

## MODIS 위성영상을 이용한 식물계절의 변화와 공간적 분포 특징에 관한 연구\*

김남신<sup>1)</sup> · 이희천<sup>2)</sup> · 차진열<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 국립생태원 · <sup>2)</sup> 국립공원관리공단

### A Study on Changes of Phenology and Characteristics of Spatial Distribution Using MODIS Images\*

Kim, Nam-Shin<sup>1)</sup> · Lee, Hee-Cheon<sup>2)</sup> and Cha, Jin-Yeol<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> National Institute of Ecology, <sup>2)</sup> Korea National Park Service.

#### ABSTRACT

Global warming also has effects on the phenology. The limitation of phenology study is an acquisition of phenology data. Satellite images analysis can make up limitation of monitoring data. This study is to analyze spatial distribution and characteristics of phenology changes using MODIS images.

Research data collected images of 16 day intervals of 11 years from year 2001 to 2010. The data analyzed 228 images of 11 years. It can figure out changes of phenology by analyzing enhanced vegetation index of MODIS image. We made a comparison between changes of phenology and flowering of cherry blossoms.

As a results, Startup of season spatially was getting late from southern area to north area. Startup of Phenology was foreshortened 13 days during 11 years, and change ratios of cherry blooming was getting more faster from 0.18 day to 0.22 day per year during that same period.

Key Words : *Global warming, Phenology changes, Modis, Startup of season, EVI(enhanced vegetation index).*

---

\* 본 연구는 2011, 2012년도 환경부 “국가장기생태연구” 사업의 지원으로 수행되었으며, 2011년 대한지리학회 학술대회에서 발표한 논문을 수정·보완하여 투고하였음

**First author** : Kim, Nam-Shin, National Institute of Ecology,  
Tel : +82-41-950-5314, E-mail : kns9027@dreamwiz.com

**Corresponding author** : Lee, Hee-Cheon, Korea National Park Service,  
Tel : +82-063-583-2064, E-mail : ssju86@hanmail.net

**Received** : 16 August, 2013. **Revised** : 8 October, 2013. **Accepted** : 18 October, 2013.

## I. 서 론

식물계절은 계절의 변화에 따라 겨울눈, 개화, 신록, 성숙, 단풍, 낙엽이 반복되는 식물활동의 시작에서 끝의 주기를 말한다. 식물계절은 자연계에서는 1년을 주기로 반복되는 현상이지만, 지구온난화는 이러한 식물계절 주기에 변화를 주고 있다(David 등, 2003; Kim, 2011).

식물계절의 시작인 개엽과 개화는 일장에서 일반인도 쉽게 경험할 정도로 겨울이나 초봄에 꽃이 피는 경우가 흔히 있다. 이것은 일시적인 기상 변동적인 현상으로써 과거에는 인식되었지만, 현재는 전지구적인 기온상승과 열섬현상으로 인해 빈도가 잦아지고 있다(Choi 등, 2003; Ganderton and Coker, 2005). 이러한 현상은 최근에 식물계절이 과거보다는 빨라지고 있다는 점에 주목하여 지구온난화에 따른 개엽과 개화일 단축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

식물계절 연구는 일일이 현장 조사를 통해 진행해야 한다. 어느 지역에 한정하여 일어나고 있는 현상을 조사할 때는 일관되게 조사할 수 있다. 하지만 지역이 광범위해지고 조사환경이 열악한 산악지역은 계절변화에 맞추어 조사를 할 수 없는 단점이 발생한다.

식물계절에 연구에 있어 현장조사의 한계를 보완해주는 것이 위성영상을 이용한 방법이다(Tricart and KiewietdeJonge, 1992; Johnson 등, 2008). 위성영상의 적외선 파장은 식물에 민감하게 반응하기 때문에 오래전부터 식생연구의 주요 방법 중에 하나가 되어 왔다. 위성영상의 밴드별 파장 분석으로 통해 식생의 건강한 활동정도를 지수화한 것이 식생지수이다. 식생지수는 식생분류, 식생의 질병, 확대 및 감소, 식생의 성장과정을 모니터링하는데 필요한 정보를 제공한다. 따라서 식물계절 변화에 식생지수를 활용하면 1년간의 식물계절의 특징을

파악할 수 있다.

식생지수는 이론적으로 0보다는 크고 1보다는 작은 값을 갖는다. 따라서 이 수치를 1년간 식물계절 값으로 대치하면 정상분포 곡선으로 나타나며 이 곡선에서 변이점을 추적하면 식물계절 변화의 각 단계를 설명할 수 있다.

위성영상을 식물계절에 활용하기 위해서는 매일 촬영된 영상을 이용하는 것이 합리적이다. 위성영상 중에 매일 자료를 확보하여 사용할 수 있는 것이 MODIS(MODERate resolution Imaging Spectroradiometer)영상이다. MODIS 영상은 1999년 12월에 발사되어 TERRA 위성 에 탑재된 센서로, 지구환경 변화 모니터링을 위해 제작된 것으로 무료로 서비스 되고 있는 영상이다. 취득 정보는 식생, 토양, 대기, 해양, 육지에 대한 구름, 에어러솔, 수증기, 지표피복 등의 정보를 36개의 채널로 저장하며, 이를 대기권의 태양/지구 복사에너지 관측을 통한 지구온난화 및 기후변화 감시, 식생변화 등을 분석할 수 있다. MODIS 센서는 해상도에 따라 250m, 500m, 1km로 서비스 되고 있다.

1999년 이래 MODIS는 지구의 환경자료를 획득하여 현재까지 활동 중에 있기 때문에 최근 10여 년간의 지구환경에 대한 일관성 있는 자료를 확보할 수 있다. MODIS는 촬영범위가 넓기 때문에 광범위한 지역 즉, 국가나 대륙에 대한 전반적인 변화상을 파악하는데 효율성이 있다.

본 연구는 MODIS 영상을 이용하여 식물계절 변화와 시공간적 분포를 특징을 분석하고자 하였다. 또한 기상청 벚꽃개화일과 대비 분석하여 영상분석이 식물계절 변화에 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

## II. 연구내용 및 방법

연구에 사용된 자료는 MODIS(2000-2010년) 11년간 16일간격의 자료, 식생지수는 EVI, 벚

꽃개화일자료를 사용하였다.

식생분석에 가장 많이 사용되는 식생지수인 NDVI는 엽록소에 민감하게 반응하기 때문에 식생의 생리적인 특징을 반영한다고 볼 수 있다. 하지만 지형이나 수분량, 토양, 안개, 운무 등에 지표환경의 특성을 반응한다. 따라서 광역적인 단위에서 식생분석에는 오차 발생이 크다. 이러한 문제를 해결하기 위해 개발된 것이 EVI(Enhanced Vegetation Index)이다. EVI는 산지가 많은 나라에서는 산지 및 지형에 기인한 구름, 안개, 수분의 공간적 차이가 많이 나타나는 지역에서는 blue 밴드를 활용하여 이들의 효과를 저감할 수 있도록 개선한 것이다. EVI의 장점은 수관(canopy)의 특징을 반영하기 때문에 식생의 계절 변화를 관찰하기에 적합하다. MODIS 영상 이용시 EVI 계산식은 다음과 같다.

$$EVI = 2.5 \times (NIR_4 - RED_3) / (NIR_4 + 6.0 \times RED_3 - 7.5 \times BLUE + 1)$$

MODIS 16일간 영상자료는 2000년 2월 18일부터 2010년 12월 17일까지 10년간 228개의 영상을 다운받아 분석하였다(Table 1).

다운받은 모디스 MOD13Q1 자료는 12개 밴드로 구성되어 있으며 이 중에서 EVI를 추출하여 기하변형과 영상보정을 거쳐 사용하였다.

모디스 영상은 극좌표를 사용하기 때문에 우리나라의 좌표체계인 TM으로 변환과정을 거쳤고 남한지역을 추출한 다음, 10,000 단위 영상화소를 -1~1을 갖도록 재배열하였다.

모디스 영상을 식물계절을 이용하는 이유는 매일자료 이면서 식생지수값을 시계열 그래프로 그리면 식물계절 변화의 단계를 관독할 수 있기 때문이다(Figure 1).

EVI 값을 그래프로 그려보면 봄에 개엽이 시작과 더불어 계절이 시작(start of season)된다. 이어 잎이 자라고(leafing), 개화(flowering),

Table 1. MODIS image.

Modis Start (month, day)	End (month, day)
02, 18	03, 04
03, 05	03, 20
03, 21	04, 05
04, 06	04, 21
04, 22	05, 07
05, 08	05, 23
05, 24	06, 08
06, 09	06, 24
06, 25	07, 10
07, 11	07, 26
07, 27	08, 11
08, 12	08, 27
08, 28	09, 12
09, 13	09, 28
09, 29	10, 14
10, 15	10, 30
10, 31	11, 15
11, 16	12, 01
12, 02	12, 17

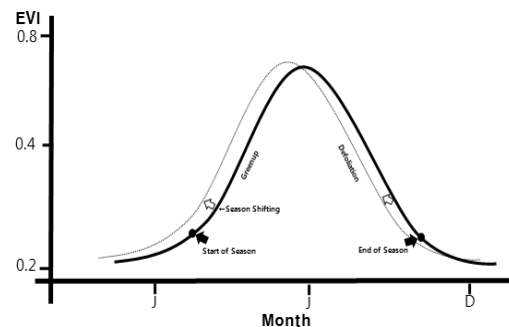


Figure 1. Changes of Phenology by MODIS EVI.

성장(greenup), 낙엽(defoliation)을 거쳐 계절이 끝나게 되는 전과정을 파악할 수 있게 해준다. 위성영상 식생지수는 식물계절 변화에 대한 일반적인 정보를 제공해 주기 때문에 비접근 지역과 광범위한 지역 연구에 효과적이다. 온난화가 지속되어 기온이 상승하게 되면 개엽,

개화 등의 시기 단축을 효과적으로 분석할 수 있게 해준다.

### III. 결 과

#### 1. EVI 분석에 의한 식물계절 변화

분석 결과, 11년간의 EVI 전체를 그래프로 표현하면 연도별도 일관성있는 변화를 반영하기 보다는 해마다 계절의 시작이 다르게 나타나 변동과 변화의 특징을 잘 반영하는 것으로

나타났다.

전체 시기중에 2000, 2005, 2009년의 EVI를 표현하면 식물계절 변화의 추세가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 2000년의 식물계절의 시작은 4월 8일이고, 2005년에는 4월 1일, 2009년에는 3월 25일 10년간 약 13일 정도로 식물계절이 빠르게 시작된 것으로 나타났지만, 11년간의 변동을 놓고 볼 때 변화로 규정 짓기는 힘들다. 또한 같은 기간 벚꽃 개화일 변동률은 0.18일에서 0.22일로 단축된 것으로

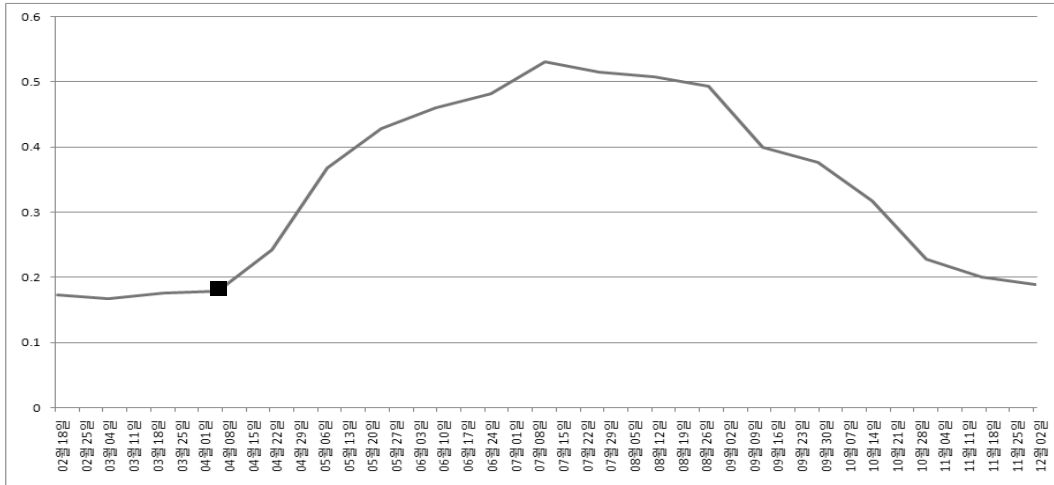


Figure 2. Phenology change by EVI, year 2000 (■ cherry blooming day).

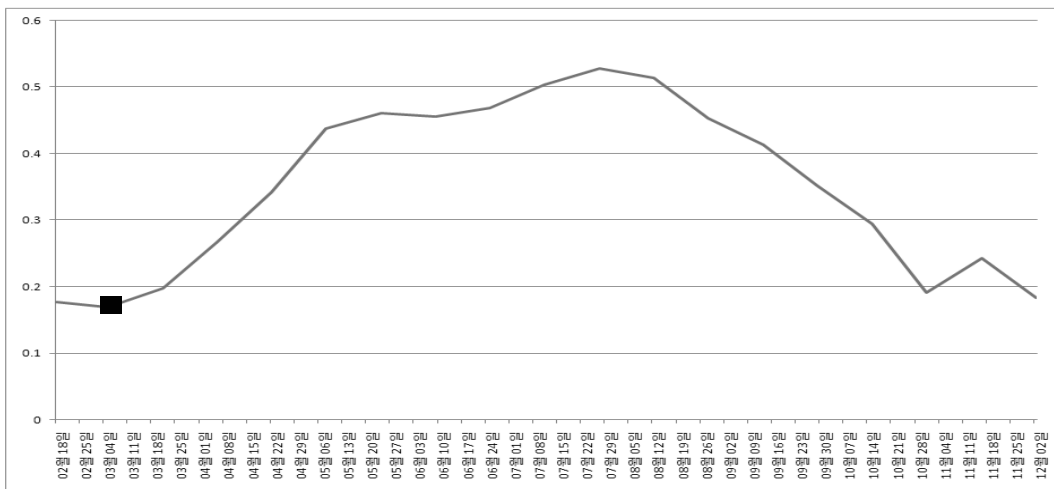


Figure 3. Phenology change by EVI, year 2002 (■ cherry blooming day).

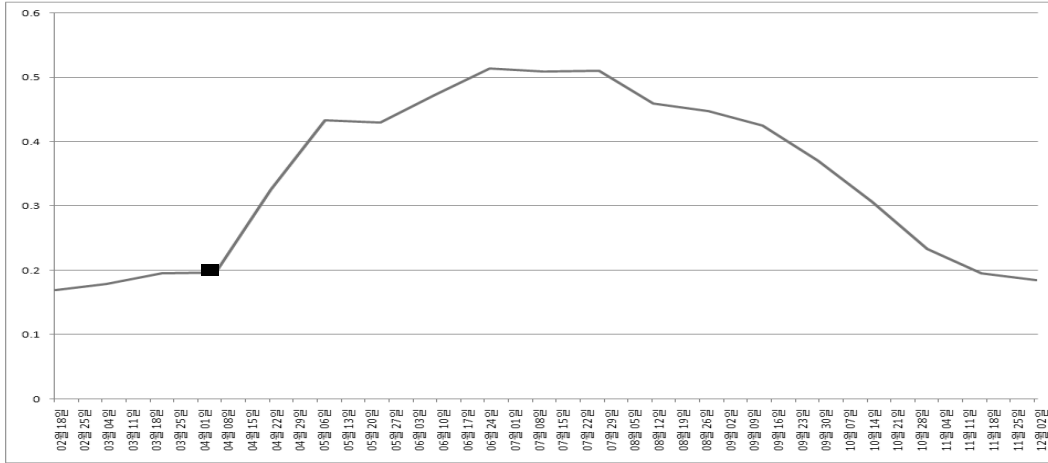


Figure 4. Phenology change by EVI, year 2004 (■ cherry blooming day).

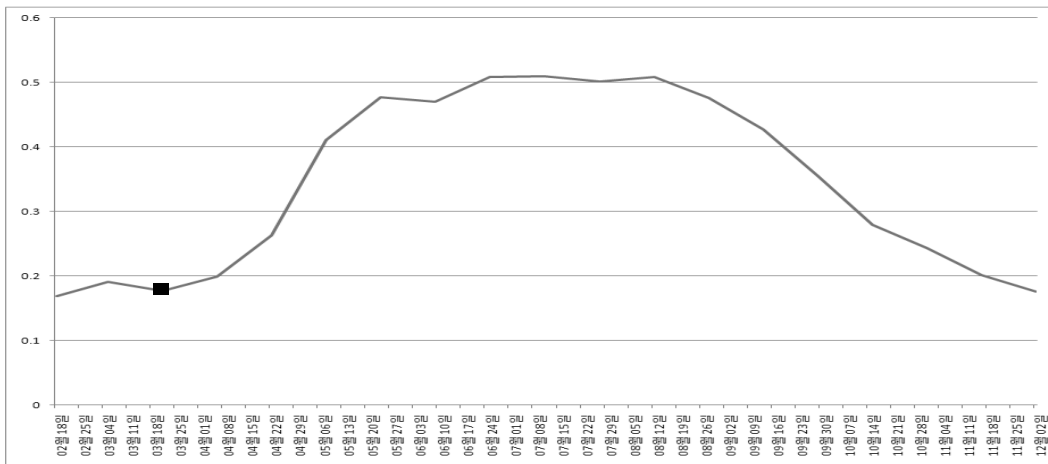


Figure 5. Phenology change by EVI, year 2006 (■ cherry blooming day).

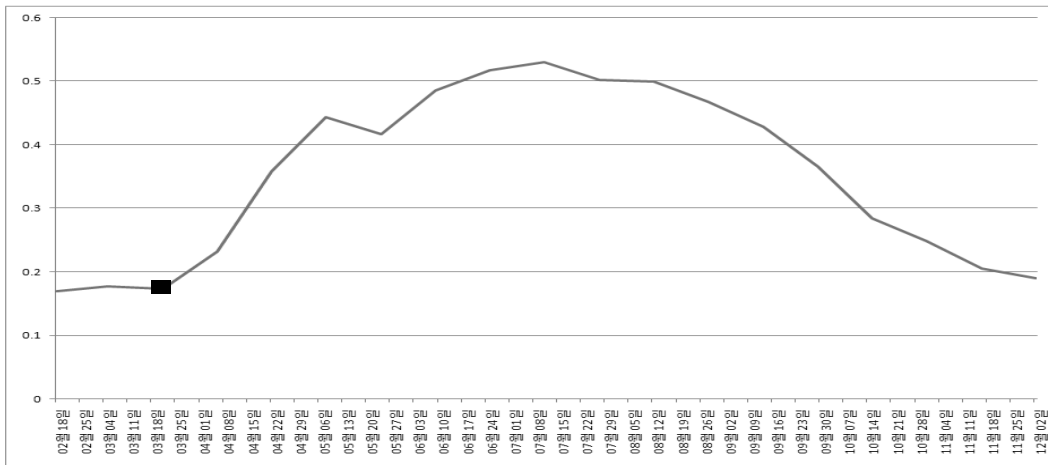


Figure 6. Phenology change by EVI, year 2008 (■ cherry blooming day).

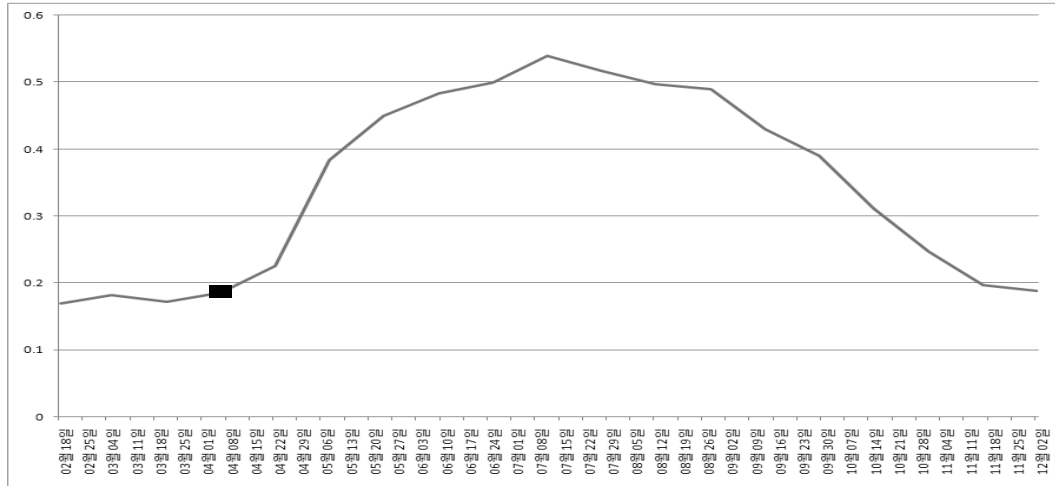


Figure 7. Phenology change by EVI, year 2010 (■ cherry blooming day).

로 나타났다.

3년 단위로 벚꽃개화일과 계절의 시작을 나타냈을 때, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010년 모두에서 계절의 시작되는 계절의 시작인 Leafing과 Greenup 사이에 위치하는 것으로 분석되었다.

## 2. 식물계절 시작의 지역별 특징

식물계절의 지역별 특징은 계절이 시작되는 3, 4월 자료를 이용하여 분석하였고, 11개년도 전체보다는 변화의 폭이 큰 2000년과 2009년을 이용하여 시군별 계절의 시작 특징을 분석하였다.

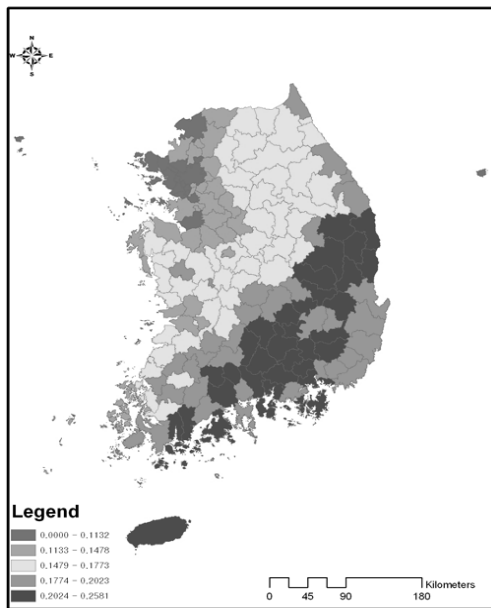


Figure 8. Distribution of season startup, 3, 2000.

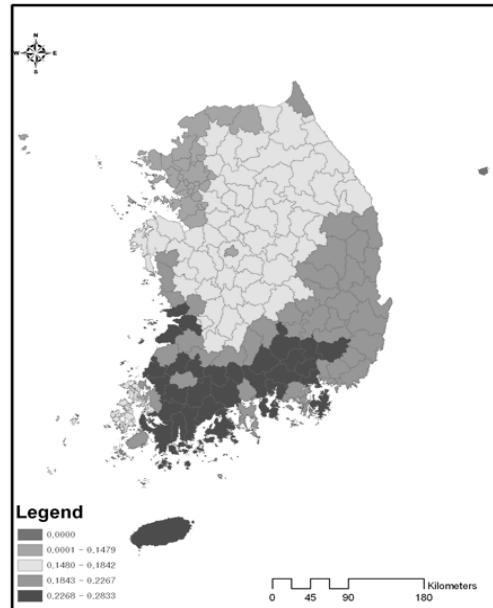


Figure 9. Distribution of season startup, 3, 2009.

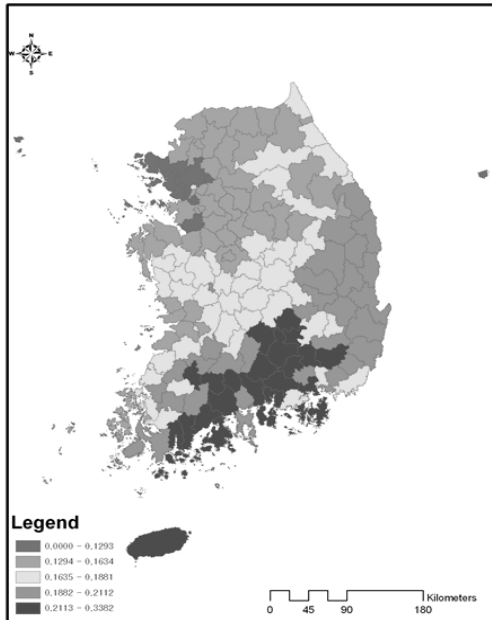


Figure 10. Distribution of season startup, 4, 2000.

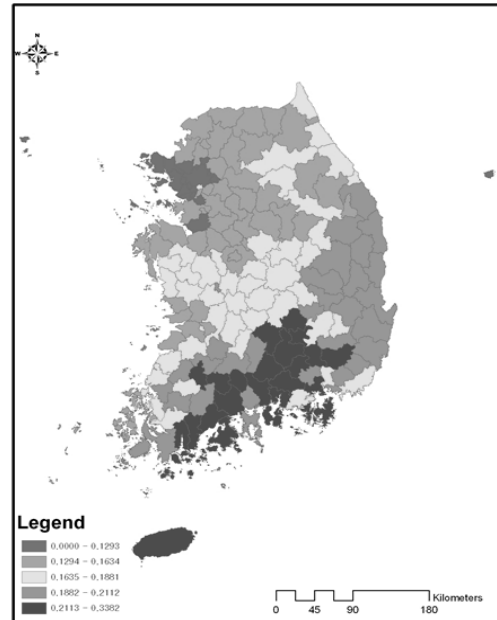


Figure 11. Distribution of season startup, 4, 2009.

분석결과 2000년 3월에는 소백산맥의 남사면과 제주도, 남해안 일부지역, 동해안 영덕일대를 중심으로 EVI 값이 높게 나타나 해당지역 시군이 계절시작이 빠른 것으로 알 수 있다. 2009년에는 제주도와 소백산맥의 서남사면 즉, 전남과 경남지역의 시군지역에서 값이 높게 나왔다. 이상을 정리하면 3월에는 소백산 남사면과 지리산의 서남사면 지역에서 계절이 빠르게 시작된 것으로 나타났다.

4월에 2000년은 지리산의 남사면의 경남과 전남해안과 내륙지역, 그리고 2009년에는 소백산맥 전지역과 동남해안 및 서남해안으로 확대되었다. 결국 3월에는 소백산 남사면과 지리산의 서남사면 지역에서 식물계절이 먼저 시작되지만 3월에는 전남과 경남지역 전역으로 확대되고 있는 것으로 분석되었다.

3월과 4월 시군별 EVI 공통적 특징은 남해안 지역의 값이 높게 나타나고 위도대별로 상승하면서 낮아지는 특징을 보이고 있다. 결국 식물계절은 남해안에서 북으로 갈수록 늦게

시작되고 있음을 MODIS 영상에서도 반영되고 있음을 알 수 있다.

### 3. 기온과 벚꽃개화일 지역별 관계

지금까지 기온과 벚꽃 개화일 관련 지역별 분포에 관한 연구는 기상자료와 개화일 자료를 이용하여 분석하고 모델을 구성해 예측하는 연구가 진행되었다. 윤진일(2006)의 연구는 1941년부터 2100년까지 자료를 분석하여 개화일을 예측한 결과 남한지역 전체는 1970년까지 5.2일 단축되었고, 2100년까지는 29일 단축되는 것으로 예측하였다. 공간적으로는 남해안에서 산간 지역으로 개화지역이 이동하게 된다는 결론을 내렸다. 이승호와 이경미(2003)의 기온변화에 따른 벚꽃개화일 연구에서 북으로 갈수록 늦어지는 지리적 특징을 보였고, 개화일 변화일이 연도별로 상승하는 경향을 보인 것으로 분석하였다. 또한 기온변화가 빠른 대도시 지역에서도 개화일 변동은 큰 것으로 분석하였다. 정유란 등(2005)은 1941-1970년, 1971-2000년 사이의

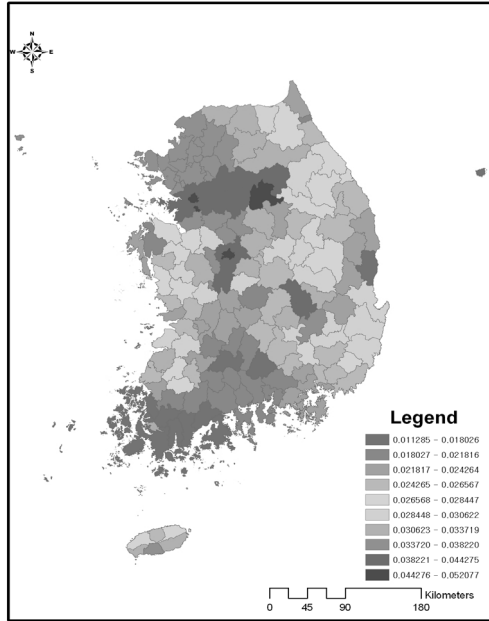


Figure 12. Temperature change during 11 years.

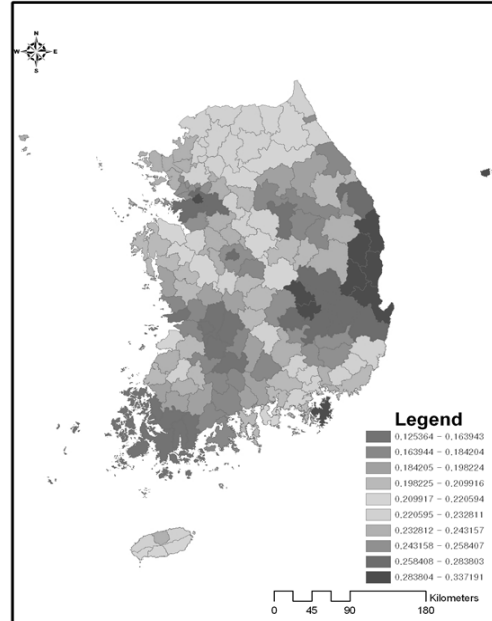


Figure 13. Change of cherry blooming day during 11 years.

벚꽃개화일 변화 분석을 통해 서울은 1941-1970년에 4월 21일에서 1971-2000년에는 4월 17일로 4일 단축되었고, 마산에서는 6일, 진해지역은 7일 정도 단축된 것으로 해석하였다. 벚꽃개화일과 관련된 연구들을 종합하면 기온에 근거한 장기간의 개화일 실측 자료를 중심으로 진행되었다.

최근에 우리나라 뿐만 아니라 지구의 기온은 빠른 변화의 속도를 보이고 있다. 본 연구에서는 최근 10여 년간의 변화를 통해 개화일 변동률을 살펴보기 위해, 2000년부터 11년간 기온상승률과 벚꽃개화일 공간적 변동률을 분석하였다.

11년간 기온상승률은 서울경기도 일대, 대전·청주, 대구 지역을 중심으로 나타났다. 이들 지역은 꾸준한 도시화로 인해 인공환경이 확대된 지역이다. 따라서 변동률이 큰 것은 무엇보다도 도시의 열섬효과에 기인한 결과로 해석된다. 반면에 벚꽃개화일 변동률은 서울경기도 도시지역과 동해안 동남부지역을 따라 높은 것으로 분석되었다. 이 같은 결과는 가장

열섬효과가 높은 서울경기도 지역에서 개화일 단축효과로 인한 것으로 판단된다. 반면에 동남해안지역은 기온상승률과는 무관한데 해안의 영향에 기인한 벚꽃개화일 빨라진 것이다. 식물의 개화는 일정기간 생육이나 개화가 가능한 온도가 유지되어야 빨라지는데 이 지역은 난류성 해류의 영향을 지속적으로 받고 연간 기온변동 폭이 적은 지역이기 때문에 다른 지역에 비해 벚꽃개화일의 변동률이 높은 것으로 결론을 내릴 수 있다. 그렇지만 3, 4월 EVI 값 분석 결과와 같이 남해안 전역에 걸쳐 일정기간 높은 기온이 유지되기 때문에 벚꽃개화일은 남해안 지역이 가장 빠르다.

#### 4. EVI와 벚꽃개화의 특징

이론적으로는 EVI의 변동률이 큰 지역일수록 벚꽃개화 변동률과 높은 상관관계가 나타난다. 따라서 지역별 EVI의 변동률과 벚꽃개화일의 변동률을 중첩 분석하여 그 특징을 분석하였다.



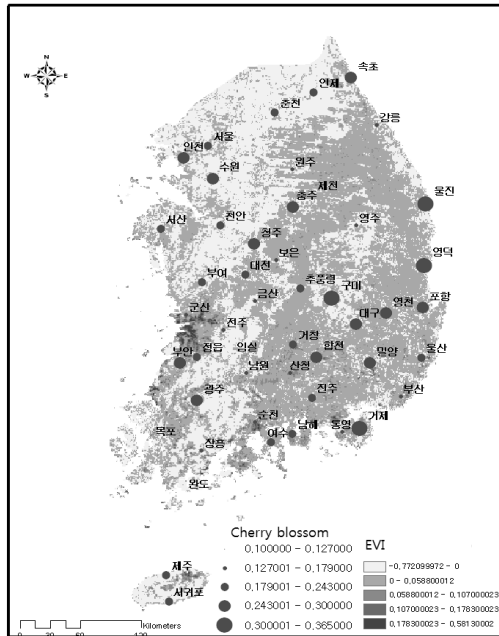


Figure 14. Change ratio of EVI and cherry blooming day.

EVI는 식생의 개엽에 따라 적외선 파장을 이용하여 분석한 결과이기 때문에 EVI 변동률을 반영하는 지역은 산림지역의 특징을 반영한다. 반면에 벚꽃 개화일 조사는 도시지역을 중심으로 조사된 자료이기 때문에 도시의 장소에 대한 벚꽃 개화일을 나타낸다. 그렇지만 EVI값은 지역의 면적인 특징을 반영하지만 이는 곧 해당지역의 기온의 특징을 반영한다고 볼 수 있기 때문에 면지역(polygon) 안의 도시 장소에 분포하는 벚꽃나무의 개화에도 영향을 미치게 되어 있다. 벚꽃 개화일 변동률이 0.2 이상에 해당하는 지역은 도시, 남해안, 제주도, 동해안을 따라 나타나고 있으며 해당지역의 EVI 값도 0.1 이상인 지역이다. 따라서 EVI 값이 높은 지역은 벚꽃 개화 변동률도 높게 나타나게 되어 있다.

이 같은 특징은 벚나무 조사지역의 기온 변화량과 개화일 변화량의 관계를 보면 알 수 있는데 기온상승률이 0.02이상인 지역과 개화

일 변동량 0.17 이상 지역이 대부분 일치하는 것으로 계산되었다. 다만 동해안의 해류의 영향을 받는 영덕이나, 동해일부 지역은 부합되지 않는 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

본 연구는 MODIS 영상을 이용하여 기후변화에 따른 식물계절 변화의 시공간적 특징을 파악하고자 하였다. MODIS 영상은 2000년 2월 18일부터 2010년 12월 17일까지 11년간 228개의 영상자료를 수집하여 자료를 분석하였다. 식생지수에 의한 11년간 비교에서는 변화보다는 변동의 특성을 보다 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 이를 보완하기 위해 보조 자료 즉, 기온자료, 벚꽃 개화일 자료를 EVI와 연계하여 식물계절 변화를 분석하였다. 2000과 2009년을 비교했을 때, 2000년의 식물계절은 4월 8일에 시작하였고, 2005년에는 4월 1일, 2009년에는 3월 25일로 10년간 식물계절은 약 13일 정도로 빨라졌다. 같은 기간 벚꽃 개화일 변동률은 0.18일에서 0.22일로 빨라졌다. 연구 결과는 선행 실측자료를 이용한 연구 결과와는 다소 차이는 있지만, 공간적으로 변화의 폭은 시간에 따라 식물계절과 벚꽃 개화일이 단축되고 있다고 결론을 내릴 수 있다.

최근에 위성영상은 과거에 지표정보 파악위주로 사용되던 수준에서 벗어나 실시간 지상정보 뿐만 아니라 환경변화에 민감한 식생영역 연구에 활발히 사용되고 있다. 매일 취득되는 MODIS 영상은 지표의 일단위 식생변화를 파악할 수 있다. 특히 식생지수를 활용한 식물계절변화의 일, 월, 년 단위별 자료수집은 관측에 의존하던 식물계절 연구의 지평을 넓히고 있다. 식생지수를 이용한 식물계절 모델링은 전세계 식물계절의 변화와 예측은 물론 지역적 단위에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 또한 일단위 영상정보를 활용하면 접

근성에 제약을 받는 산간지역이나 도서지역에서 산림의 변화에 대한 정보를 확보할 수 있어, 변화의 원인 파악과 해결책을 제시할 수 있는 연구 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 인용문헌

- Beaubien, E. G. 1997. Plantwatch : Tracking the biotic effects of climate change using students and volunteers. Is spring arriving earlier on the prairies?, in Ecological Monitoring and Assessment Network Report on the 3rd National Science Meeting, 66-68, Environment Canada, Saskatoon, January 1997.
- Choi, J. · U. Chung and Yun, J. I. 2003. Urban effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea, Journal of Applied Meteorology, 42 : 1771-1719.
- Chung, U. Jung, J. E. and Yun, J. I. 2005. Geographic shift of cherry flowering date in South Korea between two climatic normal years (1941-1970 and 1971-2000), Symposium by Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 2 : 216-218. (in Korean)
- David, G. · Douglas G. G. and Raymond, C. S. 2003. Climate variability and ecosystem response at Long-term ecological research sites, Oxford University press.
- Ganderton, P. and Coker, P. 2005. Environmental Biogeography, Trans-Atlantic.
- Hanson, R. B. and Hanson, J. 2000. Sonoran Desert natural events calendar. In A Natural History of the Sonoran Desert, S. J. Phillips and P.W. Comus, (Eds.), Tucson, AZ : Arizona Desert Museum Press.
- Huete, A. · Didan, K. · Miura, T. · Rodriguez, E. P. · Gao, X. and Ferrera, L. G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83 : 195-13.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Watson, R. T. and the Core Writing Team(eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Jensen, J. R. 2007. Remote Sensing of the Environment : An Earth Resource Perspective, 2nd ed., 355-08, Prentice Hall.
- Johnson, J. · Bizikova, L. · Burton, 2008. Integrating Climate Change Actions into Local Development, Stylus Pub Llc.
- 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(2), 148-155. (in Korean)
- Kim, N. S. 2011. Characteristics of Spatio-temporal Distribution of Phenology Fluctuation By Using Modis Images, Symposium by Korean Geographical Society, 5 : 73-77. (in Korean)
- Lee, S. H and Lee, K. M. 2003. The Trend on the Change of the Cherry Blossom Flowering Time due to the Temperature Change, Environmental Impact Assesment, 12(1), 45-54. (in Korean)
- Lloyd, D. 1990 : A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery. Int. J. Remote Sens., 11 : 2269-2279.
- Marshal, J. P. · Krausman, P. R. and bleich, V. C. 2005. Dynamics of mule deer forage in the Sonoran Desert. Journal of Arid Environments, 60 : 593-09.

- Matsushita, B. · Yang, W. · Chen, J. · Onda, Y. and Qiu, G. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects : a case study in high- density cypress forest. *Sensors*, 7, 2636-651.
- Moulin, S. · Kergoat, L. · Viovy, N. and Dedieu, G. G. 1997. Global-scale assessment of vegetation phenology using NOAA/AVHRR satellite measurements. *J. Climate*, 10 : 1154-1170.
- Tricart, J. and KiewietdeJonge, J. 1992. *Ecogeography and rural management*, Longman Scientific and Technical.
- Van Leewen, W. J. D. · Davison, J. E. · Csasdy, G. M. and Marsh, S. E. 2010. Phenological characterization of desert sky island vegetation communities with remotely sensed and climate time series data. *Remote Sensing*, 2,388-15.
- 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(2), 68-76. (in Korean)
- Zhang, X. · Friedl, M. A. · Schaaf, C. B. · Strahler, A. H. · Hodges, J. C. F. · Gao, F. · Reed, B. C. and Huete, A. 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84 : 471-75.