

기상자료 미계측 지역의 추계학적 기상발생모형

Stochastic Daily Weather Generations for Ungaged Stations

강 문 성* · 박 승 우** · 진 영 민*
Kang, Moon Seong · Park, Seung Woo · Chin, Young Min

Summary

A stochastic weather generator which simulate daily precipitation, maximum and minimum daily temperature, relative humidity was developed. The model parameters were estimated using stochastic characteristics analysis of historical data of 71 weather stations. Spatial variations of the parameters for the country were also analyzed. Model parameters of ungauged sites were determined from parameters of adjacent weather stations using inverse distance method. The model was verified on Suwon and Ulsan weather stations and showed good agreement between simulated and observed data.

I. 서 론

일별 기상자료는 농업과학분야에서 농작물 생육추정, 병충해의 예찰과 방제계획, 농작업 일수의 결정, 농업 수자원 계획과 물관리 등에서 필요하다. 이와 같은 일에서 기상 조건에 따른 영향을 고찰하기 위해서는 기상자료를 생성해야 하는 데, 이를 기상자료 발생(weather generation)이라 한다.(강, 1995)

일별 기상자료 발생법은 다음과 같다. 즉, 해당년도와 누가 강수량이 비슷한 연도를 선정하여 과거 특정연도의 기록을 이용하는 방법(한국건설기술연구원, 1995), 기상예보를 바탕으로 강수일을 예상하고 기상자료를 생성

하는 기상예보에 의한 방법(김, 1993), 수학적 모형을 이용하여 일별 기상자료를 생성하는 기상자료 발생모형에 의한 방법(김, 1993) 등이 있다.

기상자료 발생모형은 추계학적 방법에 의한 자료를 생성하는 방법으로, 기상요소별 확률 분포함수를 이용하여, 매개변수를 결정하고, 난수발생법을 적용하여 일련의 기상자료를 생성하는 방법이다. 그러나 과거자료가 없는 미계측 지역의 기상모의발생은 각 기상요소별 매개변수를 결정할 수 없다. 따라서 미계측 지역의 기상모의발생을 위해서는 그 유역의 매개변수를 추정하여 기상요소를 모의발생해야 할 것이다. 미계측 지점의 매개변수를 추

*서울대학교 대학원

**서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 기상발생모형, 추계학, 기상요소, 역거리법, 미계측 유역

정하는 방법은 과거 자료로 부터 기상 자료의 변동 특성을 분석하여 보간 하는 방법, 기상 위성 자료를 사용하여 보간하는 방법, 인근 기상 자료 관측값을 사용하여 보간 하는 방법 등이 있다.(이, 1994)

이(1994) 등은 기상자료 미계측 지점의 단기 강우 예보모형을 구성하였으며, Richardson과 Wright(1984)는 기상자료 발생모형인 WGEN을 구성하여, 미국 주요 지점의 기상자료를 모의 발생하였다. 강(1995)은 강수발생일, 강수량, 최고온도, 최저온도, 태양복사량, 그리고 상대습도 등의 농업기상인자에 대해 분포형에 따른 추계학적 모의발생모형을 구성하여, 전국의 주요 관측소에 적용하였다.

본 연구에서는 일별 기상인자의 추계학적 모의발생모형을 미계측 유역에 적용하기 위해 전국 71개 관측소의 강수발생일, 강수일, 최고온도, 최저온도, 그리고 상대습도 등의 기상요소별 매개변수를 결정하여 13개소 대상관측소에 적용하여 χ^2 적합도 검정을 실시하여 기상발생모형의 적용성을 평가하였으며, 우리나라 전역에 대한 매개변수의 공간적 분포를 도시하여 각 매개변수들의 공간적인 특성을 분석하였고, 역거리법에 의한 자료보간을 토대로 미계측 유역에 대한 기상모의발생모형의 매개변수를 추정하며 수원, 울산 등 2개 지점을 대상으로 모의발생모형을 적용하여 실측치와 모의발생치, 추정치를 비교함으로써 그 응용성을 평가하였다.

II. 연구방법

1. 국내 기상관측소 현황 및 자료

김(1994)은 수자원 계획을 위한 우리나라의 평균 연강수량 산출 최소기간을 43년으로 보고하였고, 세계기상기구에서는 30년의 기록기간을 추천하고 있다. 그러나 우리나라의 71개소 관측소중 30년 이상의 자료를 보유하고

있는 관측소는 16개소에 불과하다.

우리나라 관측소는 1945년 이전에는 10개소의 관측소가 있었으나 1960년 이후에 61개소의 관측소가 늘었으며 1973년에 전국적 관측망의 확충 작업으로 실제로 많은 수의 관측소가 73년 이후부터 현재까지 약 20년치의 자료를 보유하고 있다.(김, 1994)

본 연구에서는 20년치 이상의 자료를 보유하고 있는 62개 관측소와 공간적 분포를 도시하기 위한 9개소의 관측소를 포함하여 총 71개 관측소의 1994년까지의 기상자료를 사용하였다.

2. 매개변수의 결정방법

본 연구에 사용된 기상자료 모의발생모형은 강수일 예보 모형, 강수량 예보 모형, 온도 및 태양복사량 예보 모형, 상대습도 예보 모형, 그리고 각각의 함수 부모형으로 구성되어 있다.

강수일 예보 모형은 1차 Markov모형에 의해 강수일을 모의발생하고, 강수량 예보 모형은 강수발생일 예보에 따라 우천일에 왜곡된 정규분포 함수(skewed normal distribution)을 이용하여 계산하였다. 온도 및 태양복사량 예보 모형은 최고 및 최저온도와 일별 태양복사량을 모의발생하는 부모형으로서 Richardson(1981)이 제안한 잔차계열(residual series)과 상관계수를 이용하여 계산하였다. 상대습도 예보 모형은 삼각분포(triangular distribution)를 이용하여 우천일과 청명일 사상에 따라 계산하였다.

본 연구에서는 강수량, 강수일수, 최고온도, 최저온도, 상대습도 등의 인자에 대해 전국의 주요 관측소를 대상으로 기상자료를 수집하고, 추계학적 특성을 분석하여 기상자료 모의발생모형에 필요한 우천일연속확률, 청명일연속확률, 왜곡도, 표준편차, 월평균강수량, 월평균최고온도, 월평균최저온도, 월평균상대습도

등의 매개변수를 결정하였다.

결정된 매개변수를 이용하여 단기간의 기상인자 시계열을 추계적으로 모형화하여 장기간의 시계열을 모의발생시키는 추계학적 기상모의발생모형에 적용하였으며, 이 모형은 강(1995)에 의해 적합성이 검증된 바 있다.

가. 강수일

어떤 지점의 강수일은 1차 마코브 연쇄(first-order Markov chain)로 부터 우천일-청명일의 천이확률 매트릭스(transition probability matrix)를 구하고, 0.0~1.0의 등분포 난수를 발생시켜 천이확률과 비교함으로써 우천일을 모의발생하도록 하였다.

우천일-청명일 천이확률은 식 (1)로 구하였다.

$$\begin{bmatrix} P_{dd} & P_{dw} \\ P_{wd} & P_{ww} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{dd}/ND, & N_{dw}/ND \\ N_{wd}/ND, & N_{ww}/NW \end{bmatrix} \dots (1)$$

여기서, P_{dd} 는 청명일에 이어 청명일이 지속될 확률, P_{dw} 는 청명일에 이어 우천일이 발생할 확률, P_{wd} 는 우천일에 이어 청명일이 발생할 확률, 그리고 P_{ww} 는 우천일에 이어 우천일이 지속될 확률이다. 또한, N_{dd} 는 청명일에 이어 청명일이 지속된 횟수, N_{dw} 는 청명일에 이어 우천일이 발생한 횟수, N_{wd} 는 우천일에 이어 청명일이 발생한 횟수, N_{ww} 는 우천일에 이어 우천일이 지속된 횟수이며, $ND = N_{dd} + N_{dw}$, 그리고 $NW = N_{wd} + N_{ww}$ 이다.

나. 강수량

월별 일강수량의 분포는 왜곡정규분포함수로 부터 다음과 같다.

$$P = \frac{6}{C_s} \left[\left\{ \frac{C_s}{2} \left(\frac{x - \bar{x}}{s} \right) + 1 \right\}^{1/3} - 1 \right] + \frac{C_s}{6} \dots (2)$$

여기서, P : 표준정규변수, x : 표본변량, \bar{x} :

평균, s : 표준편차, C_s : 왜곡도계수이다.

다. 최고온도와 최저온도

최고온도와 최저온도의 잔차계열을 발생시키기 위한 모형은 Richardson(1981)이 제안하였는데, 그 방법은 Matalas(1967)가 제시한 약정상 상태(weakly stationary)의 발생과정에 근거를 두고 있다. 이를 수식으로 표시하면 식 (3)과 같다.

$$x_i = Ax_{i-1} + B\varepsilon_i \dots (3)$$

여기서, x_i 는 최고온도와 최저온도의 잔차요소로서 t 일에 대한 3×1 매트릭스이다. ε_i 는 정규분포를 나타내는 독립난수요소인 3×1 매트릭스이다. A 와 B 는 계열상관계수(serial correlation)와 상호상관계수(cross correlation)로서 정의되는 3×3 매트릭스 요소이다. 식 (3)에서 최고온도와 최저온도의 잔차는 정규분포를 이루고 있으며, 각 변수의 계열상관은 1차 선형 자기회귀모형을 나타내고 있다.

A 와 B 의 매트릭스는 식 (4)와 식 (5)의 매트릭스 방정식에 의해 결정되어진다.

$$A = M_1 M_0^{-1} \dots (4)$$

$$BB^T = M_0 - M_1 M_0^{-1} M_0^T \dots (5)$$

여기서, 위첨자 -1 과 T 는 각각 역행열과 전치행열을 나타낸다. 그리고, M_0 와 M_1 은 각각 상호상관계수와 계열상관계수를 나타내고 있다.

최고온도와 최저온도의 모의발생은 식 (3)에서 발생된 잔차요소, 월 평균값 및 표준편차의 함수로서 아래의 식으로 부터 계산되어진다.

$$t_i = x_i \cdot s_i + m_i \dots (6)$$

여기서, t_i 는 최고온도와 최저온도의 일별 모

의 발생값, x_i 는 식 (3)에서 구한 잔차요소, s_i 는 각각의 표준편차, m_i 는 각각의 월평균 값을 나타낸다. s_i 와 m_i 는 각각 우천일과 청명일에 따르는 조건적 함수이다.

라. 상대습도

상대습도의 모의발생은 삼각분포함수를 이용하여 과거의 월평균 값으로 부터 구할 수 있다. 온도와 태양복사량과 마찬가지로 상대습도는 우천일과 청명일의 사상에 영향을 받는다. 상대습도의 우천일과 청명일과의 관계는 아래 식과 같다.

$$RHW_j = RHD_j + \phi(1.0 - RHD_j) \dots\dots\dots (7)$$

여기서, RHW_j 는 j 월에 해당하는 우천일의 상대습도이고, RHD_j 는 j 월에 해당하는 청명일의 상대습도이다. 그리고, ϕ 는 형상계수로서 0.0~1.0의 값을 가진다.

청명일에 대한 상대습도는 식 (8)로 나타내어진다.

$$RHD_j = \frac{RH_j - \phi(NWD/ND)}{1.0 - \phi(NWD/ND)} \dots\dots\dots (8)$$

여기서, RH_j 는 j 월에 해당하는 과거 자료의 평균값이다.

RHW_j 와 RHD_j 의 적절한 값을 모의발생하기 위해서는 삼각분포함수의 적절한 상한치와 하한치를 결정하여야 한다. 삼각분포의 확률밀도함수는 식 (9)로 나타내어진다.

$$f(x) = \frac{2}{RHU_i - RHL_i} \left(\frac{x - RHL_i}{u - RHL_i} \right) \quad \text{if, } RHL_i \leq x \leq u$$

$$f(x) = \frac{2}{RHU_i - RHL_i} \left(\frac{RHU_i - x}{RHU_i - u} \right) \quad \dots (9)$$

$$\text{if, } u \leq x \leq RHU_i$$

여기서, RHU_i 는 상한값, RHL_i 는 하한값, u 는 평균값, 그리고 x 는 표본변량이다.

이상의 관계에서 삼각분포의 상한치는 다음 식 (10)으로 나타낸다.

$$RHU_i = RHP_i + (1.0 - RHP_i) \exp(RHP_i - 1.0) \dots\dots\dots (10)$$

여기서, RHU_i 는 i 일에서 모의발생될 수 있는 최고 상대습도, RHP_i 는 RHW_i 와 RHD_i 에 따르는 삼각분포에서의 첨두값이다. 또한, 하한치는 다음 식 (11)로 나타내어진다.

$$RHL_i = RHP_i + [(1.0 - \exp(-RHP_i))] (11)$$

여기서, RHL_i 는 i 일에 모의발생될 수 있는 상대습도의 하한치이다.

일별 상대습도는 아래의 식 (12)를 이용하여 구하여진다.

$$RHG_i^* = RHG_i \left(\frac{RHP_i}{\overline{RH}_i} \right) \dots\dots\dots (12)$$

여기서, RHG_i^* 는 i 일의 상대습도, RHG_i 는 삼각분포로부터 발생된 상대습도, \overline{RH}_i 는 삼각분포의 평균값이다.

3. 매개변수의 추정

매개변수 추정을 위해 미계측유역의 강우량 자료보간방법인 산술평균법, 평균등비법, 역거리법 등을 비교하였다. 이러한 자료보간방법들은 사용하는 보간에 사용되는 가중함수들에 따라 구분되는데, National Weather Service (NWS)에서는 지점간 변화량이 적을 때는 산술평균법을, 지점간 변화량이 클 때는 평균등비법을 추천하고 있으며 근래의 연구결과에서는 역거리법을 이용한 추정치가 가장 정확한 것으로 알려져 있다.

가. 산술평균법 (Arithmetic Average Method)

산술평균법은 미계측 유역 주변의 n개 지점을 단순히 산술평균하여 미계측 유역의 매개변수를 추정하는 방법이다. 이 방법은 균일한 분포를 보이는 지점의 평탄한 유역에 적용이 가능하다. 산술평균법을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$\omega_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \dots\dots\dots (13)$$

여기서, ω_i 는 추정치, p_i 는 n개 관측소의 관측치이다.

나. 평균등비법 (Normal Ratio Method)

평균등비법은 주위에 있는 n개 관측소의 영향을 나타내는 가중인자를 이용하여 미계측 유역의 매개변수를 추정하는 방법이며 그 수식은 식 (14)와 같다.

$$\omega_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_w}{n \times N_i} \right) \times p_i \dots\dots\dots (14)$$

여기서 N_w/N_i 는 주위 관측소의 영향을 나타내는 가중인자이고, ω_x 는 추정치이다.

다. 역거리법 (Inverse-Distance Method)

역거리법은 본 연구에 적용된 방법으로서 경험적으로 결정되는 계수 m은 기존의 연구 결과에서 정확하다고 판단된 1~3 사이의 값 중 2를 사용하였으며, 관측소의 개수 n은 4개 지점을 사용하였다. 역거리법의 수식은 식 (15)와 같다.

$$\omega_i = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i/d_i^m)}{\sum_{i=1}^n (1/d_i^m)} \dots\dots\dots (15)$$

여기서 d_i 는 n개 관측소와 미계측 유역과의 거리이다.

Fig. 1은 식 (15)를 이용하여 매개변수를 추정하기 위해서, 미계측 유역 주변의 여러 관측소 중 북동, 북서, 남동, 남서방향의 거리가 가까운 4개 지점을 그룹화한 것을 보여주고 있다.

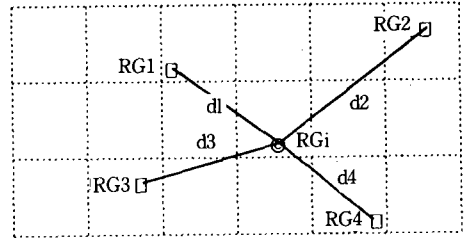


Fig. 1. Inverse distance method

위 세가지 방법에 대해서 적용성을 평가해 본 결과, 역거리법으로 추정된 매개변수가 실측치와 높은 상관성을 보였으므로 본 연구에서는 역거리법을 매개변수 추정에 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 검정 및 적용

가. 대상관측소 및 자료

기상 발생 모형의 적용성을 평가하기 위한 매개변수 추정과 검정에 사용된 기상자료는 Table 1에서와 같다.

강수량 모의발생모형의 적용성 분석에서는 Table 1에서와 같이 부산측후소의 경우 1904~1989년인 86년간으로 가장 긴 자료를 사용하였고, 이천과 청주 기상관측소의 경우 1973~1989년인 17년간의 가장 짧은 자료를 사용하였다.

최고온도, 최저온도 및 일별 상대습도 모의 발생모형에서는 강릉을 비롯한 대부분의 측후소에서 1951~1989년인 29년의 자료를 사용하였고, 이천과 청주 기상관측소에서 1973~1989년인 17년간의 자료를 사용하였다.

Table 1. Weather data records used for weather generation models

No.	Station	Period of data used		
		Rainfall	Temperature	Humidity
105	Gangneung	1912-1989	1951-1989	1951-1989
108	Seoul	1907-1989	"	"
112	Incheon	1949-1989	"	"
119	Suwon	1967-1989	1967-1989	1967-1989
131	Cheongju	1964-1989	1964-1989	1964-1989
133	Taejeon	1968-1989	1968-1989	1968-1989
143	Taegu	1909-1989	1951-1989	1951-1989
146	Jeonju	1919-1989	"	"
156	Kwangju	1947-1989	"	"
159	Pusan	1904-1989	"	"
165	Mokpo	1906-1989	"	"
203	Icheon	1973-1989	1973-1989	1973-1989
223	Chungju	1973-1989	"	"

나. 강수량 모의발생

강수자료로 부터 계산된 통계치와 매개변수를 이용하여 각 지점의 일별 강수를 대상 측후소 및 관측소의 자료기간에 대하여 모의발생하였으며, 강수발생 횟수와 월별 강수량을 χ^2 검증을 통해 본 모형의 적용성을 살펴 보았는데, 그 결과는 Table 2에 나타내었다. 또한 기상자료의 비교를 위하여 두 계열간의 R^2 와 RMSE(root mean square error)를 계산하여 실측치와 모의발생치의 상관성을 분석하였으며(이 등, 1994), 그 결과는 Table 3에 나타내었다. 강수발생일의 경우에는 관측치와 모의발생치와의 χ^2 값이 0.52~1.30의 범위로서 모든 대상 지점에서 그 적합성이 인정되었다. 실측치와 모의발생치의 R^2 은 광주지점이 0.816으로 가장 낮았고 강릉지점이 0.976으로 가장 높은 값을 보였으며, RMSE는 0.58~1.19일의 범위를 나타내었다.

일별 강수량의 관측치와 모의발생치의 월평균 값에 대한 각 지점의 χ^2 값은 4.47~31.53의 분포를 보였는데 이는 강수발생빈도의 경유이다 큰 값을 나타내었다. 대상 측후소 및

기상관측소 13개소 중에서 강릉, 부산, 목포 등을 제외한 10개소 지점이 5% 유의수준에서 적합도가 인정되었는데, 지역적으로 볼 때 전국에 걸쳐 고르게 분포되어 있다. 모형을 적용한 결과, 실측치와 모의발생치의 R^2 은 0.937~0.994의 범위로서 높은 상관성을 보였으며, RMSE는 6.70~22.25mm의 범위를 나타내었다.

다. 최고 및 최저온도 모의발생

최고 및 최저온도의 자료기간에서 계산된 통계치 및 가중합수를 이용하여 각각의 측후소 및 기상관측소의 최대 및 최소온도를 모의발생한 값과 실측치에 대한 검증 및 적용 결과는 Table 2, 3에서와 같았다.

월별 최고온도의 관측치와 모의발생치의 χ^2 값은 0.03~0.07의 범위를 나타내어 모든 대상 지점에 대해서 5% 유의수준에서 그 적합성이 인정되었다. R^2 은 0.926~0.999의 범위를 나타냈으며, 평균 0.993으로서 실측치와 모의발생한 값은 높은 상관성을 보였다. RMSE는 강릉지점이 가장 큰 2.81°C의 값을 보였고, 나머지 대상지점에서는 0.17~0.24°C의 값을 나타내었다.

월별 최저온도의 관측치와 모의발생치의 χ^2 값은 부산이 4.01로서 가장 큰 값을 보였고 목포지점이 0.13으로서 최소치를 나타냈으며, 모든 대상 지점이 0.13~4.01의 범위로서 최고온도보다 높은 값을 나타냈으나 5% 유의수준에서 그 적합성이 인정되었다. 또한, R^2 은 모든 대상지점에서 0.999의 값을 보였으며, RMSE는 0.24~0.71°C의 범위를 보였다.

라. 상대습도 모의발생

상대습도는 사용된 자료기간을 이용하여 대상 측후소와 기상관측소 등 13개 지점을 대상으로 모의발생시켜 관측치와의 월별 변화를 비교하였다.

Table 2에서 나타낸 것과 같이 일별 상대습도

Table 2. Result of fitness test

Station	Rainy days		Rainfall		Max. temp.		Min. temp.		Humidity	
	χ^2	GOF*	χ^2	GOF*	χ^2	GOF*	χ^2	GOF*	χ^2	GOF*
Gangneung	0.53	NS**	25.61	S***	0.04	NS	0.20	NS	0.49	NS
Seoul	0.86	NS	17.67	NS	0.06	NS	0.19	NS	0.37	NS
Incheon	1.01	NS	14.33	NS	0.04	NS	0.15	NS	0.29	NS
Suwon	1.01	NS	12.62	NS	0.07	NS	0.91	NS	0.35	NS
Cheongju	0.70	NS	4.47	NS	0.07	NS	0.63	NS	0.22	NS
Taejeon	0.67	NS	12.42	NS	0.06	NS	0.29	NS	0.38	NS
Taegu	0.90	NS	11.90	NS	0.03	NS	0.15	NS	0.37	NS
Jeonju	0.52	NS	4.55	NS	0.04	NS	0.18	NS	0.20	NS
Kwangju	1.21	NS	31.53	NS	0.04	NS	0.15	NS	0.41	NS
Pusan	1.26	NS	20.80	S	0.03	NS	4.01	NS	0.47	NS
Mokpo	1.15	NS	18.30	NS	0.03	NS	0.13	NS	0.46	NS
Icheon	1.30	NS	15.26	NS	0.06	NS	1.38	NS	0.23	NS
Chungju	0.96	NS	8.66	NS	0.06	NS	0.85	NS	0.25	NS
Mean	0.92		15.26	NS	0.05		0.71		0.35	

*GOF : Goodness of fit, **NS : Not significant, ***S : Significant.

Table 3. R² and RMSE observed and simulated weather data

Station	Rainy days		Rainfall		Max. temp.		Min. temp.		Humidity	
	R ²	RMSE(day)	R ²	RMSE(mm)	R ²	RMSE(°C)	R ²	RMSE(°C)	R ²	RMSE(%)
Gangneung	0.976	0.58	0.957	14.51	0.926	2.81	0.999	0.32	0.977	1.58
Seoul	0.940	0.76	0.989	13.33	0.999	0.22	0.999	0.29	0.561	4.71
Incheon	0.931	0.76	0.988	9.72	0.999	0.23	0.999	0.24	0.960	1.29
Suwon	0.936	0.71	0.991	11.31	0.999	0.23	0.999	0.29	0.937	1.44
Cheongju	0.924	0.71	0.993	6.70	0.999	0.22	0.999	0.30	0.974	1.15
Taejeon	0.940	0.71	0.989	9.96	0.999	0.23	0.999	0.28	0.963	1.50
Taegu	0.939	0.65	0.990	7.13	0.999	0.22	0.999	0.27	0.966	1.26
Jeonju	0.940	0.96	0.994	6.92	0.999	0.22	0.999	0.27	0.907	1.15
Kwangju	0.816	1.19	0.937	22.25	0.999	0.21	0.994	0.26	0.983	1.58
Pusan	0.865	0.91	0.971	16.03	0.999	0.17	0.999	0.71	0.933	1.55
Mokpo	0.798	0.91	0.950	13.12	0.999	0.20	0.999	0.24	0.972	1.68
Icheon	0.893	0.76	0.984	12.39	0.999	0.24	0.999	0.28	0.972	1.15
Chungju	0.930	0.80	0.991	7.80	0.993	0.23	0.999	0.30	0.926	1.22
Mean	0.910		0.979	11.63		0.42		0.31		1.64

의 월평균 관측치와 모의발생치의 χ^2 값은 강릉측후소가 0.49로서 최대값을 보였고 전주지점이 0.20으로 최소값을 나타냈다. 13개소 대상 측후소 및 기상관측소의 χ^2 값이 0.20~0.49의 범위로서 모든 대상지점에 대해 5% 유의수준에서 그 적합성이 인정되었다. 상대

습도의 관측치와 모의발생치의 R²와 RMSE는 서울지점에서 0.561과 4.71%의 값을 보여 낮은 상관성을 보였으나, 나머지 지점에서의 R²은 0.907~0.983의 범위를 보여 높은 상관성을 보였으며, RMSE는 1.15~1.68%의 범위를 보였다.

Table 4. Weather stations and data used for parameter estimation

Station	Station Number	The North Latitude	The East Longitude	Height (EL.m)	Recording Years
Suwon*	119	37° 16'	126° 59'	36.9	'64-'94
Seoul	108	37° 34'	126° 58'	85.5	'07-'94
Inch'on	112	37° 29'	126° 38'	68.9	'49-'94
Yangp'yong	202	37° 29'	127° 30'	49.0	'73-'94
Asan	232	36° 47'	126° 59'	24.5	'73-'94
Ulsan*	152	35° 33'	129° 19'	31.5	'46-'94
P'ohang	138	36° 02'	129° 24'	2.5	'49-'94
Pusan	159	35° 06'	129° 02'	69.2	'04-'94
Yongch'on	281	35° 58'	128° 57'	91.3	'73-'94
Miryang	288	35° 29'	128° 45'	12.5	'73-'94

* : assumed ungedaged station.

2. 모형의 응용

가. 대상지점 및 자료

미계측 지역의 기상인자는 2개 관측소를 미

계측 관측소로 가정하여 추정하였으며 사용된 각 관측소의 지형적 특성치와 자료기간은 Table 4와 같다.

Table 4에서와 같이 수원관측소를 미계측 유역으로 가정하고 주위의 서울, 인천, 양평, 아산관측소의 매개변수들을 이용하여 수원관측소의 매개변수를 추정하였다. 같은 방법으로 울산관측소의 매개변수도 주위의 포항, 부산, 영천, 밀양관측소의 매개변수들을 이용하여 추정하였다.

나. 매개변수의 공간적 분포

전국 추후소를 대상으로 매개변수를 결정하여 공간적 분포를 도시하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 우리나라 8월의 우천일연속확률과 월평균 강우량을 도시한 것으로 우리나라 8월의 강우 특성을 간략하게 파악할 수 있다. Fig. 2와 Fig. 3과 같이 월평균강우량이 적은 내륙지방

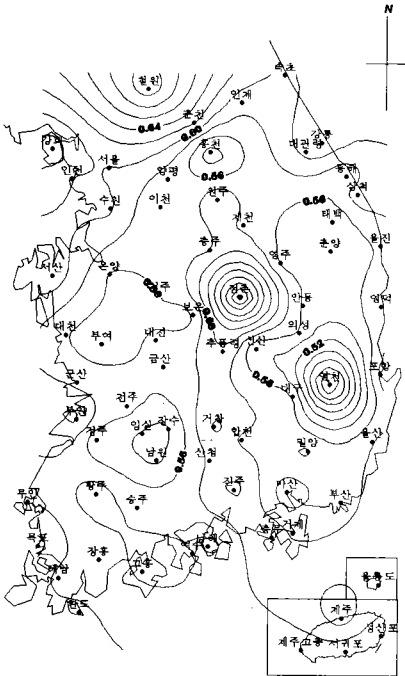


Fig. 2. Spatial variation of Probability of wet/wet day (Aug.)

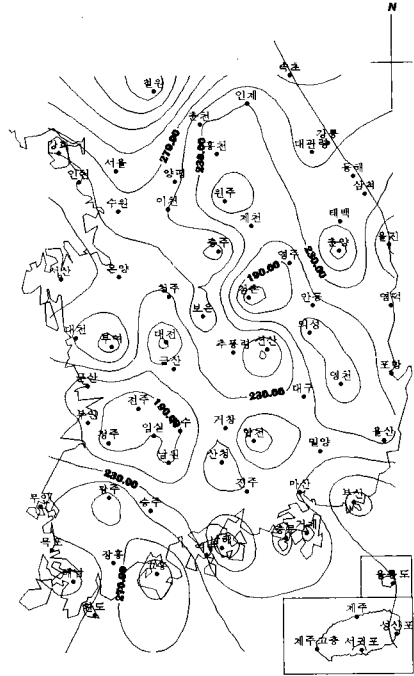


Fig. 3. Spatial variation of monthly rainfall (Aug.)

에서는 우천일연속확률이 낮은 값을 보였으며, 월평균강우량이 비교적 많은 해안지방에서는 높은 값을 보이는 것을 알 수 있다.

특히, 영천, 점촌관측소는 월평균강우량이 다른 관측소에 비해 극히 작은 값을 보이므로 우천일연속확률분포도에서 특이점을 이루고 있음을 볼 수 있었다.

다. 미계측 유역의 매개변수 추정

수원, 울산관측소를 미계측지점으로 가정하

고 매개변수를 추정해 본 결과는 Table 5와 Table 6과 같다.

수원관측소에 적용한 결과, 각각의 기상변수에 대해 R²은 값이 0.951~0.999의 범위를 보였고, 울산관측소에 대해서는 R²은 값이 0.861~0.999의 높은 경향성을 보였다. R²은 값은 각각의 기상변수에 대해, 온도가 높은 값을 보였고 강우발생일에 대한 기상변수가 낮은 값을 보였다.

Table 5. Comparisons of observed and simulated weather parameters for Suwon station

Parameter		Month												RMSE	R ²
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		
Pdd	Obs.	0.8162	0.8102	0.8065	0.7783	0.7884	0.7760	0.6319	0.6976	0.7948	0.8167	0.7235	0.7514	0.014	0.951
	Est.	0.8129	0.8160	0.8104	0.7886	0.7914	0.7536	0.6535	0.7126	0.7855	0.8270	0.7510	0.7640		
Pww	Obs.	0.3302	0.3824	0.3559	0.4457	0.4280	0.4843	0.6354	0.5995	0.5037	0.3927	0.4242	0.3295	0.022	0.966
	Est.	0.318	0.3452	0.3553	0.4270	0.4190	0.4829	0.6455	0.5930	0.4581	0.3803	0.3810	0.3314		
Rainfall (mm)	Obs.	24.12	28.44	47.28	90.14	88.91	118.26	326.22	279.98	145.46	59.36	53.52	22.77	11.79	0.988
	Est.	21.75	24.25	45.56	80.04	86.20	133.14	324.88	245.97	141.71	50.34	46.89	26.35		
Tmin (°C)	Obs.	-8.84	-6.75	-1.55	4.87	10.80	16.30	21.13	21.37	14.85	7.02	0.41	-5.05	0.247	0.999
	Est.	-8.08	-5.69	-0.50	5.84	11.49	16.64	21.12	21.59	15.71	8.44	1.75	-4.80		
Tmax (°C)	Obs.	1.51	3.40	9.38	17.36	22.70	26.28	28.41	29.38	25.28	19.53	11.41	4.05	0.926	0.999
	Est.	0.88	3.93	9.37	17.02	22.55	26.27	28.56	29.68	25.48	19.60	11.38	3.85		
Hum (%)	Obs.	70.22	68.87	68.70	67.38	70.27	75.31	82.13	81.12	78.43	75.91	70.88	70.20	2.44	0.952
	Est.	67.55	66.44	66.06	64.98	67.45	74.32	82.25	80.02	75.55	70.98	69.79	68.87		

*Pdd : Probability of dry/dry day, Pww : Probability of wet/wet day, Rainfall : Monthly Mean Rainfall, Tmin : Ave. monthly minimum air temp., Tmax : Ave. monthly maximum air temp. Hum : Ave. relative humidity.

Table 6. Comparisons of observed and simulated weather parameters for Ulsan station

Parameter		Month												RMSE	R ²
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		
Pdd	Obs.	0.8873	0.8548	0.8011	0.7470	0.7672	0.7370	0.7580	0.7615	0.7445	0.8455	0.8383	0.8834	0.014	0.939
	Est.	0.8922	0.8583	0.7958	0.7548	0.7907	0.7455	0.7324	0.7619	0.7754	0.8526	0.8454	0.8807		
Pww	Obs.	0.4039	0.5189	0.3942	0.4345	0.4331	0.5039	0.6443	0.5551	0.5411	0.4175	0.4169	0.3879	0.033	0.861
	Est.	0.3712	0.4999	0.4388	0.4635	0.4655	0.4973	0.5682	0.5307	0.5342	0.4368	0.4473	0.4050		
Rainfall (mm)	Obs.	32.64	45.66	70.91	109.69	102.30	165.35	207.45	204.32	185.23	61.99	54.01	32.17	13.86	0.970
	Est.	29.25	38.83	60.54	100.31	96.85	161.22	222.54	193.46	146.81	55.12	45.32	24.45		
Tmin (°C)	Obs.	-3.56	-2.03	1.72	7.12	11.92	16.46	21.32	22.19	17.06	10.55	4.37	-1.35	0.427	0.999
	Est.	-4.31	-2.69	1.49	7.08	11.95	16.65	21.18	21.94	16.71	10.24	4.00	-1.89		
Tmax (°C)	Obs.	6.43	8.00	12.27	18.11	23.00	25.50	28.88	30.25	25.74	21.34	15.29	9.23	0.388	0.999
	Est.	5.71	7.55	12.29	18.23	23.08	25.59	28.45	29.74	25.68	21.30	14.62	8.50		
Hum (%)	Obs.	56.60	58.92	63.51	69.12	72.21	79.08	83.13	81.09	78.95	71.80	65.98	59.09	3.53	0.970
	Est.	55.71	57.10	60.28	63.66	66.54	74.59	80.31	78.13	74.90	67.99	63.91	59.29		

라. 미계측 유역에의 적용

Fig. 4~Fig. 7은 수원, 울산 2개 관측소의 월평균강우량과 상대습도의 실측치와 모의발생치, 추정치 등을 나타낸 것이다. Fig. 4~

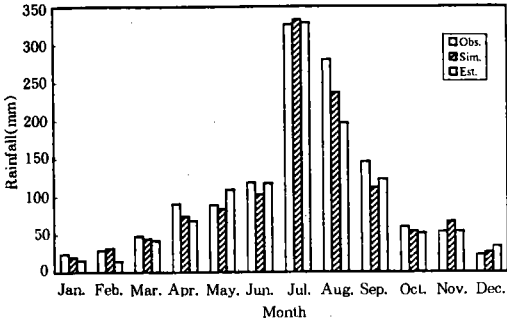


Fig. 4. Observed, generated and estimated monthly rainfall (Suwon)

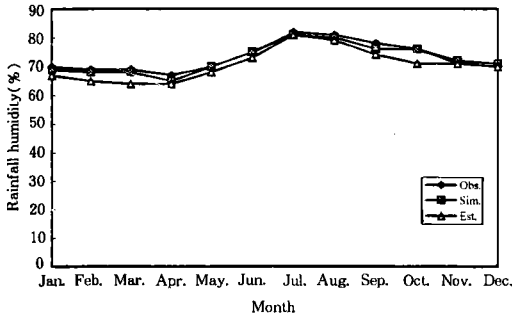


Fig. 5. Observed, generated and estimated monthly relative humidity (Suwon)

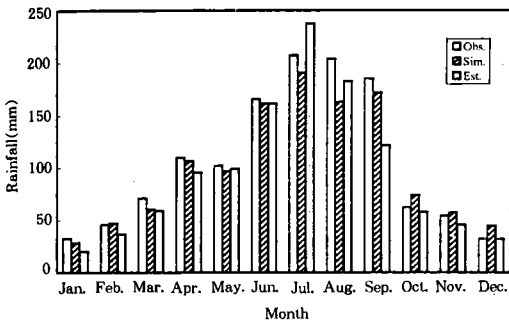


Fig. 6. Observed, generated and estimated monthly rainfall (Ulsan)

Fig. 7과 같이 실측치와 모의발생치, 추정치의 경향이 비슷한 것을 볼 수 있으며, 상대습도에서는 전체적으로 추정치가 적은 값을 가지는 경향을 나타냈다.

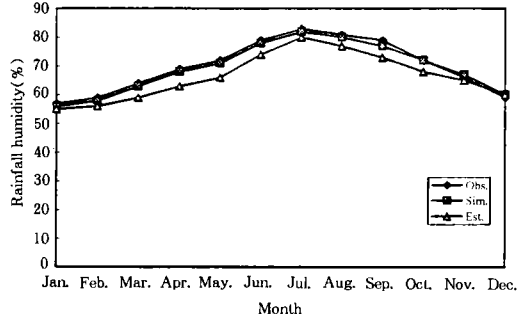


Fig. 7. Observed, generated and estimated monthly relative humidity (Ulsan)

IV. 요약 및 결론

미계측 유역의 추계학적 기상모의발생모형의 매개변수를 추정하기 위하여 농업기상인자에 대해 전국 71개 관측소를 대상으로 과거자료를 통계분석한 후, 기상요소별 기상변수를 결정하고, 공간적 분포를 도시하여 역거리법에 의해 미계측 지점의 기상모의발생모형의 매개변수를 추정하였으며, 추정된 매개변수에 대해 수원, 울산 등 2개 지점을 대상으로 추계학적 기상모의발생 모형을 적용하여 실측치와 모의발생치, 추정치를 비교함으로써 응용성을 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 우리나라 71개 관측소의 강수발생일, 강수일, 최저온도, 최고온도, 상대습도 등의 기상인자의 통계적 특성을 분석하여 우천일연속확률, 청명일연속확률, 왜곡도, 표준편차, 월평균강우량, 월평균최고온도, 월평균최저온도, 월평균상대습도의 매개변수를 구성하였다.
2. 기상발생모형의 적용성을 평가하기 위하여 대상 관측소의 기상요소별 적합도 검정을

실시한 결과, 강수량의 경우 강릉과 광주지점을 제외한 모든 지점에서 5% 유의수준에서 적합성이 인정되었고, 강수발생일, 최고온도, 최저온도 및 상대습도의 경우는 모든 대상지점에서 5% 유의수준에서 그 적합성이 인정되었다.

3. 기상자료의 실측치와 모의발생치의 상관성을 분석하기 위하여 두 계열간의 R²과 RMSE를 계산하여 적용성을 평가하였다.

4. 기상요소별 매개변수의 공간분포도를 도시하고 역거리법에 의한 자료 보간을 통해 미계측 구역의 매개변수를 추정하였다.

5. 수원과 울산관측소에 대해 실측치와 추정치를 비교한 결과, 수원관측소는 각각의 기상변수에 대해 R²값이 0.951~0.999의 범위를 보였고, 울산관측소에 대해서는 R²값이 0.861~0.999의 높은 경향성을 보였다. R²값은 각각의 기상변수에 대해, 온도가 높은 값을 보였고 강우발생일에 대한 기상변수가 낮은 값을 보였다.

6. 수원과 울산관측소에 대해 추정된 매개변수를 추계학적 모의발생모형에 적용하여 나온 결과를 기존의 실측치, 모의발생치와 함께 도시한 결과, 각각의 기상인자에 대해 유사한 경향성을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 강문성, 1995. 우리나라 일별기상인자의 추계학적 모의발생에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
2. 김병진, 1993. 기상예보를 고려한 관개용 저수지의 최적조작 모형, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
3. 이재형, 전일권, 1994. 기상 자료 미계측 지점의 강우 예보 모형, 대한토목학회논문집, 제14권, 제2호, pp. 307-316.
4. Chow, V. T., 1964. Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Co., New York, N.Y..
5. Dean, J. D., and W. M. Snyder, 1977. Temporally and Areally Distributed Rainfall, Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 103, No. IR2, pp. 221-229.
6. Georgakakos, K. P. and R. L. Bras, 1984. A Hydrologically Useful Station Precipitation Model 1. Formulation and 2. Case Studies, Water Resources Research, Vol. 20, No. 11, pp. 1585-1610.
7. Johnson, E. R. and R. L. Bras, 1980. Multivariate Short-Term Rainfall Prediction, Water Resources Research, Vol. 16, No. 1, pp. 173-185.
8. Kruizinga, S., and G. J. Yperlaan, 1978. Spatial Inpterpolation of Daily Totals of Rainfall, Journal of Hydrology, Vol. 36, pp. 65-73.
9. Richardson, C. W., 1981. Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature, and Solar Radiation, Water Resources Research, Vol. 17, No. 1, pp. 182-190.
10. Richardson, C. W., and D. A. Wright, 1984. WGEN: A model for generating daily weather variables, ARS-8, U.S. Department of Agriculture.
11. Simanton, J. R., and H. B. Osbon, 1980. Reciprocal-Distance Estimate of Point Rainfall, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 106, No. HY7, pp. 1242-1246.
12. Yeou-Koung Tung, 1983. Point Rainfall Estimation for a Mountainous Region, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 10, pp. 1386-1393.