

ORIGINAL ARTICLE

지구 통계 모형을 이용한 양파 재배지 농업기상정보 생성 방법

임지은 · 윤상후^{1)*}

대구대학교 통계학과, ¹⁾대구대학교 수리빅데이터학부

Production of Agrometeorological Information in Onion Fields using Geostatistical Models

Jieun Im, Sanghoo Yoon^{1)*}

Department of Statistics, Daegu University, Gyeongsan, 38453, Korea

¹⁾Division of Mathematics and Big Data Science, Daegu University, Gyeongsan, 38453, Korea

Abstract

Weather is the most influential factor for crop cultivation. Weather information for cultivated areas is necessary for growth and production forecasting of agricultural crops. However, there are limitations in the meteorological observations in cultivated areas because weather equipment is not installed. This study tested methods of predicting the daily mean temperature in onion fields using geostatistical models. Three models were considered: inverse distance weight method, generalized additive model, and Bayesian spatial linear model. Data were collected from the AWS (automatic weather system), ASOS (automated synoptic observing system), and an agricultural weather station between 2013 and 2016. To evaluate the prediction performance, data from AWS and ASOS were used as the modeling data, and data from the agricultural weather station were used as the validation data. It was found that the Bayesian spatial linear regression performed better than other models. Consequently, high-resolution maps of the daily mean temperature of Jeonnam were generated using all observed weather information.

Key words : Inverse distance weight, Generalized additive model, Bayesian spatial linear regression

1. 서 론

농작물 재배에 가장 영향을 많이 미치는 요인은 기상요인이다. 작물의 생육 단계별 적합한 기후조건이 충족되지 않으면 생육이 정지되거나 비정상적으로 성장할 수 있다(Lee et al., 2008). 기상은 일단위, 계절단위로 변함에 따라 생육조건이 달라지고 결과적으로 수확량에 영향을 미친다(Lee et al., 2012). 특히 매년마다 발생하는 기상이변은 작물 단수 변화에 가장 큰

요인이며, 단수 예측의 정확성에 따라 농업의 많은 지표가 영향을 받는다(Lim et al., 2016).

주요 양념채소 중 하나인 양파는 생육적온이 20~25℃인 온대지방이 재배적지이며(Yoon et al., 2014), 주로 가을에 정식하여 겨울을 거쳐 이듬해 여름에 수확한다(Kwon et al., 2013). 재배기간 중, 양파는 기후변화로 인한 다양한 생리장해가 발생하여 작황변화가 심하다. 양파는 월동작물로서 겨울철 기상조건에 따라 작황이 영향을 받는다. 특히 구 비대기인 5월의

Received 7 February, 2018; Revised 23 March, 2018;

Accepted 17 April, 2018

*Corresponding author: Sanghoo Yoon, Division of Mathematics and Big Data Science, Daegu University, Gyeongsan, 38453, Korea

Phone : +82-53-850-6421

E-mail : statstar@daegu.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기온은 양파의 생산량 증감에 영향을 미친다(Kwon et al., 2015). 양파작황에 영향을 미치는 주요 기상요인은 강우량과 기온이다(Yoon et al., 2014). 양파는 주기적으로 가격 등락이 심한 작물이므로 작황 파악과 단수 예측을 위한 연구가 중요하다.

농산물의 생육관리와 단수를 예측하기 위해선 재배지의 기상정보가 필요하다. 그러나 국내 기상관측 장비는 한정적인 지역에만 설치되어 재배지의 기상자료를 수집하는데 어려움이 있다. 기상요인으로 농작물 생산량 예측에 관한 연구에서는 해당 시·군의 평균 기상 값을 이용하거나(Cho et al., 2013) 재배지에서 가장 가까운 기상자료를 사용하였다(Kim et al., 2013; Kim et al., 2015). 그러나 우리나라에서 발생하는 기상현상은 국지적으로 다양한 패턴을 보이므로 재배지 인근지역의 위치한 기상자료를 이용하는 것은 정확하지 않다(Kim et al., 2014).

관측소가 없는 지점의 기상정보는 공간내삽 추정을 통해 연구되어 왔다. Kim et al.(2014)은 기온 추정에 있어서 여러 공간 내삽기법의 정확도를 비교하였다. Ahn et al.(2010)은 기상 예보 모형인 Weather Research and Forecast model (WRF)을 이용하여 한반도 상세 기후를 재현하고 이를 활용하여 농업기후지수를 추정하였다. Chun et al.(2013)은 국지규모 기상분석시스템 (Local Analysis and Prediction System; LAPS)을 이용하여 농업기상정보를 실시간 고해상도로 분석하는 시스템을 구축하였다. 농촌진흥청 연구개발 사업을 통해 각 기상요소의 공간적 상세화를 위해 ‘상세기상 정보 생산 응용프로그램(RDA, 2015)’가 개발되었다.

본 연구는 작물 재배지의 농업기상정보 추정을 위해 양파 주산지인 전남 지역을 대상으로 지구통계모형을 고려하여 주요 기상요인인 일 평균기온을 생산하는 방법을 다룬다. 고려된 모형은 역거리가중법, 일반화기법모형, 베이저안 공간선형모형이다.

2. 연구 방법론

2.1. 역거리가중법

역거리가중법(Inverse Distance Weight; IDW)은 예측지점에 가까운 입력치가 큰 가중치를 가지도록

하는 보간법이다(Shepard, 1968). 여기서 Z_p 는 예측 지점의 예측값, Z_i 는 관측값, n 은 관측지점의 수, d_i 는 관측지점과 예측지점 사이의 거리, W_i 는 거리에 따른 가중치로 거리의 k곱의 반비례이다. 일반적으로 k는 2를 사용한다.

$$Z_p = \sum_{i=1}^n Z_i W_i / \sum_{i=1}^n W_i, \quad W = 1/d_i^k$$

2.2. 일반화기법모형

일반화기법모형(Generalized Additive Model; GAM)은 지수분포족(정규분포, 이항분포, 지수분포, 감마분포, 포아송 분포 등)을 따르는 종속변수에 대한 가법적 비선형모형이다(Hastie & Tibshirani, 1986). 여기서 f_j 는 매끄러운 비선형 변환함수(smooth nonlinear transform function)를 의미한다.

$$Y = f_0 + \sum_{j=1}^p f_j(x_j) + \epsilon, \quad \epsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

평활함수는 cubic smoothing spline, local regression, thin-platesmoothing spline등을 이용하여 추정할 수 있다. 각 평활 함수는 평활 모수에 의해 그 값이 달라지며, 평활 모수는 일반적으로 일반화 교차 타당성 방법(Generalized Cross Validation; GCV)을 통해 결정된다.

2.3. 베이저안 공간선형모형

베이저안 공간선형모형(Bayesian spatial linear regression model; BSM)은 공간선형모형인 $Y(s) = x^t(s)\beta + w(s) + \epsilon(s)$ 를 베이저안 기법으로 접근한 것이다. $x^t(s)\beta$ 는 평균함수, $w(s)$ 는 공간적 상관성이며 s 는 기상관측지점이다. $w(s)$ 는 가우시안 확률과정을 따르며, 거리모수인 ϕ 와 σ^2 으로 구성되어 있다. 순수오차는 ρ^2 를 통해 관측값과 예측값 사이의 부드러움을 의미한다. 가우시안 확률과정은 거리에 따른 공간성을 설명하며, 이를 구성하는 분산공분산행렬은 다음과 같다.

$$H_{ij} = \rho(s_i - s_j; \phi) = \exp\left(-\sum_{k=1}^d \phi_k |s_i - s_j|\right),$$

$\theta = (\beta, \sigma^2, \tau^2, \phi)^T$ 를 공간선형모형을 구성하는 모수의 집합으로 본다. 사후분포 $p(\theta|y) \propto f(y|\theta)p(\theta)$ 는 사전분포 $p(\theta)$ 와 우도함수 f 로 얻을 수 있다. BSM은 다음의 단계를 통해 모형화된다.

단계 1. 자료 모형

$$(Y|\theta, w(s) \sim \mathcal{N}(x^t(s)\beta + w(s), \tau^2 I))$$

단계 2. 가우시안확률과정모형

$$(w(s)|\sigma^2, \phi \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2 H(\phi))$$

단계 3. 사전분포 $(\beta, \tau^2, \sigma^2, \phi)$

본 연구에서 고려된 사전분포는 균등분포를 따르는 β , 역감마분포를 따르는 σ^2 와 τ^2 그리고 감마분포를 따르는 ϕ 이다. 모수를 단계적으로 추론하기 위해서 마코프 연쇄 몬테카를로 기법(Markov chain Monte Carlo)을 통해서 기약적(irreducible), 비주기적(aperiodic) 마코프 연쇄를 구축했다.

새로운 지점(s_0)의 결합예측분포는 사후분포 $p(\theta|Y, x(s))$ 로부터 구한 사후표본 $\theta^{(1)}, \theta^{(2)}, \dots, \theta^{(G)}$ 으로부터 점근적으로 구해진다(Yoon, 2016).

$$\begin{aligned} p(Y_0|Y, x(s_0), x(s_0)) &= \int p(Y_0|Y, \theta, x(s_0))p(\theta|Y, x(s))d\theta \\ &\approx \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G p(Y_0|Y, \theta^{(g)}, x(s_0)) \end{aligned}$$

2.4. 모형평가

지구통계모형 간 예측성능을 평가하기 위해 평균제곱근오차(RMSE), 평균절대오차(MAE), 편차(BIAS)를 이용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2},$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|,$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i),$$

여기서 y_i 와 \hat{y}_i 는 각각 모델 예측값과 관측값 평균

의 차이, 관측값과 관측값 평균의 차이를 나타내며 n 은 데이터 개수를 의미한다. 이러한 평가측도는 0에 가까울수록 예측성능이 우수하다.

3. 연구 자료

본 연구는 전남 지역의 농업기상정보인 일 평균기온 자료를 생산하는 방법을 다룬다. 이를 위해 전남에 위치한 자동기상관측시스템(Automatic Weather System, AWS)과 종관기상관측시스템(Automated Synoptic Observing System, ASOS)에서 2013년부터 2016년까지 4년간 관측된 일 평균기온자료와 농업기상관측소에서 관측된 일 평균기온자료를 수집하였다. 농업기상정보의 예측성능 평가를 위해 기상청의 기상관측정보를 모형 적합자료로 사용하였고, 농촌진흥청의 농업기상관측정보를 모형 검증자료로 사용하였다. 지구통계모형의 독립변수로 이용된 지형자료는 위도, 경도, 고도이다.

재배지, 기상청 기상관측소, 농촌진흥청 농업기상관측소의 공간적 분포는 Fig. 1이다. 양파 재배지의 정보는 Table 1이다. 전남 지역에 설치된 기상청의 기상관측소 95개소, 농촌진흥청의 농업기상관측소 25개소의 대한 정보는 Table 2, Table 3이다.

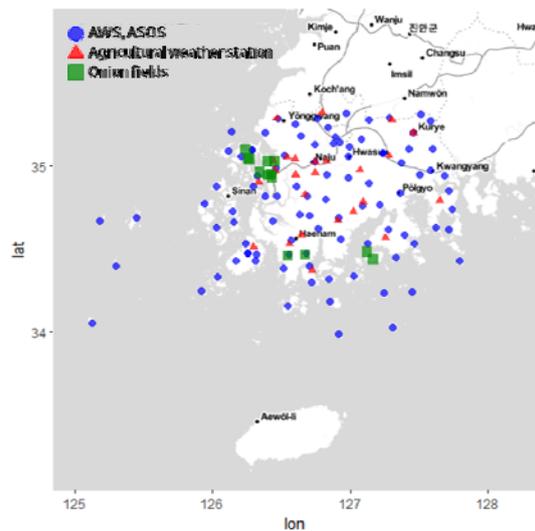


Fig. 1. The spatial distribution of stations.

Table 1. Information of locations for onion fields

No.	Adress	Longitude	Latitude
1	Pyeongsan-ri, Hyeongyeong-myeon, Muan-gun	126.453	35.024
2	Songjeong-ri, Hyeongyeong-myeon, Muan-gun	126.404	35.024
3	Sangma-ri, Hyeongyeong-myeon, Muan-gun	126.432	34.927
4	Bongnyong-ri, Hyeongyeong-myeon, Muan-gun	126.427	34.951
5	Gangjeong-ri, Hyeongyeong-myeon, Muan-gun	126.407	34.942
6	Yeon-ri, Unnam-myeon, Muan-gun	126.350	34.961
7	Jadong-ri, Jido-eup, Sinan-gun	126.260	35.042
8	Taecheon-ri, Jido-eup, Sinan-gun	126.273	35.038
9	Naeyang-ri, Jido-eup, Sinan-gun	126.240	35.100
10	Hyeonsan-myeon, Haenam-gun	126.554	34.460
11	Bugil-myeon, Haenam-gun	126.676	34.464
12	Sinchon-ri, Geumsan-myeon, Goheung-gun	127.127	34.481
13	Eojeon-ri, Geumsan-myeon, Goheung-gun	127.169	34.436

Table 2. The locations of AWS, ASOS

No.	Adress	Longitude	Latitude	Altitude
1	Imjado	35.086	126.118	6.00
2	Jangsando	34.665	126.159	19.00
3	Gageodo	34.052	125.126	22.00
4	Sinjido	34.318	126.848	21.00
5	Yeoseodo	33.986	126.920	35.38
6	Sorido	34.433	127.801	3.04
7	pyeongdo	34.244	127.450	38.49
8	Seongsamjae	35.307	127.511	1088.86
	:			
92	Haenam	34.554	126.569	13.01
93	Goheung	34.618	127.276	53.12
94	Gwangyang-si	34.943	127.691	80.90
95	Jindo-gun	34.473	126.259	5.40

AWS : Automated Weather System

ASOS : Automated Synoptic Observing System

Table 3. The locations of agricultural weather stations

No.	Adress	Longitude	Latitude	Altitude
1	Ogok-myeon, Gokseong-gun	127.303	35.274	152.00
2	Pungyang-myeon, Goheung-gun	127.258	34.567	69.67
3	Gurye-eup, Gurye-gun	127.461	35.197	164.29
4	Bonghwang-myeon, Naju-si	126.748	34.958	40.82
5	Gongsan-myeon, Naju-si	126.606	34.944	33.67
6	Geumcheon-myeon, Naju-si	126.748	35.024	42.15
7	Munpyeong-myeon, Naju-si	126.601	35.040	29.18
8	Cheonggye-myeon, Muan-gun	126.456	34.969	33.39
9	Hyeongyeong-myeon, Muan-gun	126.446	35.029	28.84
10	Boseong-eup, Boseong-gun	127.096	34.782	130.54
11	Ungchi-myeon, Boseong-gun	127.024	34.728	147.87
12	Juam-myeon, Suncheon-si	127.283	35.058	152.51
13	Aphae-eup, Sinan-gun	127.654	34.788	52.22
14	Jusam-dong, Yeosu-si	126.337	34.900	16.18
15	Gunseo-myeon, Yeonggwang-gun	126.468	35.282	35.74
16	Deokjin-myeon, Yeongam-gun	126.673	34.825	45.99
17	Wando-eup, Wando-gun	126.728	34.372	33.43
18	Jangseong-eup, Jangseong-gun	126.796	35.319	93.25
19	Jangheung-eup, Jangheung-gun	126.91	34.671	38.91
20	Jeonnam Agricultural Technology Institute	126.825	35.025	58.49
21	Gunnae-myeon, Jindo-gun	126.298	34.512	35.10
22	Hakgyo-myeon, Hampyeong-gun	126.542	35.052	38.97
23	Samsan-myeon, Haenam-gun	126.56	34.528	39.75
24	Okcheon-myeon, Haenam-gun	126.65	34.582	59.88
25	Hancheon-myeon, Hwasun-gun	127.071	34.974	166.53

4. 연구 결과

4.1. 지구통계모형 예측성능 평가

정확한 농업기상정보를 생산하기 위해서는 지구통계모형의 예측성능에 대한 평가가 필요하다. 이를 위해 4년간 농촌진흥청의 농업기상관측소 지점의 일 평균기온을 예측한 결과를 바탕으로 예측성능을 평가하였다. 지구통계모형의 독립변수로서 위도, 경도만을 고려한 모형과 위도, 경도 외에 고도까지 포함한 모형을 고려하였다. 모형 평가를 위해 전체기간, 월단위, 일단위로 시간해상도를 높여가며 분석하였다.

Table 4는 지구통계모형의 예측성능을 RMSE, MAE, BIAS를 사용하여 비교한 결과이다. 위도, 경도 외에 고도를 고려한 예측모형이 고도를 포함하지 않은 모형보다 전반적으로 낮은 값을 보인다. 따라서 모형에 고도를 포함하여 농업기상정보를 생성하는 것이 적합하다 판단된다. 지구통계모형의 예측성능을 비교한 결과, BSM이 예측성능이 우수한 모형임을 보인다.

Table 4. The results of validation

	RMSE		MAE		BIAS	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
IDW	0.963	0.612	0.688	0.249	0.113	0.343
Lat + Lon	1.065	0.589	0.772	0.256	0.073	0.380
GAM						
BSM	0.967	0.606	0.684	0.243	0.031	0.345
Lat + Lon + Alt	0.976	0.612	0.700	0.256	0.184	0.331
GAM	0.940	0.615	0.671	0.265	0.117	0.360
BSM	0.928	0.620	0.651	0.251	0.070	0.339

BSM의 RMSE가 0.928로 IDW, GAM보다 낮으며, BSM의 MAE와 BIAS도 각각 0.651, 0.070으로 다른 모형에 비해 낮았다.

연도별로 통계모형의 예측성능이 차이가 있는지 확인하기 위하여 연도별로 예측성능을 비교하였다 (Fig. 2). 전체기간에 대한 예측성능과 비슷하게 전반적으로 모든 연도에서 BSM의 성능이 다른 모형에 비해 우수하였다. 그러나 RMSE 기준으로 2013년, 2016년은 BSM보다 GAM이 예측성능이 좋았다.

4.2. 지구통계모형에 따른 공간분포 예측사례

지구통계모형의 공간적인 분포를 알아보기 위해 사례일을 선정하여 평균기온을 예측하였다. 선정된 날은 양파의 정식시기(10월 중순~11월)인 2016년 10월 15일과 구비대기(4월 말~7월 초)인 2016년 6월 1일이다. 정식시기는 양파의 생육과 수량의 영향을 미치며, 구비대기는 양파의 생산량 증감에 영향을 미치므로 중요하다. AWS, ASOS의 일 평균기온자료를 이용하여 두 사례일에 대한 농업기상관측소 지점의 일 평균기온을 예측하여 평가하였다.

2016년 10월 15일에 대한 지구통계모형의 예측성능 결과는 Table 6이다. BSM의 RMSE가 0.739, MAE가 0.585로 다른 모형에 비해 낮은 값을 보이므로 BSM이 예측성능이 우수하다. 이 날은 위도, 경도, 고도 외에 일 평균기온의 공간적 분포로서 기온이 설명되는 날임을 알 수 있다.

Table 5는 2016년 10월 15일에 대한 GAM과 BSM의 모수 추정치와 추정치의 표준오차이다. GAM에서

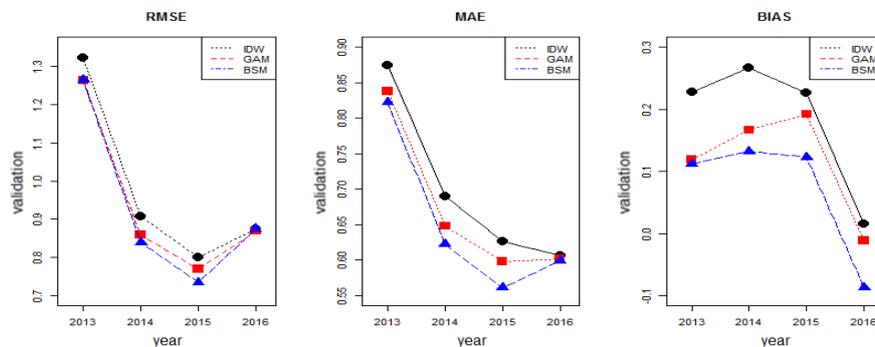


Fig. 2. Comparison of prediction performance by year.

평활모수로 위도, 경도를 각각 사용하거나 위도, 경도를 하나로 사용할 수 있으나 위도, 경도를 각각 평활모수로 이용했을 때는 위도, 경도를 하나로 사용했을 때보다 결과가 좋지 않았다. 따라서 위도, 경도를 하나로 하여 평활모수로 이용하였다. BSM의 모수추정치를 살펴보면, 순수오차 τ^2 보다 σ^2 이 크므로 BSM의 공간성이 잘 반영됨을 알 수 있다. BSM은 관측값의 공간성이 고려되므로 주변에 관측소가 없을수록 평균적으로 위도가 1℃ 올라가면 기온이 2.9℃ 정도 떨어지며 고도는 1000m당 1℃ 정도 떨어지는 경향이 있다.

Table 5. Estimated parameters using AWS and ASOS stations (2016.10.15)

	GAM		BSM	
	Estimate	Std.error	Mean	Std.error
(Intercept)	17.511	0.100	114.162	1.063
Latitude	-	-	-2.907	0.014
Longitude	-	-	0.040	0.008
Altitude	-0.001	0.000	-0.001	0.000
Smooth(lat,lon)	15.440	-	-	-
τ^2	-	-	0.142	0.001
σ^2	-	-	1.466	0.005

Table 6. The results of validation using AWS and ASOS stations (2016.10.15)

	RMSE	MAE	BIAS
IDW	0.853	0.699	0.423
GAM	0.834	0.699	0.428
BSM	0.739	0.585	0.295

AWS, ASOS, 농업기상관측소에서 관측된 일 평균 기온자료를 모두 이용하여 전남지역의 일 평균기온을 예측할 수 있다. 전남 지역이 모형별로 어떤 패턴으로 공간이 예측되는지 알아보기 위해 고해상도 격자단위로 기온을 예측하였다. 그 결과 GAM과 BSM의 모수 추정치는 Table 5와 유사한 결과가 나온다(Table 7).

추정된 결과를 바탕으로 일 평균기온의 추정분포도를 생성하였다(Fig.3). Fig. 3에서 첫 번째 그림은 AWS, ASOS, 농업기상관측소에서 관측된 기온을 나타낸 것이며, 나머지는 AWS, ASOS, 농업기상관측소의 기상자료를 통해 고해상도로 예측된 기온이다. 해안 주변에서 내륙으로 갈수록 기온이 낮아진다.

2016년 6월 1일에 대한 지구통계모형의 예측성능 결과는 Table 9이다. IDW의 RMSE가 0.593, MAE가 0.459로 다른 모형에 비해 예측성능이 우수하다. 이 날은

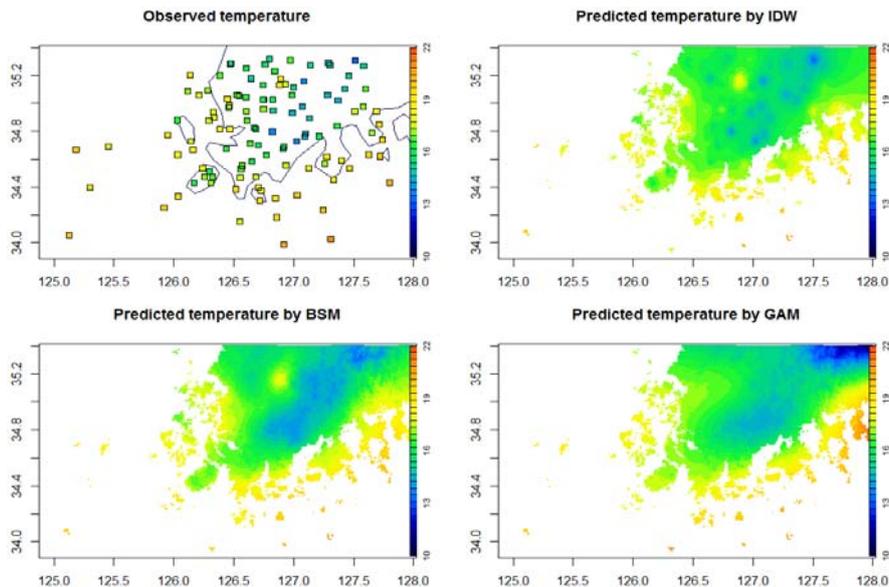


Fig. 3. The high resolution map of average temperature (2016.10.15).

지역별 기온차이가 많이 발생한 날로 볼 수 있다.

Table 7. Estimated parameters using all stations(2016.10.15)

	GAM		BSM	
	Estimate	Std.error	Mean	Std.error
(Intercept)	17.262	0.087	119.460	1.039
Latitude	-	-	-3.034	0.016
Longitude	-	-	0.032	0.008
Altitude	-0.001	0.000	-0.001	0.000
Smooth(lat,lon)	17.650	-	-	-
r^2	-	-	0.171	0.003
σ^2	-	-	1.462	0.019

Table 8. Estimated parameters using AWS, ASOS stations (2016.06.01)

	GAM		BSM	
	Estimate	Std.error	Mean	Std.error
(Intercept)	21.242	0.057	-514.2	0.640
Latitude	-	-	1.693	0.008
Longitude	-	-	0.915	0.005
Altitude	-0.006	0.000	-0.006	0.000
Smooth(lat,lon)	16.280	-	-	-
r^2	-	-	0.106	0.001
σ^2	-	-	0.509	0.002

Table 9. The results of validation using AWS, ASOS stations (2016.06.01)

	RMSE	MAE	BIAS
IDW	0.593	0.459	-0.176
GAM	0.661	0.518	-0.102
BSM	0.644	0.500	-0.155

2016년 6월 1일에 대한 전남지역의 일 평균기온을 예측하였다. GAM과 BSM의 모수 추정치는 Table 8 과 유사한 결과가 나온다(Table 10). 추정된 결과를 바탕으로 일 평균기온의 추정분포도는 Fig.4와 같다. Fig. 4에서 첫 번째 그림은 AWS, ASOS, 농업기상관측소에서 관측된 기온을 나타낸 것이며, 나머지는 AWS, ASOS, 농업기상관측소의 기상자료를 통해 고해상도로 예측된 기온이다. GAM과 BSM의 공간적 분포가 비슷하게 나타났다. 해안 주변에서 내륙으로 갈수록 기온이 낮아지며, 내륙에는 지리산이 위치해 있어 고도가 높아 낮은 값을 보인다.

2016년 10월 15일과 6월 1일의 우수한 모형으로 예측된 기온과 농업기상관측소의 실제 관측된 기온을 비교하였다(table 11). 2016년 10월 15일의 재배지의 일 평균기온은 16.3±1.2 °C이며, BSM으로 예측된

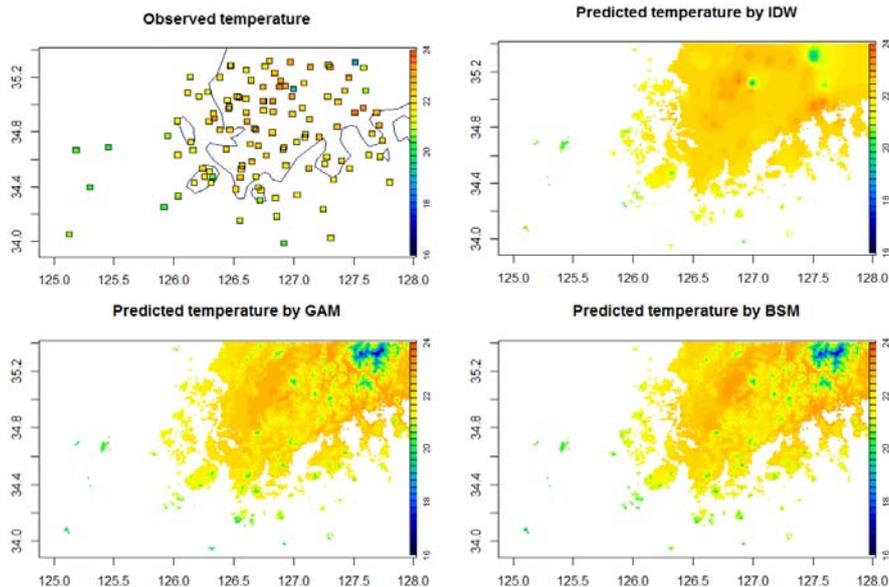


Fig. 4. The high resolution map of average temperature (2016.06.01).

기온은 $16.6 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 이다. BIAS 범위는 $-1.3 \sim 1.6$ 이며 평균값은 0.3이다. 예측된 기온과 관측된 기온의 유의미한 차이가 있는지 알아보기 위해 t-검정을 실시한 결과 통계적으로 차이가 없었다($t=1.046$, $p=0.405$). 2016년 6월 1일의 재배지의 일 평균기온은 $21.5 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 이며, BSM으로 예측된 기온은 $21.4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 이다. BIAS 범위는 $-1.7 \sim 0.9$ 이며 평균값은 -0.2 이다. 예측된 기온과 관측된 기온은 통계적으로 차이가 없었다($t=1.046$, $p=0.301$). 따라서 예측된 기온이 실제 관측된 기온과 유사하게 예측되었음을 알 수 있다.

Table 10. Estimated parameters using all stations (2016.06.01)

	GAM		BSM	
	Estimate	Std.error	Mean	Std.error
(Intercept)	21.418	0.057	-158.700	0.639
Latitude	-	-	1.829	0.008
Longitude	-	-	0.914	0.005
Altitude	-0.006	0.000	-0.006	0.000
Smooth(lat,lon)	13.400	-	-	-
r^2	-	-	0.177	0.035
σ^2	-	-	0.443	0.118

Table 11. Comparison of predicted and observed temperature

No.	2016.10.15			2016.06.01		
	Obs.	BSM	BIAS	Obs.	IDW	BIAS
1	15.0	14.9	-0.1	22.3	21.7	-0.6
2	17.3	18.2	0.9	20.8	21.0	0.2
3	15.4	14.6	-0.8	22.5	21.6	-0.9
4	17.3	16.0	-1.3	21.2	21.8	0.6
5	17.2	16.8	-0.4	21.4	21.6	0.2
6	16.1	16.3	0.2	22.4	22.5	0.1
7	16.4	16.6	0.2	21.3	21.4	0.1
8	17.3	17.7	0.4	21.7	21.0	-0.7
9	18.5	17.5	-1.0	20.2	21.1	0.9
10	14.7	15.0	0.3	21.0	21.1	0.1
11	14.0	15.4	1.4	20.6	21.3	0.7
12	14.5	14.7	0.2	21.2	21.4	0.2
13	17.4	19.0	1.6	21.3	21.5	0.2
14	17.9	18.0	0.1	22.9	21.2	-1.7
15	15.6	16.7	1.1	21.5	20.8	-0.7

Table 11. Continued.

No.	2016.10.15			2016.06.01		
	Obs.	BSM	BIAS	Obs.	IDW	BIAS
16	15.8	16.1	0.3	22.1	22.1	0
17	18.2	18.9	0.7	21.1	20.5	-0.6
18	15.5	16.1	0.6	21.6	21.3	-0.3
19	15.8	16.0	0.2	21.7	21.8	0.1
20	16.3	16.4	0.1	22.6	21.8	-0.8
21	16.3	17.5	1.2	20.8	20.1	-0.7
22	16.8	16.9	0.1	21.8	21.5	-0.3
23	17.0	17.2	0.2	21.2	21.4	0.2
24	16.2	16.8	0.6	21.7	21.2	-0.5
25	14.5	15.0	0.5	21.5	21.4	-0.1
Mean (SD)	16.3 (1.2)	16.6 (1.2)	0.3 (0.7)	21.5 (0.7)	21.4 (0.5)	-0.2 (0.6)
t (P-value)	-0.839 (0.405)		1.046 (0.301)			

4.3. 양파 재배지 농업기상정보 생성

각 일자별 예측성능이 우수한 모형을 사용하여 양파 재배지의 기온을 예측하였다. Fig. 4는 2016년의 일 평균기온 예측 값의 분포를 나타낸 것이다. 양파 재배지는 8월에서 평균기온이 가장 높으며, 12월, 1월, 2월은 비교적 적은 평균기온이 나타난다. 전반적으로 4계절 뚜렷한 기온 특성을 보이고 있다.

양파 생육과 관련해서 본다면, 정식시기는 생육 적정온도는 17°C 로 10월이 정식하기 적합한 것으로 보인다. 양파의 구비대기의 적정 온도는 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 로 4월 말부터 7월 초까지 양파 재배지가 생육에 적합한 것을 알 수 있다. 양파는 25°C 이상에서 고온 장애를 입을 수 있으므로 7,8월은 주의해야 할 것으로 보인다.

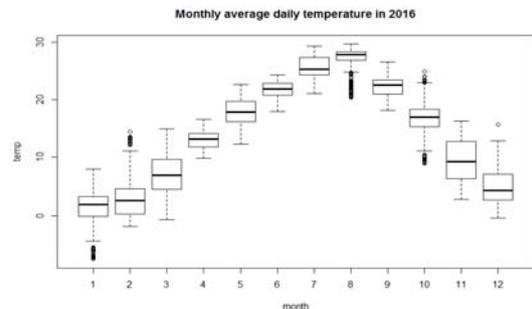


Fig. 5. Boxplot of monthly temperature in 2016.

5. 결론

본 연구는 양파 재배지의 농업기상정보를 생성하는 방법을 다루었다. 기상청의 기상자료를 일 평균기온으로 농업기상관측정보를 예측하여 그 예측성능을 평가하였다. 그 결과 위도, 경도만을 고려한 모형의 결과보다 위도, 경도 외에 고도를 포함한 모형의 예측정확도가 우수하였다. 또한 예측모형은 전반적으로 BSM이 다른 모형들보다 우수하였다. BSM은 관측소에 대한 정보가 반영되며, 위도, 경도, 해발에 대한 공변량 효과가 반영되므로 다른 모형들보다 예측성능이 우수한 것으로 생각된다. 전남의 경우 IDW는 지역별 기온차이가 많이 발생한 278일(19.0%)에 모형성능이 좋았으며 GAM은 위도, 경도, 고도를 이용하여 430일(29.5%)에 예측성능이 좋았다. BSM은 위도, 경도, 고도 외에 일 평균기온의 공간적 분포가 고려된 모형으로 예측성능이 우수한 날은 752일(51.5%)이다.

본 연구는 재배지의 기상정보를 추정하기 위해 위도, 경도, 해발고도를 고려하였다. 향후 경사면의 방향, 해양에서의 거리, 이류 효과와 같은 부가적인 지리적 인자를 고려한다면 더욱 정확한 기상정보를 생성할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Ahn, J. B., Hur, J. N., Shim, K. M., 2010, A Simulation of agro-climate index over the Korean Peninsula using dynamical downscaling with a numerical weather prediction model. *Korean J. Agric. For. Meteorol.*, 12(1), 1-10.
- Cho, J. H., Suh, J. M., Jin, K. H., Kang, J. S., Hong, C. O., Lim, W. T., Lee, S. G., 2013, The impacts of high temperature and heavy precipitation amount on winter Chinese cabbage yields. *J. Environ. Sci. Int.*, 22(2), 235-242.
- Chun, J., Kim, K. R., Lee, S. Y., Kang, W. S., Park, J. S., Yi, C. Y., Choi, Y. J., Park, E. W., Hong, S. S., 2012, High resolution Gyeonggi-do agrometeorology information analysis system based on the observational data using Local Analysis and Prediction System (LAPS). *Korean J. Agric. For. Meteorol.*, 14(2), 53-62.
- Hastie, T., Tibshirani, R., 1986, Generalized additive models. *Stat. Sci.*, 1(3), 297-318.
- Kim, I. G., Park, K. J., Kim, B. J., 2013, Analysis of meteorological factors on yield of Chinese cabbage and radish in winter cropping system. *Korean J. Agric. For. Meteorol.*, 15(2), 59-66.
- Kim, J. H., Yun, J. I., 2015, A Thermal time-based phenology estimation in Kimchi cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*). *Korean J. Agric. For. Meteorol.*, 17(4), 333-339.
- Kim, Y. S., Shim, K. M., Jung, M. P., Choi, I. T., 2014, Accuracy comparison of air temperature estimation using spatial interpolation methods according to application of temperature lapse rate effect. *J. Climate Change Res.*, 5(4), 323-329.
- Kwon, Y. S., Cho, K. S., Lee, E. H., Jang, S. W., Suh, J. T., Kim, J. S., Kim, W. B., Im, J. S., Lee, J. N., 2013, High-quality and long-storability of F₁ hybrid long-day Onion 'Daekwanhwang'. *Korean J. Breed. Sci.*, 45(1), 61-65.
- Kwon, Y. S., Choi, I. H., Kim, C. W., Choi, M. S., Kwak, J. H., Lim, Y. P., 2015, Effects of planting date for the prevention of frost-pillar damage and replanting of damaged plant on onion (*Allium cepa* L.). *J. of Agri. Sci.*, 42(4), 313-318.
- Lee, K. K., Ko, K. K., Lee, J. W., 2012, Correlation analysis between meteorological factors and crop products. *J. Environ. Sci. Int.*, 21(4), 461-470.
- Lee, S. H., Heo, I. H., Lee, K. M., Kim, S. Y., Lee, Y. S., Kwon, W. T., 2008, Impacts of climate change on phenology and growth of crops: In the case of Naju. *J. Korean Geogr. Soc.*, 43(1), 20-35.
- Lim, C. H., Kim, G. S., Lee, E. J., Heo, S., Kim, T., Kim, Y. S., Lee, W. K., 2016, Development on crop yield forecasting model for major vegetable crops using meteorological information of main production area. *J. Climate Change Res.*, 7(2), 193-203.
- RDA, 2015, Analysis of the agricultural meteorological information and development of the crop growth analysis model for estimating yield of the main vegetable, Rural Development Administration PJ009870.
- Shepard, D., 1968, A Two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data. *Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference*, New York, 517-524.

Yoon, D. H., Oh, S. Y., Nam, K. W., Eom, K. C., Jung, P. K., 2014, Changes of cultivation areas and major disease for spicy vegetables by the change of meteorological factors. *Climate Change Res*, 5(1),

47-59.

Yoon, S., 2016, Generating high resolution of daily mean temperature using statistical models. *J. Korean Data Inform. Sci. Soc.*, 27(5), 1215-1224.