

월 평균 기온과 강우 자료를 이용한 일 기온 자료의 생성

문경환* · 송은영¹ · 위승환¹ · 서형호¹ · 현해남²

¹국립원예특작과학원 농촌진흥청, ²식물자원환경전공 제주대학교
(2018년 2월 13일 접수; 2018년 8월 28일 수정; 2018년 9월 13일 수락)

Generation of daily temperature data using monthly mean temperature and precipitation data

Kyung Hwan Moon^{1*}, Eun Young Song¹, Seung Hwan Wi¹, Hyung Ho Seo¹ and Hae Nam Hyun²

¹National Institute of Horticulture and Herbal Science Rural Development Administration

²Major of plant resources and environment Jeju National University

(Received February 13, 2018; Revised August 29, 2018; Accepted September 13, 2018)

ABSTRACT

This study was conducted to develop a method to generate daily maximum and minimum temperatures using monthly data. We analyzed 30-year daily weather data of the 23 meteorological stations in South Korea and elucidated the parameters for predicting annual trend (center value (\hat{U}), amplitude (C), deviation (T)) and daily fluctuation (A, B) of daily maximum and minimum temperature. We use national average values for C, T, A and B parameters, but the center value is derived from the annual average data on each stations. First, daily weather data were generated according to the occurrence of rainfall, then calibrated using monthly data, and finally, daily maximum and minimum daily temperatures were generated. With this method, we could generate daily weather data with more than 95% similar distribution to recorded data for all 23 stations. In addition, this method was able to generate Growing Degree Day(GDD) similar to the past data, and it could be applied to areas not subject to survey. This method is useful for generating daily data in case of having monthly data such as climate change scenarios.

Key words: Weather generation, Daily maximum temperature, Daily minimum temperature, Growing Degree Days(GDD)

I. 서 론

기후변화가 예상됨에 따라 그것으로 인해 크게 영향을 받을 것으로 예상되는 농업부문에서는 미래의 기후변화에 대비하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다(Collins *et al.*, 2013; Moss *et al.*, 2010). 기후변화에 효과적으로 대응하기 위해서는 농업에 대한 기후의 영향을 정량적으로 평가하는 것이 중요하며, 그 동안

세계적으로 모형기술을 이용하여 예측하려는 노력이 진행되어 왔다(Meehl *et al.*, 2014; Rosenzweig *et al.*, 2013). 농작물의 생육과 수량을 정량적으로 예측하기 위해서는 잘 만들어진 작물모형뿐만 아니라 미래의 기후특성을 반영한 기상자료가 필요하다(Kim and Yun, 2016). 최근에는 동적 작물모형을 이용하여 농업생산에 연구가 활발해지고 있어 이를 위한 일 기상자료의 확보가 중요해지고 있다(Lobell *et al.*, 2006; Rosenzweig



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

et al., 2014). 그러나 과거 관측기록이 없거나 공간적으로 미관측 지점인 경우에는 신뢰할 수 있는 일 기상자료를 확보하기가 쉽지 않다.

관심 있는 지역의 일 기상자료가 부족할 경우에 월 기상자료를 이용하는 방법이 고려될 수 있다. 일본에서는 12개의 월 평균값을 이용하여 365개의 일 자료를 복원하는 조화해석법이 보고되어 일본 기상청에서 사용된 바 있다(Seino, 1993). 이 방법은 월 자료로부터 주기를 가진 여러 개의 사인곡선을 결합한 함수를 찾아내고 이로부터 일 자료를 추정하는 것으로, 1년 동안 매끄럽게 변동되는 일 자료가 생성되므로 30년 평년 등 장기간의 일 자료를 추정하는 데는 유용하지만, 1~2년의 단기간의 월 자료를 이용하였을 때는 실제와 다르게 나타난다. 평년에 대해서 이 방법을 이용하여 생장도일을 분석하였을 때 실제와 오차가 발생하는 것이 보고된 바 있다(Kim and Yun, 2008).

다른 방법으로는 확률적인 방법으로 일 기상자료를 생성하는 기상생성기가 있다. 기상생성기로는 WGEN, WXGEN, CLIGEN, LARS-WG, ClimGen 등이 많이 알려져 있다(Carter *et al.*, 1995; Fatichi *et al.*, 2011; Richardson and Wright, 1984; Semenov *et al.*, 2002; Stöckle *et al.*, 2001; Wallis and Griffiths, 1995). 대부분의 기상생성기는 WGEN과 같이 난수를 발생시켜 일 기상의 변동성을 나타내고 이를 장기간의 관측자료로부터 분석된 주기성과 결합하는 방법을 쓰고 있다. WGEN은 기상요소의 주기성을 강우 발생 여부를 기준으로 먼저 구분하여 기상요소 간의 상관관계를 고려한 다음 일 자료를 생성하고 있으며, 작물 모형과 기후변화 영향평가 연구 등 여러 분야에서 널리 이용되고 있다(Brisson *et al.*, 1998; Jones *et al.*, 2003; Kilsby *et al.*, 2007; Soltani and Hoogenboom, 2003; Williams *et al.*, 1983; Zhang *et al.*, 2004). 그러나 WGEN을 효과적으로 활용하기 위해서는 생성된 일 기상이 해당 지역의 기상특성을 잘 반영하는 지 확인하는 것이 좋다. Moon *et al.*(2017)은 WGEN에 의해 생성된 일 강우자료의 분포가 한국의 23개 관측지점의 장기간 관측된 것과 다르게 나타나며, 이를 개선하기 위해 월 기상자료를 이용하여 보정하는 방법을 제시한 바 있다.

기온은 작물, 토양, 대기 등 농업생태계에서 상태 및 변화를 알아볼 수 있는 기본적인 요소로 간주되고 있으며, 시간에 따른 연속적인 변량이다. 여러 가지 시간 규모의 기온자료 중 일 기온자료는 동적 작물모

형의 입력자료로 많이 쓰이고 있다. 일 기온의 변동은 지구자전의 영향을 받아 일 주기성을 가지고 있으며, 이러한 주기적인 특성은 일 최고기온과 일 최저기온, 두 개의 값으로 간략하게 나타낼 수 있다. 여러 가지 동적 작물모형에서는 일 최고기온과 일 최저기온을 입력자료로 이용하고, 일 평균기온은 이 두 값으로부터 도출하는 경우가 많다(Jones *et al.*, 2003; Teh, 2006).

우리나라를 대상으로 일 기상생성 방법에 대한 연구는 많지 않다. Lee (2003)는 XWGEN과 유사한 방법으로 강우량, 최저기온, 최고기온, 평균습도, 풍속 및 일사량 등의 일 기상자료를 생성한 바 있으나 속초한 지점에 국한되었다. 국내에서 기상생성기로 LARS-WG를 이용한 연구가 진행된 바 있다. Hong *et al.*(2009)은 확률적 기상생성기인 LARS-WG를 사용하여 국내 9개 지역에 적용하였다, 그 결과 일 강우량, 일 최저기온의 예측은 잘 되었으나, 8월의 일 최고기온에서 1개 지점의 예측에 유의성이 없었고, 국내 52개 관측소의 관측과 비교하였을 때 월평균 최대기온, 월평균 최소기온과 월평균 강수량에서 관측치에 $\pm 20\%$, 표준편차 $\pm 50\%$ 의 오차를 보였다(Bae *et al.*, 2007). 우리나라와 같이 산악지형이 많은 곳에서는 지점마다 미기상이 매우 다를 경우가 많으므로, 실용적인 기후변화 영향평가 연구하기 위해서는 복잡한 지형에 적용하여도 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있는 일 기상 생성방법이 개발될 필요가 있다.

이 연구에서는 우리나라를 대상으로 실용적으로 월 기온자료로부터 일 기온자료를 생성하는 방법을 모색하기 위하여 진행되었다. 우선 국내 적용가능성이 입증된 일 강우자료 생성방법을 이용하여 강우 발생 여부를 판단하고, 그 다음으로 일 최고기온과 일 최저기온을 단계적으로 생성하는 방법을 이용하였다. 복잡한 우리나라 환경에서 관심 있는 지점의 기상환경을 보다 정확하게 반영하고자 일반적인 기상생성 방법과 다르게 생성된 일 기상자료를 확보된 월 기상자료를 이용하여 보정하는 과정을 추가하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 자료의 수집

우리나라 전 지역에 적용이 가능한 기상생성 방법을 개발하기 위하여 가급적이면 많은 지점의 자료를 이용하여 연구하였다. 우리나라에서 30년 이상의 장기간의 일 기상자료를 제공하는 23개 기상관서의 일

기상 자료를 수집하였다. 자료 수집 기간은 1981년부터 2010년의 30년으로 하였다. 분석대상 기상관서에 대한 위치, 해발고도 및 연평균기온을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Basic information and annual mean temperature(°C) of selected observation stations of Korea Meteorological Administration used in this study

Station Name	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Annual mean temperature (°C)
Busan	35.10	129.03	69.2	14.7
Cheongju	36.64	127.44	56.4	12.5
Chuncheon	37.90	127.74	76.8	11.1
Chupungn-yeong	36.22	127.99	240.9	11.7
Daegu	35.89	128.62	57.3	14.1
Daegwall-yeong	37.69	128.76	842.5	6.6
Daejeon	36.37	127.37	62.6	13.0
Gangneung	37.75	128.89	26.1	13.1
Gunsan	35.99	126.71	25.6	12.8
Gwangju	35.17	126.89	74.5	13.8
Incheon	37.48	126.62	69	12.1
Jeju	33.51	126.53	19.9	15.8
Jeonju	35.82	127.15	61	13.3
Jinju	35.21	128.12	21.3	13.1
Mokpo	34.82	126.38	37.4	13.9
Pohang	36.03	129.38	1.3	14.2
Seogwipo	33.25	126.57	50.4	16.6
Seosan	36.77	126.5	25.2	11.9
Seoul	37.57	126.97	85.5	12.5
Sokcho	38.25	128.56	22.9	12.2
Suwon	37.27	126.99	34.5	12.0
Tongyeong	34.85	128.44	30.8	14.7
Ulsan	35.56	129.32	34.6	14.1

2.2. 모형 설정

우선 수집된 30년 간의 일 최고기온 및 일 최저기온의 자료를 강우일과 무강우일로 구분하여, 일 자료의 연간 변동을 추정하기 위해서 지점별로 365일 간의 일 평균과 표준편차를 계산하였다. 일 평균과 표준편

차의 연간 변동은 식 (1)과 같이 코사인함수를 이용한 단진동으로 나타낼 수 있다고 가정하였다.

$$U_i = \hat{U} + C \cdot \cos(0.0172(i - T)), \quad i = 1, \dots, 365 \quad (1)$$

이 때,

U_i : value of daily mean or standard deviation of day i

\hat{U} : annual mean value of daily mean or standard deviation

C : amplitude of cosine function

T : positional bias of cosine function in days 이다.

관측된 일 자료를 정규화하여 연간 변동을 분석하면 단진동 식에서 진동의 연 중심값인 \hat{U} 는 0이 되며, 이로부터 일 최고기온 및 일 최저기온의 연간 진동특성은 진폭(C)과 편이(T) 두 값으로 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 일 자료의 일간 변이를 나타내기 위하여 일 최고기온과 일 최저기온의 잔차를 추정하였다. 일 반적으로 일 최고기온, 일 최저기온, 일사량 등 기상요소들은 이전 일의 기상상태와 서로 다른 기상요소들과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이러한 기상요소 간의 관계를 반영하여 식 (2)와 같이 일별 잔차를 추정하는데 이용하게 된다(Lee, 2003; Richardson and Wright, 1984).

$$X_i(j) = \mathbf{A} \cdot X_{i-1}(j) + \mathbf{B} \cdot \varepsilon_i(j) \quad (2)$$

이 때,

$X_i(j), X_{i-1}(j)$: 2×1 matrix for day i and day $i-1$

$\varepsilon_i(j)$: 2×1 matrix of independent random for day i

j : daily maximum temperature($j=1$), daily minimum temperature($j=2$)

\mathbf{A}, \mathbf{B} : 2×2 matrix defined relationships between weather variables

이다.

이 식으로부터 관측자료 간의 일간 변이특성은 \mathbf{A} 와 \mathbf{B} 두 개의 2×2 행렬식에 의해 나타낼 수 있음을 알 수 있다. \mathbf{A} 와 \mathbf{B} 의 행렬은 일 최고기온과 일 최저기온 간의 교차상관, 1일 지연 자기상관 및 1일 지연 교차상관계수를 이용하여 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\mathbf{M}_0 = \begin{bmatrix} 1 & \rho_0(1,2) \\ \rho_0(1,2) & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{M}_1 = \begin{bmatrix} \rho_1(1) & \rho_1(1,2) \\ \rho_1(2,1) & \rho_1(2) \end{bmatrix} \quad (4)$$

이 때,

$\rho_0(1,2)$: correlation coefficient between variable 1(tmax) and 2(tmin)

$\rho_1(j)$: lag 1 serial-correlation coefficient for variable j

$\rho_1(1,2)$: correlation coefficient between variables 1(tmax) and 2(tmin) with variable 2 lagged 1 day with respect to variable 1

이며, \mathbf{A} 와 \mathbf{B} 는

$$\mathbf{A} = \mathbf{M}_1 \mathbf{M}_0^{-1} \quad (5)$$

$$\mathbf{B}\mathbf{B}^T = \mathbf{M}_0 - \mathbf{M}_1 \mathbf{M}_0^{-1} \mathbf{M}_1^T \quad (6)$$

등의 식으로부터 구할 수 있으며, 행렬의 $^{-1}$ 과 T 는 각 행렬의 역행렬과 전치행렬을 의미한다.

다음 단계로 각 지점의 일 최고기온과 일 최저기온 등 일 자료는 다음과 같이 생성하게 된다.

$$t_i(j) = \bar{X}_i(j) * s_i(j) + m_i(j) \quad (7)$$

이 때,

$t_i(j)$: generated daily value of j variable for day I

$\bar{X}_i(j)$: 2×1 matrix for day I

$s_i(j)$: standard deviation of j variable for day I

$m_i(j)$: mean value of j variable for day i

이며, 생성된 일 값은 Moon *et al.*(2017)이 제시한 방법에 따라 강우가 발생한 경우와 그렇지 않은 경우를 판단하여 해당되는 값을 할당하였다. 전국 모든 지역에 대하여 기상생성방법을 적용하기 위하여 조사된 23개 지점에 대하여 강우일과 무강우일을 나누어 각각의 C, T, A, B 등을 구하고 이를 평균하였다.

2.3. 지역특성의 적용

위의 과정으로 생성된 일별 최고기온 및 최저기온은, 전국에 공통으로 적용하므로 지역적인 기상특성이 고려되지 않는다. 따라서 지역적인 기상특성을 반영하

기 위하여 식 (1)의 일 최고기온과 일 최저기온의 평균에 대한 연간 변동의 기준이 되는 값들을 지역마다 다르게 입력하였으며, 그 값은 지역의 연평균으로부터 계산하여 적용하였다. 다만, 표준편차의 연간 변동은 지점 간에 차이가 크지 않다고 가정하여 전국 평균을 적용하였다.

2.4. 보정

이와 같이 생성된 일 최고기온 및 일 최저기온은 두 변수 간의 장기간의 상관관계가 반영되어 있지만 식 (2)에서 난수를 대입한 항목으로 인하여 드물지만 일 최저기온과 일 최고기온이 역전되는 경우가 발생하게 된다. 생성된 일 최고기온이 일 최저기온이 낮은 값을 나타낼 때에는 단순히 두 값을 치환하여 보정하였다. 마지막으로 지역의 월 기상의 특성을 정확하게 반영할 수 있도록 생성된 자료의 월 평균값을 구한 다음 입력자료로 활용된 일 최고기온 및 일 최저기온의 월 평균값을 이용하여 차이를 보정하였다.

2.5. 모형 검증

기상생성기는 실제와 유사한 기상자료를 생성하는 것이 목적이며, 이는 관측자료와 생성자료 간의 통계량(평균, 분산, 이상현상 발생, 요소간 상관 및 시차상관 등)을 유사해야 함을 의미한다(Semenov and Barrow, 1997). 모형 검증에는 두 자료 간의 평균과 분산을 이용하여 t-검정이나 F-검정을 하거나(Bae *et al.*, 2007; Hong *et al.*, 2009), 분포형태를 비교하는 적합도 검정을 할 수 있다(Mavromatis and Hansen, 2001).

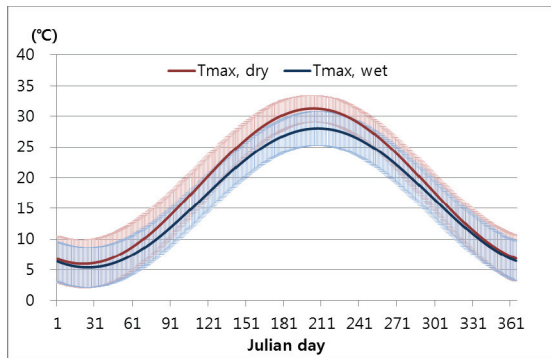
제시된 기상생성방법에서는 월 평균을 보정을 하므로 평균에 대한 t-검정은 큰 의미가 없으므로 여기서는 관측지점에 대하여 30년간의 일 자료를 생성하고 매 월의 자료를 이용하여 적합도 검정의 한 방법인 Two Sample Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시하였다. 이 방법은 각 집단의 실험분포 자료를 이용하여 두 자료 집단의 동질성을 확인하는 방법으로 자료가 정규적으로 분포하지 않을 경우에 많이 이용되는 비교 검증 방법이다.

III. 결과 및 고찰

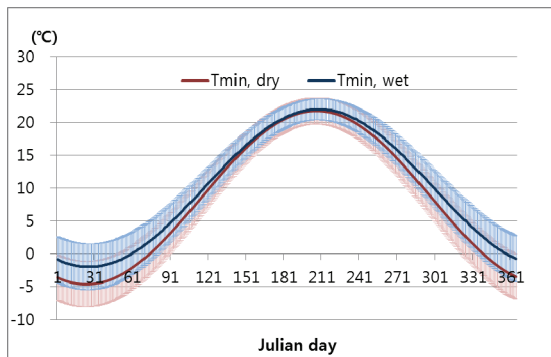
3.1. 일 기온의 연차간 변동

제시된 일 기상자료 생성방법을 이용하기 위하여 조사대상 23개 기상관서의 1981~2010년의 일 최고 기온 및 일 최저기온 자료로부터 앞에서 제시된 일 자료 생성 방법에 대하여 분석하였다. 전국의 평균적인 연차간 변동 경향을 알아보기 위하여 조사 지점별로 식 (1)의 중심값(\hat{U}), 진폭(C) 및 편이(T)를 구하여 평균을 구하여 Table 2에 나타내었고, Fig. 1에는 일 최고기온 및 일 최저기온의 연차간 변동을 그래프로 나타내었다.

전국적으로 일년 중의 일 최고기온은 무강우일의 경우 18.6°C를 중심으로 진폭이 12.6°C이었으나, 강우일에는 16.7°C를 중심으로 진폭이 11.3°C으로 무 강우일이 강우일에 비해 기온이 높고 변동폭도 큼을 알



(A)



(B)

Fig. 1. Changes in annual trend of daily maximum temperature(A) and daily minimum temperature(B) in dry and wet regime for all stations. Vertical bars mean of standard deviation on each day.

Table 2. The values of \hat{U} , C and T parameters of cosine function ($U_i = \hat{U} + C \cdot \cos(0.0172(i - T))$) to represent annual trend of daily maximum and minimum temperature in dry and wet regime

Parameters	Maximum temperature		Minimum temperature	
	dry	wet	dry	wet
\hat{U}	18.6	16.7	8.5	10.0
C	12.6	11.3	13.2	12.0
T	204.3	207.8	206.7	208.7

수 있다. 반면에 일 최저기온의 경우에는 무강우일에는 중심값이 8.5°C, 진폭 13.2°C이었으나, 강우일에는 중심값 10.0°C, 진폭 12.0°C로 강우일이 무강우일보다 기온이 높았다.

3.2. 입력 모수의 산정

WGEN에서는 과거 장기간의 일 기상자료를 이용하여 지점 별로 중심값 뿐만 아니라 진폭 및 편이에 대하여 값을 알아내서 입력하여야 되므로 이러한 자료가 부족할 경우에는 이용하기가 어렵게 된다. 반면 이 논문에서는 중심값(\hat{U}) 한 가지로 지역별 기상의 특징을 나타낼 수 있고, 진폭(C)과 편이(T)는 전국 평균값을 적용하여도 좋을 것으로 가정하였다. 실제로 제주지역을 제외한 21개 지역의 각 모수의 최대값과 최소값의 차이는 중심값, 진폭, 편이가 평균에 대하여 약 37%, 16%, 2%로서 중심값 만으로도 지역의 특성을 나타낼 수 있을 것으로 판단되었다. 각 조건에 대하여 연 평균값으로부터 중심값(\hat{U})을 구하는 관계식은 다음과 같고, 진폭과 편이는 Table 3에 나타내었다.

$$\hat{U}(t_{\max, \text{dry}}) = 0.9505 \cdot Y_{t_{\max}} + 1.5332 \quad (8)$$

$$\hat{U}(t_{\min, \text{dry}}) = 1.0415 \cdot Y_{t_{\min}} - 0.7219 \quad (9)$$

$$\hat{U}(t_{\max, \text{wet}}) = 1.0408 \cdot Y_{t_{\max}} - 1.9805 \quad (10)$$

$$\hat{U}(t_{\min, \text{wet}}) = 0.9324 \cdot Y_{t_{\min}} + 1.7066 \quad (11)$$

이 때,

$\hat{U}(j,k)$: mean value of $j(t_{\max}$ or $t_{\min})$ variable for $k(\text{dry or wet})$ days

Y_j : annual mean value of $j(t_{\max}$ or $t_{\min})$ variable 이다.

Table 3. The number of sites in probability ranges resulted from two sample Kolmogorov-Smirnov test between measured and generated data for 30-yr daily maximum and minimum air temperatures

Probability range	Daily maximum temperature											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
$p \leq 0.01$	21	23	23	20	22	21	23	23	22	21	23	23
$0.01 < p \leq 0.05$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$0.05 < p \leq 0.50$	1	0	0	2	1	1	0	0	1	2	0	0
$0.50 < p \leq 0.70$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$0.70 < p \leq 1.00$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Probability range	Daily minimum temperature											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
$p \leq 0.01$	19	21	16	20	17	20	23	21	20	21	21	19
$0.01 < p \leq 0.05$	2	2	2	2	3	3	0	2	2	2	2	3
$0.05 < p \leq 0.50$	1	0	5	1	3	0	0	0	0	0	0	1
$0.50 < p \leq 0.70$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
$0.70 < p \leq 1.00$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

다음으로 일 최고기온과 일 최저기온의 변동 간의 관계는 WGEN에서는 일사량을 포함하여 3×3 행렬식으로 나타내고 있다. 이 모수를 국내에 직접 적용하였을 때 생성된 자료가 과거 관측자료와 분포가 잘 맞지 않았고, 특히 일사량에 대해서는 관측과 많이 다른 형태를 나타내었다. 이는 WGEN에서 이용되는 기상요소간의 관계가 국내 여건에는 잘 맞지 않음을 나타내는 것으로 이 논문에서는 국내 자료를 이용하여 새로운 모수를 찾아내고자 하였다. 국내에서의 최고기온과 최저기온의 관계는 식 (2)에 제시된 것과 같이 **A**와 **B**, 두 개의 2×2 행렬식으로 나타낼 수 있었다.

$$A = \begin{bmatrix} 0.70 & 0.08 \\ 0.11 & 0.79 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.64 & 0.00 \\ 0.11 & 0.50 \end{bmatrix}$$

또한 제시된 기상생성 방법에서는 일단 생성된 기상자료는 입력된 월평균 값을 이용하여 그 비율에 따라 다시 한 번 더 생성된 값을 조정하도록 고안되어 신뢰성을 높이고자 하였다. 이러한 재계산 방식은 WGEN에는 없는 것으로서 입력된 월 평균값에 의해 생성된 일 자료의 변동이 입력된 월 평균값에 수렴하게 되어 자체적으로 생성된 자료에 대한 신뢰성을 높일 수 있도록 하였다.

3.3. 생성자료의 비교 및 검정

제시된 방법에 따라 여러 지점에서 일 기상자료를 생성하여 관측된 자료와 비교하였다. 조사지점의 한 곳인 강릉을 대상으로 1년간의 일 최고기온, 일 최저기온을 강우발생 유무 조건에 따라 생성하고 보정을 수행한 예를 Fig. 2에 나타내었다. 평년의 일 평균기온의 연간 변동이 30년 기간의 일 자료를 평균함에 따라 부드러운 변동을 나타내지만, 제시된 모형에 의해 생성한 일 최고기온 및 일 최저기온의 연간 변동은 일 변동까지 자세하게 표현되고 있다.

Fig. 3에는 강릉과 전주의 1월 일 최고기온 및 일 최저기온의 30년 동안 관측된 분포와 기상생성방법에 의한 분포를 비교한 결과이다. 두 지역에서 모두 관측된 분포와 유사한 경향을 나타내고 있었다.

Fig. 4는 강릉에서 30년간 관측된 자료와 생성된 자료를 이용하여 0°C와 10°C 두 온도를 기준으로 생장도일(growing degree days)의 연간 변동을 나타내었다. 두 경우 모두 관측된 결과와 매우 유사하게 변동하고 있음을 알 수 있으며, 이러한 경향은 조사된 전 지역에서 유사한 결과를 보였다. 특히 Kim and Yun (2008) 등이 생장도일 등 특정 온도를 기준으로 산정한 값은 월 자료만으로 산정할 때 관측과 매우 달랐던 점에 비하여 이 방법은 매우 정확하게 과거의 관측자료에 의한 값을 예측할 수 있음을 보여주고 있다.

조사된 23 지점에 대하여 30년간의 관측자료와 생

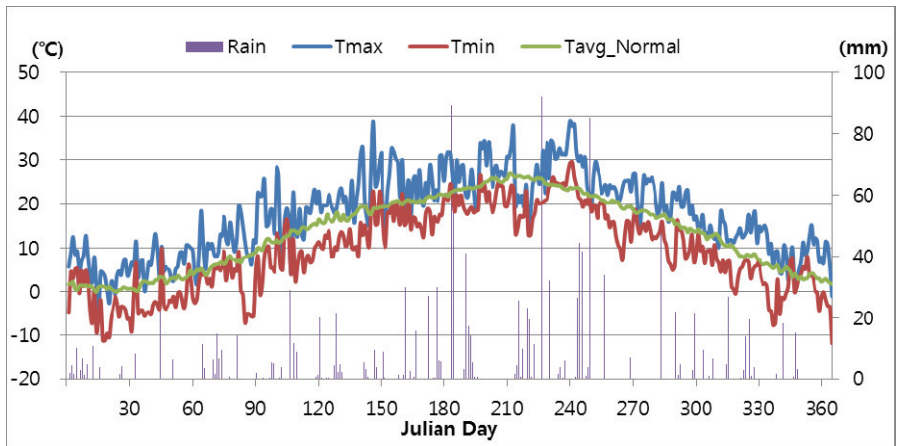
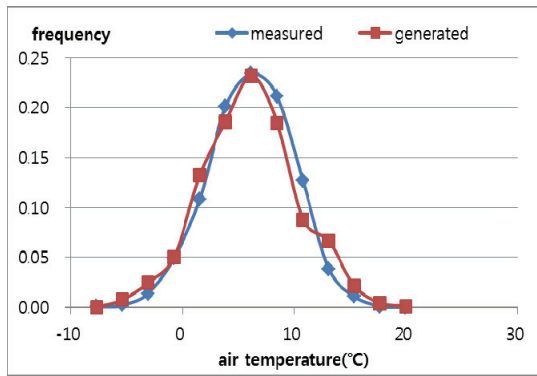
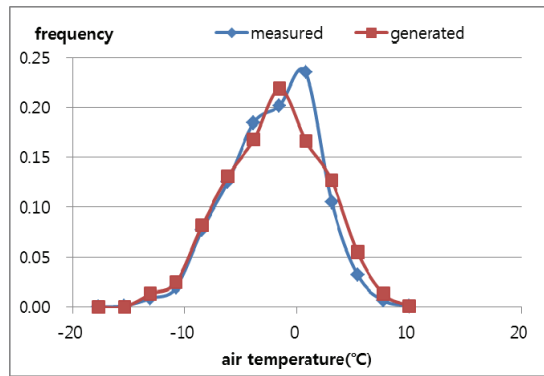


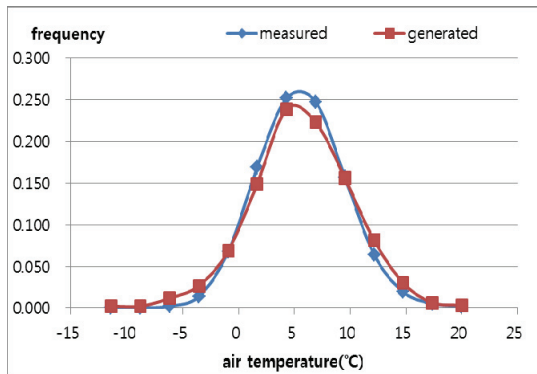
Fig. 2. Comparison of annual changes in generated daily maximum temperature(Tmax), daily minimum temperature(Tmin), daily precipitation(Rain) and 30-year normal of daily average temperature(Tavg_Normal) on Gangneung station.



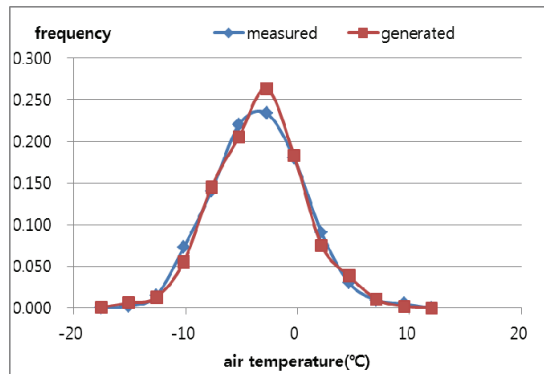
(A)



(B)

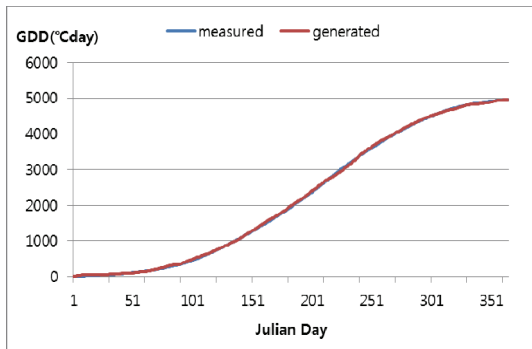


(C)

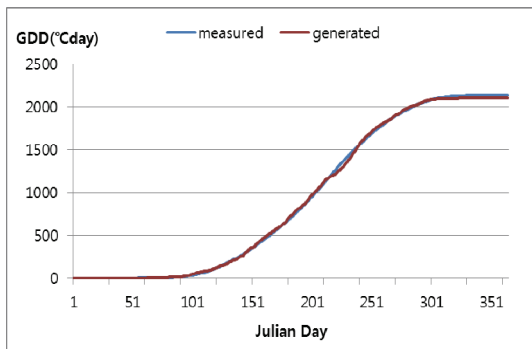


(D)

Fig. 3. Comparison of distribution of 30-year measured and generated data of daily maximum temperature(A) and daily minimum temperature(B) of January on Gangneung station, and daily maximum temperature(C) and daily minimum temperature(D) of January on Jeonju station.



(A)

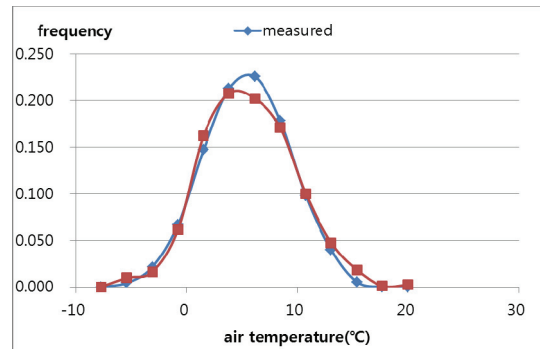


(B)

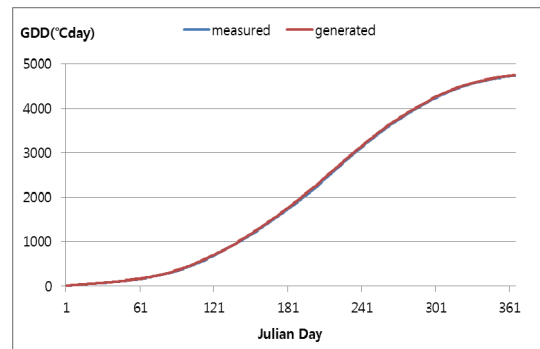
Fig. 4. Comparison of 30-year growing degree days(GDD) in case of 0°C base temperature(A) and 10°C base temperature on Gangneung station.

성자료를 이용하여 월별로 일 최고기온 및 일 최저기온의 분포에 대하여 Two Sample Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다. 일 최고기온에서는 전체 관측지점 중 3.2%, 일 최저기온에서는 4.7%를 제외하고는 유의수준 5% 내에서 자료의 분포가 일치하는 것으로 나타났다. Kolmogorov-Smirnov 검정은 정규분포가 아닌 자료를 실험분포로 비교하는 것으로 빈도수 차이가 가장 큰 계급에 의해 결과가 크게 달라지게 된다. 이에 따라 빈도를 벗어난 이상기온의 영향이 있을 것으로 추정되며 이를 고려하더라도 대부분 지역의 연간 생성된 일 자료의 분포가 관측된 분포와 비교적 잘 일치한다는 것을 보여주고 있다.

또한 위의 방법을 분석에 이용되지 않은 울릉도 지역을 대상으로 적용한 한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 울릉도는 동해에 위치하고 바다로 둘러싸여 있어서 국내의 타 지역과는 매우 다른 기상특성을 나타내고 있다. 울릉도의 월 최고기온, 월 최저기온 만을 입력하고 일 기상자료를 생성하여 비교해 본 결과 타 지역과



(A)



(B)

Fig. 5. Distribution of 30-year measured and generated daily maximum temperature(A) and changes in growing degree days(GDD) in case of base temperature 0°C on Ulreungdo station.

마찬가지로 과거의 기상을 잘 나타내는 기상자료를 생성할 수 있었다. 이러한 결과는 제시된 기상생성 방법이 우리나라 전역에 적용할 수 있음을 보여주는 것으로 전자기후도 형태로 상세화된 월 기상자료가 있을 때 효과적으로 일 기상자료를 생성할 수 있음을 보여주는 결과이다.

농촌진흥청에서는 2015년 RCP 기후변화시나리오에 근거하여 2100년까지 미래의 기후전망 자료에 대한 상세한 월 기후도를 제작한 바 있다. 이러한 필지 단위의 미래의 월 기후자료를 이용하면 기후 시나리오에 따른 필지 단위의 작물 생육 예측에 필요한 일 기후자료 확보가 가능해져 필지 단위 기후영향 분석을 수행할 수 있게 된다. 기상생성기술의 활용뿐만 아니라 강우와 기온 이외의 일사량, 풍속, 습도 등 다른 기상 요소에 관해 일 자료를 생성하는 기술을 개발하는 것도 필요할 것으로 판단된다.

적 요

이 연구는 월평균 기상자료를 이용하여 일 최고기온, 일 최저기온을 생성하는 방법을 개발하기 위하여 진행되었다. 전국 23개 기상관서의 과거 30년간의 일 기상자료를 분석하여 일 최고기온 및 일 최저기온의 연간 변동 경향을 나타내는 모수(중심값(\bar{U}), 진폭(C), 편이(T))와 일간 변동을 반영하는 모수(A, B)를 탐색하였다. 그 중 중심값은 지점간의 연 평균자료로부터 도출하였고, 중심값을 제외한 모수들은 전국 평균을 기상생성과정에 적용하였다. 먼저 강우발생 유무에 따라 일 기상자료를 생성한 후 월 자료를 이용하여 보정하고 마지막으로 일 최고기온 및 일 최저기온을 생성하였다. 이 방법으로 전체 23개 지역에 대하여 월별로 생성하였을 때 전체 월별 분포의 95% 이상 관측된 분포와 유사한 일 자료를 생성할 수 있었다. 또 이 방법에 의해 과거 자료와 유사한 생장도일(Growing Degree Day)를 생성할 수 있었고, 조사대상이 아닌 지역에도 충분히 적용할 수 있었다. 이 방법은 기후변화시나리오 등 월 자료가 확보되어 있는 경우에 일 기상자료를 생성하는데 유용할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ012656032018)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Bae, D.-H., I.-W. Jung, and W. T. Kwon, 2007: Generation of high resolution scenarios for climate change impacts on water resources(I): Climate scenarios on each sub-basins. *Journal of Korea Water Resources Association* **40**, 191-204.
- Brisson, N., B. Mary, D. Ripoche, M. H. Jeuffroy, F. Ruget, B. Nicoulaud, et al. 1998: STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie* **18**, 311-346.
- Carter, T., M. Posch, and H. Tuomenvirta, 1995: *SILMUSCEN and CLIGEN user's guide: Guidelines for the construction of climatic scenarios and use of a stochastic weather generator in the Finnish Research Programme on Climate Change (SILMU)*. Painatuskeskus, Publications of the Academy of Finland.
- Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, X. Gao, W. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A. Weaver, and M. Wehner, 2013: Chapter 12 - Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5*. Eds. IPCC, Cambridge: Cambridge University Press.
- Fatichi, S., V. Y. Ivanov, and E. Caporali, 2011: Simulation of future climate scenarios with a weather generator. *Advances in Water Resources* **34**, 448-467.
- Hong, E. M., J. Y. Choi, S. H. Lee, S. H. Yoo, and M. S. Kang, 2009: Estimation of paddy rice evapotranspiration considering climate change using LARS-WG. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers* **51**, 25-35.
- Jones, J. W., G. Hoogenboom, C. H. Porter, K. J. Boote, W. D. Batchelor, L. A. Hunt, P. W. Wilkens, U. Singh, A. J. Gijsman, and J. T. Ritchie, 2003: The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy* **18**(3-4), 235-265.
- Kilsby, C., P. Jones, A. Burton, A. Ford, H. Fowler, C. Harpham, P. James, A. Smith, and R. L. Wilby, 2007: A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modelling & Software* **22**(12), 1705-1719.
- Kim, J., and J. I. Yun, 2008: On mapping growing degree-days (GDD) from monthly digital climatic surfaces for South Korea. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**, 1-8.
- Kim, J., and J. I. Yun, 2016: The use and abuse of climate scenarios in agriculture. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**, 170-178.
- Lee, J.-Y., 2003: Stochastic simulation of daily weather variables. *Water Engineering Research* **4**, 111-126.
- Lobell, D. B., C. B. Field, K. N. Cahill, and C. Bonfils, 2006: Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology* **141**, 208-218.
- Mavromatis, T., and J. W. Hansen, 2001: Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agricultural and forest meteorology* **109**, 283-296.
- Meehl, G. A., R. Moss, K. E. Taylor, V. Eyring, R.

- J. Stouffer, S. Bony, and B. Stevens, 2014: Climate model intercomparisons: Preparing for the next phase. *Eos, Transactions American Geophysical Union* **95**(9), 77-78.
- Moon, K. H., E. Song, I. Sonn, S. Wi, S. Oh, and H. N. Hyun, 2017. Estimation of Markov chain and gamma distribution parameters for generation of daily precipitation data from monthly data. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **19**, 27-35.
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. Van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Thomson, J. P. Weyant, and T. J. Wilbanks, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* **463**, 747pp.
- Richardson, C. W., and D. A. Wright, 1984: WGEN: A model for generating daily weather variables. *ARS-8*. Washington, D.C.: USDA Agricultural Research Service.
- Rosenzweig, C., J. Elliott, D. Deryng, A. C. Ruane, C. Müller, A. Arneth, K. J. Boote, C. Folberth, M. Glotter, N. Khabarov, K. Neumann, F. Piontek, T. A. M. Pugh, E. Schmid, E. Stehfest, H. Yang, and J. W. Jones, 2014: Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **111**, 3268-3273.
- Rosenzweig, C., J. W. Jones, J. L. Hatfield, A. C. Ruane, K. J. Boote, P. Thorburn, J. M. Antle, G. C. Nelson, C. Porter, S. Janssen, S. Asseng, B. Basso, F. Ewert, D. Wallach, G. Baigorria, and J. M. Winter, 2013: The agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology* **170**, 166-182.
- Seino, H., 1993: An estimation of distribution of meteorological elements using GIS and AMeDAS data. *Journal of Agricultural Meteorology* **48**(4), 379-383.
- Semenov, M. A., and E. M. Barrow, 1997: Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic change* **35**(4), 397-414.
- Semenov, M. A., E. M. Barrow, and LARS-WG, 2002: A stochastic weather generator for use in climate impact studies. *User Man Herts UK*.
- Soltani, A., and G. Hoogenboom, 2003: A statistical comparison of the stochastic weather generators WGEN and SIMMETEO. *Climate Research* **24**(3), 215-230.
- Stöckle, O., R. Nelson, M. Donatelli, and F. Castelli, 2001: ClimGen: a flexible weather generation program. *Proceedings of the Second International Symposium on Modelling Cropping Systems*, July 16-18, 2001, Florence, Italy, 229-230.
- Teh, C., 2006: *Introduction to mathematical modeling of crop growth*. BrownWalker Press, Florida, USA.
- Wallis, T. W., and J. F. Griffiths, 1995: An assessment of the weather generator (WXGEN) used in the erosion/productivity impact calculator (EPIC). *Agricultural and Forest Meteorology* **73**(1-2), 115-133.
- Williams, J., P. Dyke, and C. Jones, 1983: EPIC-A model for assessing the effects of erosion on soil productivity. *Developments in Environmental Modelling*. Elsevier. 553-572.
- Zhang, Q., B. Singh, S. Gagnon, J. Rousselle, N. Evora, and S. Weyman, 2004: The application of WGEN to simulate daily climatic data for several Canadian stations. *Canadian Water Resources Journal* **29**(1), 59-72.