

시계열 분석을 이용한 부산지역 계절식물의 개화시기 변화

최철만 · 문성기*

농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과, *경성대학교 이과대학 생물학과
(2008년 7월 4일 접수; 2008년 12월 3일 수정; 2009년 2월 14일 채택)

Changes of Flowering Time in the Weather Flora in Busan Using the Time Series Analysis

Chul-Mann Choi and Sung-Gi Moon*

Climate Change & Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea
Department of Biology, Kyungsoong University, Busan 608-736, Korea

(Manuscript received 4 July, 2008; revised 3 December, 2008; accepted 14 February, 2009)

Abstract

To examine the trend on the flowering time in some weather flora including *Prunus serrulata* var. *spontanea*, *Cosmos bipinnatus*, and *Robinia pseudo-acacia* in Busan, the changes in time series and rate of flowering time of plants were analyzed using the method of time series analysis. According to the correlation between the flowering time and the temperature, changing pattern of flowering time was very similar to the pattern of the temperature, and change rate was gradually risen up as time goes on. Especially, the change rate of flowering time in *C. bipinnatus* was 0.487 day/year and showed the highest value. In flowering date in 2007, the difference was one day between measurement value and prediction value in *C. bipinnatus* and *R. pseudo-acacia*, whereas the difference was 8 days in *P. mume* showing great difference compared to other plants. Flowering time was highly related with temperature of February and March in the weather flora except for *P. mume*, *R. pseudo-acacia* and *C. bipinnatus*. In most plants, flowering time was highly related with a daily average temperature. However, the correlation between flowering time and a daily minimum temperature was the highest in *Rhododendron mucronulatum* and *P. persica*, otherwise the correlaton between flowering time and a daily maximum temperature was the highest in *Pyrus* sp.

Key Words : Weather flora, Time series analysis, Flowering time

1. 서 론

계절식물(weather flora)이라 함은 기후에 따라 계절현상을 알려주는 대표적인 식물들로서 자연지표 중의 하나이며, 개나리, 벚꽃, 진달래, 매화나무, 산수유, 유채, 코스모스, 아카시나무, 복숭아나무 등을

들 수 있다. 이러한 식물들에 있어서 개화는 번식 과정 중 가장 중요한 요소 중 하나이다. 개화시기의 경우, 일조시간, 온도, 습도, 강수량, 빛의 강도 등의 변화에 따라 빨라지기도 하고 늦어지기도 하는데, 다른 어떤 요인보다도 기상요소, 특히 온도에 대해 더 민감한 반응을 나타낸다¹⁾.

최근 지구 온난화로 인한 기온 상승은 기상과 관련이 높은 계절식물들의 개화에도 영향을 미치고, 이러한 계절식물들의 발아 및 개화일 등의 장기간

Corresponding Author : Sung-Gi Moon, Department of Biology, Kyungsoong University, Busan 608-736, Korea
Phone: +82-51-620-4641
E-mail: skmun@ks.ac.kr

관측으로 계절변화의 추이를 파악할 수 있어 기후 변화의 중요한 정보로 활용될 수 있다^{2,3)}. 정과 엄⁴⁾의 지역별 기후 특성에 따른 식물의 분포현황, 김⁵⁾은 벚꽃과 복숭아의 개화일 예상, 임 등⁶⁾의 생물의 계절변화, 윤⁷⁾의 기후변화에 따른 개화일의 시공간적 변이에 대한 연구, De Melo-Abreu 등⁸⁾의 올리브 품종별 개화일 예측, Cesaraccio 등⁹⁾의 낙엽수목의 계절모형 등을 보고한 바 있으며, 국내외적으로 이와 관련된 연구들이 진행되어 오고 있다. 뿐만 아니라 기상청에서는 1921년부터 현재까지 계절식물들의 개화시기를 관측하여 생물의 계절관측 자료를 제공해 오고 있다.

또한 최근의 이상 기후 현상으로 인하여 영향 평가의 필요성이 점점 고조되고 있어, 기후와 관련된 계절식물들의 개화시기의 변화 특성을 이해하려는 노력이 중요한 과제로 대두되고 있다. 이러한 변화 경향을 정확하게 파악하기 위해서는 다변량 분석법 중 시계열 분석(time series analysis)이 우선적으로 진행되어야만 한다^{10,11)}. 시계열 분석법이란 시간의 경과와 순서에 맞춰서 관측되는 데이터를 분석하는 방법인데, 과거의 데이터 속에 어떠한 추세가 있는지 개략적으로 파악하는 추세요인 분석, 계절지수(seasonal index)에 의한 계절요인 분석, 월별, 계절별, 연도별 등의 데이터를 이용하여 분석할 수 있는 순환요인 분석 등이 있다¹²⁾.

본 연구에서는 시계열 분석을 이용하여 수종의 계절식물들에 대한 개화시기의 분포 특성을 파악하고자 하였고, 또한 계절식물의 변화 경향을 파악하여 기온 변화에 따른 개화시기와의 관계를 알아보고자 하였으며, 이후 이를 기후 영향 평가를 위한 기초자료로 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구의 분석에 이용된 식물은 기상청에서 관리되고 있는 지역 내 기상용 지표식물들로서 개나리, 벚나무, 진달래, 매화나무, 코스모스, 아카시나무, 복숭아나무, 배나무 등 8종을 선정하였고, 계절식물의 개화일 자료와 일평균 등은 1921년부터 2007년까지 기상청의 부산지역 기상자료를 이용하였다¹³⁾. 개화일의 자료는 날짜 자료이므로 통계처리가 용이하지 않기 때문에, 이와 이¹⁴⁾의 연구에서와

같이 제일 늦은 개화일의 마지막 날을 기준으로 날짜가 이룰수록 숫자가 커지게 코딩 변경을 하였다.

개화시기의 변화 경향을 분석하기 위해서 우연 오차에 의한 변동을 제거하였고, 시간에 관한 연속적인 경향을 얻기 위하여 5년 이동평균법(moving average method)을 실시하였다. 2007년 개화일을 예측하기 위해서는 2006년까지의 데이터를 이용하여 지수평활법(exponential smoothing method)으로 예측한 후 2007년의 실제 개화일과 비교하였다. 또한 개화시기와 기온과의 선형 관계를 파악하기 위해서는 상관분석을 실시하였는데, 개화시기는 꽃피기 직전의 기온에 가장 영향을 크게 받기 때문에¹⁵⁾ 꽃피기 직전 3개월 간의 기온요소와 개화일의 상관분석을 실시하였다.

시계열 분석은 통계프로그램인 SPSS ver. 12.0을 사용하여 분석하였으며, 시계열 분석시 결측값은 선형보간법을 이용하여 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 개화시기의 변화 경향

부산지역에서 1921년부터 2007년까지 계절식물 8종에 대한 실제 개화일과 시계열 분석으로 개화시기 변화 경향을 조사한 결과, 전체적인 개화시기의 변화 패턴은 8종 모두 유사하게 2000년대로 갈수록 개화시기가 빨라지고 있음을 알 수 있었다(Fig. 1). 종별로 보면, 코스모스(*Cosmos bipinnatus*)는 1940년대까지는 9월 중순 ~ 10월 초순에 개화를 했지만 1960년대 이후부터는 9월 초순까지 개화시기를 앞당겨 개화하였고, 시계열 분석에서도 1960년대를 제외하면 2000년대로 갈수록 점점 개화시기가 빨라지고 있음을 알 수 있다. 매화나무(*Prunus mume*)는 1990대까지는 2월 초순 ~ 3월 초순에 개화를 했으나, 1990년대에 들면서 2월 초순 ~ 2월 중순에 개화하여 개화시기가 앞당겨 졌고, 시계열 분석에서도 1990년대 이전까지는 개화시기의 차이가 많이 나는 경향을 보여주었다. 반면, 개나리(*Forsythia koreana*)는 개화시기의 변화 폭이 작기는 하지만 빨라지거나 늦어짐을 반복하는 경향이었고, 벚나무(*Prunus serrulata* var. *spontanea*)와 복숭아나무(*Prunus persica*)의 경우는 시계열 분석 결과 개화시기의 변화 폭이 크면서 반복되는 경향이였다. 진달래(*Rhododendron*

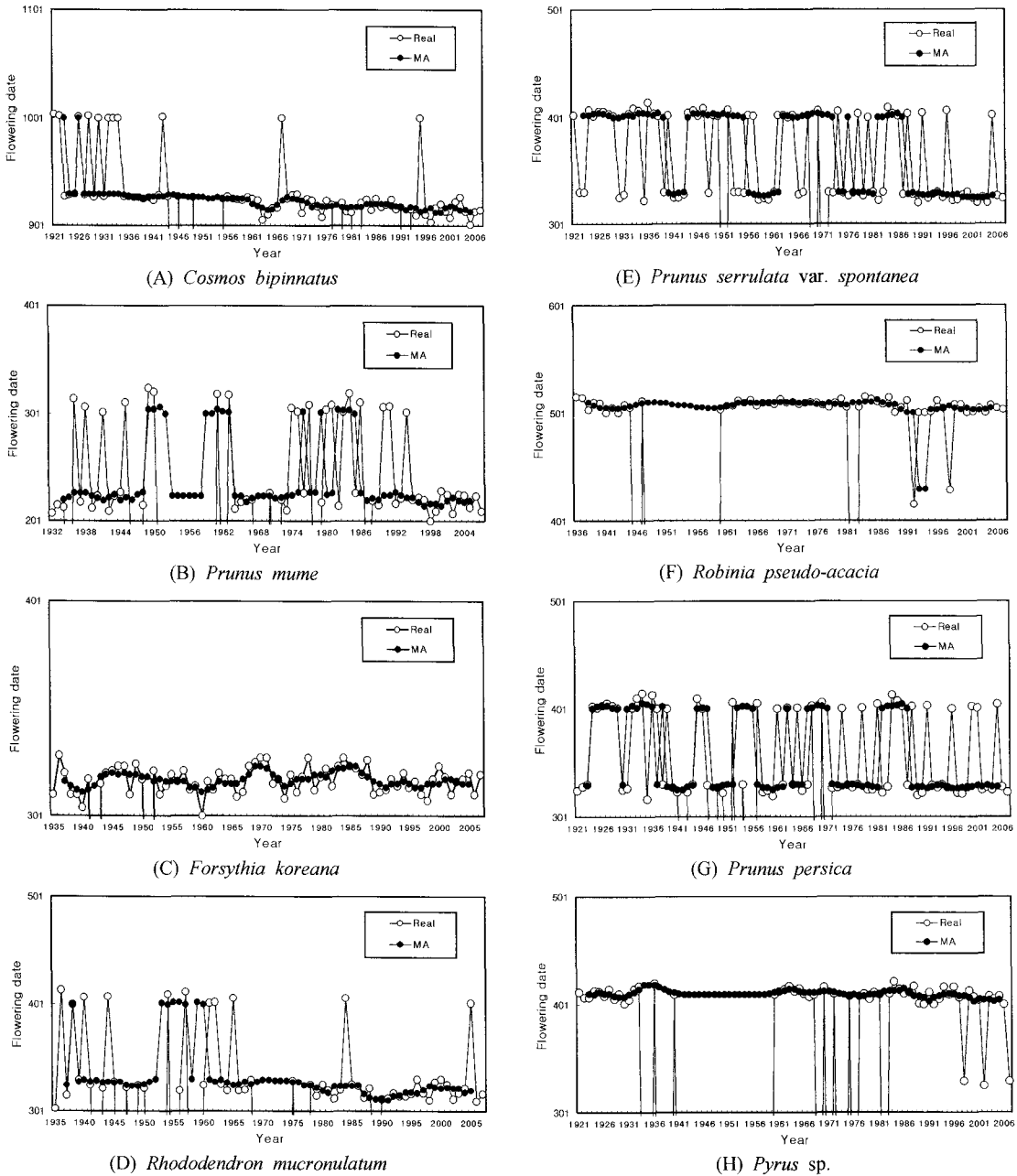


Fig. 1. Change of flowering date in weather flora from 1921 to 2007 in Busan (MA: 5 year moving average).

mucronulatum) 역시 1970년대까지는 3월 초순 ~ 4월 초순에 개화하였는데, 1980년대 이후 거의 3월 초순에 개화하였고, 시계열 분석에서도 1950년대를 제외하면 2000년대로 갈수록 개화시기가 점차 빨라졌음을 알 수 있었다. 아카시나무(*Robinia pseu-*

do-acacia)는 1990년대를 제외하고 꾸준히 개화시기가 빨라지고 있었으며, 배나무(*Pyrus sp.*)의 경우 1980년대까지는 4월 초순에 개화하여 1990년대에는 3월 하순 ~ 4월 초순에 개화하였으며, 2000년대에 들어서면서 3월 중순 ~ 3월 하순으로 그 시기가

점차 빨라졌고, 시계열 분석에서도 지속적으로 빨라지고 있음을 확인할 수 있었다.

3.2. 계절식물에 대한 개화일 예측

2007년의 계절식물에 대한 개화일을 지수평활법으로 예측한 결과는 Table 1과 같다. 코스모스의 경우 9월 14일로 예측되었는데 실제로는 9월 15일에 개화하였고, 아카시나무는 5월 5일로 예측되었으나 5월 4일에 개화하여 예측일과 실제 개화일이 거의 비슷하였다. 그러나 진달래는 3월 19일로 예측되었으나 실제로는 3월 17일로 조사되어 2일 빨리 개화하였고, 벚나무는 3월 28일로 예측되었으나 3월 25일로 3일 빨리 개화하였다. 개나리의 경우 개화 예측일이 3월 16일이었으나 실제 개화일은 3월 20일로 4일 더 늦게 개화하여 약간의 차이를 보였다. 정등¹⁶⁾의 연구에서는 벚나무의 2005년 개화일에 대하여 회귀모형을 구동시킨 결과 9일, 생물계절모형의 구동 결과 10일 지연된 것으로 추정하였으나, 본 연구결과에서는 예측한 개화일보다 3일 정도 빠르게 개화하여 실제 개화일에 더 근접하게 예측되었다. 한편, 복숭아나무는 3월 29로 예측되었으나 3월 24일로 조사되어 5일, 배나무는 4월 7일로 예측되었으나 3월 30일로 조사되어 8일이나 빨리 개화하였으며, 매화나무의 경우 2월 23일로 예측되었으나 실제

로는 2월 10일로 조사되어 13일 이상 빨리 개화함으로써 많은 차이를 보였다(Table 1).

3.3. 계절식물별 개화시기의 변화율

계절식물별 개화시기의 변화율을 조사한 결과는 Table 2와 같으며, 변화율이 크면 클수록 개화시기가 빨라졌다. 코스모스의 개화시기 변화율은 0.487 day/year로 개화시기가 가장 빨랐음을 알 수 있었다. 그 다음으로는 벚나무가 0.164 day/year로 조사되었는데, 이와 이¹⁴⁾의 연구에서도 0.151 day/year로 나타나 비슷한 결과를 보였지만 변화율은 낮았다. 변화율이 낮은 이유로서 류 등¹⁷⁾은 부산의 경우 다른 대도시와는 달리 겨울 기온 상승 경향이 낮기 때문이라고 보고하였다. 다음으로 진달래 0.142 day/year, 아카시나무 0.081 day/year, 배나무 0.072 day/year, 복숭아나무 0.032 day/year, 매화나무 0.011 day/year 순이었다.

3.4. 개화시기와 기온과의 관계

개화시기와 기온과의 관계를 알아보기 위하여 일평균기온, 최고기온 및 최저기온과 계절식물의 개화일과의 상관관계를 조사하였으며 그 결과는 Table 3과 같다. 양의 상관관계는 기온이 높을수록 개화시기가 빨라지는 것을 의미한다. 개나리, 벚나

Table 1. Prediction of flowering date based on the exponential smoothing method in Busan, 2007

Scientific name	Predictable flowering date	Real flowering date	Difference (day)
<i>Cosmos bipinnatus</i>	15 September	14 September	-1
<i>Prunus mume</i>	23 February	10 February	-13
<i>Forsythia koreana</i>	16 March	20 March	+4
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	19 March	17 March	-2
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	28 March	25 March	-3
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	5 May	4 May	-1
<i>Prunus persica</i>	29 March	24 March	-5
<i>Pyrus</i> sp.	7 April	30 March	-8

Table 2. Changing rate of flowering time in some plants

Scientific name	Changing rate (day/year)	Scientific name	Changing rate (day/year)
<i>Cosmos bipinnatus</i>	0.487	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	0.164
<i>Prunus mume</i>	0.011	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	0.081
<i>Forsythia koreana</i>	0.000	<i>Prunus persica</i>	0.032
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	0.142	<i>Pyrus</i> sp.	0.072

Table 3. Pearson correlation coefficient between the flowering date and temperature

Scientific name	A daily average temperature			A daily minimum temperature			A daily maximum temperature		
	Jan	Feb	Mar	Jan	Feb	Mar	Jan	Feb	Mar
<i>Prunus mume</i>	0.635**	0.498**	0.315*	0.613**	0.525**	0.311*	0.624**	0.453**	0.328*
<i>Forsythia koreana</i>	0.306*	0.560**	0.588**	0.291*	0.567**	0.559**	0.287	0.510**	0.529**
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	0.493**	0.558**	0.482**	0.474**	0.595**	0.556**	0.497**	0.532**	0.489**
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	0.321*	0.711**	0.820**	0.291	0.689**	0.782**	0.326*	0.709**	0.814**
<i>Prunus persica</i>	0.477**	0.641**	0.669**	0.452**	0.649**	0.671**	0.462**	0.621**	0.636**
<i>Pyrus</i> sp.	0.453**	0.570**	0.741**	0.467**	0.571**	0.719**	0.412**	0.531**	0.754**
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	Feb	Mar	Apr	Feb	Mar	Apr	Feb	Mar	Apr
	0.524**	0.565**	0.626**	0.476**	0.559**	0.544**	0.544**	0.557**	0.597**
<i>Cosmos bipinnatus</i>	Jul	Aug	Sep	Jul	Aug	Sep	Jul	Aug	Sep
	0.260	0.068	0.199	0.222	0.070	0.170	0.267	0.105	0.272

*Value are statistically at p<0.05

**Value are statistically at p<0.01

무, 복숭아나무, 배나무, 진달래의 개화일은 2월 ~ 3월의 기온 요소와 높은 상관관계를 가지는데, 이들의 개화시기가 일반적으로 3월 ~ 4월이기 때문에 개화 직전의 기온에 의해 영향을 가장 많이 받았는데 기인되는 것으로 생각된다. 또한 개화일을 상관관계가 높은 2월 ~ 3월의 기온요소와 비교해 보면, 일평균기온과는 상관관계가 높았지만 다른 기온 요소와의 관련성은 매우 낮아 별 차이가 없음을 알 수 있었다. 이와 이¹⁴⁾의 연구에서도 벚나무의 개화일과 기온과의 상관관계를 볼 때, 3월의 기온 요소와 상관계수 값이 0.6 이상으로 가장 높게 나타남으로써 본 연구결과와 비슷한 결과를 보였다. 또한 진달래의 경우는 2월의 일평균기온보다는 일평균 최저기온과, 배나무는 3월의 일평균 최고기온과, 복숭아나무는 3월의 일평균 최저기온과 가장 높은 상관관계를 보여 다른 종들과는 다른 특이한 경향을 보였다. 매화나무의 경우는 보통 2월에 꽃이 피기 시작하므로 1월의 일평균기온과 가장 높은 상관관계를 보였고, 아카시나무는 5월에 꽃을 피우기 시작하므로 4월의 일평균기온과 가장 높은 상관관계를 보였다.

본 연구가 부산지역에 국한되어 이루어졌기 때문에 개화시기의 변화 경향은 부산지역만의 독특한 기후특성이 반영되어 나타날 수 있지만, 향후 더 많은 자료가 보완되고 다른 지역들과의 비교 연구가 실시된다면 부산지역만의 독특한 기후 특성뿐만 아니라 우리나라 전체의 기후변화 특성까지도 분석 가능할 것이다. 또한 도시화의 진행 정도에 따른 지역적 차이, 내륙지역과 해안지역의 차이 등 지역 특성에 따른 기후변화의 특성에 대해서도 심도 깊은 연구가 이루어질 수 있을 것으로 사료된다. 추후 다양한 자연 지표를 이용한 기후 변화 특성 연구를 통하여 지구온난화가 생태계에 미치는 영향 등에 관한 연구도 지속적으로 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

4. 결 론

1921년부터 2007년까지 부산지역 계절식물 8종에 대한 실제 개화일을 시계열 분석법에 의해 분석한 결과 전체적인 개화시기의 변화 경향은 8종 모두 유사하게 2000년대로 갈수록 개화시기가 빨라졌음

을 알 수 있었다. 2006년까지의 자료를 바탕으로 2007년 개화일을 예측한 결과 코스모스와 아카시나무의 경우는 예측일과 실제 개화일이 1일 차이로 거의 비슷하게 조사되었고, 진달래는 2일, 벚나무는 3일, 복숭아나무는 5일, 배나무는 8일이나 빨리 개화하였다. 그러나 매화나무의 경우는 13일 이상 빨리 개화하여 많은 차이를 보였으며 개나리는 예측일보다도 4일 늦게 개화하였다. 개화시기의 변화에 있어서 코스모스가 0.487 day/year로 다른 종들에 비해 개화시기가 가장 빨라졌음을 알 수 있었으나 대부분의 수종에서 개화시기의 변화율은 아주 낮았다. 개화시기와 기온과의 관계를 보면 매화나무, 아카시나무, 코스모스를 제외하면 대부분 개화일이 2월 ~ 3월의 기온 요소와 높은 상관관계를 가졌는데, 이는 이들의 개화시기가 3월 ~ 4월이기 때문으로 개화 직전의 기온에 의한 영향을 가장 많이 받기 때문이라고 할 수 있다. 또한 대부분의 식물에서 개화시기는 2월 ~ 3월의 기온요소 중 일평균기온과 상관관계가 높았으나, 진달래와 복숭아나무는 일평균 최저기온과 상관관계가 높았다. 한편, 배나무는 일평균 최고기온과 가장 높은 상관관계를 보여 특이한 경향을 보였으나 통계적으로는 유의하여 각 기온요소와 개화일에서는 별 차이가 없었다.

참 고 문 헌

- 1) Vegis A., 1964, Dormancy in higher plants, *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 5, 183-204.
- 2) Menzel A., 2002, Phenology: Its importance to the global change community, *Climatic Change*, 54, 379-385.
- 3) 이승범, 신경섭, 조영순, 손승희, 2003, 식물계절에 나타난 한반도 기후변화 영향, *대기*, 13(1), 468-471.
- 4) 정영호, 엄규백, 1961, 기후적 질서로 본 오대산 선식물상, *한국식물학회지*, 4(2), 33-40.
- 5) 김광식, 1965, 우리나라에서의 벚꽃과 복숭아 개화일 예상에 관하여, *한국기상학회지*, 1(1), 14-17.
- 6) 임양재, 임문교, 심재국, 1983, 한국에서의 온도기후와 생물의 계절변화, *한국식물학회지*, 26(2), 101-117.
- 7) 윤진일, 2006, 기후변화에 따른 벚꽃 개화일의 시공간 변이, *한국농림기상학회지*, 8(2), 68-76.
- 8) De Melo-Abreu J. P., Barranco D., Cordeiro A. M., Tous J., Rogado B. M., Villalobos F. J., 2004, Modeling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time, *Agricultural and Forest Meteorology*, 125, 117-127.
- 9) Cesaraccio C., Spano D., Snyder R. L., Duce P., 2004, Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species, *Agricultural and Forest Meteorology*, 126, 1-13.
- 10) 이준호, 1991, 서울시 일부지역 SO₂ 농도에 대한 추계학적 연구, *서울대학교 국민보건연구소 연구논총*, 1(2), 265-274.
- 11) 김광진, 이상훈, 정용, 1988, ARIMA model에 의한 서울시 일부지역 SO₂ 오염도의 월변화에 대한 시계열분석, *한국대기보전학회지*, 4(2), 72-81.
- 12) 노현진, 2007, Excel 및 SPSS를 활용한 다변량분석 이론과 실제, *형설출판사*, 서울, 679pp.
- 13) http://www.kma.go.kr/sfc/sfc_03_05.jsp
- 14) 이승호, 이경미, 2003, 기온 변화에 따른 벚꽃 개화시기의 변화 경향, *환경영향평가*, 12(1), 45-54.
- 15) Lindsey A. A., Newman J. E., 1956, Use of official weather data in springtime temperature analysis of an Indiana phenological record, *Ecology*, 37, 812-823.
- 16) 정재은, 권은영, 정유란, 윤진일, 2005, 생물계절모형을 이용한 벚꽃 개화일 예측, *한국농림기상학회지*, 7(2), 148-155.
- 17) 류상범, 문승의, 조병길, 1993, 남한의 도시화에 따른 기온변동, *한국기상학회지*, 29(2), 99-116.