

직접적인 매개변수 추정방법을 이용한 새로운 수정된 Neyman-Scott 구형펄스모형 개발 연구

A Study of New Modified Neyman-Scott Rectangular Pulse Model Development Using Direct Parameter Estimation

신 주 영* / 주 경 원** / 허 준 행***

Shin, Ju-Young / Joo, Kyoung-Won/ Heo, Jun-Haeng

Abstract

Direct parameter estimation method is verified with various models based on Neyman-Scott rectangular pulse model (NSRPM). Also, newly modified NSRPM (MNSRPM) that uses normal distribution is developed. Precipitation data observed by Korea Meteorological Administration (KMA) for 47 years is applied for parameter estimation. For model performance verification, we used statistics, wet ratio and precipitation accumulate distribution of precipitation generated. The comparison of statistics indicates that absolute relative error (ARE)s of the results from NSRPM and modified NSRPM (MNSRPM) are increasing on July, August, and September and ARE of NMNSRPM shows 10.11% that is the smallest ARE among the three models. NMNSRPM simulates the characteristics of precipitation statistics well. By comparing the wet ratio, MNSRPM shows the smallest ARE that is 16.35% and by using the graphical analysis, we found that these three models underestimate the wet ratio. The three models show about 2% of ARE of precipitation accumulate probability. Those results show that the three models simulate precipitation accumulate probability well. As the results, it is found that the parameters of NSRPM, MNSRPM and NMNSRPM are able to be estimated by the direct parameter estimation method. From the results listed above, we concluded that the direct parameter estimation is able to be applied to various models based on NSRPM. NMNSRPM shows good performance compared with developed model-NSRPM and MNSRPM and the models based on NSRPM can be developed by the direct parameter estimation method.

Keywords : NSRPM, MNSRPM, NMNSRPM, point process, rainfall model, direct parameter estimation

요 지

직접적인 매개변수 추정방법의 다양한 Neyman-Scott 구형펄스모형 (NSRPM) 기반 모형에 대한 적용성 검토와 정규 분포를 이용한 새로운 NSRPM (NMNSRPM)의 개발 연구를 수행하였다. 기상청 서울 유인관측소에서 제공하는 49년의 관측 강수량 자료를 사용하여 매개변수를 추정하였으며, 추정된 매개변수들의 정확도를 판단하고자 생성된 강수량 자료의 통계값, 유강수일 비율, 강수분포를 비교하였다. 통계값을 비교해본 결과 NSRPM과 수정 NSRPM (MNSRPM)은 7-9월의

* 연세대학교 산업기술연구소, 연구원 (e-mail: hyjyshin@gmail.com)

Researcher, Engineering Research Institute, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

** 연세대학교 일반대학원 토목환경공학과, 석사과정 (e-mail: kwjy1@yonsei.ac.kr)

Master student, School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

*** 교신저자, 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학전공 교수 (e-mail: jhheo@yonsei.ac.kr)

Corresponding Author, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

강수량자료 통계값의 절대상대오차가 커지는 것을 확인할 수 있었으며, 절대상대오차가 10.11%로 NMNSRPM이 강수량자료의 통계값을 가장 잘 모의한 것으로 나타났다. 유강수일 비율을 비교해본 결과 MNSRPM의 절대상대오차 평균이 16.35%로 가장 작은 절대상대오차 값을 보였고 그래프를 이용한 도시적인 분석법을 통하여 세 모형이 유강수일 비율을 과소추정하는 것을 확인하였다. 강수분포를 비교해본 결과 세 모형이 약 2% 내외의 절대상대오차를 보여 세 모형 모두 강수분포를 잘 모의하는 것을 확인 하였다. 직접적인 매개변수 추정방법으로 NSRPM, MNSRPM, NMNSRPM의 매개변수를 추정 할 수 있는 것을 확인 하였으며, 직접적인 매개변수 추정방법이 NSRPM 뿐만 아니라 이를 기반으로 한 다른 모형들의 매개변수도 추정할 수 있다는 것을 확인하였다. NMNSRPM의 모의 정확도를 비교한 결과 직접적인 매개변수 추정방법을 통한 NSRPM 기반의 새로운 모형에 대한 개발이 가능하다는 것을 확인할 수 있었으며, 모형의 성능이 기존 모형들과 비슷한 수준임을 확인하였다.

핵심용어 : NSRPM, MNSRPM, NMNSRPM, 점과정, 강우모형, 직접적인 매개변수 추정

1. 서 론

기후변화에 대한 예측방법으로 전지구모형 (Global Circulation Model, GCM)과 같은 수치해법이 널리 쓰이고 있다. 전지구모형의 경우 일반적으로 시간축척을 일단위 이상에 대하여 예측을 하고 있다. 이러한 점은 전지구모형의 예측결과를 수문현상에 바로 적용하는데 많은 제약으로 작용하고 있다. 시간축척에 대한 제약을 극복하고자 시간축척을 바꾸는 많은 연구가 진행되고 있다. Neyman-Scott 구형펄스모형은 강수시계열을 생성하는 모형으로 적은 매개변수로도 강수시계열을 잘 모의하여 수문학분야에서 강수량자료의 시간축척을 바꾸는 기법으로 널리 쓰이고 있다.

Neyman-Scott 구형펄스모형은 수공학 분야에 Rodriguez-Iturbe et al. (1987)이 처음으로 적용하였으며, Neyman-Scott 구형펄스모형의 강우세포 (raincell)의 지속기간을 정하는 분포형을 추가하여 보다 정확한 강우를 모의하는 연구가 진행되었다 (Rodriguez-Iturbe et al., 1988, Entekhabi et al., 1989). 또한 강우세포의 지속기간과 강우강도 사이의 상관성을 고려한 Neyman-Scott 구형펄스모형이 개발되었다 (Kim and Kavvas, 2006; Evin and Favre, 2008). Neyman-Scott 구형펄스모형의 분포형을 수정하는 연구외에도 모형의 매개변수를 추정하는 연구도 활발히 진행되고 있다. Cowpertwait et al. (1996)은 무강수일을 잘 모의하고자, 무강수일의 비율을 매개변수 추정에 사용하는 수식을 개발하였다. Calenda and Napolitano (1999)는 Neyman-Scott 구형펄스모형으로 생성된 강우의 시간적인 변화를 이용하여 매개변수를 추정하는 연구를 수행하였다. Farve et al. (2004)은 비편의 매개변수 추정에 대한 연구를 수행하였으며, Mondonedo et al. (2010)은 강수의 POT (Peak Over Threshold)값을 매개변수 추정을 위한 식으로 유도하여 극치재현성을 높이는 연구를 수행하였다.

국내에서도 Neyman-Scott 구형펄스모형을 이용한 많은 연구가 진행되어 왔다. 김재한 등 (1998)은 Neyman-Scott 구형펄스모형을 이용하여 강수 시계열을 생성하였고, 금중호 등 (2001)은 Neyman-Scott 구형펄스모형의 매개변수 추정에 대하여 연구를 하였다. 유철상 등 (2002), 유철상과 김대하 (2006), 김병식 등 (2008)은 Neyman-Scott 구형펄스모형과 비슷한 점과정(point)의 응용에 대하여 연구를 하였다. Kim (2004)은 국내에 이변량 Gumbel 분포를 이용하여 지속기간과 강우강도의 상관관계를 고려한 모형을 적용하였다. 김기욱과 유철상 (2008)은 수정된 Neyman-Scott 구형펄스모형을 국내에 적용하였다. Han et al. (2009)은 강우세포의 지속기간과 강우강도를 고려한 Neyman-Scott 구형펄스모형을 이용하여 국내 시분해 성능을 평가한 연구를 진행하였다. 정창삼 (2009)은 Neyman-Scott 구형펄스모형의 직접적인 매개변수 추정 방법에 대하여 연구하였다.

Neyman-Scott 구형펄스모형을 이용하여 강수량자료의 시간축척을 변화시킬 경우, Neyman-Scott 구형펄스모형을 구성하는 5개의 분포형의 매개변수가 필요하다. 관측 강수량자료를 잘 모의할 수 있는 매개변수를 추정하는 것이 Neyman-Scott 구형펄스모형을 적용하기 위해서는 매우 중요하다. 또한 다양한 Neyman-Scott 구형펄스모형 중 어떤 모형이 강수량자료를 잘 모의하는지를 찾는 것도 매우 중요하다. 본 연구에서는 정창삼 (2009)이 제안한 직접적인 매개변수 추정방법의 다양한 Neyman-Scott 구형펄스모형 적용성을 검토하고, 직접적인 매개변수 추정방법을 이용하여 수정된 Neyman-Scott 구형펄스모형의 분포형을 변경한 새로운 Neyman-Scott 구형펄스모형을 개발하였다. 모형들의 강수 모의 성능을 평가하고자 각 모형으로부터 생성된 강수량자료의 통계값, 유강수일 비율, 강수분포를 비교하였다.

2. 적용 모형

2.1. Neyman-Scott 구형펄스모형

Neyman-Scott 과정은 천문학에서 사용되었다. Rodriguez-Iturbe et al. (1987)이 기존에 수문학 분야에서 강수 생성을 위해 사용되었던 구형펄스모형 (Rectangular Pulse Model)에서 강수의 자기상관구조를 표현하지 못하는 단점을 극복하고자 Neyman-Scott 과정을 추가한 Neyman-Scott 구형펄스모형을 개발하였다. 표기의 간편함을 위하여 Neyman-Scott 구형펄스모형을 NSRPM으로 표기하였다.

NSRPM의 적용 절차는 아래의 절차를 순차적으로 진행함으로써 수행된다 (정장삼, 2009).

- 1) NSRPM은 총 5개의 확률분포형으로 이루어져 있다. 우선 점과정 (point process)을 이용하여 강우 군집의 시작점 (origin)을 선정한다. 분포형의 매개변수로 λ 가 사용된다.
- 2) 선정된 강우 군집의 시작점에 대하여 기하함수 (geometric function)를 이용하여 각 강우 군집의 강우세포 개수를 정한다. 분포형의 매개변수로 μ_c 가 사용된다.
- 3) 각 강우 군집의 시작점의 강우세포 개수가 결정되면 지수 (exponential)분포를 이용하여 각 강우세포의 위치를 정한다. 분포형의 매개변수로 β 가 사용된다.
- 4) 강우세포들의 위치가 정해지면 각 강우세포들의 지속기간을 지수 (exponential)분포를 이용하여 정한다. 분포형의 매개변수로 η 가 사용된다.
- 5) 지속기간이 정해지면 지수 분포를 이용하여 각 강우 세포들의 강우강도를 정한다. 분포형의 매개변수로 ξ 가 사용된다.
- 6) 정해진 강우세포의 지속기간에 따른 강우강도를 중첩한다.

2.2. 수정된 Neyman-Scott 구형펄스모형

실제 강수를 적용하여 NSRPM의 매개변수를 추정하고, 추정된 매개변수를 이용하여 강수를 생성시킬 경우 시간 축척에 따른 전체 강수에서 무강수일의 비율이 맞지 않는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하고자 Bartlett-Lewis 구형펄스모형에서 강우세포의 지속기간을 결정하는 매개변수 η 를 조정하는 방법을 적용하여 이 문제를 해결하였다 (Rodriguez-Iturbe et al., 1988). Entekhabi et al. (1989)은 NSRPM에 대하여 η 를 조정할 모형의 매개변수를 추정하는 방법을 개발 및 적용하였다. 표기의 간편함을 위하여 수정된 Neyman-Scott 구형펄스모형을 MNSRPM

으로 표기하였다.

MNSRPM의 절차는 NSRPM의 절차와 흡사한 절차를 통하여 계산된다. MNSRPM은 2.1에서 설명된 NSRPM 절차 중 4)에서 한 가지 절차를 추가하면 된다. η 가 gamma 분포를 따라 분포한다고 가정하고 η 를 gamma분포를 통하여 각 강우세포마다 산정한다. Eq. (1)은 MNSRPM에 적용된 gamma 확률밀도함수 (Bobee, 1975)를 나타내며, 매개변수는 κ 와 θ 가 추가된다. 식에서 $\Gamma()$ 는 gamma 함수를 나타낸다.

$$f(x) = \frac{1}{\theta \Gamma(\kappa)} \left(\frac{x}{\theta}\right)^{\kappa-1} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right) \quad (1)$$

실제로 η 값을 산정할 때에는 gamma 누가분포함수를 사용하여 산정한다. Eqs. (2)는 gamma 누가분포함수를 나타내고 있으며, $\gamma()$ 은 불완전 gamma 함수이다.

$$F(x) = \frac{\gamma(\kappa, x/\theta)}{\Gamma(\kappa)} \quad \text{if } \theta > 0 \quad (2a)$$

$$F(x) = 1 - \frac{\gamma(\kappa, x/\theta)}{\Gamma(\kappa)} \quad \text{if } \theta < 0 \quad (2b)$$

2.3. 정규분포를 이용한 수정된 Neyman-Scott 구형펄스모형

기존의 연구에서 η 값을 조정하는 분포형으로 gamma 분포를 적용한 이유는 gamma분포가 다루기 쉽고 다른 분포형들을 개략적으로 표현할 수 있는 유연성이 높아 적용하였다 (Rodriguez-Iturbe et al., 1988). 본 연구에서는 η 값을 gamma분포가 아닌 정규분포를 이용하여 산정하는 새로운 모형을 개발하였다. 정규분포는 다양한 분야에서 가장 널리 쓰이는 분포로 식의 개형이 간단하고 다양한 자연현상을 재현하는데 용이하여 η 의 분포를 적절히 표현할 수 있다고 생각되어 적용하였다. 모형의 개발은 직접적인 매개변수 추정방법을 통하여 수행하였다. 직접적인 매개변수 추정방법을 사용할 경우 매개변수 추정을 위한 모멘트식을 유도할 필요가 없어 손쉽게 모형을 수정할 수 있다. 표기의 간편함을 위하여 새로이 수정된 Neyman-Scott 구형펄스모형을 NMNSRPM으로 표기하였다.

NMNSRPM의 절차는 MNSRPM의 절차에서 gamma 분포를 정규분포로 대체하면 된다. Eq. (3)이 η 값 산정을 위해 사용된 정규누가분포함수이다. 매개변수로는 μ 와 σ 가 추가된다.

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \exp(-t^2/2) dt \quad (3)$$

3. 매개변수 추정 방법

NSRPM은 총 5개의 매개변수로 이루어진 모형으로 적은 매개변수를 통하여 자연현상을 잘 재현한다. 매개변수로 모형의 결과가 결정됨으로 정확한 매개변수를 추정하는 것이 매우 중요한 모형이다. NSRPM의 매개변수를 추정하는 방법으로는 많은 연구가 진행되어 왔다. 본 연구에서는 NSRPM, MNSRPM, NMNSRPM의 매개변수를 추정하기 위해 직접적인 매개변수 추정방법을 적용하였다. 직접적인 매개변수 추정방법은 수학적으로 유도된 모멘트식을 이용하여 매개변수를 추정하는 것이 아닌 생성된 강우자료를 이용하여 모형의 매개변수를 추정하는 방법이다(정창삼, 2009).

3.1. 목적함수 구성

목적함수 구성에 따라 매개변수 추정 정확도가 변하므로, 적절한 목적함수 구성은 매개변수를 추정하는데 매우 중요하다. 본 연구에서는 가장 널리 사용되고 있는 Cowpertwait et al. (1996)의 목적함수 구성을 사용하였다. 매개변수를 추정할 경우 어떤 시간의 누적강수량 자료를 사용할 것인지 결정하는 것이 매우 중요하다. Calenda and Napolitano (1999)은 누적시간의 차이가 클수록 정확한 매개변수를 추정할 수 있다는 것을 밝혀내었다. 또한 목적함수를 구성할 때 목적함수 항이 증가할수록 개별적인 정확도가 떨어지는 경향이 발생하여 목적함수의 항의 개수를 5개 또는 6개로 구성하여야 한다(김기욱과 유철상, 2008). 본 연구에서는 1시간 누적강수량자료와 24시간 누적강수량자료를 이용하여 목적함수를 구성하였다. 1시간 누적강수량자료의 평균, 분산, lag 1 자기공분산, 24시간 누적강수량자료의 분산, lag 1 자기공분산을 목적함수의 항으로 구성하였다. 24시간 누적강수량자료의 평균의 경우 1시간 누적강수량자료의 평균으로 결정되는 값으로 같은 물리 특성을 가진다고 판단되어 목적함수 항에서 제외하였다. Eq. (4)는 본 연구에서 매개변수 추정을 위하여 사용된 목적함수를 나타낸 것이다. Eq. (4)에서 $E(Y_i^{(h)})$ 은 모형에서 생성된 h시간 누적강수량자료의 평균이고, $Var(Y_i^{(h)})$ 은 모형에서 생성된 h시간 누적강수량자료의 분산이며,

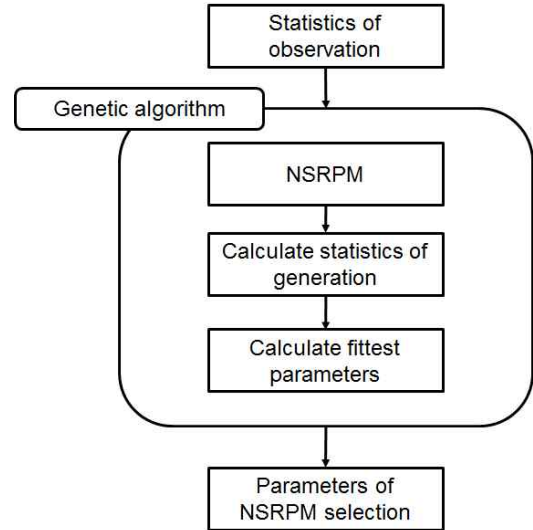


Fig. 1. Flowchart of Direct Parameter Estimation

$COV(Y_{i+1}^{(h)}, Y_i^{(h)})$ 은 모형에서 생성된 h시간 누적강수량자료의 lag 1인 자기공분산이다.

Minimize

$$= (1 - \frac{E(Y_i^{(1)})}{E(Y_{i+1}^{(1)})})^2 + (1 - \frac{Var(Y_i^{(1)})}{Var(Y_{i+1}^{(1)})})^2 + (1 - \frac{COV(Y_{i+1}^{(1)}, Y_i^{(1)})}{COV(Y_{i+1}^{(1)}, Y_i^{(1)})})^2 \quad (4)$$

$$+ (1 - \frac{Var(Y_i^{(24)})}{Var(Y_{i+1}^{(24)})})^2 + (1 - \frac{COV(Y_{i+1}^{(24)}, Y_i^{(24)})}{COV(Y_{i+1}^{(24)}, Y_i^{(24)})})^2$$

Table 1은 각 모형의 매개변수를 나타낸 표이다.

3.2. 직접적인 매개변수 추정방법 절차

직접적인 매개변수 추정방법을 적용하기 위해서는 매개변수를 추정하고자 하는 모형을 구축하여야 한다. 구축이 완료된 모형을 통하여 생성된 강수량자료를 목적함수에 적용하여 목적함수 값을 계산하고 계산된 목적함수가 최소가 되는 매개변수를 계산하면 된다. 본 연구에서는 매개변수를 찾기 위한 최적화 알고리즘으로 유전자 알고리즘을 적용하였다. Fig. 1은 직접적인 매개변수 추정방법의 절차를 나타낸 순서도이다.

Table 1. Parameters of Models

Model	Parameters	Parameters of duration distributions
NSRPM	$\lambda, u_c, \beta, \xi, \eta$	η -Exponential distribution
MNSRPM	$\lambda, u_c, \beta, \xi, \kappa, \theta$	κ, θ -Gamma distribution
NMNSRPM	$\lambda, u_c, \beta, \xi, \mu, \sigma$	μ, σ -Normal distribution

4. 결과분석

연구의 목적인 직접적인 매개변수 추정방법의 다양한 NSRPM 기반 모형에 대한 적용성을 검토하였다. 또한 직접적인 매개변수 추정방법을 이용하여 MNSRPM의 분포형을 변경한 새로운 NMNSRPM을 개발하였다. 직접적인 매개변수 추정방법의 적용성을 검토하기 위하여 다양한 기준을 적용하였다. 적용된 기준을 통하여 각 모형의 성능을 비교하였고, 개발된 NMNSRPM의 성능도 검증하였다. 매개변수 추정에 사용된 자료는 기상청 서울 유인관 측소의 시강수자료를 사용하였다. 추정된 매개변수로 생성된 강수와 관측된 강수의 통계값, 유강수일 비율, 강수 분포를 비교하였다. 정확도 비교 기법으로는 절대상대오차 (Absolute Relative Error, ARE)를 적용하였다. 생성된 강수로 계산되는 통계값들의 축척이 일정하지 않아 두 값의 차이만을 가지고 비교하는 방법보다 상대적인 오차를 비교하는 방법이 모형의 성능을 평가하기 좋을 것으로 판단하여 절대상대오차를 이용하였다.

4.1. 대상지점

본 연구에서는 서울 기상청에서 제공되는 시강수자료를 이용하여 매개변수를 추정하였다. 사용된 자료는 1961~2009년까지 49년의 5~10월 시강수량을 사용하였다. NSRPM, MNSRPM, NMNSRPM은 계절적인 특성을 고려하지 못하기 때문에 월별로 매개변수를 추정하였다.

4.2. 추정된 매개변수로 생성된 강수 통계값 비교

추정된 NSRPM, MNSRPM, NMNSRPM의 매개변수를 이용하여 월별 강수자료를 생성하였다. 강수의 통계값은 매개변수를 추정할 때 사용되는 값으로서 강수특성을 적은 수의 지표로 폭넓게 표현 할 수 있다. 비슷한 통계값의 강수를 생성하는 매개변수를 추정하였을 경우 직접적인 매개변수 방법이 적절한 매개변수를 추정하였다고 판단할 수 있다. Table 2는 관측 강수자료의 통계값과 각 모형으로 생성된 강수자료의 통계값을 정리한 내용이다.

Table 3은 관측 강수자료로부터 계산된 통계값과 각

Table 2. Statistics of Observation and Generated Precipitation

Model	Month	Mean	Var (1 hr)	Var (24 hr)	ACV (1 hr)	ACV (24 hr)
Observation	May.	0.1815	0.9788	156.0426	0.6510	10.8126
	Jun.	0.2024	1.6645	206.8966	0.9853	32.8665
	Jul.	0.5548	7.5471	875.5797	4.3111	83.1729
	Aug.	0.4719	6.7381	770.3605	3.5284	197.9582
	Sep.	0.2403	3.0346	362.1474	1.5943	72.6681
	Oct.	0.0841	0.4097	41.7039	0.2283	4.2008
NSRPM	May.	0.1929	1.0574	173.4239	0.6479	9.3441
	Jun.	0.2255	1.3751	194.5061	0.8953	33.6960
	Jul.	0.6707	9.1595	1133.7394	4.7271	87.0779
	Aug.	0.4985	3.7195	890.4056	2.8461	123.1779
	Sep.	0.3001	2.9582	346.7698	1.6897	53.6143
	Oct.	0.0883	0.3696	38.1443	0.1928	4.3494
MNSRPM	May.	0.1821	0.9645	123.8146	0.6431	12.3094
	Jun.	0.2186	1.0955	223.4414	0.9047	18.8583
	Jul.	0.6442	5.3341	930.4321	4.0612	55.2920
	Aug.	0.4254	5.0049	893.5342	3.6841	169.3843
	Sep.	0.2912	2.4445	509.9219	1.9567	101.7543
	Oct.	0.0961	0.2506	43.8168	0.1887	4.2519
NMNSRPM	May.	0.1874	0.8726	139.4874	0.5920	8.9311
	Jun.	0.2263	1.6416	199.4425	0.9677	26.9428
	Jul.	0.5567	6.5496	938.7874	4.6340	61.0796
	Aug.	0.4781	5.4609	746.8610	2.8749	163.1231
	Sep.	0.2234	2.8611	385.5895	1.7151	55.6001
	Oct.	0.0972	0.4287	52.2985	0.2412	3.9558

모형으로부터 생성된 강수량자료로 계산된 통계값의 절대상대오차를 나타내었다. Table 3에서 Mean은 평균을 Var은 분산을 ACV (Auto-Covariance)는 자기공분산을 M.A. (Monthly Average)는 각 통계값의 월별 절대상대오차의 평균을 Ave.는 모형의 전체 절대상대오차의 평균을 나타낸다. 월별로 보면 NSRPM과 MNSRPM은 강수량이 많은 월인 7월, 8월, 9월에서 M.A.값이 커지는 것을 확인할 수 있다. NMNSRPM은 전월에 대하여 M.A.값의 변화가 크지 않음을 확인할 수 있다. 또한 Ave.값을 보면 MNSRPM이 10.11%로 가장 작은 값을 나타내는 것을 확

인할 수 있다.

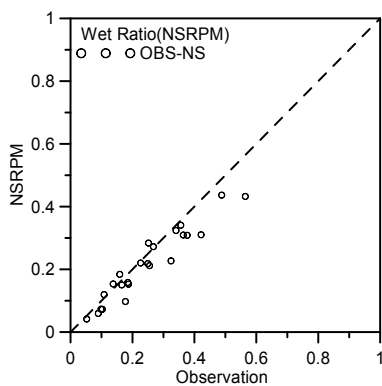
통계값을 기준으로 보았을 때 기존 NSRPM과 MNSRPM은 절대상대오차가 월에 따라 변하는 양상이 비슷한 것을 확인할 수 있으며, NMNSRPM은 월에 따른 절대상대오차가 10% 내외로 비교적 안정적으로 관측강수와 비슷한 통계값을 가지는 강수를 생성하는 것을 확인할 수 있다.

4.3. 추정된 매개변수로 생성된 강수의 유강수일 비율 비교

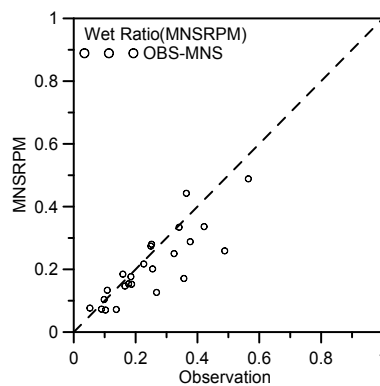
본 절에서는 생성된 강수의 유강수일 비율을 비교하였

Table 3. Absolute Relative Errors of Statistics from Models

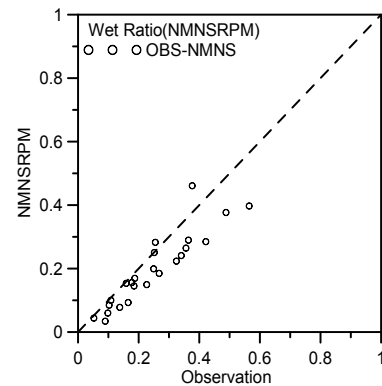
		Mean (%)	Var (1 hr) (%)	Var (24 hr) (%)	ACV (1 hr) (%)	ACV (24 hr) (%)	M.A. (%)	Ave. (%)
NSRPM	May.	6.28	8.04	11.14	0.47	13.58	7.90	13.38
	Jun.	11.42	17.39	5.99	9.14	2.52	9.29	
	Jul.	20.88	21.36	29.48	9.65	4.70	17.21	
	Aug.	5.64	44.80	15.58	19.34	37.78	24.63	
	Sep.	24.85	2.52	4.25	5.99	26.22	12.77	
	Oct.	4.97	9.79	8.54	15.56	3.54	8.48	
MNSRPM	May.	0.34	1.46	20.65	1.21	13.84	7.50	20.27
	Jun.	7.99	34.18	8.00	8.18	42.62	20.19	
	Jul.	16.11	29.32	6.26	5.80	33.52	18.20	
	Aug.	30.14	23.46	53.00	18.34	32.75	31.54	
	Sep.	21.16	19.45	40.81	22.73	40.03	28.83	
	Oct.	14.17	38.83	5.07	17.34	1.22	15.32	
NMNSRPM	May.	3.04	6.16	8.62	0.34	27.00	9.03	10.11
	Jun.	11.78	1.37	3.60	1.79	18.02	7.31	
	Jul.	0.34	13.22	7.22	7.49	26.56	10.97	
	Aug.	1.32	18.96	3.05	18.52	17.60	11.89	
	Sep.	7.04	5.72	6.47	7.58	23.49	10.06	
	Oct.	15.49	4.63	25.40	5.64	5.83	11.40	



(a) Obs.-NSRPM plot
($R^2=0.953$)



(b) Obs.-MNSRPM plot
($R^2=0.888$)



(c) Obs.-NMNSRPM plot
($R^2=0.893$)

Fig. 2. Observations-Generating Precipitation Plots of Wet Ratios

Table 4. Absolute Relative Errors of Wet Ratios from Models

		1 hr (%)	6 hr (%)	12 hr (%)	24 hr (%)	M.A. (%)	Ave. (%)
NSRPM	May.	29.15	14.37	12.43	15.00	17.74	17.19
	Jun.	25.59	18.36	16.90	18.08	19.73	
	Jul.	45.02	30.03	26.41	23.41	31.22	
	Aug.	11.53	1.77	4.31	10.55	7.04	
	Sep.	33.63	9.15	2.74	4.96	12.62	
	Oct.	20.11	10.27	15.89	12.80	14.77	
MNSRPM	May.	31.41	4.38	9.92	21.49	16.80	16.35
	Jun.	5.73	18.42	21.01	23.51	17.17	
	Jul.	13.20	22.91	20.26	13.46	17.46	
	Aug.	3.25	14.11	16.68	19.62	13.42	
	Sep.	18.32	11.30	4.10	1.88	8.90	
	Oct.	46.66	23.12	16.34	11.29	24.35	
NMNSRPM	May.	2.17	16.24	17.49	19.45	13.84	23.40
	Jun.	39.13	9.51	10.83	22.38	20.46	
	Jul.	12.01	31.13	32.46	29.66	26.31	
	Aug.	43.44	30.93	25.71	22.84	30.73	
	Sep.	61.88	43.82	33.97	29.28	42.24	
	Oct.	15.86	7.63	3.30	0.44	6.81	

다. 유강수일은 강수량이 0.1 mm 이상인 날의 숫자로 유강수일 비율은 유강수일 수를 전체 강수일수에 대하여 나눈 값이다. 유강수일 비율을 통하여 강수의 발생 특성을 잘 모의하고 있는지를 확인할 수 있다. 유강수일 비율은 1시간 누적강수, 6시간 누적강수, 12시간 누적강수 24시간 누적강수에 대하여 비교하였다. 유강수일 비율의 경우 시간축척에 따라 상이한 값을 보일 수 있어 다양한 시간 축척에 대하여 유강수일을 비교하였다. Table 4는 각 모형으로 생성된 강수자료와 관측 강수와의 유강수일 절대상대오차를 나타낸 표이다. 1 hr은 1시간 누적강수자료를 6 hr은 6시간 누적강수자료를 12 hr은 12시간 누적강수자료를 24 hr은 24시간 누적강수자료를 M.A. (Monthly Average)는 월별 절대상대오차 평균을 Ave.는 모형의 전체 절대상대오차의 평균을 나타낸다. NSRPM의 Ave.는 17.19% MNSRPM의 Ave.는 16.35% NMNSRPM은 23.4%로 나타났다. 또한 MNSRPM의 경우 10월달을 제외하고는 15% 내외의 값을 보이며 비교적 유강수일 비율을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 X축 값으로 관측강수에서 계산된 유강수일 비율을 사용하고 Y축 값으로 모형에서 생성된 강수자료로부터 계산된 유강수일 비율을 사용하여 도시한 그래프이다. R^2 값의 경우 NSRPM은 0.953이고, MNSRPM은 0.888이고 NMNSRPM은 0.893으로 나타났다. Fig. 2(a)에서 보면 전체적으로 값의 분포가 가운데 점선에 몰려 있

는 것을 확인할 수 있다. Fig. 2(b)를 보면 값의 분포가 점선에 몰려 있는 것으로 보이며, 10월 생성강수의 경우 점선에서 많이 벗어나 있는 것을 확인할 수 있다. Fig. 2(c)를 보면 값들이 점선 근처에 몰려 있는 것을 볼 수 있으나, 그 값이 점선보다 아래쪽에 위치하는 것을 확인할 수 있다. 전체적으로 NSRPM을 기반으로 생성된 강수값들이 관측값보다 과소 추정되는 경향을 찾을 수 있다. 이러한 현상은 매개변수를 추정하기 위하여 사용된 목적함수가 유강수일 비율에 대한 특성을 적절히 반영하지 못하여 생기는 현상으로 판단된다. 또한 NMNSRPM의 경우 다른 모형들의 비하여 과소추정되는 경향이 더 큰 것을 확인할 수 있다.

4.4. 추정된 매개변수로 생성된 강수의 강수분포 비교

본 절에서는 관측 강수자료와 모형으로부터 생성된 강수자료의 강수분포를 비교하였다. 강수분포는 정해진 값 이하의 강수량이 발생한 비율을 나타낸다. Table 5는 8월, 10월 관측 24시간 누적강수자료와 세 가지 모형으로 생성된 24시간 누적강수자료를 통하여 계산된 강수비율을 나타낸 표이다. Table 5에서 Month는 월을 나타내며, Condition은 비율이 계산되는 조건을 나타낸다. Condition에서 x는 강수량을 의미한다. 예를 들어 $x \leq 5.0$ mm는 5.0 mm 이하의 강수량의 비율을 의미한다. Table 5에서

Table 5. 24 Accumulate Probability for 24 Hours Precipitations

Month	Condition	Observation	NSRPM	MNSRPM	NMNSRPM
Aug.	$x \leq 5.0$ mm	0.7023	0.7062	0.6767	0.7076
	$x \leq 10.0$ mm	0.7736	0.7648	0.7252	0.7676
	$x \leq 20.0$ mm	0.8358	0.8348	0.8029	0.8324
	$x \leq 50.0$ mm	0.9315	0.9271	0.9043	0.9243
	$x \leq 100.0$ mm	0.9825	0.9762	0.9648	0.9776
	$x \leq 200.0$ mm	0.9972	0.9962	0.9933	0.9976
	$x \leq 300.0$ mm	0.9993	0.9995	0.9990	0.9995
Oct.	$x \leq 5.0$ mm	0.8783	0.8810	0.8705	0.8862
	$x \leq 10.0$ mm	0.9335	0.9314	0.9262	0.9419
	$x \leq 20.0$ mm	0.9753	0.9748	0.9681	0.9790
	$x \leq 30.0$ mm	0.9924	0.9919	0.9852	0.9886
	$x \leq 40.0$ mm	0.9943	0.9962	0.9938	0.9924
	$x \leq 50.0$ mm	0.9962	0.9971	0.9986	0.9943
	$x \leq 70.0$ mm	0.9981	0.9995	0.9995	0.9976

Table 6. ARE Average of Accumulate Probability for 24 Hours Precipitations

Month	NSRPM (%)	MNSRPM (%)	NMNSRPM (%)
May.	1.898	1.963	1.905
Jun.	1.670	1.736	1.615
Jul.	1.377	1.272	0.630
Aug.	0.218	0.969	0.203
Sep.	1.159	1.274	1.080
Oct.	2.660	2.602	2.686
Ave.	1.497	1.636	1.353

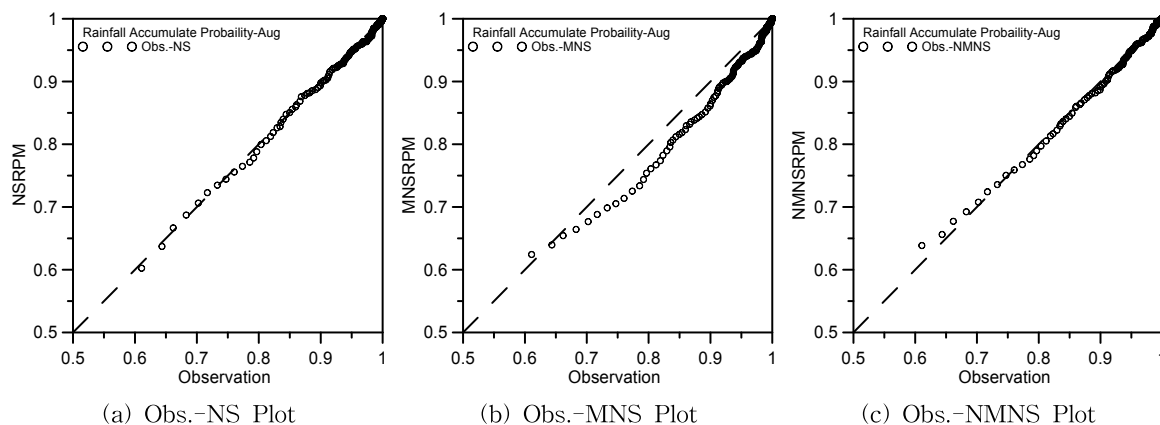


Fig. 3. Observations-Generating Precipitation Plots of Precipitation Distribution (August)

8월과 10월의 강수비율 계산 조건이 다른 이유는 월별 강수량의 분포가 달라 조건을 다르게 주었기 때문이다. Table 5를 보면 10월 강수자료에 대하여 강수 분포가 더 잘맞는 것을 확인할 수 있으며, 8월에서도 강우 분포가 잘

맞는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 강수량이 커질수록 강수 분포에 대한 정확도가 높아지는 것을 확인할 수 있다.

Table 6의 절대상대오차는 1.0 mm 단위로 1.0 mm부터

400.0mm까지 누적강수비율을 계산하여 관측 강수자료와의 절대상대오차평균을 나타낸 표이다. Table 6을 보면 모든 모형이 전체 월에 대하여 2% 내외의 절대상대오차를 보이는 것을 확인하였다. 각 모형을 절대상대오차 평균을 보면 NSRPM 1.497%, MNSRPM 1.636%, NMNSRPM 1.353%로 24시간 누적강수의 분포를 적절히 재현하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3은 x축 값을 관측 24시간 누적강수 자료의 강수 비율로 y축 값을 모형으로 생성된 8월 24시간 누적강수 자료의 강수비율로 도시한 그림이다. MNSRPM이 다른 모형들에 비하여 강수분포를 잘 모의하지 못하는 것으로 나타났으나 Table 6의 절대상대오차 평균을 보면 1%미만으로 정확도가 높음을 알 수 있다. 전체적으로 Fig. 3을 보면 그림의 값들이 점선에 걸쳐있는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 직접적인 매개변수 추정방법의 다양한 NSRPM 기반 모형에 대한 적용성 검토와 정규분포를 이용한 새로운 NMNSRPM의 개발 연구를 수행하였다. 기상청 서울 유인관측소에서 제공하는 49년의 관측 강수자료를 사용하여 매개변수를 추정하였으며, 추정된 매개변수들의 정확도를 판단하고자 생성된 강수자료의 통계값, 유강수일 비율, 강수분포를 비교하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻어낼 수 있었다.

관측된 강수자료의 통계값과 생성된 강수자료의 통계값을 비교해본 결과 NSRPM과 MNSRPM은 7~9월의 강수자료 통계값의 절대상대오차가 커지는 것을 확인할 수 있었으며, 절대상대오차가 10.11%로 NMNSRPM이 강수자료의 통계값을 가장 잘 모의한 것으로 나타났다. 또한 NMNSRPM은 월별 절대상대오차 평균이 약 10% 내외로 세 가지 모형 중 가장 안정적인 성능을 보이는 것으로 확인되었다. 유강수일 비율을 비교해본 결과 MNSRPM의 절대상대오차 평균이 16.35%로 가장 작은 절대상대오차 값을 보였다. 그림을 이용한 도시적인 분석법을 통하여 세 가지 모형이 유강수일 비율을 과소추정하는 것을 확인하였으며, NMNSRPM이 세 모형 중 가장 유강수일을 과소추정하는 것을 확인할 수 있었다. 강수분포를 비교해본 결과 세 모형이 약 2%내외의 절대상대오차를 보여 세 가지 모형이 강수분포를 잘 모의하는 것을 확인하였다. 세 가지 모형 중 NMNSRPM이 1.353%로 가장 작은 절대상대오차를 보였으나, 다른 모형들의 절대상대오차도 작은 값을 보여 세 가지 모형의 강수분포 재현 성능은 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

통계값, 유강수일 비율, 강수분포를 비교해 본 결과 직접적인 매개변수 추정방법으로 NSRPM, MNSRPM, NMNSRPM의 매개변수를 추정할 수 있는 것으로 확인되었다. 이런 결과를 통하여 직접적인 매개변수 추정방법이 NSRPM 뿐만 아니라 NSRPM에서 사용하고 있는 분포형을 변환하여 새롭게 구성된 모형에서도 매개변수를 추정할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. NMNSRPM의 모의 정확도를 검토한 결과 직접적인 매개변수 추정방법을 통한 NSRPM 기반의 새로운 모형을 개발이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 추정된 매개변수의 정확도가 기존 모형들의 비해 부족하지 않음을 확인할 수 있다. 향후 NSRPM에서 사용하고 있는 분포형들을 다양한 분포형으로 변환 적용한 연구를 진행하여 분포형의 변화에 따른 생성 강수의 특성이 어떻게 변하는지에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원 (과제번호: 1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 금종호, 안재현, 김중훈, 윤용남 (2001). “점강우모형 NSRPM의 매개변수 추정.” **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 206-211.
- 김기욱, 유철상 (2008). “시간적 군집특성을 고려한 강우 모의모형의 선정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제7호, pp. 747-759.
- 김병식, 김보경, 경민수, 김형수 (2008). “기후변화가 극한 강우와 I-D-F 분석에 미치는 영향 평가.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제4호, pp. 379-394.
- 김재한, 이정식, 이재준, 손광익 (1998). “Poisson 군집과정을 이용한 일강수계열의 모형화.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제II-3호, pp. 231-241.
- 유철상, 김남원, 정광식 (2002). “점강우모형과 강우강도-지속기간-생기빈도 해석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제34권, 제6호, pp. 577-586.
- 유철상, 김대하 (2006). “구형펠스모형을 이용한 가뭄사상의 평가.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제4호, pp. 373-382.
- 정창삼 (2009). “Neyman-Scott 구형 펄스모형의 직접적인 매개변수 추정연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국

- 수자원학회, 제42권, 제11호, pp.1017-1028.
- Bobee, B. (1975). "The Log Pearson type 3 distribution and its application in hydrology." *Water Resources Research*, Vol. 11, No. 5, pp. 681-689.
- Calenda, G., and Napolitano, F. (1999). "Parameter estimation of Neyman-Scott processes for temporal point rainfall simulation." *Journal of Hydrology*, Vol. 225, pp. 45-66.
- Cowpervait, P., O'Connell, P., Metcalfe, A., and Mawdsley, J.A. (1996). "Stochastic point process modelling of rainfall. I. Single-site fitting and validation." *Journal of Hydrology*, Vol. 175, pp. 17-46.
- Entekhabi, D., Rodriguez-Iturbe, I., and Eagleson, P. (1989). "Probabilistic representation of the temporal rainfall by a modified Neyman-Scott rectangular pulse model: parameter estimation and validation." *Water Resources Research*, Vol. 25, No. 2, pp. 295-302.
- Evin, G., and Favre, A. (2008). "A new rainfall model based on the Neyman-Scott process using cubic copulas." *Water Resources Research*, Vol. 44, W03433.
- Favre, A., Musy, A., and Morgenthaler, S. (2004). "Unbiased parameter estimation of the Neyman-Scott model for rainfall simulation with related confidence interval." *Journal of Hydrology*, Vol. 286, pp. 168-178.
- Kim, S. (2004). "On the dependent structure between rainfall intensity and duration." *KSCE Journal of Civil Engineering*, KSCE, Vol. 8, No. 3, pp. 351-355.
- Kim, S., and Kavvas, M. (2006). "Stochastic point rainfall modeling for correlated rain cell intensity and duration." *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 11, No. 1, pp. 29-36.
- Mondonedo, A., Tachikawa, Y., and Takara, K. (2010). "Improvement of monthly and seasonal synthetic extreme values of the Neyman-Scott rainfall model." *Hydrological Processes*, Vol. 24, pp. 654-663.
- Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D., and Isham, V. (1987). "Some models for rainfall based stochastic point process." *Proceedings of the Royal Society of London*, Vol. A410, No. 1839, pp. 269-288.
- Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D., and Isham, V. (1988). "A point process, odel for rainfall: further developments." *Proceedings of the Royal Society of London*, Vol. A417, No. 1853, pp. 283-298.
- Han, S., Shin, H., and Kim, S. (2009). "Temporal downscale for hourly rainfall time series using correlated Neyman-Scott rectangular pulse point rainfall model." *KSCE Journal of Civil Engineering*, KSCE, Vol. 13, No. 6, pp. 463-469.

논문번호: 11-007	접수: 2011.01.17
수정일자: 2011.02.07	심사완료: 2011.02.07