

월 자료로부터 일 강수량 자료를 생성을 위한 Markov 연쇄 및 감마분포 모수 추정

문경환^{1*} · 송은영¹ · 손인창¹ · 위승환¹ · 오순자¹ · 현해남²

¹국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소

²제주대학교 생명자원과학대학

(2016년 10월 24일 접수; 2016년 12월 8일 수정; 2017년 3월 14일 수락)

Estimation of Markov Chain and Gamma Distribution Parameters for Generation of Daily Precipitation Data from Monthly Data

Kyung Hwan Moon^{1*}, Eun Young Song¹, In Chang Son¹, Seung Hwan Wi¹,
Soonja Oh¹ and Hae Nam Hyun²

¹Research Institute of Climate Change & Agriculture, NIHHS, 281 Ayenno, Jeju 63240, Korea

²College of Applied Life Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

(Received October 24, 2016; Revised December 8, 2016; Accepted March 14, 2017)

ABSTRACT

This research was to elucidate the generation method of daily precipitation data from monthly data. We applied a combined method of Markov chain and gamma distribution function using 4 specific parameters of α , β , $p(W/W)$ and $p(W/D)$ for generation of daily rainfall data using daily precipitation data for the past 30 years which were collected from the country's 23 meteorological offices. Four parameters, applied to use for the combination method, were calculated by maximum likelihood method in location of 23 sites. There are high correlations of 0.99, 0.98 and 0.98 in rainfall days, rainfall probability and mean amount of daily rainfall between measured and simulated data in case of those parameters. In case of using parameters estimated from monthly precipitation, correlation coefficients in rainfall days, rainfall probability and mean amount of daily rainfall are 0.84, 0.83 and 0.96, respectively. We concluded that a combination method with parameter estimation from monthly precipitation data can be applied, in practical purpose such as assessment of climate change in agriculture and water resources, to get daily precipitation data in Korea.

Key words: Weather generation, Gamma distribution function, Markov chain, Parameter estimation

I. 서 론

일 강수량 자료는 수자원 확보, 환경 관리 또는 기후변화 영향평가를 위한 모형 구동 등 다양한 분야에서 이용되고 있다(Semenov *et al.*, 1998). 연구 대상 지역의 강수량 자료를 확보할 수 있을 경우에는 관측 자료를 이용하면 되

지만 자료가 없는 경우에는 강수량 자료를 생성해서 활용해야 한다. 그 때 생성된 자료는 임의의 자료가 아니라 해당 지점의 강수특성이 반영되어야 한다(Richardson and Wright, 1984).

세계적으로 강수량 자료 생성에는 조건부확률을 이용한 Markov 연쇄와 감마 분포 함수를 결합한 방법이 많이 쓰



* Corresponding Author : Kyung Hwan Moon
(milestone@korea.kr)

여 왔다. 이 방법에서는 강우 발생 여부와 강우량을 다른 방식으로 추정하는데, 강우 여부는 직전 일의 강우 여부에 따른 조건부 확률로 구하고, 강우량은 감마 분포 함수를 이용하여 구하게 된다. 이 방법의 원리는 미국에서 Richardson and Wright(1984)의 WGEN과 Larsen and Pense(1982)의 기상 생성 프로그램 등으로 제작되어 활용되고 있다. 조건부 확률을 이용한 Markov 연쇄법을 이용하기 위해서는 월별로 강우일 다음 날이 강우일일 확률($p(W/W)$)과 무강우일 다음 날이 강우일일 확률($p(W/D)$), 즉 전이확률이 필요하고, 감마 분포 함수의 적용에는 감마 분포 함수의 형상모수인 α 와 척도모수인 β , 두 개의 모수가 필요하게 된다. 따라서 이 방법에서는 한 지점의 강우특성은 $p(W/W)$, $p(W/D)$, α , β 등 4개의 모수에 의해 나타낼 수 있다고 주장되고 있다. 그러나 해당 지점에 대한 신뢰성 있는 모수를 구하기 위해서는 20년 이상의 과거 기상자료를 이용하는 것이 바람직하다고 한다(Richardson and Wright, 1984).

한편, Geng *et al.*(1986)은 이 방법을 이용하면서 월 기상정보로부터 4종의 모수를 추정하는 방법을 제시한 바 있다. 이 방법에서는 월 평균 강우일수로부터 $p(W/W)$ 와 $p(W/D)$, 두 개의 전이확률을 구하고, 강우일의 평균 강우량으로부터 α 와 β , 두 개의 감마 분포 함수 모수를 계산하게 된다. 이 방법에 의하면 다년간의 일 자료가 없어도 월 자료로부터 필요한 모수를 구할 수 있으나, 일 강우자료가 없는 경우 월 강우일수의 평균값과 강우 시 평균 강우량에 대한 정보를 구하기가 쉽지 않다는 문제점이 있다. 또 이러한 정보를 지도로 나타낸 자료가 없다는 점에서도 지역별로 상세하게 일 자료를 생성하는데 한계가 있다.

Racsko *et al.*(1991)은 Markov 연쇄와 감마 분포 함수를 결합한 방법이 장기간의 가뭄 기간 등 극한 기상을 잘 나타내지 못한다고 하여 강우, 무강우의 연속일을 이용하여 일 강우현상을 모의하는 방법을 제시하기도 하였다. 이 방법은 기존의 방법에 비하여 극한 기상 현상을 잘 모의하는 것으로 알려지고 있다. 그러나 이러한 방식은 일 강우현상이 발생하는 것을 나타내는 분포함수가 일관되지 못하고 단기, 중기, 단기 등 임의의 기준을 이용함으로써 매우 복잡하고 구성되어 있지 못하다는 문제가 있다(Semenov *et al.*, 1998).

이 연구에서는 우선 우리나라를 대상으로 실용적으로 월 강우량 자료로부터 일 강우량을 생성하는 방법을 모색하기 위하여 수행되었다. 우선 Markov 연쇄와 감마 분포 함수를 결합한 방법이 우리나라 여건에 적용 가능

한 지를 조사하였고, 전국의 기상관측 지점별로 일 강우량 생성에 필요한 모수의 범위를 제시하였다. 또한 더 나아가 단순하게 월 강우량으로부터 일 자료 생성에 필요한 모수를 추정하는 방법을 제시하였고, 이 모수를 이용하여 일 강우량 자료를 생성할 수 있는지 검사하였다. 또 WGEN에 제시된 방법과 같이 생성된 일 강우량 자료를 관측된 월 강우량 평균에 대한 생성된 월 강우량 평균의 비를 곱하여 보정할 때 얼마나 개선되는 지도 시험하였다. 이러한 보정방법은 또 월 자료가 정확하게 제시되어 있는 과거 자료를 이용할 경우에 더욱 유용할 것이다.

II. 재료 및 방법

본 연구의 분석을 위하여 우리나라에서 장기간의 일 강우량 자료를 제공하는 23개 기상관서의 일 강우량 자료를 수집하였다. 자료 수집 기간은 1981년부터 2010년의 30년과, 독립하여 시험하기 위하여 2011년부터 2015년까지의 5년간 자료를 별도로 이용하였다. Table 1은 분석대상 기상관서에 대한 위치와 해발고도 등 기본 정보를 나타낸 것이다. 울릉도의 경우 사방이 바다에 둘러싸여 있고 연중 강우분포가 한반도의 다른 지역에 비하여 다른 형태를 보이는 것이 알려져 있으므로 분석에서 제외하였다.

수집된 자료 중 일 강우량이 0mm일 경우 자료 분석에 어려움이 있으므로 0.1mm 이상 강우량이 기록되었을 경우에 한하여 강우일로 구분하여 월별로 정리한 후 분석하였다. Richardson and Wright(1984)은 기상자료생성 프로그램(WGEN)에서는 0.01 인치, 즉 0.25mm 이상의 강우가 있을 경우를 강우일로 간주하고 있어 이 논문과 다른 기준을 이용하고 있다. 강우일을 판단하는 강우량 기준은 강우특성을 나타내는 모수를 결정하는데 영향을 주게 되므로 WGEN 프로그램의 이용 시 주의해야 한다.

우선 강우 발생 여부를 결정하기 위해 필요한 조건부 확률 중 직전 일에 강우가 있었을 때 강우가 발생할 확률($p(W/W)$)은 직전 일이 강우일일 때의 강우일수를 전체 강우일수로 나누어 계산하였다. 이때 직전 일이 강우일이었을 때 무강우일이 되는 확률($p(D/W)$)은 1에서 $p(W/W)$ 를 뺀 값이 된다. 마찬가지로 $p(W/D)$ 와 $p(D/D)$ 간에는 같은 관계가 성립한다. 한편, Geng *et al.*(1986)에 의하면 월 강우일 확률을 $p(W)$ 라고 하면 아래와 같은 관계가 성립한다고 한다.

$$p(W/D) = 0.75 \times p(W) \quad (1)$$

$$p(W/W) = 0.25 + p(W/D) \quad (2)$$

이 때

$p(W)$: probability of a wet day during a month
 $p(W/D)$: probability of a wet day with a previous dry day
 $p(W/W)$: probability of a wet day with a previous wet day

이다.

이 때 어떤 날이 강우일일 경우는 전 일 강우가 발생하고 다음 날 강우가 발생한 경우와 전 일이 무강우일이고 다음 날 강우가 발생한 경우의 두 가지에 한한다. 따라서 특정한 일의 강우발생 여부는 전 일이 강우가 있을 조건 일 때 난수를 발생시켜 그 수가 $p(W/W)$ 이상이거나, 전 일이 무강우일 조건일 때 독립된 다른 난수를 발생시켜 $p(W/D)$ 이상일 경우에 강우가 발생한다고 판단하게 된다. 이 때 $p(W/W)$, $p(W/D)$ 값은 $p(W)$ 으로부터도 추정할 수 있다.

강우발생 여부가 결정되면 다음 단계로 일 강우량을 추정하게 된다. 이 때 일 강우량의 월별 분포는 감마 분포 함수의 형태를 따른다는 가정을 이용하게 된다 (Richardson and Wright, 1984). 이 때 감마분포함수를 결정하는 α 와 β , 두 모수는 장기간의 과거 일 강우자료가 확보된 경우에 최우도법을 적용하여 다음의 식으로

부터 추정할 수 있다(Thom, 1958).

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \tag{3}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \tag{4}$$

이 때

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \tag{5}$$

$\hat{\alpha}$: estimator of shape parameter at gamma distribution function

$\hat{\beta}$: estimator of scale parameter at gamma distribution function

\bar{x} : mean of daily rainfall at wet days(mm/day)

n : number of wet days

이다.

특정 지점의 α 와 β 값을 가진 감마함수가 알려지면 이 함수를 이용하여 일 강우량을 생성할 수 있다. 우선 난수를 발생시켜 그 값을 임의의 확률, 즉, 감마함수 값으로

Table 1. Basic information of data collection sites where weather stations are operated by Korea Meteorological Administration

Name	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Annual Precipitation (mm)
Busan	35.1	129.03	69.2	1519
Cheongju	36.64	127.44	56.4	1239
Chuncheon	37.9	127.74	76.8	1347
Chupungnyeong	36.22	127.99	240.9	1187
Daegu	35.89	128.62	57.3	1064
Daegwallyeong	37.69	128.76	842.5	1821
Daejeon	36.37	127.37	62.6	1372
Gangneung	37.75	128.89	26.1	1464
Gunsan	35.99	126.71	25.6	1223
Gwangju	35.17	126.89	74.5	1391
Incheon	37.48	126.62	69	1234
Jeju	33.51	126.53	19.9	1498
Jeonju	35.82	127.15	61	1313
Jinju	35.21	128.12	21.3	1506
Mokpo	34.82	126.38	37.4	1164
Pohang	36.03	129.38	1.3	1152
Seogwipo	33.25	126.57	50.4	1923
Seosan	36.77	126.5	25.2	1286
Seoul	37.57	126.97	85.5	1450
Sokcho	38.25	128.56	22.9	1402
Suwon	37.27	126.99	34.5	1312
Tongyeong	34.85	128.44	30.8	1428
Ulsan	35.56	129.32	34.6	1277

간주하고 감마역함수를 이용하여 해당되는 x 값을 발생 시킨다. 다음으로 앞에서 강우가 발생일로 결정된 경우에만 그 x 값을 할당하고 일 강우량으로 간주하게 된다.

지금까지 감마함수를 결정하는 α 와 β 값은 장기간의 과거 일 자료가 확보되었을 경우에 추정할 수 있었으나, 본 논문에서는 월 강우자료로부터 α 와 β 값을 추정할 수 있다고 가정하였다. 즉, β 는 척도함수로서 월 강우량과 밀접한 관련이 있으므로 월 강우량으로 추정할 수 있고, 강우 시 일 평균강우량과 β 값으로부터 형상모수인 α 값의 추정도 가능하다고 보았다. 따라서, 조사대상 기상관서의 월 강우량자료가 있으면, 이로부터 $p(W)$, 일 강우량 평균 및 α 와 β 값을 추정할 수 있고, 이를 적용하면 일 강우량의 발생 여부 및 일 강우량을 생성할 수 있게 된다. 이를 입증하기 위하여 전국 23개 기상관서의 1981~2010년의 일 강우량자료와 월 평균 강우량으로부터 최적의 함수를 구하고자 하였다.

새로운 방법의 유효성을 검증하기 위하여 Two Sample Kolmogorov-Smirnov 분석을 통한 적합도검정 (goodness-of-fit test)을 실시하였다. Two Sample Kolmogorov-Smirnov 분석은 연속된 두 종의 자료분포가 일치하는 지 여부를 검증하기 위하여 많이 이용되는 방법이다(Massey and Frank, 1951). 이 방법에서는 관측되거나 생성된 일 강우자료를 월별로 계급구간으로 나누어 빈도수와 누적 분포함수를 구한 다음, 두 누적분포함수의 차가 최대인 D 통계량을 구하고, 이 값을 유의수준별로 제시된 값과 비교함으로써 두 분포의 동질성을 검정하게 되고, 이때의 귀무가설은 두 자료의 분포가 일치한다는 것이다. 이때 적합도검정을 위한 자료 분석에는 Real-statistics사에서 개발된 엑셀프로그램인 Realstats.xlsm을 이용하였고, 유의수준 α 는 0.05로 하였다.

분석은 공간적으로는 전국 23개 지점의 12개월 일 강수량 자료의 누적분포함수를 대상으로 하여 1회 분석 시 총 276쌍의 누적분포함수 간의 동질성을 비교하였다. 또 시간적으로는 1981년부터 2010년까지의 30년 및 2011년부터 2011년까지의 5년간 등 독립된 두 기간을 대상으로 비교하였다. 도수분포표는 분석대상 자료의 최고값을 기준으로 동일한 간격으로 구간을 분할하여 구하였는데, 계급구간의 수는 전체 자료수를 제곱근하여 결정하는 방법을 이용하였다. 이 때 30년 자료를 이용할 경우에는 30 구간, 5년 자료의 경우에는 12구간이었다.

한편, 일 강우자료를 생성할 때는 매 시행 시기마다 난수의 영향으로 일 강우자료의 분포가 변동하므로 종합적인 비교를 위하여 전 지점을 대상으로 30회까지 일 강

우자료를 생성하여 분포의 동일성을 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

우선 조사대상 기상관서의 1981~2010년의 일 강우 자료를 이용하여 앞에서 제시된 일 강우량 생성 방법에 대하여 검토하였다. 지점별 매 월의 $p(W/W)$, $p(W/D)$, α , β 등 4개의 모수를 구하고, 이 값을 이용하여 반대로 Markov-감마 분포 결합법을 이용하여 일 기상자료를 생성하여 본 결과 Fig. 1, Fig. 2와 같이 강우일수에서 0.99, 강우확률 0.98, 일강우량 0.98의 정도의 상관을 보여주었으며, 월별 강우발생 확률($p(W)$)과 강우 시 평균강우량을 잘 모의한다는 것을 알 수 있었다.

이 때 조사지점의 여러 모수들은 해당지점의 강우 특성을 반영하고 있으며, 이 값들로부터 일 강우자료의 생

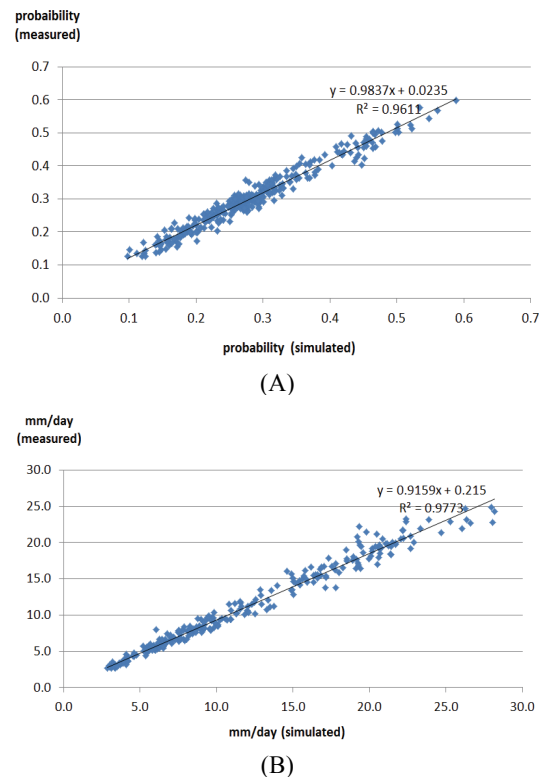


Fig. 1. Comparison of probability of rainfall occurrence (A) and rainfall amount (B) in a month using parameters of maximum likelihood method from measured data at 23 observation sites in Korea during 1981~2010. Occurrence and amount of daily rainfalls was simulated by a combination method of Markov chain and gamma distribution function.

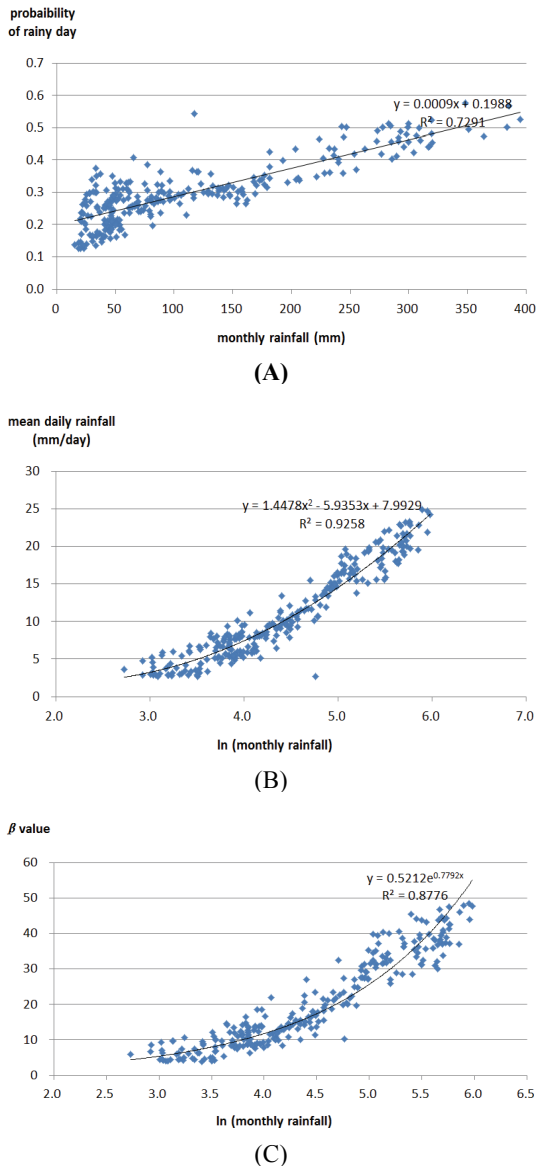


Fig. 2. Relationship between monthly rainfall and probability of rainfall days in a month means (A), and between logarithm of monthly rainfall and mean amount of daily rainfall (B), and scale parameter (β) in gamma distribution function for rainfall simulation (C) with 23 observation sites in Korea.

성이 가능하므로 1981~2010년, 30년 기간의 각 조사 지점의 월별 $p(W)$, $p(W/W)$, $p(W/D)$, α , β , 평균 강우량을 Table 2와 Table 3에 나타내었다. 대관령, 제주 등에서 연 평균 강우확률($p(W)$)이 0.34 이상으로 높았고, 강우 시 평균강우량은 서귀포, 부산, 진주, 통영, 여수 순

으로 12mm 이상으로 많았으며, 연강우량은 서귀포, 대관령, 부산, 진주가 1500mm 이상이였다. 전체 강우횟수 중 소규모 강우가 많았을 때 작아지는 α 값은 서귀포가 0.537으로 가장 작았고 대관령, 속초, 강릉 순으로 증가하였다. 강우 시 평균강우량이 큰 쪽으로 치우침을 나타내는 β 값은 서귀포가 27.4로 가장 높았고, 부산, 진주 순으로 감소하였다.

월별 강우량은 대부분의 지역이 겨울철인 12~1월보다는 여름철인 7~8월에 강우가 집중되는 특성을 보여주고 있었다. 이러한 계절별 경향성은 강우확률, 강우 시 평균강우량, β 값에서 유사하게 나타났으며, 이러한 유사성은 월 강우량으로부터 세 가지의 모수를 추정할 수 있음을 강하게 시사하고 있었다.

조사한 지점의 월 강우량과 평균 일 강우량, 강우확률 ($p(W)$)과 β 값의 관계는 Fig. 2에 나타내었다. 일반적으로 월 강우량이 높을수록 강우발생일수와 강우확률 ($p(W)$)는 비례하여 많아졌고, β 값은 거둬제곱의 형태로 증가하였다.

$$P_{wet} = 1.4478 \times \ln(P_i)^2 - 5.9353 \times \ln(P_i) + 7.99 \quad (r^2 = 0.9258) \quad (6)$$

$$p(W)_i = 0.000881 \times P_i + 0.1988 \quad (r^2 = 0.7291) \quad (7)$$

$$\beta_i = 0.5212 \times \exp(0.7792 \times \ln(P_i)) \quad (r^2 = 0.8776) \quad (8)$$

여기서

P_{wet} : mean precipitation (mm) at a wet day

$p(W)_i$: probability of a wet day at i month

P_i : monthly precipitation (mm) at i month

β_i : scale parameter of gamma distribution function

이다.

위 식에 의하면 월 강우량으로부터 식 (6), (7)과 식 (8)을 이용하여 매 월의 P_{wet} , $p(W)$ 와 β 를 추정할 수 있고, 식 (1), (2), (4)를 이용하여 $p(W/W)$, $p(W/D)$, α 등 3개의 모수를 추정한다. 이를 이용하여 Markov 연쇄와 감마 분포 함수를 결합한 방법을 이용하여 일 강우량을 생성할 수 있다. 이와 같은 방법으로 월별로 일 강우량 자료를 생성한 후 1981~2010년 기간의 관측치와 비교한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

관측된 일 기상자료와 생성한 기상자료의 상관계수는 강우일수는 0.84, 강우 시 평균강우량은 0.96, 강우확률은 0.83으로 정의 상관을 보였다. 이러한 결과는 관측 자료로부터 직접 구한 모수를 이용하였을 때 보다 낮은 상관이었지만 월 강우량 자료를 이용하여 일 강우자료를 생성하는 방법이 실용적으로도 쓸 수 있음을 보여주

Table 2. Monthly parameters for Markov chain analysis at 23 observation sites in Korea. p(W) represents probability of rain occurrence in a day during a given month. p(W/W), and p(W/D) indicate consecutive occurrence of rainfall and rainfall occurrence after dry days in days in a given month, respectively. All parameter values calculated by maximum likelihood method using observation data of 1981 ~ 2010

Site name	Parameter	Month											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Busan	p(W)	0.18	0.20	0.27	0.29	0.30	0.34	0.44	0.37	0.30	0.17	0.18	0.13
	p(W/W)	0.38	0.43	0.36	0.42	0.46	0.52	0.66	0.58	0.53	0.36	0.34	0.37
	p(W/D)	0.13	0.14	0.24	0.24	0.24	0.24	0.26	0.25	0.20	0.13	0.14	0.10
Cheongju	p(W)	0.26	0.23	0.28	0.26	0.28	0.31	0.51	0.46	0.29	0.21	0.28	0.29
	p(W/W)	0.41	0.42	0.41	0.43	0.46	0.48	0.62	0.61	0.50	0.39	0.38	0.41
	p(W/D)	0.21	0.17	0.23	0.20	0.21	0.23	0.40	0.33	0.21	0.16	0.24	0.25
Chuncheon	p(W)	0.22	0.20	0.25	0.24	0.29	0.33	0.50	0.44	0.26	0.19	0.25	0.24
	p(W/W)	0.28	0.34	0.33	0.37	0.42	0.48	0.61	0.61	0.45	0.34	0.33	0.33
	p(W/D)	0.20	0.17	0.23	0.20	0.24	0.25	0.40	0.31	0.20	0.16	0.23	0.21
Chupungnyeong	p(W)	0.28	0.25	0.31	0.26	0.28	0.32	0.51	0.47	0.31	0.19	0.26	0.27
	p(W/W)	0.45	0.44	0.46	0.41	0.44	0.49	0.65	0.66	0.54	0.39	0.38	0.41
	p(W/D)	0.21	0.19	0.25	0.21	0.22	0.24	0.36	0.31	0.21	0.15	0.22	0.22
Daegu	p(W)	0.15	0.17	0.24	0.25	0.28	0.31	0.46	0.41	0.31	0.16	0.16	0.14
	p(W/W)	0.34	0.41	0.36	0.37	0.42	0.44	0.64	0.58	0.55	0.30	0.31	0.30
	p(W/D)	0.11	0.12	0.20	0.21	0.22	0.25	0.31	0.29	0.20	0.14	0.13	0.11
Daegwallyeong	p(W)	0.33	0.33	0.38	0.32	0.36	0.43	0.58	0.57	0.41	0.28	0.33	0.30
	p(W/W)	0.46	0.48	0.53	0.46	0.53	0.58	0.69	0.69	0.61	0.39	0.43	0.37
	p(W/D)	0.27	0.25	0.30	0.26	0.27	0.31	0.42	0.41	0.27	0.24	0.28	0.27
Daejeon	p(W)	0.27	0.24	0.29	0.26	0.28	0.32	0.52	0.48	0.29	0.20	0.27	0.30
	p(W/W)	0.40	0.43	0.43	0.41	0.44	0.52	0.66	0.65	0.52	0.36	0.35	0.45
	p(W/D)	0.22	0.18	0.23	0.20	0.21	0.23	0.37	0.32	0.20	0.16	0.24	0.23
Gangneung	p(W)	0.19	0.21	0.29	0.27	0.30	0.36	0.50	0.50	0.36	0.23	0.23	0.15
	p(W/W)	0.49	0.45	0.46	0.40	0.47	0.52	0.65	0.64	0.58	0.41	0.46	0.39
	p(W/D)	0.12	0.14	0.22	0.22	0.23	0.27	0.36	0.36	0.24	0.18	0.16	0.10
Gunsan	p(W)	0.34	0.25	0.28	0.25	0.27	0.30	0.46	0.42	0.29	0.20	0.31	0.35
	p(W/W)	0.52	0.45	0.43	0.39	0.46	0.48	0.63	0.61	0.51	0.33	0.41	0.51
	p(W/D)	0.25	0.19	0.22	0.20	0.20	0.22	0.31	0.28	0.20	0.17	0.26	0.26
Gwangju	p(W)	0.36	0.29	0.31	0.29	0.30	0.34	0.50	0.48	0.32	0.22	0.29	0.32
	p(W/W)	0.53	0.49	0.47	0.44	0.47	0.53	0.65	0.62	0.50	0.39	0.42	0.51
	p(W/D)	0.26	0.21	0.23	0.23	0.23	0.25	0.35	0.35	0.23	0.17	0.24	0.23
Incheon	p(W)	0.21	0.17	0.22	0.24	0.28	0.31	0.48	0.40	0.27	0.20	0.27	0.23
	p(W/W)	0.29	0.30	0.31	0.41	0.44	0.48	0.63	0.60	0.46	0.36	0.35	0.30
	p(W/D)	0.19	0.14	0.19	0.18	0.22	0.23	0.35	0.27	0.20	0.16	0.24	0.21
Jeju	p(W)	0.41	0.33	0.36	0.32	0.33	0.38	0.40	0.43	0.35	0.23	0.30	0.35
	p(W/W)	0.54	0.47	0.51	0.48	0.49	0.57	0.64	0.66	0.54	0.42	0.48	0.53
	p(W/D)	0.32	0.26	0.28	0.25	0.26	0.26	0.24	0.26	0.25	0.17	0.22	0.25
Jeonju	p(W)	0.30	0.25	0.33	0.28	0.30	0.35	0.51	0.50	0.31	0.22	0.29	0.30
	p(W/W)	0.46	0.45	0.49	0.43	0.45	0.51	0.66	0.64	0.53	0.37	0.40	0.42
	p(W/D)	0.23	0.19	0.25	0.22	0.23	0.26	0.35	0.37	0.21	0.17	0.25	0.25
Jinju	p(W)	0.15	0.18	0.25	0.29	0.30	0.34	0.45	0.42	0.32	0.16	0.17	0.13
	p(W/W)	0.35	0.41	0.38	0.41	0.44	0.53	0.64	0.63	0.55	0.30	0.32	0.30
	p(W/D)	0.11	0.13	0.20	0.24	0.23	0.24	0.30	0.27	0.21	0.13	0.14	0.10
Mokpo	p(W)	0.37	0.31	0.31	0.27	0.30	0.34	0.43	0.40	0.29	0.21	0.27	0.33
	p(W/W)	0.57	0.49	0.46	0.41	0.49	0.55	0.66	0.57	0.47	0.39	0.42	0.53
	p(W/D)	0.26	0.22	0.25	0.22	0.22	0.23	0.26	0.29	0.21	0.16	0.22	0.23
Pohang	p(W)	0.17	0.20	0.28	0.26	0.28	0.31	0.43	0.41	0.35	0.21	0.18	0.14
	p(W/W)	0.45	0.45	0.38	0.39	0.45	0.45	0.62	0.59	0.54	0.40	0.39	0.40
	p(W/D)	0.12	0.14	0.24	0.21	0.22	0.25	0.29	0.28	0.25	0.16	0.14	0.10
Seogwipo	p(W)	0.33	0.31	0.36	0.34	0.34	0.42	0.46	0.46	0.33	0.20	0.24	0.26
	p(W/W)	0.49	0.45	0.47	0.47	0.48	0.60	0.67	0.63	0.53	0.38	0.40	0.41
	p(W/D)	0.25	0.24	0.29	0.28	0.27	0.29	0.28	0.31	0.23	0.15	0.19	0.21
Seosan	p(W)	0.30	0.23	0.23	0.24	0.27	0.30	0.49	0.44	0.28	0.22	0.31	0.37
	p(W/W)	0.47	0.43	0.33	0.41	0.42	0.49	0.61	0.61	0.50	0.37	0.41	0.50
	p(W/D)	0.23	0.17	0.20	0.19	0.21	0.22	0.37	0.30	0.19	0.17	0.27	0.29
Seoul	p(W)	0.21	0.19	0.24	0.25	0.29	0.32	0.52	0.47	0.29	0.20	0.28	0.24
	p(W/W)	0.30	0.32	0.35	0.43	0.42	0.46	0.67	0.64	0.45	0.37	0.34	0.30
	p(W/D)	0.19	0.15	0.21	0.19	0.24	0.25	0.37	0.32	0.23	0.16	0.26	0.22
Sokcho	p(W)	0.19	0.22	0.28	0.26	0.29	0.37	0.50	0.49	0.36	0.24	0.24	0.16
	p(W/W)	0.51	0.46	0.43	0.39	0.47	0.51	0.64	0.60	0.57	0.40	0.44	0.41
	p(W/D)	0.11	0.15	0.22	0.21	0.22	0.29	0.37	0.38	0.24	0.19	0.18	0.11
Suwon	p(W)	0.23	0.20	0.25	0.25	0.28	0.30	0.50	0.46	0.28	0.20	0.28	0.26
	p(W/W)	0.36	0.36	0.34	0.44	0.43	0.48	0.62	0.62	0.48	0.36	0.36	0.34
	p(W/D)	0.20	0.16	0.22	0.19	0.22	0.23	0.38	0.32	0.20	0.16	0.25	0.24
Tongyeong	p(W)	0.17	0.19	0.26	0.30	0.31	0.34	0.47	0.36	0.28	0.16	0.18	0.13
	p(W/W)	0.39	0.42	0.40	0.43	0.46	0.57	0.67	0.56	0.48	0.35	0.32	0.34
	p(W/D)	0.12	0.14	0.21	0.24	0.24	0.22	0.29	0.24	0.21	0.13	0.15	0.09
Ulsan	p(W)	0.17	0.20	0.26	0.27	0.30	0.32	0.44	0.39	0.33	0.18	0.16	0.13
	p(W/W)	0.39	0.45	0.38	0.39	0.45	0.51	0.63	0.58	0.53	0.33	0.40	0.36
	p(W/D)	0.12	0.14	0.22	0.23	0.23	0.23	0.28	0.27	0.23	0.15	0.12	0.09

Table 3. Monthly parameters (α , β) for gamma distribution functions of 23 observation sites in Korea. All parameter values calculated by maximum likelihood method using observation data of 1981 ~2010

Site name	Parameter	Month											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Busan	α	0.62	0.61	0.63	0.59	0.53	0.53	0.49	0.51	0.48	0.51	0.57	0.56
	β	10.16	13.45	15.13	24.71	31.53	37.14	47.58	43.17	35.18	22.00	14.70	9.75
Cheongju	α	0.64	0.66	0.61	0.62	0.60	0.52	0.55	0.55	0.59	0.55	0.62	0.67
	β	4.97	6.38	8.92	13.48	17.32	29.13	32.08	36.74	27.20	13.83	8.78	4.17
Chuncheon	α	0.67	0.63	0.64	0.67	0.61	0.56	0.51	0.56	0.50	0.66	0.69	0.68
	β	4.46	5.98	8.32	12.69	18.66	21.72	48.50	41.29	39.48	11.29	8.20	4.16
Chupungnyeong	α	0.61	0.63	0.68	0.62	0.65	0.54	0.61	0.54	0.53	0.59	0.65	0.65
	β	4.65	6.91	7.55	13.91	14.91	27.29	29.99	31.21	27.50	12.42	7.80	4.46
Daegu	α	0.64	0.73	0.70	0.64	0.65	0.55	0.55	0.53	0.51	0.60	0.64	0.60
	β	7.16	7.41	9.21	12.45	14.21	27.63	28.50	34.60	29.18	11.04	9.55	5.95
Daegwallyeong	α	0.50	0.60	0.64	0.64	0.52	0.53	0.53	0.50	0.49	0.49	0.56	0.55
	β	11.78	8.09	10.15	13.24	20.35	25.81	37.04	44.01	46.72	27.42	13.12	6.67
Daejeon	α	0.55	0.59	0.64	0.63	0.59	0.54	0.53	0.56	0.56	0.57	0.63	0.62
	β	6.35	8.46	9.34	14.97	19.13	31.66	37.20	37.30	31.40	13.84	8.76	4.82
Gangneung	α	0.57	0.60	0.72	0.57	0.52	0.53	0.50	0.47	0.50	0.48	0.55	0.60
	β	16.70	12.76	10.84	14.54	17.91	20.01	31.24	40.43	43.81	32.51	20.54	14.18
Gunsan	α	0.73	0.56	0.61	0.62	0.57	0.51	0.54	0.55	0.51	0.63	0.63	0.74
	β	3.94	7.95	8.79	15.58	18.07	32.41	35.86	35.70	29.73	12.07	8.78	4.25
Gwangju	α	0.62	0.60	0.63	0.60	0.57	0.52	0.51	0.54	0.49	0.56	0.64	0.67
	β	5.39	8.81	10.12	15.18	18.17	32.47	38.83	37.03	31.60	12.21	8.48	4.97
Incheon	α	0.69	0.63	0.61	0.69	0.54	0.51	0.50	0.52	0.47	0.63	0.66	0.71
	β	4.57	6.30	9.96	11.49	21.12	22.68	42.46	43.81	39.72	13.76	9.15	3.75
Jeju	α	0.62	0.61	0.69	0.66	0.60	0.57	0.48	0.49	0.45	0.51	0.57	0.69
	β	8.36	9.95	11.42	13.64	15.52	26.94	39.61	39.88	45.51	22.49	11.75	6.39
Jeonju	α	0.69	0.61	0.68	0.63	0.65	0.50	0.56	0.58	0.51	0.59	0.66	0.72
	β	5.09	8.43	7.79	14.40	15.17	31.50	33.80	30.88	27.54	13.71	8.33	4.63
Jinju	α	0.75	0.59	0.66	0.55	0.57	0.50	0.53	0.53	0.46	0.57	0.63	0.56
	β	8.97	13.78	14.36	23.47	24.90	38.61	42.63	43.84	40.02	16.47	12.24	8.50
Mokpo	α	0.70	0.59	0.59	0.61	0.56	0.50	0.49	0.54	0.47	0.54	0.61	0.68
	β	4.12	7.51	10.47	13.47	16.84	32.94	36.21	28.97	35.23	13.38	8.45	4.24
Pohang	α	0.71	0.70	0.65	0.59	0.59	0.53	0.53	0.51	0.47	0.54	0.60	0.56
	β	9.65	9.39	10.77	14.58	16.50	27.30	28.58	35.50	34.32	12.40	12.02	10.73
Seogwipo	α	0.59	0.52	0.60	0.52	0.53	0.56	0.49	0.55	0.47	0.49	0.55	0.55
	β	10.03	15.52	19.70	31.79	36.30	38.04	44.26	37.70	40.61	27.05	17.36	10.09
Seosan	α	0.69	0.61	0.63	0.58	0.55	0.48	0.47	0.48	0.51	0.56	0.68	0.77
	β	4.45	6.20	10.50	16.19	23.39	30.73	38.47	44.70	37.18	13.80	8.63	3.51
Seoul	α	0.70	0.58	0.60	0.64	0.55	0.54	0.51	0.52	0.46	0.67	0.67	0.72
	β	4.52	7.46	10.65	12.89	21.22	24.77	47.72	47.82	40.31	12.26	9.02	4.04
Sokcho	α	0.66	0.61	0.68	0.59	0.49	0.51	0.49	0.49	0.47	0.52	0.55	0.54
	β	11.57	11.48	9.79	13.71	21.51	19.84	32.45	39.43	44.20	23.45	18.97	14.57
Suwon	α	0.70	0.60	0.62	0.64	0.56	0.51	0.50	0.52	0.51	0.60	0.66	0.67
	β	4.41	6.41	10.18	12.34	19.93	26.94	46.09	40.84	34.51	14.12	8.56	4.00
Tongyeong	α	0.68	0.63	0.61	0.61	0.54	0.54	0.52	0.54	0.51	0.55	0.56	0.57
	β	8.64	12.70	16.54	22.35	30.45	36.25	38.31	37.72	31.39	18.55	14.15	9.24
Ulsan	α	0.65	0.61	0.64	0.61	0.54	0.51	0.52	0.51	0.49	0.51	0.60	0.61
	β	10.01	11.00	12.82	17.86	21.75	34.38	33.40	38.62	33.66	18.55	13.48	9.63

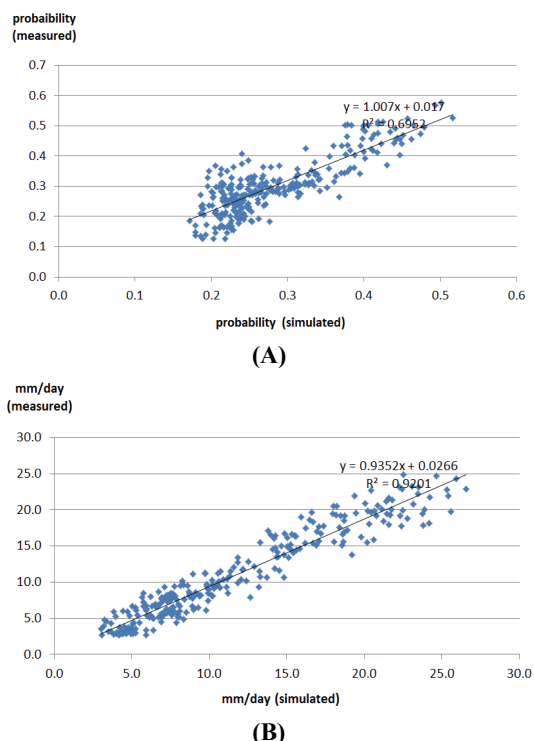


Fig. 3. Comparison of measured and simulated probabilities of rainfall days (A), and mean amount of rainfall in a rainy day (B) in a month using parameters from monthly rainfall data only at 23 observation sites in Korea during 1981~2010. Occurrence and amount of daily rainfalls was simulated by a combination method of Markov chain and gamma distribution function.

고 있다.

본 논문에서 제시한 일 강우발생 방법에 의한 월 분포와 과거의 관측된 일 강우자료의 월 분포와 비교한 종합적인 결과를 Table 4에 나타내었다. 이것은 1981~2010년의 30년과 2011~2015년의 5년의 두 기간을 대상으

로 Two Sample Kolmogorov-Smirnov 분석을 수행한 결과이다.

분석을 23개 지점을 대상으로 12개월의 강우 분포를 30회 발생시켜 1회 당 총 276개의 강우 분포를 비교한 결과에서 30년 기간을 대상으로 했을 경우에는 비보정 방법에서는 276개 중 평균 8.1개, 보정 방법으로는 평균 2.3개의 월 분포가 관측된 자료 분포와 일치하지 않은 것으로 나타났다. 반면에 최근 5년 기간을 대상으로 했을 경우에는 비보정 방법에서는 276개 중 0.03개가 관측된 분포와 일치하지 않았지만 보정 방법에서는 276개 모두 일치하였다. 이렇게 30년과 5년의 기간별로 분포를 비교하였을 때 결과가 다르게 나타난 것은 두 기간의 계급구간의 수가 서로 다른 것에 기인한 것이다. 30년 기간을 대상으로 할 경우에는 계급구간이 30개로 보다 조밀하게 분할한 후에 분포를 비교하므로 더 엄격하게 비교하는 것이 된다.

그럼에도 불구하고 생성된 일 강우량 자료를 보정하지 않더라도 전국의 25개 기상관서를 대상으로 일 강우 자료를 생성하였을 때 97% 이상 관측된 분포와 일치하는 자료를 생성할 수 있음을 나타내고 있다. 또 비교 대상 기간을 단축하거나 자료를 보정할 경우에는 관측된 일 강우자료와 거의 유사하게 분포하는 일 자료를 생성할 수 있음을 알 수 있었다.

Thom(1958)은 과거 장기간의 일 자료로부터 월 분포 함수를 추정하는 방법을 제시하였지만, 이 논문에서 제시된 바와 같이 월 강우량 자료만을 이용하여 월 분포 함수를 추정하고 이로부터 일 강우량을 생성한 사례는 아직 보고된 바 없다. 즉, 이 논문에서 제시된 방법을 이용할 경우에는 적어도 한국에서는 월 강우량 자료가 있으면 이로부터 실용적으로 쓸 수 있는 일 강우자료를 생성하여 활용할 수 있음을 알 수 있다.

또 여기에서 제시된 방법을 발전시키면 특정 지점이 아닌 2차원의 일 강우량 지도를 생성하는 것도 가능할

Table 4. Number of data-sets from 276 data-sets of daily precipitation generation trials, which showed different distribution from measured data-sets for a month. Goodness-of-fit between generated and measured data-sets was tested by two sample Kolmogorov-Smirnov analysis method. Comparison was performed with two periods of 1981-2010 and 2011-2015

Period	Calibration	Number with different distribution data-sets (%)
1981-2010	calibrated	2.27 (0.82)
	non-calibrated	8.07 (2.92)
2011-2015	calibrated	0.00 (0.00)
	non-calibrated	0.03 (0.01)

것이다. 특히, 기후변화 영향평가 연구를 수행할 경우에 월 강우량을 나타낸 기후변화 시나리오를 많이 이용하고 있다는 점을 고려하면, 이를 이용하여 강우특성모수 지도를 제작하여 일 강수량 지도를 생성할 수도 있을 것이다. 또 다른 방법으로는 지역의 강우특성에 영향을 미치는 인자로서 해발고도, 해양도, 내륙도, 경사도, 경사향 등 다양한 환경 요인지도들을 이용하면 보다 세밀한 강우특성모수 지도를 제작할 수도 있을 것이다. 이렇게 해상도가 높은 강우특성모수 지도를 활용하면 농장 수준에서도 관측과 유사하게 나타나는 일 강우자료를 생성하는 것도 가능할 것으로 예상된다. 앞으로 농업과 수자원 분야에서 현실에 부합되는 일 강우량 자료와 함께 면적강우량 자료가 중요하다는 점을 고려하면 이와 관련된 많은 연구가 필요하다고 하겠다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ011383032017)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

적 요

이 연구는 우리나라를 대상으로 일 강우자료를 생성하는 방법을 모색하기 위하여 진행되었다. 우선 전국 23개 기상관서의 과거 30년간의 일 강우자료를 수집하여 기상생성방법으로 많이 이용되는 조건부 확률을 이용한 Markov 연쇄와 감마 분포 함수를 결합하는 방법을 적용하여 본 결과 관측자료와 유사한 일 강우자료를 생성하였고, 23개 지점별로 강우특성을 나타내는 4종의 모수를 계산할 수 있었다. 또한 새로운 방법을 이용하여 지점

의 강우특성을 나타내는 모수는 월 강우량으로부터 추정할 수 있었고, 이를 적용하여 1981~2010년, 2011~2015년 두 기간을 대상으로 일 강우자료를 생성하여 기존의 관측자료와 비교한 결과 매우 유사한 분포를 나타내는 것을 알 수 있었다. 따라서 월 강우량 자료를 이용하여 강우특성모수를 산출하고 이로부터 일 강우자료를 생성하는 조건부 확률과 감마 분포 함수를 결합한 방법은 농업의 기후변화 영향과 수자원의 연구에 실용적으로 이용될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Geng, S., F. W. P. de Vries, and I. Supit. 1986: A simple method for generating daily rainfall data. *Agricultural and Forest Meteorology* **36**(4), 363-376.
- Larsen, G., and R. Pense, 1982: Stochastic simulation of daily climatic data for agronomic models. *Agronomy Journal* **74**, 510-514.
- Massey Jr., F. J., 1951: The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association* **46**(253), 68-78.
- Racsko, P., L. Szeidl, and M. Semenov, 1991: A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling* **57**(1-2), 27-41.
- Richardson, C. W., and D. A. Wright, 1984: WGEN: A model for generating daily weather variables. USDA-ARS, Washington, DC.
- Semenov, M. A., R. J. Brooks, E. M. Barrow, and C. W. Richardson, 1998: Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research* **10**, 95-107.
- Thom, H. C. S., 1958: A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review* **86**, 117-122.