

A spatial prediction for the flowering and autumnal dates in Korea

Hyang Gon Jin^a · Sang Wan Kim^a · Yongku Kim^{a,1}

^aDepartment of Statistics, Kyungpook National University

(Received March 8, 2017; Revised April 3, 2017; Accepted April 3, 2017)

Abstract

It is important to predict the flowering dates of Japanese cherry and autumnal dates in Korea. Flowering date is decided by heating requirement with daily maximum and minimum temperature used to calculate the pre-determined heating requirements for flowering. Recent, changes in climate have impacted the flowering season of Japanese cherry in Korea. When compared with the current normal, the flowering of Japanese cherry is expected to be about 10 days earlier than in near future normal years. In this paper, we first consider a linear model based on meteorological data that predicts the flowering date and then incorporate a spatial structure into the model. Real data analysis indicates that the proposed approach provides more reasonable predicted dates.

Keywords: autumnal dates, flowering dates, Japanese cherry, meteorological data, spatial prediction

1. 서론

지구온난화 현상으로 인하여 기온이 상승하고 있다는 것은 모두가 인식하고 있는 사실이다. 따라서 전 세계적으로 장기간의 관측 자료를 분석하여 기후변화 양상을 살펴보는 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 우리나라의 경우 공식적으로 1883년 9월 1일에 최초로 기상관측을 시작하였지만, 일부지역에 국한되어 있어서 한반도 전반적인 기후변화의 경향을 파악하기가 어려웠다. 1970년대 이후 60여개에 이르는 기상관측소에서 여러 기상요소에 대한 연속적인 관측을 시작하면서 분석한 내용에 따르면, 우리나라의 대부분 지역에서도 전 지구적인 기후변동 추세와 마찬가지로 기온과 강수량은 증가하고, 강설량은 감소하는 경향이 나타났다. Inter-governmental Panel on Climate Change (IPCC) 보고서에 의하면 최근 50년간의 기온상승(약 0.13°C/10년)이 지난 100년 (1906년–2005년)간의 기온상승 추세(약 0.07°C/10년)보다 약 2배 정도 높아지고 (IPCC, 2007) 있으며, 이러한 지구온난화로 인해 한반도의 벚꽃 개화시기가 앞당겨지고 (Yun, 2006; Lee, 2009; Hur 등, 2013, 2015), 한반도 내 개화시기의 지역간 격차도 점차 줄어들고 있으며 (Jang, 2013), 단풍 시작시기는 점차 늦어진다는 연구 결과 (Kim 등, 2011; Shin 등, 2013; Park 등, 2015; Hur 등, 2015)들이 보고되고 있다. 또한, 지난 100년간 한반도에 나타난 기온상승은 자연적 변화 범위를 넘어서 것으로 판단되고 있다 (Ho 등, 2011). 식물계절이란 기후나 기상의 계절적 변화에 따라 나타나는 생활현상으로 겨울의 눈, 개화, 신록, 단풍, 낙엽 등이 있다.

¹Corresponding author: Department of Statistics, Kyungpook National University, 80 Daehak-Ro, Daegu 41566, Korea. E-mail: kim.1252@knu.ac.kr

이러한 식물계절 시기의 변화는 지역 기후의 변화를 파악하는데 중요한 지표로 작용한다. 또한 지구온난화로 인한 기온상승의 영향이 뚜렷하게 반영되므로, 기후변화에 따른 영향평가를 위한 지표가 요구되면서 식물 계절 자료에 대한 관심이 증대 되었다 (Lee 등, 2009).

국내외적으로 벚꽃의 개화시기와 단풍시작일에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다. 온도시간 모형(thermal time model)의 일종인 The number of days transformed to standard temperature (DTS) 생물 계절모형 (Ono와 Konno, 1999)을 이용하여 격자형 벚꽃(벚, 복숭아, 배)의 개화일을 생산하고, 개화일의 미래 변화를 분석 (Hur 등, 2015)하였고, ‘Chill-day’ 모형을 통해 식물마다 가지는 고유한 저온요구량과 개화에 이르는 데 필요한 고온요구량을 추정하여, 기온자료를 통해 개화일을 추정할 수 있는 (Richardson 등, 1974; Aron, 1983; Cesaraccio 등, 2004; Jung 등, 2005) 방법을 통해 남한 전 지역에 대해 격자형 기후자료에 대한 벚꽃 개화일을 계산하고 그 공간변이를 파악 (Yun, 2006)하기도 하였다. 또한 Estella와 Menzel (2006), Delpierre 등 (2009) 그리고 Friedman 등 (2011)의 연구 결과를 이용해 기온과 광주기를 주요 변수로 이용한 식생계절예측모델 중 하나인 temperature photoperiod (TP) (Jeong과 Medvigy, 2014) 모델을 이용하여 단풍시작일과 기온의 상관성을 알아보고 단풍시작시기의 변화를 살펴보기도 하였다 (Park 등, 2015; Hur 등, 2015).

이러한 생물 계절모형을 이용한 방법 이외에도 가을의 식물계절 시기를 평균한 가을 식물계절지수 (autumn phytophenological index; API) (Lee 등, 2009)를 이용하여 시계열분석을 통해 지수의 변화 경향을 보고, 회귀 분석을 통해 기온변화에 대한 가을철 식물계절 시기의 변화 경향을 파악하였고, 기상청에서는 벚꽃(벚꽃, 개나리 등)의 각각의 지역별로 회귀분석을 통하여 개화시기와 단풍(은행나무, 단풍나무)의 시작 시기를 매년 발표한다 (KMA, 2003) (2016년 기준, 민간 기상업체가 정보를 생산하며 기상청은 관측 및 발표 업무를 수행)하지만 생물 계절모형은 개화생리 전 과정을 시간과 온도로 표현하고, 식물마다 가지는 고유한 저온요구량과 고온요구량을 통해 수종에 따른 각각 개별된 개화시기를 예측할 수 있는 정확성이 있으나, 다양한 빛나무 품종에 대한 연구가 부족하여 필요한 모수(저온/고온요구량)의 추정값을 사용하는 실정이다.

지방자치제의 본격적 실시와 주 5일제 등으로 인한 여가 문화가 증가하면서, 관광객 유치를 통한 지역경제 활성화의 전략으로 축제가 부각되고 있다. 축제의 경우 지역 문화 콘텐츠를 이용할 수도 있지만 지역적 요소나, 대중성을 이용할 수도 있다 (Korea Culture & Tourism Institute, 2006). 이런 것을 이용한 대표적 축제가, 봄철 벚꽃축제와 가을철 단풍놀이축제이다. 이들의 경우 축제 개최를 위하여 요구되는 조건이 적기 때문에 소규모 축제가 많은 실정인데, 반대로 개화시기나 단풍시기에 대한 예측이 정확하지 않을 경우 축제의 성패가 크게 좌지우지 되기도 한다. 그래서 예측에 대한 요구가 전국적으로 확산되고 있다. 따라서 기상청에서 예보서비스를 실시하고 있으나, 기상청에서 사용하고 있는 기상모델의 경우 기존에 축적된 자료를 통하여 지역별 회귀분석모델을 만드는 것이므로, 가중치 부여를 통하여 이런 변화를 해결하려고 노력하고 있으나 한계가 있는 것으로 파악된다. 또한 해당 모델의 경우, 관측자료가 있는 지역 이외의 장소에 대한 예측값은 생성할 수 없으므로 한반도 전지역을 아우를 수 없다는 단점이 존재한다. 관측값이 없었던 지역의 경우에는 정확한 예측이 아닐 뿐 더러, 그 추정식의 신뢰도 또한 높지 않다 (Korea Meteorological Administration, 2002).

본 연구에서는 한반도 전지역을 아우르는 예측모델 개발에 대한 요구가 늘고 있는 상황에서 개화 및 단풍시기에 대하여 한반도 공간모형을 생성하고, 한반도 전역에 대한 예측 모델을 개발해 보고자 한다.

2. 연구데이터 설명

벚꽃개화시기와 단풍시기의 경우, 관측에 의존한다. 빛나무는 여러 종류가 있으나 개화일 예측을 위하

Table 2.1. Variables and their descriptions used to predict flowering date and autumnal climax

Variables	Description
loc	location (12 locations)
lat	latitude (°)
lon	longitude (°)
elv	elevation (m)
year	year (8 years)
date1	flowering date
date2	autumn starting date
date3	autumnal climax date
mtemp2[3]	mean temperature during February [March] (°C)
htemp2[3]	maximum temperature during February [March] (°C)
ltemp2[3]	minimum temperature during February [March] (°C)
mtemp8[9]	mean temperature on August [September] (°C)
precip2[3]	precipitation during February [March] (mm)
precip8	precipitation on August (mm)
precip9	precipitation on September (mm)
sun2[3]	amount of sunlight during February [March] (hour)

여 기상청에서 관측하는 벚나무의 품종은 왕벚나무이다 (KMA, 2002). 개화란 꽃봉오리가 피었을 때를 말하나 그 정도를 정의하기는 곤란하므로 복숭아, 개나리, 벚꽃 등 한 개체에 많은 꽃이 피는 다화성 식물은 한 개체 중 몇 송이(한가지에서 3송이) 이상 피었을 때를 개화라 한다고 칭하고 있다 (KMA, 2003). 단풍은 식물 중에서 잎 속에 함유되어 있는 색소가 가을이 되면 변화하여 잎의 색이 홍색(단풍나무) 또는 황색(은행나무)으로 변화하는데 단풍은 잎이 가을에 홍색 또는 황색으로 변색되는 현상을 말한다 (KMA, 2003). 일반적으로 기온이 낮고 일교차가 클수록 단풍이 드는 속도는 빨라지며, 단풍은 평지보다는 산, 강수량이 많은 곳 보다는 적은 곳, 음지보다는 양지바른 곳 등에서 아름답게 나타나고, 수종, 수령 등 환경에 따라 달라질 수 있다고 정의되어 있다 (KMA 2002).

매해 기상청은 이들에 대하여 보도자료를 통하여 당해 연도 예측시기 및 전년도와의 차이를 발표하고 있으며, 단풍 시작일을 관측, 발표한다. 참고로 전체 산의 20% 가량이 물들었을 때를 단풍시작일로 하며, 80% 가량 물들었을 때를 단풍절정일로 정의한다. 따라서 우리는 본 연구를 위하여 벚꽃의 경우, 2009–2016년의 보도자료를, 단풍의 경우는 2005–2015년 보도자료를 이용하였다. 정확한 시기변수를 사용하기 위하여, 기상청 보도자료에서 전년도 데이터만을 수집하였으며, 단풍은 기상관서별로 지정된 유명산, 총 30곳 중 2004년부터 2014년까지 결측 없이, 연속적으로 측정된 14개 산의 단풍시작일의 정보를 수집하였다. 기상변수의 경우, 국가통계포털 (<http://kosis.kr>) 기관별 통계자료에서 기상청의 ‘기상요소별 관측값’이란 기상관측 자료를 이용하였으며, 기상청이 개화일예측에 사용하는 기온변수 이외에도, 식물의 성장에 필요한 기상요소인 강수와 일조시간을 포함하여 데이터셋을 구성하였다. 벚꽃의 경우, 2008–2015년의 2월과 3월의 평균, 최저, 최고온도(°C)와 월 총 강수량(mm), 일조량 데이터를 수집하였고, 단풍시기 예측을 위해선 동일 정보에서 8월과 9월의 평균온도(°C)와 월 총 강수량(mm), 일조량을 사용하였다. 해당 지역의 위치정보는 국토교통부 국토지리정보원 (<https://www.ngii.go.kr>) 지역별 기준점 자료를 이용하여 관측지명의 위도, 경도 자료를 수집하였는데, 단풍시기를 관측하는 14개 산을 비롯하여 산림청(Korea Forest Service)에서 지정한 ‘100대 명산’에 대해 각 산 별 위도, 경도 좌표는 국토지리정보원의 ‘산높이 DB (배포용)-2015년’를 바탕으로 각각의 산에 대한 위도, 경도, 산의 높이(m) 정보를 수집하였으며, ‘산높이 DB (배포용)-2015년’의 경우 위도, 경도는 ‘도(°)-분(')-초(")’ 단위로 측정되어있어 ‘도(°)’ 단위로 변환하여 이용하였다.

단풍의 경우, 기상 변수들은 해당 산이 위치하는 지역의 기상관소의 관측 자료를 통해(해당 지역의 기상관소가 없을 경우, 인근에 있는 기상관소의 자료 이용) 평균 기온은 고도에 따른 온도감률을 이용하여 산 정상 온도 추정하였다. 시기 변수는 ‘년-월-일’ 형식으로 표현된 변수이므로, 반응변수로 사용하기에 어려움이 따르게 된다. 따라서 당해 연도 1월 1일을 기준으로 개화일 또는 단풍시기까지 걸린 날짜 변수를 실제 개화일 예측의 변수로 사용하였다.

3. 벚꽃개화 및 단풍시기 예측모형

개화일과 단풍시기 예측을 위해 일반적으로 식물의 성장에 필요한 기상요소인 강수와 일조시간등을 모형에 포함시켜야 하는데, 벚꽃의 경우, 2월과 3월의 평균, 최저, 최고온도(°C)와 월 총 강수량(mm) 그리고 일조량을 설명변수로 고려하였고, 단풍시기 예측을 위해서는 8월과 9월의 평균온도(°C)와 월 총 강수량(mm) 그리고 일조량을 설명변수로 사용하였다. 또한 관측값이 없는 지역에 대한 개화 및 단풍시기 예측을 위해서 기존의 선형회귀 모형에 공간구조를 가지는 확률효과항을 추가하여 개화일과 단풍시기를 추정하고자 한다.

개화일과 단풍시기 예측을 위한 통계적 모형은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y(s) = \mathbf{X}(s)\boldsymbol{\beta} + \eta(s), \quad (3.1)$$

여기에서 $y(s)$ 는 s 지점에서의 벚꽃 개화 또는 단풍 시기(일), $\mathbf{X}(s)$ 는 s 지점에서의 다양한 기상변수(벚꽃의 경우, 2월과 3월의 평균, 최저, 최고온도(°C)와 월 총 강수량(mm), 일조량 등 그리고 단풍의 경우, 8월과 9월의 평균온도(°C)와 월 총 강수량(mm), 일조량 등)를 나타내는 독립변수 행렬, $\eta(s)$ 는 s 지점에서의 개화 및 단풍 시기에 대한 모형 오차로써 공간모형을 가정한다.

$$(\eta(s_1), \dots, \eta(s_N))' \sim \text{MVN}(\mathbf{0}, \Sigma(\sigma^2, \theta)). \quad (3.2)$$

일반적으로 공분산행렬 $\Sigma = \sigma^2 R_{\theta, \nu}(s, s')$ 은 공간오차의 분산과 상관행렬의 곱으로 표현되며, 실제 오차항 η 의 공간구조를 설명한다. 여기에서 상관행렬 $R_{\theta, \nu}(s, s')$ 로 Matérn함수를 사용하였고, 그 식은 다음과 같다.

$$R_{\theta, \nu}(s, s') = \frac{\left(\frac{d(s, s')}{\theta}\right)^\nu}{2^{\nu-1}\Gamma(\nu)} K_\nu\left(\frac{d(s, s')}{\theta}\right). \quad (3.3)$$

Matérn함수는 평활모수 ν , 척도모수 θ 와 각 개체사이의 거리인 $d(s, s')$ 에 의해 정의되며, 일반적으로 평활모수 ν 는 값을 고정하여 추정한다. 여기에서 평활모수 $\nu = 0.5$ 인 경우, Matérn함수는 지수함수로 축소된다.

4. 분석 결과

본 연구에서 제안한 모형을 기상청에서 제공하는 최근 국내 벚꽃의 개화 시기와 단풍 시기에 대한 자료와 관련 기상자료에 적용하였다. 이를 통해 벚꽃의 개화와 단풍에 영향을 주는 요인을 각각 파악하였고 이들 관심변수에 대한 공간구조를 파악하여 이를 공간예측에 적용하였다.

Figure 4.1은 각각 벚꽃의 개화시기와 단풍의 시작시기 데이터 셋의 변수 간 상관관계를 나타낸 그림으로, 청색이 양의 상관관계를, 적색이 음의 상관관계를 나타내며 상관계수의 크기를 색의 진하기와 원의 크기를 통해 나타내었다. 벚꽃 데이터의 경우, 위도가 높아질수록 개화시기가 늦춰지며, 개화시기와 기

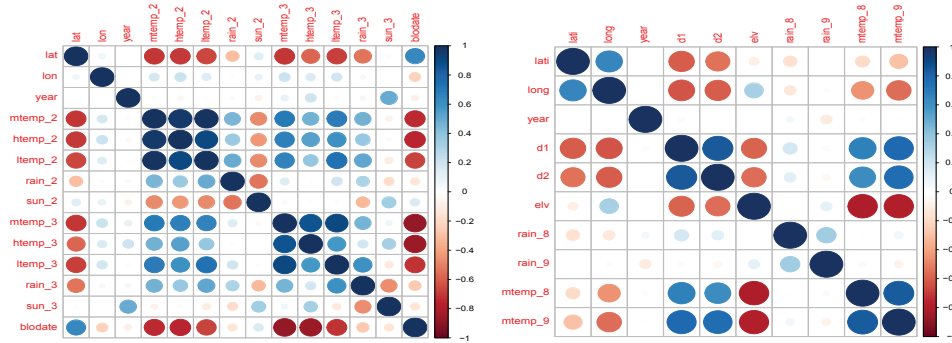


Figure 4.1. Correlation plots of explanatory variables for Japanese cherry model and autumnal model, respectively.

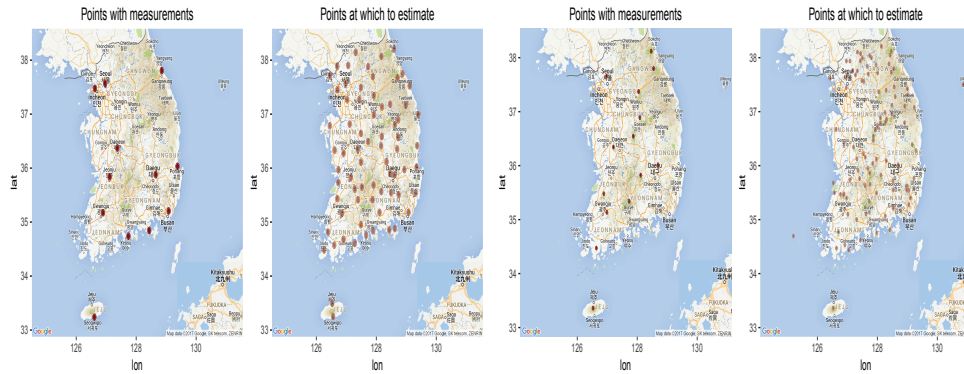


Figure 4.2. Locations of observation and prediction for Japanese cherry model and autumnal model, respectively (from the left to the right).

Table 4.1. Estimated coefficient (Est.) and standard error (SE) values for Japanese cherry model

Variables	Intercept	mtemp2	htemp3	ltemp3	precip3	sun3
Est.	122.222	-1.210	-2.478	-0.700	0.030	0.018
S.E.	2.268	0.153	0.196	0.239	0.008	0.008

mtemp2 = mean temperature during March; htemp3 = maximum temperature during March;
 ltemp3 = minimum temperature during March; precip3 = precipitation during March;
 sun3 = amount of sunlight during March.

상변수들이 음의 상관관계를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 단풍 데이터의 경우, 위도와 고도, 산의 높이의 크기가 커질수록 단풍 시작시기가 빨라지며, 8, 9월 평균기온과 양의 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 참고로 Figure 4.2는 각각 벚꽃의 개화와 단풍의 시작이 관측된 지점과 예측할 지점을 나타낸 그림이다.

Tables 4.1과 4.2에서는 벚꽃의 개화시기와 단풍의 시작시기에 대한 회귀 분석의 결과는 정리하였다. 벚꽃의 개화시기에 대한 모형에서는 13개의 변수 중 2월 평균기온, 3월 최고/최저온도, 3월 총 강수량 그리고 3월 총 일조량 등 총 5개의 변수가 유의하였고 단풍의 시작시기에 대한 모형에서는 8개의 변수 중 위도, 산의 높이, 8월 총 강수량 그리고 9월 평균기온 등 총 4개의 변수가 유의하였다.

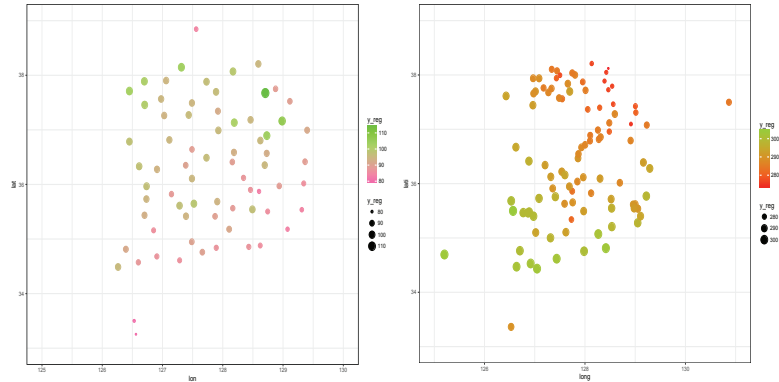
Table 4.2. Estimated coefficient (Est.) and standard error (SE) values for autumnal model

Variables	Intercept	lat	elv	mtemp8	precip8
Est.	400.163	-3.333	-0.008	1.020	0.004
S.E.	14.208	0.285	0.001	0.238	0.002

lat = latitude ($^{\circ}$); elv = elevation (m); mtemp8 = mean temperature on August;
precip8 = precipitation on August.

Table 4.3. Estimated parameters (standard errors) for correlation function for Japanese cherry model and autumnal model

Model	σ^2	θ	ν (fixed)
Japanese cherry	18.028 (1.425)	2.408 (0.398)	0.5
Autumnal climax	4.718 (0.672)	0.493 (0.117)	0.5

**Figure 4.3.** Prediction (based on linear regression) for Japanese cherry model and autumnal model, respectively.

벚꽃의 개화시기 모형의 경우 약 88%의 변동을, 단풍의 시작시기 모형의 경우 약 80%의 변동을 설명하였다. 또한, 선형성, 등분산성, 정규성이 만족하였으며 다중공선성은 없는 것으로 확인되었다. Table 4.3에서는 각각 벚꽃과 단풍 데이터를 이용하여 회귀분석을 실시한 후, 잔차에 대한 variogram을 Matérn함수를 이용하여 적합시킨 결과이다.

Figure 4.3에서는 예측지점들에 대하여 회귀분석을 통해 예측값을 나타낸 그림으로, 값의 크기에 따른 원의 크기와 색을 통해 예측지점 별로 벚꽃의 개화와 단풍의 시작의 예측값을 나타내었다. 이를 통해, 각 관측지역의 선형회귀모형에 따른 경향성을 확인할 수 있다. Figure 4.4에서는 벚꽃 및 단풍 시기에 대하여 잔차에 대한 Kriging값과 회귀분석을 통하여 얻은 예측값을 합하여 구한 최종 예측값을 각각 나타낸 것으로, 벚꽃에 대해서는 값이 낮을수록 분홍색으로, 높을수록 녹색으로 나타나며, 단풍에 대해서는 값이 낮을수록 적색으로, 높을수록 노란색으로 나타낸다. 이를 통해 벚꽃 시기와 비교해 단풍 시기에 상대적으로 높은 공간적 상관성이 존재함을 확인할 수 있었다.

마지막으로 Tables 4.4와 4.5에서는 벚꽃과 단풍 시기에 대하여 본 논문에서 제안한 공간예측값과 기상청의 예측값을 2015년 실제 관측값과 각각 비교하였다. 이를 통해, 공간회귀모형에 의한 예측법이 기존 기상청의 예측 시기와 비교해 개선된 결과를 확인할 수 있었다. 또한 Cross validation 방법을 통한 RMSE 값을 비교했을 때, 단풍의 경우는 회귀모형이 18.685이고 공간회귀모형이 3.329이었으며, 벚꽃의 경우는 회귀모형이 16.152이고 공간회귀모형이 8.251으로 공간구조를 고려한 모형에서 모형의 설명력이 증가했음을 알 수 있다.

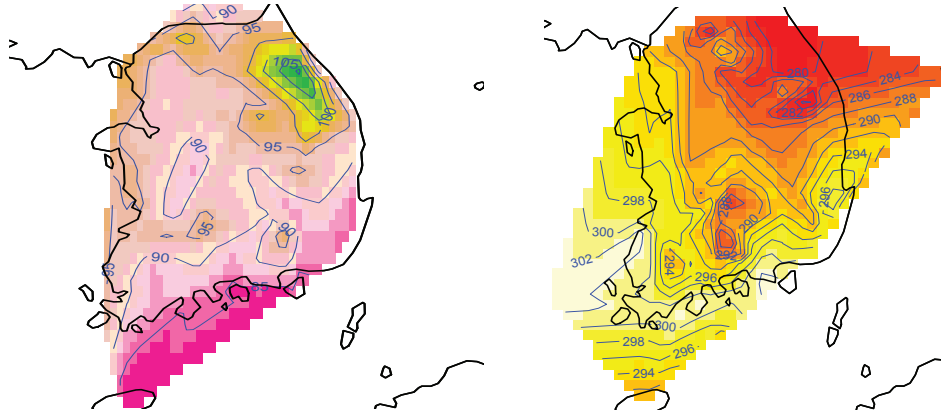


Figure 4.4. Spatial prediction (Kriging) for Japanese cherry model and autumnal model, respectively.

Table 4.4. Comparison of predictions by KMA and Krige for Japanese cherry model

Locations	KMA	Krige	TRUE	diff (KMA)	diff (Krige)
Pusan	2015-03-28	2015-03-24	2015-03-28	0	4
Daegu	2015-03-31	2015-03-24	2015-03-28	3	4
Daejeon	2015-04-05	2015-03-31	2015-03-29	7	2
Gangreung	2015-04-03	2015-03-29	2015-04-03	0	5
Gwangju	2015-04-01	2015-03-27	2015-03-29	3	2
Incheon	2015-04-12	2015-04-08	2015-04-08	4	0
Jeonju	2015-04-04	2015-03-28	2015-03-30	5	2
Pohang	2015-03-31	2015-03-31	2015-03-27	4	4
Seoguipo	2015-03-24	2015-03-20	2015-03-25	1	5
Seoul	2015-04-09	2015-04-03	2015-04-03	6	0
Tongyeong	2015-03-30	2015-03-28	2015-03-26	4	2
Yeosu	2015-04-02	2015-03-31	2015-03-28	5	3

Table 4.5. Comparison of predictions by KMA and Krige for autumnal model

Locations	KMA	Krige	TRUE	diff (KMA)	diff (Krige)
Mt. Seorak	2015-10-03	2015-10-02	2015-10-05	2	3
Mt. Odae	2015-10-06	2015-10-06	2015-10-07	1	1
Mt. Bukhan	2015-10-22	2015-10-17	2015-10-18	4	1
Mt. Chiak	2015-10-15	2015-10-11	2015-10-09	6	2
Mt. Wolak	2015-10-19	2015-10-14	2015-10-13	6	1
Mt. Sokri	2015-10-18	2015-10-15	2015-10-18	0	3
Mt. Gyeryong	2015-10-18	2015-10-21	2015-10-18	0	3
Mt. Palgong	2015-10-24	2015-10-19	2015-10-21	3	2
Mt. Gaya	2015-10-18	2015-10-16	2015-10-15	3	1
Mt. Naejang	2015-10-28	2015-10-25	2015-10-25	3	0
Mt. Jiri	2015-10-17	2015-10-10	2015-10-10	7	0
Mt. Mudeung	2015-10-27	2015-10-21	2015-10-18	9	3
Mt. Duryu	2015-10-30	2015-10-29	2015-10-29	1	0
Mt. Halla	2015-10-22	2015-10-18	2015-10-18	4	0

5. 결론

국내외적으로 벚꽃의 개화시기와 단풍 시작일 및 절정일에 대한 관련 연구가 많이 되어왔는데, 선형회귀 모형을 통해서 이들의 개화시기 및 단풍시기에 영향을 줄 수 있는 월별 평균, 최저, 최고온도, 강수량 그리고 일조량 등과 같은 여러가지 기상변수를 확인하였고 관측되지 않은 지역에 대한 예측을 위해서 기존의 모형에 공간구조를 추가하여 분석하였다. 연구를 통해 2015년의 한반도 벚꽃개화시기를 확인해 본 결과, 2월의 평균기온, 3월의 최저 및 최고기온, 3월의 강수량, 3월의 일조량이 유의한 변수였다. 그리고 2010년 한반도의 단풍시작시기에 대해 확인한 결과, 위도, 산의 높이, 9월 평균기온과 8월 총 강수량이 유의한 변수로 선택되었다. 이들의 결과는 최대 3일의 차이를 보이며 기존 기상청의 예측 시기와 비교해 개선된 결과를 확인할 수 있다. 또한 공간구조를 이용하였기 때문에 기존에 개화나 단풍시기에 대한 관측자료가 없는 지역에 대해서도 기상변수 값만 존재한다면, 예측일을 계산해 낼 수 있다. 따라서 한반도 전 지역에 대한 벚꽃 개화 및 단풍시작시기에 대한 예측지도도 만들 수 있다. 개화일 예측의 경우 개화 전 1개월의 기온 변화에 따라 봄꽃 개화일이 크게 변화한다는 기존의 연구 결과처럼 2월보다는 3월의 기상변수가 더 많이 유의한 것을 확인할 수 있다. 그리고 미래 기후 시나리오에 따라, 지구온난화로 인해 평균기온과 강수량이 증가함에 따라 단풍의 시작시기가 늦춰질 것임을 알 수 있었으며 이는 선행연구들과 일치하는 결과였다. 본 연구에서 제시한 방법을 실제로 적용하기 위해서는 직전년도의 공간구조를 이용해야 한다. 이로 인해 단기적 예측은 가능하지만, 미래 기후 시나리오에 따른 50년, 100년과 같은 장기적인 예측을 위해서는 variogram의 시간의 흐름에 따른 변화를 같이 고려해야 할 것이다.

References

- Aron, R. H. (1983). Availability of chilling temperatures in California, *Agricultural Meteorology*, **28**, 351–363.
- Cesaraccio, C., Spano, D., Snyder, R. L., and Duce, P. (2004). Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species, *Agricultural and Forest Meteorology*, **126**, 1–13.
- Delpierre, N., Dufrene, E., Soudani, K., Ulrich, E., Cecchini, S., Boe, J., and Francois, C. (2009). Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France, *Agricultural and Forest Meteorology*, **149**, 938–948.
- Estrella, N. and Menzel, A. (2006). Responses of leaf coloring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany, *Climate Research*, **32**, 253–267.
- Friedman, J. M., Roelle, J. E. and Cade, B. S. (2011) Genetic and environmental influences on leaf phenology and cold hardiness of native and introduced riparian trees, *International Journal of Biometeorology*, **55**, 775–787.
- Ho, C. H., Lee, M. H., Park, T. W., and Lee, S. (2011). A review of observed climate change in Korean peninsula, *Climate Change Research*, **2**, 221–235.
- Hur, J., Ahn, J. B., and Shim, K. M. (2013). Change of cherry blossoms in South Korea from the scale-down IPCC AR5 simulated data, in Proceedings of the Autumn Korean Meteorological Society, **2013**, 610–611.
- Hur, J., Ahn, J. B., and Shim, K. M. (2015). Projection on first flowering date of cherry, peach and pear in 21st century simulated by WRFv3.4 Based on RCP 4.5 and 8.5 scenarios atmosphere, *Korean Meteorological Society*, **25**, 693–706.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of working group to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 996p.
- Jang, J. W., Byun, J. G., Hwang, H. S., Jung, S. S., Oh, S. H., Yang, J. C., and Lee, Y. M. (2013). A study on the change of flowering time of Prunus species complex in South Korea, *Korean Institute of Forest Recreation and Welfare*, **2013**, 457–460.

- Jeong, S. J. and Medvigy, D. (2014). Macroscale prediction of autumn leaf coloration throughout the continental United States, *Global Ecology and Biogeography*, **23**, 1245–1254.
- Jung, J. E., Kwon, E. Y., Chung, U., and Yun, J. I. (2005). Predicting cherry flowering date using a plant Phenology model, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **7**, 148–155
- Kim, H. J., Hong, J. K., Kim, S. C., Oh, S. H., and Kim, J. H. (2011). Plant phenology of threatened species for climate change in sub-alpine zone of Korea - especially on the summit area of Mt. Deogyusan, *Korean Journal of Plant Research*, **24**, 549–556.
- Korea Culture & Tourism Institute (2006). *Report on the evaluation and improvement of festivals in Korea*, Korea Culture & Tourism Institute, 2016.
- Korea Meteorological Administration (2002). *Calculation and verification of living weather information*, Korea Meteorological Administration, 2002.
- Korea Meteorological Administration (2003). *Seasonal Observation Guidelines*, Korea Meteorological Administration, 2003.
- Lee, K. M., Kwon, W. T., and Lee, S. H. (2009). study on plant phenological trends in South Korea, *Journal of The Korean Association of Regional Geographers*, **15**, 337–350.
- Ono, S. and Konno, T. (1999). Estimation of flowering date and temperature characteristics of fruit trees by DTS method, *Japan Agricultural Research Quarterly*, **33**, 105–108.
- Park, C. K., Ho, C. H., and Park, H. Y. (2015). A study on the change of the start time of Korean autumn leaves, In *Proceedings of the Spring Meeting of Korean Mathematical Society*, **2015**, 80–81.
- Richardson, E. A., Seeley, S. D., and Walker, D. R. (1974). A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees, *HortScience*, **9**, 331–332.
- Shin, H. T., Sung, J. W., and Yi, M. H. (2013). Studies on biological phenology of plant species in Yeungnam region, *Journal of Climate Research*, **8**, 55–65.
- Yun, J. I. (2006). Climate change impact on the flowering season of Japanese cherry (*Prunus serrulata* var. *spontanea*) in Korea during 1941–2100, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **8**, 68–76.

국내 벚꽃 개화 및 단풍 시기에 대한 공간예측

진향곤^a · 김상완^a · 김용구^{a,1}

^a경북대학교 통계학과

(2017년 3월 8일 접수, 2017년 4월 3일 수정, 2017년 4월 3일 채택)

요약

국내외적으로 벚꽃의 개화시기와 단풍 시작일에 대한 관련 연구가 많이 되어왔는데, 매해 기상청은 이들에 대하여 보도자료를 통하여 당해 연도 예측시기 및 전년도와의 차이를 발표하고 있다. 본 연구에서는 선형회귀모형을 통해서 이들의 개화시기 및 단풍시기에 영향을 줄 수 있는 월별 평균, 최저, 최고온도, 강수량 그리고 일조량 등과 같은 여러 가지 기상변수를 확인하였고 관측되지 않은 지역에 대한 예측을 위해서 기존의 모형에 공간구조를 추가하여 분석하였다. 본 연구에서 제안된 모형을 2009년부터 2016년의 기상청 보도자료에 적용하였고 기존의 기상청 예측값과 비교하였다. 그리고 공간분석을 통해 한반도 전역의 벚꽃 개화시기와 단풍 시작일을 예측하였다.

주요용어: 공간모형, 기상변수, 단풍시기, 벚꽃개화시기, 선형모형

¹교신저자: (41566) 대구광역시 북구 대학로 80, 경북대학교 통계학과. E-mail: kim.1252@knu.ac.kr