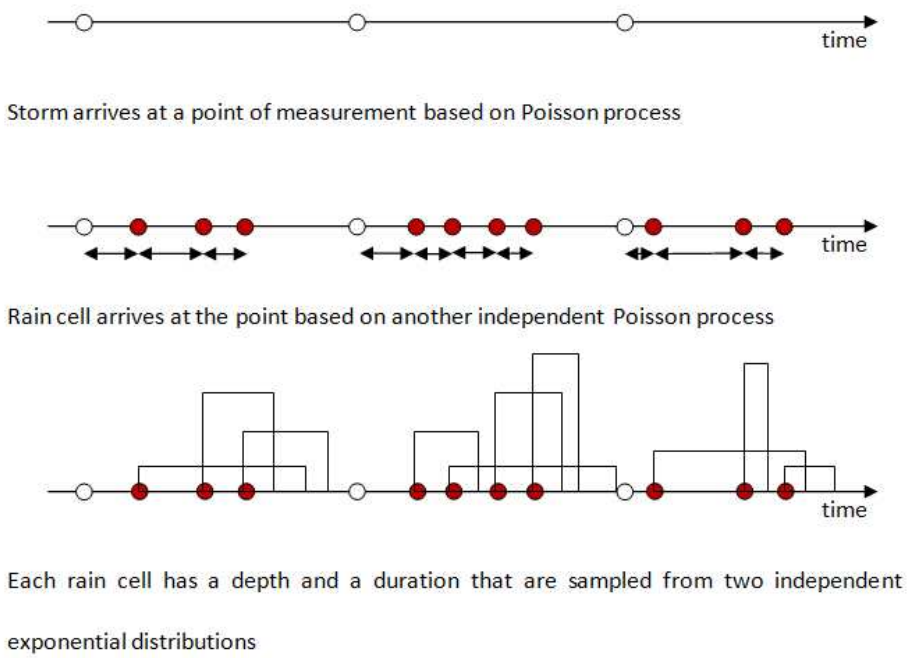

Fig. 1. The Concept of Poisson Cluster Rainfall Generation Model

우에 포함된 강우세포가 도착하는 시간을 나타내는 무작위 변수로써 모수 β[1/T]를 가진 포아송 과정에 의해 지배 받는다. X4[T]는 강우세포의 지속기간을 나타내는 무작위 변수로써 모수 η[1/T]를 가진 지수분포를 가진다. 여기에서 η[1/T]는 모수 ν[T]와 a[무차원]를 가진 감마분포(Gamma distribution)를 가진다. 마지막으로 X5[L/T]는 강우세포의 강도를 나타내는 무작위 변수이며 모수 $1/\mu$[T/L]를 가진 지수분포를 가진다. 아울러, 모수 γ와 β를 η로 나눈 무차원 변수 $\phi(=\gamma/\eta)$와 $K(=\beta/\eta)$를 편의상 통상적으로 사용한다.

이러한 모형의 가정에 따라 MBLRP 모형은 6개의 모수(λ, ν, α, μ, ϕ, K)를 가지며, 이는 생성된 가상 강우자료의 통계값이 관측치의 통계값을 재현할 수 있도록 교정된다. Rodriguez-Iturbe et al. (1988)은 가상 강우자료의 통계값을 모수의 항으로 해석적으로 유도하였으며, 이는 다음과 같다.

$$E[Y_t^{(T)}] = \lambda\mu\mu_c \frac{v}{\alpha-1} T \tag{1}$$

$$\begin{aligned} Var[Y_t^{(T)}] = & \frac{2v^{2-\alpha}T}{\alpha-2}(k_1 - \frac{k_2}{\phi}) - \frac{2v^{3-\alpha}}{(\alpha-2)(\alpha-3)}(k_1 - \frac{k_2}{\phi^2}) \\ & + \frac{2}{(\alpha-2)(\alpha-3)}[k_1(T+v)^{3-\alpha} - \frac{k_2}{\phi^2}(\phi T+v)^{3-\alpha}] \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} COV[Y_t^{(T)}, Y_{t+s}^{(T)}] = & \frac{k_1}{(\alpha-2)(\alpha-3)}[T(s-1)+v]^{3-\alpha} \\ & + [T(s+1)+v]^{3-\alpha} - 2(Ts+v)^{3-\alpha} \\ & + \frac{k_2}{\phi^2(\alpha-2)(\alpha-3)} 2(\phi Ts+v)^{3-\alpha} - [\phi T(s-1)+v]^{3-\alpha} \\ & + [\phi T(s+1)+v]^{3-\alpha} \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} & P(Y_t^{(T)}=0) = \\ & \exp\left\{ -\lambda T - \frac{\lambda\nu}{\phi(\alpha-1)}\left(1+\phi(K+\phi) - \frac{1}{4}\phi(K+\phi)(K+4\phi) + \frac{\phi(K+\phi)(4K^2+27K\phi+72\phi^2)}{72}\right) \right. \\ & + \frac{\lambda\nu}{(\alpha-1)(K+4\phi)}\left(1-K-\phi+\frac{3}{2}K\phi+\phi^2+\frac{K^2}{2}\right) \\ & \left. + \frac{\lambda\nu}{(\alpha-1)(K+\phi)}\left(\frac{\nu}{\nu+(K+\phi)T}\right)^{\alpha-1}\frac{K}{\phi}\left(1-K-\phi+\frac{3}{2}K\phi + \phi^2+\frac{K^2}{3}\right) \right\} \end{aligned} \tag{4}$$

여기서,

$$k_1 = (2\lambda\mu_c\mu^2 + \frac{\lambda\mu_c K\phi\mu^2}{\phi^2-1})(\frac{\nu^\alpha}{\alpha-1}) \tag{5}$$

$$k_2 = (\frac{\lambda\mu_c K\phi\mu^2}{\phi^2-1})(\frac{\nu^\alpha}{\alpha-1}) \tag{6}$$

$$\mu_c = 1 + \frac{K}{\phi} \tag{7}$$

여기서, s는 지연시간(lag time), $Y_t^{(T)}$는 누적기간 T를 가진 강우시계열의 시간 t에서의 강우 깊이를 나타낸다.

이렇게 유도된 가상 강우시계열의 통계식은 모형의 모수를 산정하는데 사용된다. 추계학적인 관점에서 보았을 때, 가상 강우시계열과 관측 강우시계열의 유사성은 통계값의 유사성에 의해 결정된다는 점을 고려하여, MBLRP 모형의 모수는 가상 강우시계열과 관측치의 차이를 의미하는 Eq. (8)의 값을 최소화시키는 모수의 값을 찾는 과정을 통해 이루어진다.

$$OF = \sum_{k=1}^{n} W_k \left(1 - \frac{F_k(\vec{\theta})}{f_k}\right)^2 \tag{8}$$

여기서, F_k는 가상 강우시계열의 통계값을 나타내는 식(Eqs. (1)~(4))이며, f_k는 관측 통계값을 나타내는 상수항이다. k는 강우 통계값의 종류인 평균, 분산, 자기상관계수, 무강우 확률을 나타내는 지수이며, n은 모수의 교정에 사용되는 통계값의 갯수이다. $\vec{\theta}$는 모수의 벡터(λ, ν, α, μ, ϕ, K)를 나타낸다.

Eq. (8)에서 F_k로 표현된 Eqs. (1)~(4)가 강한 비선형의 형태를 가지고, 통계값의 종류가 다양한 시간해상도와 통계값에 대해 존재하여 n이 모수의 갯수인 6 보다 크므로, OF의 값을 0으로 만들어주는 이상적인 모수의 값을 해석적으로 찾는 것은 불가능하며, 경험적 최적화 알고리즘(Heuristic Optimization Algorithm)에 기반을 둔 방법을 사용하여 모수의 값을 산정한다. Kim et al. (2012)은 Isolated Species Particle Swarm Optimization 기법(Cho et al., 2011)을 채택하였다.

3. 모수지도

앞서 언급되었듯이, 포아송 클러스터 모형은 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 경험적 최적화 알고리즘의 사용이 필수적이어서 모수 산정과정이 복잡하여 그 사용이 제한되어 왔다. 이러한 단점을 극복하는 방안으로 모수의 지도를 작성하는 방법을 생각해 볼 수 있다. Fig. 2는 Kim et al. (2012)이 작성한 우리나라 전역에 대한 MBLRP 모형의 6개 모수의 지도이다. 이 모수지도는 20년 이상의 관측자료를 확보하고 있는 국내 59개의 ASOS (Automatic

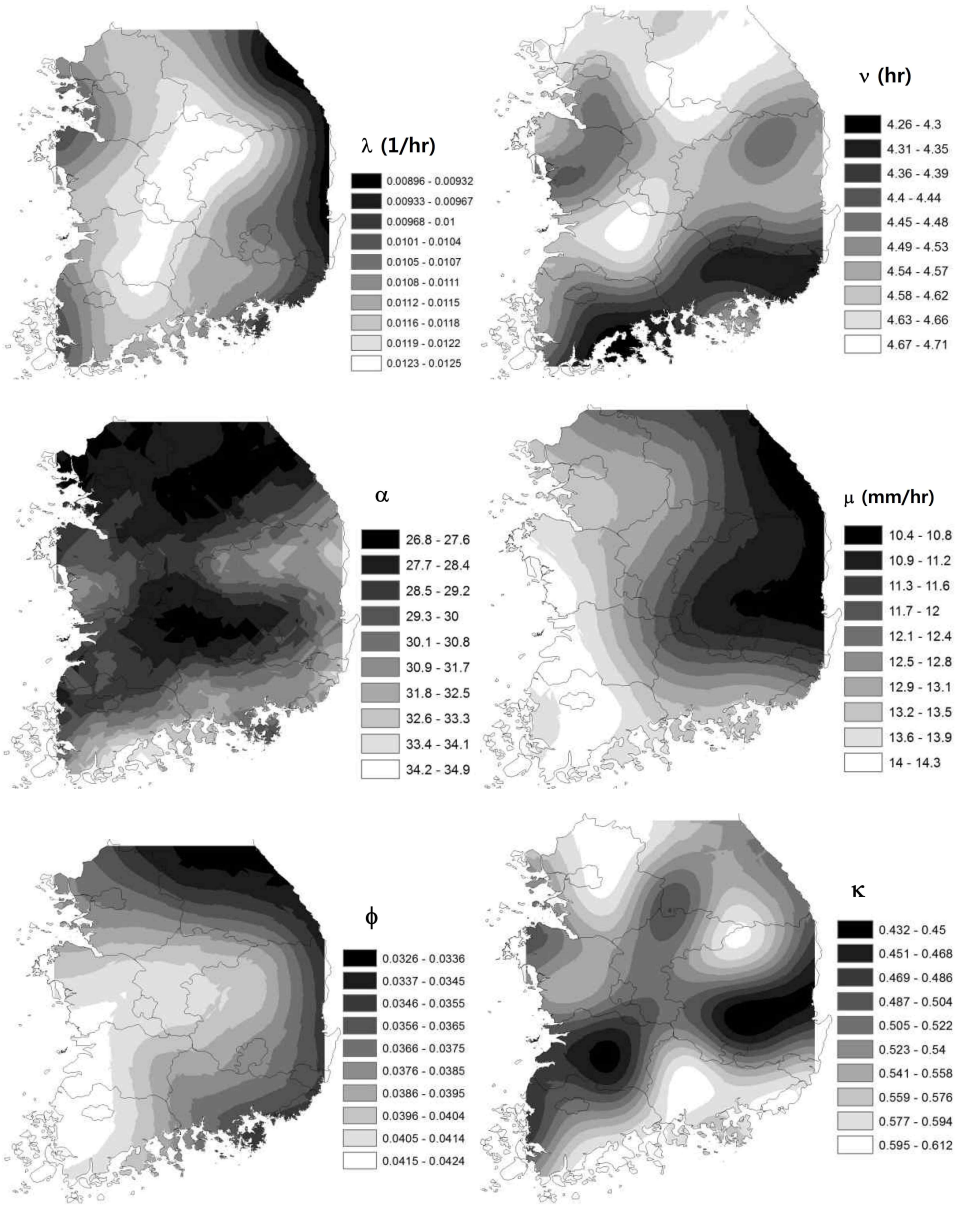

Fig. 2. Six Parameter Maps of MBLRP Model (Kim et al., 2012)

Synoptic Observation System) 관측지점(Korea Meteorological Administration, 2012)에서 추출한 1시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간 강우 통계값에 기반하여 모수를 산정하고, 각 모수를 공간적으로 보간하여 완성되었다. 지도가 완성되면 지도 위의 모든 지점에 대하여 모수의 값이 존재하므로 관측치의 존재유무를 떠나 임의의 지점에 대해 가상의 강우시계열 생성이 가능하다. 본 연구는 Fig. 2로부터 얻은 모수의 값을 MBLRP 모형에 적용하여 생성된 가상의 강우시계열이 홍수 및 유출량을 정확히 예측할 수 있는지의 여부와 한계성을 검토하고자 한다.

4. 적용성 검증 방법

본 연구는 우리나라에 가장 많은 홍수를 일으키는 7월에 대하여 MBLRP 모형의 모수지도를 검증하고자 한다. 검증 방법은 다음과 같은 단계를 통해 이루어졌다.

4.1 강우 관측 지점에 대한 교차검증 모수 값의 산정

모수지도는 국내 59개의 지점(Fig. 3)에서 관측된 강우자료의 통계값에 근거하여 산정된 모수를 공간적으로 보간하여 작성되었다. 본 연구에서는 모수지도의 작성에 사용된 강우 관측 지점 59개 모두에 대하여 MBLRP 모형의

홍수 모의 적용성을 평가하였다. 본 연구가 목표로 하는 바는 관측 강우자료가 없는 지점에 대해서 모수지도로부터 얻은 모수가 홍수 및 유출량 모의에 적용될 수 있는지를 평가하는 것이므로, 각 강우 관측 지점에서 산정된 모수를 직접 MBLRP 모형에 적용하는 방안 대신, 검증 대상 지점에 모수가 존재하지 않는다는 가정 하에 지점의 주변에서 산정된 모수들에 기반하여 Ordinary Kriging 기법을 통해 얻어진 모수의 값을 MBLRP 모형에 적용하였다. 이러한 과정을 교차검증(Cross-validation)이라고 한다. 본 연구에서는 이렇게 얻어진 모수들을 편의상 교차검증 모수(CV 모수)라 칭한다.

4.2 가상 강우시계열의 생성

산정된 CV 모수를 MBLRP 모형에 적용하여 7월 한 달에 대하여 100개월 길이의 강우자료를 생성하였다. 원칙적으로는 1년의 모든 달에 대하여 모의하고 그 결과를 종합하여야 하지만, 우리나라의 강우가 6월 하순에서 8월 말에 집중되고, 7월의 평균강수량이 1년 중 가장 높다는 점, 8월의 집중호우 및 홍수는 태풍에 의한 것이 많다는 점 등에 근거하여 7월만을 모의 대상으로 채택하였다.

4.3 확률강우량 산정

모의된 강우시계열과 관측 강우시계열에 대하여 1시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간의 지속기간 별로 200년, 100년, 50년, 30년, 10년 빈도의 확률강우량을 산정하였다. 극한강우량은 지속기간에 상관없이 3변수 Generalized Logistic 분포를 따른다고 가정하였으며, 분포의 모수는 L-모멘트를 이용하여 산정하였다. 원칙적으로는 각 지점 및 지속기간 별로 적합도 검정(Goodness-of-fit test)을 통해 각각의 분포를 결정하여야 하지만, 검증 대상 지역의 관측 강우시계열의 길이가 40년 내외이고, 모의 강우시계열의 길이도 100개월로 충분히 길다는 점을 고려하여 분포에 따른 확률강우량의 차이는 크지 않다고 가정하였다.

Fig. 3. Rainfall Gauging Stations Used for Verifying the MBLRP Model

4.4 유출량 및 홍수량 산정

19.4 km^2의 면적과 2.5 시간의 집중시간을 가진 가상의 유역에 대해 SCS 유출곡선법과 SCS 단위유량도 기법을 사용하여 유출량 및 유역 출구에서의 유량을 산정하였다. 유역은 50, 60, 70, 80, 90의 유출곡선계수(Curve number)를 가진다고 가정하였다. 가상 유역의 면적과 집중시간은 서울의 도시유역인 홍제천 유역의 값들과 비슷한 값으로써, 유역 면적에 비해 집중시간이 짧은 우리나라 도시 유역의 특성을 잘 반영한다. 가상의 유역에서 산정한 홍수량을 바탕으로 확률홍수량을 산정하였다. 연최대홍수량은 GEV 분포를 따른다고 가정하였고, 분포의 모수는 L-모멘트를 이용하여 산정하였다.

4.5 관측치와의 비교

59개의 ASOS 관측지점에서 관측된 강우자료에 대해 4.3절과 4.4절에서 사용한 방법을 적용하여 확률강우량 및 확률홍수량을 산정하였다. 관측 강우자료를 적용하여 산출된 이 값들은 4.3절과 4.4절에서 가상 강우자료를 적용하여 산출된 확률강우량 및 확률홍수량 값과 비교되었다.

5. 결과 및 토의

5.1 확률강우량

Fig. 4는 59개의 관측 지점에 대하여 관측 강우자료와 MBLRP 모형을 통해 생성된 가상 강우자료의 확률강우량을 비교한 그래프이다. 확률강우량의 다양한 재현기간(200년, 100년, 50년, 30년, 10년)과 지속기간(1, 3, 6, 12, 24시간)에 대하여 각각 그래프가 작성되었다. 각 그래프의 가로축은 관측 강우자료를 이용하여 산정된 확률강우량을 나타내고, 세로축은 MBLRP 모형을 통해 생성된 가상 강우자료를 이용하여 산정된 확률강우량을 나타낸다.

일반적으로, 가상 강우자료를 기반으로 산정된 확률강우량은 관측치에 기반을 두고 산정된 값보다 작았다. 이

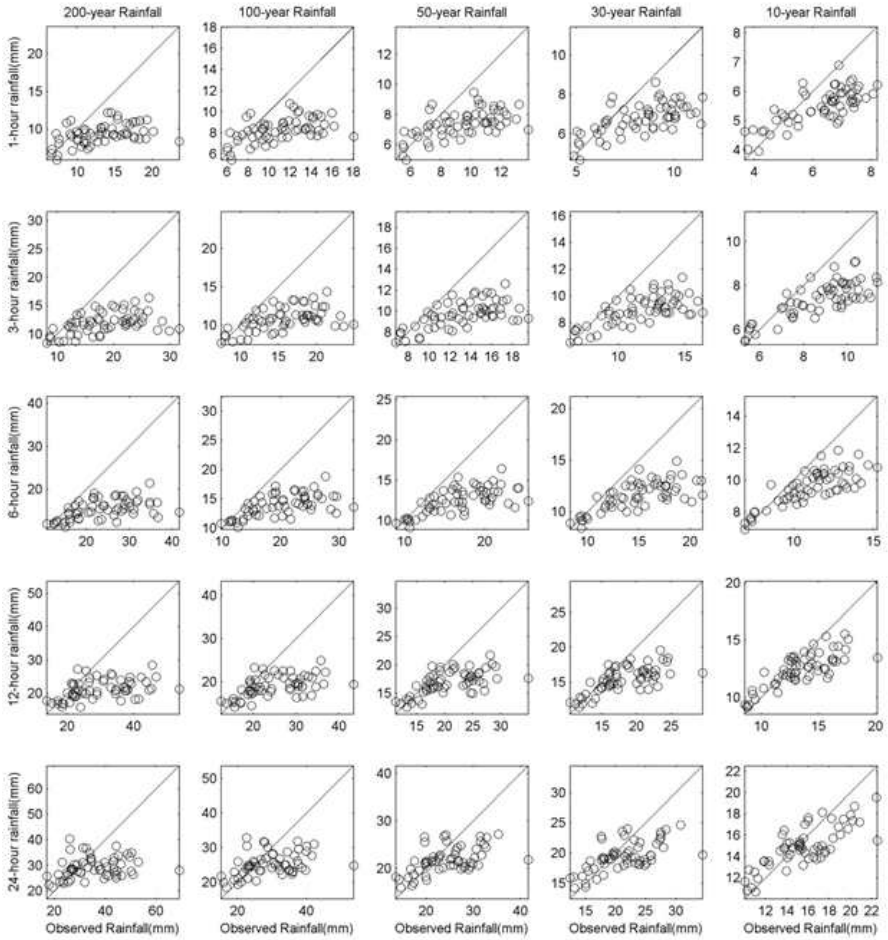

Fig. 4. Comparisons of Design Rainfalls Estimated from Synthetic Rainfalls (in vertical axis) with those from Observed Rainfalls (in horizontal axis)

는 MBLRP 모형을 사용하는 경우의 확률강우량이 관측치의 확률강우량 보다 작다는 것을 나타낸다. 과소산정되는 확률강우량을 정량화하기 위하여, 각 그래프에 대하여 원점을 지나는 추세선의 기울기를 회귀분석을 통해 산정하였다. 이 값의 1에 대한 보수는 MBLRP 모형을 사용하여 확률강우량을 산정하는 경우의 과소산정 정도를 나타내며, 이것을 각 재현기간과 지속기간에 대하여 그래프로 나타내었다(Fig. 5). 그래프의 가로축은 확률강우량의 재현기간을 나타내며, 그래프의 세로축은 과소산정의 정도를 나타낸다. 재현기간이 클수록 가상 강우량을 사용하여 산정한 확률강우량의 과소산정의 정도가 컸다. 이는 확률강우량의 산정에 중요한 요소로 작용하는 극한강우 분포의 왜도를 MBLRP 모형의 모수 산정과정에 고려할 수 없어, 가상 강우시계열의 극한강우 분포의 우측꼬리(Upper tail) 영역이 관측 강우시계열과 다르게 나타난다는 점, 그리고, 단 6개의 모수로 복잡한 강우의 과정을 모의하는 MBLRP 모형의 한계성에 기인한다. 한편, 이러한 MBLRP 모형의 단순성에도 불구하고 재현기간 10년 내외의 강우가 어느 정도의 정확성을 가지고 모의된다는 점은 고무적이다. 한편, 지속기간에 대한 확률강우량의 과소산정의 정도에 대한 유형은 나타나지 않았다. 확률강우량 과소산정의 정도는 최소 5%에서 최대 40%까지의 범위를 가졌다.

이 결과는 7월 한 달만의 모의 결과에 따라 산출된 것이므로, 이를 일반적인 결과로 받아들일 수는 없을 것이다. 이러한 한계는 설계 빈도 이상의 강우가 자주 발생하는 6, 8, 9월에 대한 모의 결과를 추가함으로써 극복될 수 있을 것이다.

5.2 확률홍수량

Fig. 6은 59개의 관측 지점에 대하여 관측 강우자료와 MBLRP 모형을 통해 생성된 가상 강우자료에 기반하여 계산된 확률홍수량을 비교한 그래프이다. 확률강우량의

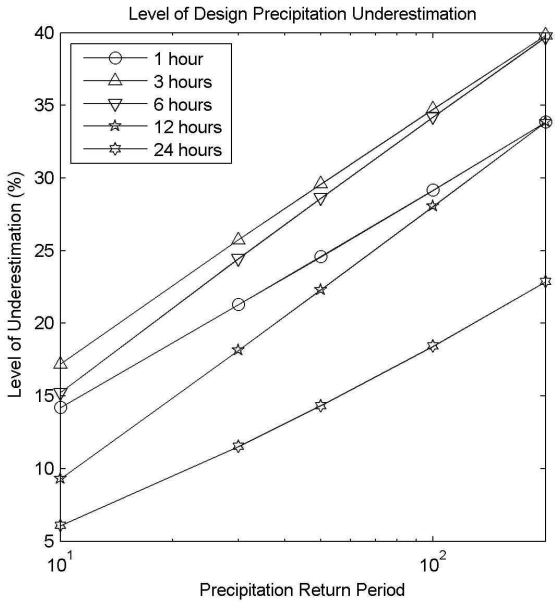

Fig. 5. The Level of Underestimation of Design Rainfall Estimated from Synthetic Rainfalls

다양한 재현기간(200년, 100년, 50년, 30년, 10년)과 유출곡선계수(50, 60, 70, 80, 90)에 대하여 각각 그래프가 작성되었다. 각 그래프의 가로축은 관측 강우자료를 근거로 하여 산정한 확률홍수량을 나타내고, 세로축은 MBLRP 모형을 통해 생성된 가상 강우자료에 기반하여 산정한 확률홍수량을 나타낸다.

확률강우량의 경우와 마찬가지로 가상 강우자료를 기반으로 산정된 확률홍수량은 관측치에 기반을 두고 산정된 값보다 작았다. 이는 MBLRP 모형을 사용하여 홍수를 모의할 경우 그 값이 관측치를 사용하였을 때 보다 작다는 것을 나타낸다. 과소산정되는 확률홍수량을 정량화하기 위하여, 각 그래프에 대하여 원점을 지나는 추세선의 기울기를 회귀분석을 통해 산정하였다. 이 값의 1에 대한 보수는 MBLRP 모형을 사용하여 확률홍수량을 산정하는 경우의 과소산정 정도를 나타내며, 이것을 각 재현기간과 유출곡선계수에 대하여 그래프로 나타내었다(Fig. 7). 그래프의 가로축은 확률홍수량의 재현기간을 나타내며, 그

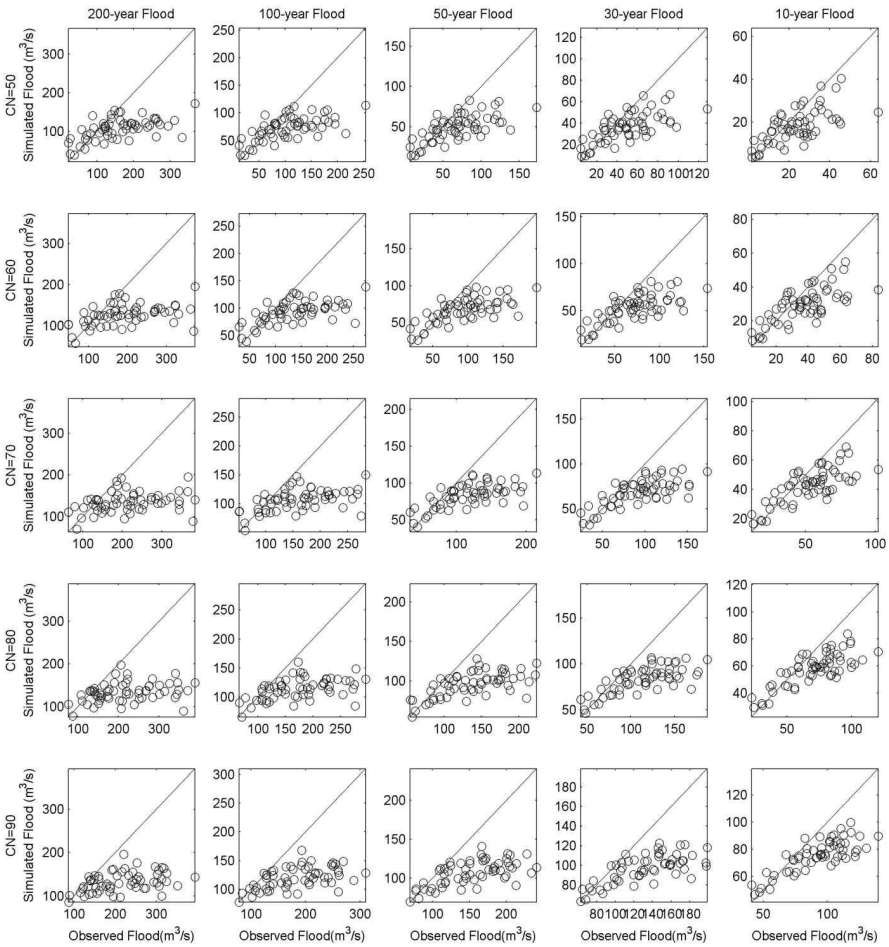

Fig. 6. Comparisons of Design Floods Estimated from Synthetic Rainfalls (in vertical axis) with those from Observed Rainfalls (in horizontal axis)

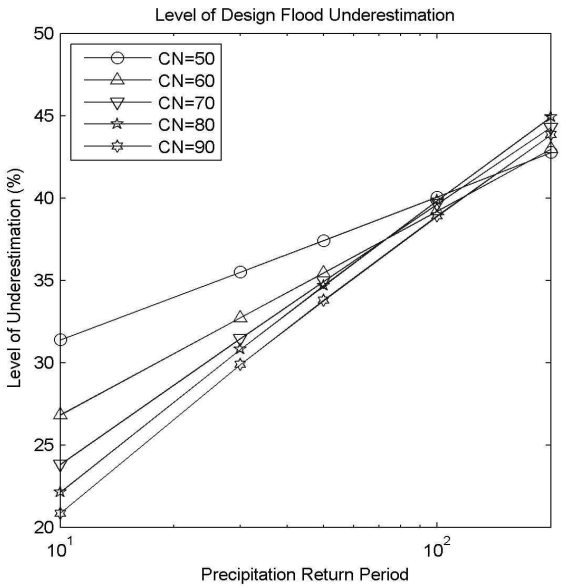

Fig. 7. The Level of Underestimation of Design Flood Estimated from Synthetic Rainfalls

래프의 세로축은 과소산정의 정도를 나타낸다. 홍수의 재현기간이 클수록 가상 강우량을 사용하여 산정한 확률홍수량의 과소산정의 정도가 컸다. 또한 유출곡선계수가 작을수록 확률홍수량의 과소산정 정도가 컸다. 확률홍수량 과소산정의 정도는 최소 20%에서 최대 45%까지의 범위를 가졌다.

확률강우량의 결과와 마찬가지로, 이 결과는 7월 한 달만의 모의 결과에 따라 산출된 것이므로, 이를 일반적인 결과로 받아들일 수는 없을 것이다. 이러한 한계는 설계빈도 이상의 홍수가 자주 발생하는 6, 8, 9월에 대한 모의 결과를 추가함으로써 극복될 수 있을 것이다.

5.3 결과 해석

본 연구의 결과가 기존의 연구와 비교하여 가지는 차별성은 MBLRP 모형의 극한 강우 및 홍수모의에 대한 적용성을 다양한 상황(다양한 곡선계수, 다양한 강우 지속기간)에 대하여 해석하여 정량적인 결과를 얻었다는 점이다. 특히 눈에 띄는 점은, 설계 강우량과 설계 홍수량의 과소 산정 정도가 설계빈도에 따라 크게는 40%를 상회한다는 점이다. 이러한 문제점은 극도로 복잡한 물리적 과정의 결과물인 강우시계열을 단 5~6개의 모수로 모의하는 포아송 클러스터 모형의 근본적 한계에 기인하는 것으로 해석하는 것이 바람직하다. 본 연구와 관련한 선행 연구들 또한 포아송 클러스터 모형의 이러한 한계성을 지적하고 있다. 예를 들어, Cowpertwait et al. (1996)은 포아송 클러스터 모형을 적용하여 저류시설의 크기를 산정하는 경우 관측된 강우에 근거한 경우보다 약 10%에서 15% 정도 과소 산정됨을 지적하고 있으며, 이는 본 연구가 지적하고 있는 설계 강우량과 설계 홍수량의 과소산정 정도와 유사한 수준이다. 따라서 관측 강우의 부재로 인하여 MBLRP 모형을 비롯한 포아송 클러스터 강우모형을 설계 강우량 혹은 설계 홍수량의 산정에 사용하는 경우, 설계빈도에 따라 상당한 수준의 과소산정이 초래될 수 있음을 반드시 고려해야 할 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 우리나라 전역에 대하여 제작된 MBLRP 모형의 모수지도를 사용하여 생성한 가상의 강우시계열의 홍수 모의 적용성에 대하여 살펴보았다. 가상 강우시계열을 사용하여 산정된 확률강우량은 관측치를 사용하여 산정한 것 보다 약 5%에서 40% 정도 작았고, 확률강우량의 재현기간이 클수록 과소산정되는 정도가 크게 나타났다. 가상의 도시 유역에 MBLRP 모형을 적용하여 산정한 확률홍수량은 관측치를 바탕으로 산정한 것 보다 약 20%에서 45% 정도 작게 나타났다. 이러한 과소산정의 이유는, 확률강우량의 산정에 중요한 요소로 작용하는 극한강우 분포의 왜도를 MBLRP 모형의 모수 산정과정에 고려할 수 없어, 생성된 가상 강우시계열의 극한강우 분포의 우측꼬리 영역이 관측 강우시계열과 다르게 나타난다는 점, 그리고 단 6개의 모수로 복잡한 강우의 과정을 모의하는 MBLRP 모형의 한계성 때문이다. 그럼에도 불구하고, 10년 내외의 재현기간을 가진 확률강우량의 재현시 오차가 각각 5% 내외로 크지 않다는 점은, MBLRP 모형이 10년 보다 작은 재현기간을 가진 홍수를 모의하는데 있어 유용하게 사용될 수 있음을 증명한다.

본 연구는 MBLRP 모형의 적용성을 증명하는 과정에서 그 한계성을 드러내는 결과를 얻었으나, 특정의 가상 유역에 대해 과소산정된 확률강우량과 확률홍수량의 정도를 정량적으로 보였다는 점(Figs. 5 and 7)에서 의미를 갖는다고 할 수 있겠다. 한편, 본 연구의 방법론에 기반을 두고 (1) 7월뿐만이 아닌 홍수를 주로 일으키는 6, 7, 8, 9월 모두에 대하여 모형을 검증하는 방안, (2) 다양한 종류의 유역-예를 들어 다양한 집중시간, 다양한 형상, 다양한 넓이 등-에 대해 검증하는 방안, (3) 물리 기반의 분산형 수문모형을 적용하는 방안, (4) 특정 유역을 선정하고 관측 홍수량과 비교하는 방안 등이 추가적으로 검토된다면, 좀 더 체계적이고 일반적인 결론을 얻는데 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-자연-2011-42]의 지원을 받아 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Bathurst, J.C., and Bovolo, C.I. (2004). Development of Guidelines for Sustainable Land Management in the Agri and Cobres Target Basins, Deliverable 28 of the EU Funded MEDACTION Project, p. 37. Available from: http://www.ncl.ac.uk/medaction.

Bathurst, J.C., Moretti, G., El-Hames, A., Moaven-Hashemi, A., and Burton, A. (2005). "Scenario modeling of basin-scale, shallow landslide sediment yield, Valsassina, Italian Southern Alps." *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 5, pp. 189-202.

Brath, A., Montanari, A., and Moretti, G. (2006). "Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation(with uncertainty)." *Journal of Hydrology*, Vol. 324, Issues 1-4, pp. 141-153.

Burton, A., Kilsby, C.G., Fowler, H.J., Cowpertwait, P.S.P., and O'Connell, P.E. (2008). "RainSim: a spatial-temporal stochastic rainfall modelling system." *Environmental Modelling & Software*, Vol. 23, Issue 12, pp. 1356-1369.

Cho, H., Kim, D., Olivera, F., and Guikema, S. (2011). "Enhanced speciation in particle swarm optimization for multi-modal problems." *European Journal of Operations Research*, Vol. 213, Issue 1, pp. 15-23.

Cowpertwait, P.S.P., O'Connell, P.E., Metcalfe, A.V., and Mawdsley, J.A. (1996). "Stochastic point process modelling of rainfall. II. Regionalisation and disaggregation." *Journal of Hydrology*, Vol. 175, pp. 47-65.

Dawson, R., Hall, J., Speight, L., Djordjevic, S., Savic, D., and Leandro, J. (2006). "Flood risk analysis to support integrated urban drainage." *Proceedings of the Fourth CIWEM Annual Conference on Emerging Environmental Issues and Future Challenges,* 12-14 September 2006, Newcastle upon Tyne. Aqua Enviro, pp. 10.

Fowler, H.J., Kilsby, C.G., O'Connell, P.E., and Burton, A. (2005). "A weather-type conditioned multi-site stochastic rainfall model for the generation of scenarios of climatic variability and change." *Journal of Hydrology*, Vol. 308, Issues 1-4, pp. 50-66.

Kilsby, C.G., Burton, A., Birkinshaw, S.J., Hashemi, A.M., and O'Connell, P.E. (2000). "Extreme rainfall and flood frequency distribution modelling for present and future climates." *Proceedings of the British Hydrological Society Seventh National Hydrology Symposium*, pp. 3.51-3.56.

Kim, D., Lee, S., Choi, M., and Jung, Y. (2012). "Regionalization of the modified Bartlett-Lewis Rectangular Pulse rainfall model across Korean Peninsular." *Submitted to Stochastic and Environmental Research and Risk Analysis*.

Korea Meteorological Administration (2012). "http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_cal.jsp

Moretti, G., and Montanari, A. (2004). "Estimation of the peak river flow for an ungauged mountain creek using a distributed rainfall-runoff model." In: A. Brath, A. Montanari, E. Toth (eds.), *Hydrological Risk: Recent Advances in Peak River Flow Modelling, Prediction and Real-Time Forecasting-Assessment of the Impacts of Land-Use and Climate Changes*. BIOS, Cosenza, Italy, pp. 113-128.

Nolan, B.T., Dubus, I.G., Surdyk, N., Fowler, H.J., Burton, A., Hollis, J.M., Reichenberger, S., and Jarvis, N.J. (2008). "Identification of key climatic factors regulating the transport of pesticides in leaching and to tile drains." *Pest Management Science*, Vol. 64, Issue 9, pp. 933-944.

Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D.R., and Isham, V. (1988). "A point process model for rainfall: Further developments." *Proceedings of the Royal Society of London Series A-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, Vol. 417, No. 1853, pp. 283-298.

논문번호: 12-119	접수: 2012.11.07
수정일자: 2012.12.20/2013.01.28	심사완료: 2013.01.28