

지리산국립공원 식물종의 생물계절성 연구*

신재성·유난화·강희곤·신현탁

경상남도산림환경연구원

A Study on the Plants for Phenology of the Mt. Jiri National Park*

Shin, Jae sung-Yu, Nan hee-Kang, Hee Gon and Shin, Hyun Tak

Gyeongsangnam-do Forest Environment Research Institute.

ABSTRACT

This study monitored forest plant species vulnerable to climate change in Jiri Mountain, one of Korea's representative alpine regions, in order to securely preserve plant genetic resources susceptible to climate change and to utilize the results as basic data for bioclimatology prediction and management on a long-term basis.

A majority of indicator plants tended to blossom one week to one month later in 2010 than in 2009. As with the blooming dates, the falling dates of blossoms became later in most species, with the exception for *Weigela florida* and *Oplopanax elatus*. Leaf bursting as well fell on later dates in a majority of species excluding *Carpinus laxiflora* and *Cupressus sempervirens*, displaying the most obvious differences among the data of analysis of the 2009-2010 physiological cycle changes. It is believed that was due to the fact that temperatures in February, March and April, which affect plants' blossoming and leaf bursting, were lower in 2010 than in 2009 and that cold temperatures in the winter lasted for a longer period in 2010 than in 2009.

The dates of leaves being changed to red were similar in 2009 and 2010 by being or later or earlier

* 본 연구는 산림청 및 국립수목원에서 시행한 기후변화 취약산림식물종 보존적응사업(2010)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Corresponding author : Shin, Hyuntak, Gyeongsangnam-do Forest Environment Research Institute, Jinju 660-871, Korea,

Tel : +82-55-771-6544, E-mail : twinshin@hanmail.net

Received : 17 January, 2011. **Revised** : 25 February, 2011. **Accepted** : 21 March, 2011.

by several weeks in 2010 than in 2009 without any regularity. Most species' leaves began to fall at similar dates in 2009 and 2010 or at later dates by one to two weeks in 2010 than in 2009. The temperature differences in late 2009 and late 2010 were not so large, resulting in similar dates of falling leaves, and gaps in several indicator plants' physiological cycles without any regularity can be attributed to each individual plant's physiological and environmental characteristics.

Key Words : *Alpine, Climate change, Monitoring, Physiological cycle.*

I. 서 론

산업혁명 이후 지난 100년간 전 세계 평균기온은 0.74℃ 상승하였으며, 한반도의 기후변화 진행속도는 세계평균을 상회하여 약 1.5℃ 상승하였다. 최근의 기후 변화는 과거의 자연적인 변화에 비해 100배 빠르게 진행되고 있다. 그 결과 따뜻한 기후조건을 선호하는 난대성 식생대의 확장, 한대성 식생대의 쇠퇴, 식물의 개화시기가 빨라지고, 동물의 서식처가 교란되는 등의 다양한 생태적 부작용이 나타나고 있다(김진석 등, 2006; 공우석, 2007).

평균기온이 1℃ 상승하면 새싹이 나는 시기가 약 7일 정도 빨라진다. 또한 연평균기온이 2℃만 높아져도 온대의 대표 수종인 신갈나무가 지리산, 덕유산, 태백산맥 일부에만 분포하고, 주목, 분비나무, 사스래나무 등 아한대식물은 거의 멸종할 것으로 예상하였다(국립수목원, 2009). 2100년에는 지구 평균기온이 1990년보다 2.08℃ 상승할 것으로 예측했다. 이에 따라 남한 저지대의 난온대림이 2100년에는 북위 40도 까지 북상하고 남해·서해안 지역에는 아열대림이 형성될 것이며, 남한의 냉온대림은 1990년의 10분의 1로 급격히 줄어들어 지리산, 태백산 등에만 살아남을 것으로 예측했다. 특히 삼림의 이동 속도가 연간 0.25km일 때 남북한 전체 면적의 16%나 되는 3만 5천 9백여 km²의 숲이 사라지고 경제적 손실도 연간 약 4조 5천억 원에 이를 것으로 예상됐다(박종철 등, 2010). 최근 이런 범세계적 문제인 기후변화에 대한 여러 가지 영향이

보고되고 있으며, 이러한 기후변화가 산림과 식생에 미치는 영향을 밝히려는 여러 가지 연구가 수행되고 있다(환경부, 2008; 산림청, 2008; 국립산림과학원, 2009a; 2010b).

식물페놀로지에 대한 연구는 식물과 동물의 생활사에 대해 매년 반복해 볼 수 있는 현상이 생기는 시기를 기후에 관련시켜 연구하는 학문 분야이다. 식물의 생활사이클에서의 가시적인 변화를 기후 및 환경요인과 관계를 통계적 관점에서 발견하려는 노력을 하고 있으며, 이에 따라 종자발아, 개화, 개엽, 낙엽, 초본의 지상부의 회수 등의 성장패턴, 식물의 발달단계, 세포분화, 양분 저장양식 등에 대한 연구가 진행 중이다. 또한 근래에는 지구 온난화 등의 지구환경변동이 가져오는 생물상에의 영향 예측하는데 페놀로지 접근법이 활용되고 있다(藤本, 2007). 이 때문에 다양한 생물종에 대해 많은 페놀로지 연구가 실시되어 왔다(Schwartz, 2003). 최근에는 미국과 유럽 등을 중심으로 기후변동에 따른 페놀로지의 변동에 대해 장기적인 관찰데이터를 이용한 해석이 실시되고 있다(Houghton et al., 1996; Root et al., 2003; Menzel et al., 2006). 또한, 국내에서는 임양재 등(1983)이 기온조건과 계절변화에 대한 연구를 통하여 해양지역과 내륙지역과의 개화기와 결실기의 차이가 후기 온량이나 일기온의 차이 등이 합쳐서 생긴 결과로 보고 있다. 이승범 등(2003)은 식물계절변화를 관측하기 위하여 기상청의 장기관측지점에서 측정한 결과 봄식물계절지수는 빨라지고, 가을식물계절지수는 늦어지는 경향을 보이는 것으로 설명하였다. 식물개화시기

와 관련하여 홍릉수목원에 대한 개화시기 조사가 있었으나(임양재·조무현, 1977, 임양재, 1986; 1987) 자연지역을 대상으로 조사한 자료가 아니라 식물원에 식재된 수종을 대상으로 한 것으로 산림지역과 비교가 어렵다. 또한 화력학에 대한 연구가 진행되었으나(김원, 1978; 민병미·최재규, 1993), 이 역시 정확한 개화시기가 기술되지 않았으며, 회귀식에 의한 고도별 차이를 연구하는 방법을 사용하였다(김준호·류병태, 1985).

본 조사지역인 지리산 국립공원은 1967년 12월 27일에 우리나라의 국립공원 제 1호로 지정되었다(내무부, 1993). 남한 내륙의 최고봉인 천왕봉(1915m)을 주봉으로 하여 면적 485Km²로 우리나라 국립공원 중 가장 넓으며, 아고산대가 가장 넓게 분포하고 있다(국립공원관리공단, 2006). 지리산국립공원 지역의 식물상 및 식물군락 연구 기록으로는 한국자연보존협회(1983), 임양재·김정언(1992), 환경청(1998), 국립공원관리공단(2003), 추갑철(2003), 국립수목원(2005) 등이 있으며, 지리산 국립공원의 고산지역 역시 기후변화에 영향을 받고 있는 실정이다. 지리산 해발 1000m 이상 아고산지역의 구상나무 군락의 분포면적이 1981년에는 262ha이었으나 2007년에는 216ha로 18% 감소했다. 구상나무 분포범위에는 큰 변화가 없었으나 생육밀도가 감소했고, 구상나무가 사라진 자리에는 경쟁 식물인 신갈나무, 쇠물푸레 등이 침투한 것으로 나타났다(환경부, 2009). 고산수종인 가문비나무 역시 지리산 지역에서 많은 성목이 사라지고 있는 실정이고, 치수의 발생이 매우 낮아 기후변화가 지속되면 사라질 위험이 높은 것으로 예측되고 있다.

따라서 본 연구는 지리산을 대상으로 생물기후학적 연구를 위한 모니터링을 시행하여 이를 분석함으로써 생물지리학적 장기예측·관리시스템을 확립하고, 식물의 생육환경 변화를 사전에 예측·관리함으로써 지리산의 식물유전자원을 안정적으로 보전할 수 있는 방안을 세우는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 미기상장비 설치

기상측정은 기후변화에 취약한 조사 대상식물이 분포하는 장소에 미기상장비를 설치하여 기온 변화추이를 조사하였다. 기상장비는 세석과 칠선지역에 각각 설치하여 2009년 9월초 부터 2010년 10월말까지 측정하였다. 미기상측정장비는 Hobo 센서 중 풍향과 풍속은 WCA-M003으로 측정을 하고 일사량은 LIB-M003으로 측정을 하였다. 강우량은 RGB-M002, 기온과 습도는 간이백엽상(RS3)에 넣어서 TMB-M006으로 측정하였으며, 보조측정은 온습도 센서인, U23시리즈를 사용하였다. 토양함수량을 측정하기 위하여 토양수분은 뿌리층이 주로 생육하고 있는 지하 20cm 정도에서 센서(SMB-M005)을 이용하여 측정하였다. 조사대상식물이 가장 많은 지역인 세석지역1(N : 35°18'51.7", E : 127°41'29.5"; 1,500m)과 칠선지역2(N : 35°20'27.5", E : 127°43'24.3"; 1,600m)에 주기상장치를 설치하고, 그 다음으로 많은 조사대상지역이 주변에 있는 세석지역2(N : 35°18'10.7", E : 127°41'47.9"; 1,300m)과 칠선지역1(N : 35°20'19.5", E : 127°43'35.9"; 1,700m)에 부기상장비를 설치하여, 온도, 습도, 토양습도, 일사량을 측정하였다.

2. 지표식물 모니터링

각 지표종에 GPS(GPS60CS)로 좌표를 표시하고 각 식물마다 고유의 번호표를 부여하였으며, 개화시기, 낙화시기, 개엽시기, 낙엽시기 및 단풍시기의 변화를 기록하였다. 조사대상개체와 인근 동일종간의 오차를 줄이기 위하여 주변의 동일종에 대하여 3개체 이상을 조사하여 평균을 고려하여 측정하였다. 2009년 4월부터 2010년 10월 29일 까지 1주 1회 조사하는 것을 원칙으로 하고 7월과 8월은 2주 1회 격주조사를 실시하였다(산림청·국립수목원, 2009).

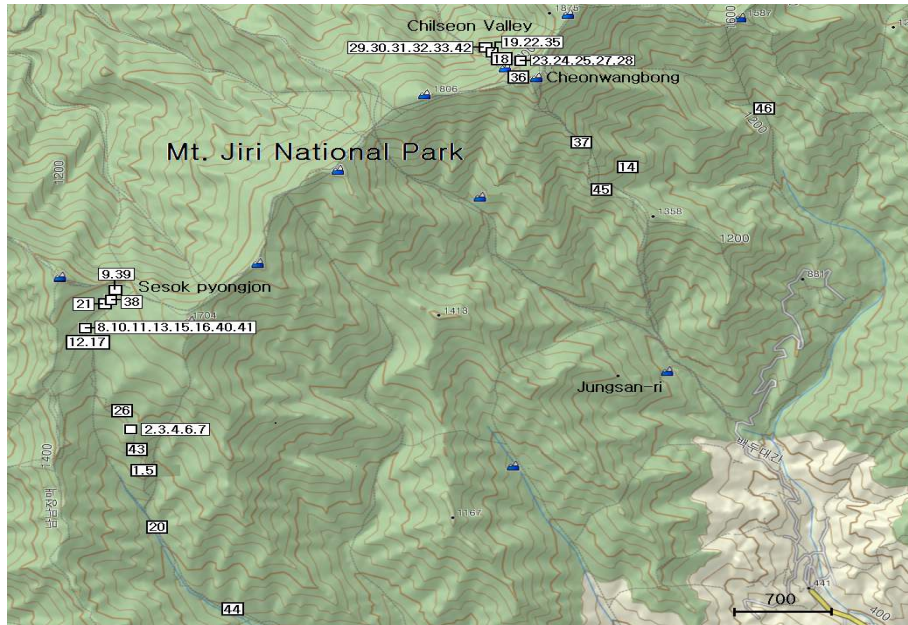


Figure 1. Study area of Mt. Jiri National Park (Number : Study plant).

(1. *Carpinus laxiflora* var. *laxiflora*, 2. *Pinus koraiensis*, 3. *Abies koreana*, 4. *Quercus mongolica*, 5. *Rhododendron mucronulatum* var. *lucidum*, 6. *Acer pseudosieboldianum*, 7. *Betula costata*, 8. *Betula ermanii*, 9. *Hemerocallis fulva*, 10. *Rhododendron schlippenbachii*, 11. *Abies koreana*, 12. *Vaccinium hirtum* var. *koreanum*, 13. *Stewartia pseudocamellia*, 14. *Coreanomecon hylomeconoides*, 15. *Pinus densiflora*, 16. *Weigela florida*, 17. *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*, 18. *Acer barbinerve*, 19. *Streptopus ovalis* var. *ovalis.*, 20. *Syringa reticulata* var. *mandshurica*, 21. *Rhododendron tschonoskii* var. *tschonoskii*, 22. *Smilacina bicolor*, 23. *Abies koreana*, 24. *Acer komarovii*, 25. *Oplopanax elatus*, 26. *Filipendula formosa*, 27. *Acer ukurunduense*, 28. *Picea jezoensis*, 29. *Rhododendron brachycarpum*, 30. *Rhododendron schlippenbachii*, 31. *Abies koreana*, 32. *Pinus koraiensis*, 33. *Taxus cuspidata*, 35. *Clintonia udensis*, 36. *Betula ermanii* var. *saitoana*, 37. *Fraxinus chiisanensis*, 38. *Cardamine amaraeformis*, 39. *Rhododendron yedoense* for. *albiflora*, 40. *Dendranthema sichotense*, 41. *Aconitum jaluense*, 42. *Acer tegmentosum*, 43. *Lindera obtusiloba*, 44. *Larix kaempferi*, 45. *Lindera obtusiloba*, 46. *Larix kaempferi*).

생물기후학적 조사 대상식물은 희귀식물과 특산식물 중 조사지역에 서식하고 있는 지역종과 전국에 걸쳐 고르게 분포하고 있는 공통종을 중심으로 산림청(2009)의 조사 매뉴얼에 의하여 선정하였다. 조사대상식물은 총 38종류, 46개체로 목본은 서어나무, 잣나무, 구상나무, 신갈나무, 진달래, 당단풍나무, 거체수나무, 사스래나무, 철쭉, 산앵도나무, 노각나무, 소나무, 붉은병꽃나무, 털진달래, 청시닥나무, 개회나무, 흰참꽃나무, 시닥나무, 땃두릅나무, 부계꽃나무, 가문비나무, 만병초, 주목, 줄고채목, 물들메나무, 흰산철쭉, 산겨릅나무, 생강나무, 일본잎갈나무 등 29종이고,

초본은 원추리, 매미꽃, 금강애기나리, 자주솜대, 지리터리풀, 나도옥잠화, 꽃황새냉이, 바위구절초, 투구꽃 등 9종이다.

개화시기조사는 식물의 최소 세군데 이상에서 개화된 꽃이 처음 관찰되었을 때를 개화시작시기로 보고 개화된 꽃을 전체의 백분율로 조사하여, 전체 90~100%가 시든 시기를 전체 꽃이 시든 시기로 보았다. 개엽시기조사는 잎모양으로 보이는 것이 세군데 이상에서 관측되었을 때 개엽초로 보고, 단풍이 시작된 시기는 전체 잎중에 단풍이 든 것이 세군데 이상관찰되었을 때 단풍초로 보고 전체를 백분율로 계산하여 기록하였으며, 낙

엽은 잎이 떨어지기 시작한 것이 세군데 이상 관찰되었을 때, 낙엽시작시기로 보고 백분율로 기록하였다. 초본류의 경우에는 꽃눈이 파열되어 개화된 꽃이 관찰될 때 개화시작으로 보고, 전체 꽃이 90~100% 정도 시들거나 죽은 시기를 낙화시기로 보았다. 개엽시기는 토양표면위로 싹이 올라온 것이 관찰될때를 성장시작으로 보고, 완전히 퍼진 잎이 관찰될때를 개엽시작시기로 보았다. 또한 전체의 90~100%의 잎이 시들거나 죽은 시기를 낙화시기로 보고 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기후개황

세석지역의 미기상 조사 결과, 최고 기온은 2010년 8월 1일 26.2℃, 최저 기온은 2010년 1월 13일 -19.1℃, 일평균온도가 가장 높을 때는 2010년 8월 14일 23.3℃이고, 가장 낮을 때는 2010년 1월 13일 -17.5℃로 나타났다. 상대습도는 최고 92.3%, 최소 7.7%로 조사되었다. 일사량은 최대 945.6W/m², 최소 0.6W/m²이고, 토양습도는 최대값은 0.3771m³/m³, 최소값은 0.0590m³/m³로 분석되었다.

칠선지역의 미기상 조사 결과 기온은 최대가 2010년 6월 17일 22.3℃, 최소가 2010년 1월 13일 -20.3℃로 조사되었다. 일평균온도가 가장 높을 때는 2010년 8월 1일 19.6℃로 조사되었으며, 가장 낮을 때는 1월 13일 -18.7℃로 나타났다. 상대습도는 최고 100%, 최소 1.0%로 조사되었다. 일사량은 최대 950W/m², 최소 0.6W/m²로 조사되었으며, 토양습도는 최대값은 0.43095m³/m³, 최소값은 0.02076m³/m³로 분석되었다.

2009년 9월부터 4군데의 평균기온을 비교한 결과 겨울철에는 칠선지역이 세석지역에 비해 온도가 -5℃ 이상 차이가 나며, 여름철에는 칠선지역보다 세석지역의 온도가 5℃ 이상 차이가 나는 현상을 보였다. 여름에는 세석지역의 온도가 높고, 겨울에는 칠선지역의 온도가 낮게 관측되었다.

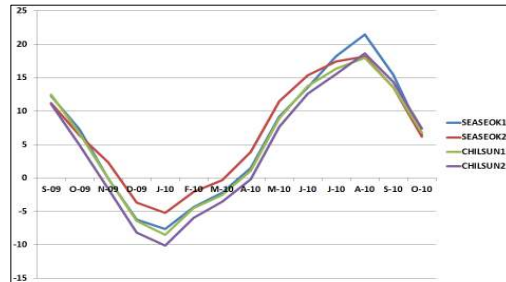


Figure 2. Average of temperature.

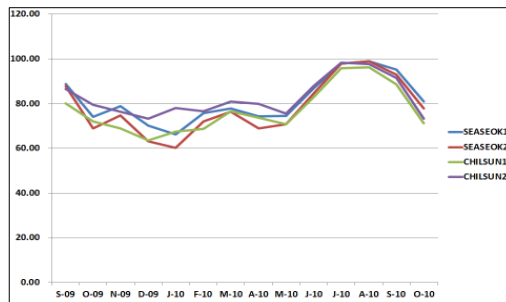


Figure 3. Average of relative humidity.

상대습도측정결과 전체적으로 세석과 칠선지역에 뚜렷한 차이는 조사되지 않았으나, 2009년 10월부터 2010년 5월까지의 습도변화를 보면 지역별로 편차가 크게 나타나고, 2010년 6월부터는 비슷한 양상을 보이는 모습을 관찰할 수 있다. 이는 겨울철 적설량의 영향으로 상대습도에 차이가 나타났다. 앞으로 장기간의 데이터 측정을 통하여 정확한 경향을 파악할 수 있을 것으로 보인다.

일사량에 대한 비교분석 결과 세석2번지역과 칠선2번지역의 일사량이 높게 나타났다가 떨어

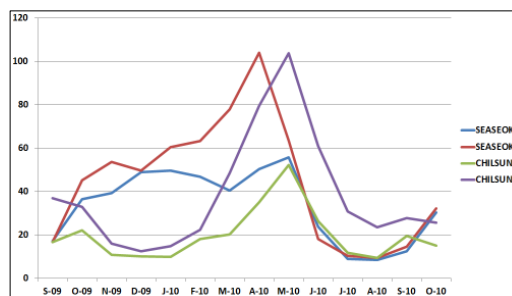


Figure 4. Average of solar radiation.

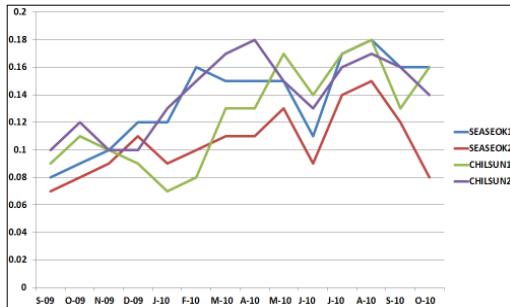


Figure 5. Average of soil moisture.

지는 경향을 보이는데 이는 기상장치가 설치된 곳과 밀접한 관련을 가지는 것으로 보이며, 주변에 교목층의 형성상태에 따라 달라지는 경향을 보이는 것으로 관측되었다. 따라서 정확한 기상 데이터의 해석은 장기간의 데이터축적을 통하여 진행되어야 할 것으로 보인다.

토양습도는 겨울철에 눈에 의하여 보온이 되어 토양습도가 떨어졌다가 여름철에 상승하는 패턴을 보이고 있으며, 지역적인 격차가 약간씩 있게 조사가 되었다. 이는 기상장비 측정지역이 계곡부인가 또는 산정상부분인가의 차이에 따라 약간씩 변화하는 것으로 보이면, 정확한 패턴은 장기간 데이터축적을 통하여 연구되어야 한다.

2. 지표식물 모니터링

지표식물의 생리적 사이클은 개화, 낙화, 개엽, 단풍, 낙엽 등 5개의 특성으로 구분하여 각 지표식물의 생리적 변화 시작 시점을 기록하였다. 각 생리적 특성의 시작 시점은 2009년과 2010년도로 구분하여 기후변화에 따른 사이클 변화추이를 분석하였다.

대부분의 식물들이 09년 보다 10년 조사에서 개화시기가 적게는 1주에서 많게는 1달까지 늦어진 경향을 보였다. 낙화시기 역시 개화시기와 마찬가지로 대부분의 수종에서 그 시기가 늦어진 결과를 보였고, 개엽시기는 전체 지표수종 중 서어나무와 잣나무를 제외하고 모두 09년 보다 늦

어진 것으로 조사되어 09-10년 사이클 변화 분석 자료 중 가장 명확한 차이를 보였다. 이는 개화와 개엽에 영향을 미치는 2월, 3월, 4월의 기온이 2009년에 비하여 2010년에 더 낮은 온도로 오래 유지된 것에서 비롯된 것으로 사료된다.

임(1986, 1987)이 조사한 홍릉수목원의 개화시기와 비교할 경우 병꽃나무는 2009년과 2010년에 지리산지역에서 6월 4일과 14일에 각각 개화하였으나 홍릉수목원 4월 26일에 개화하여 40일 이상 개화시기가 차이가 났다.

단풍시기는 일정한 규칙성 없이 전년도와 비슷하거나 몇 주 간격으로 빠르거나 늦은 모습을 보였고, 낙엽은 대부분의 지표식물이 09년과 비슷하거나 1~2주 정도 늦어진 시기에 시작하였다. 2009년과 2010년의 후반 기온차가 그리 크게 나타나지 않은 결과 09-10년 단풍과 낙엽시기는 비슷한 시기를 보인 것으로 보이며, 몇몇 지표식물 생리적 사이클 시기의 규칙성 없는 차이는 개체 각각의 생리적, 환경적 특성의 차이로 인한 것으로 사료된다.

1) 개화

개화시기 분석 결과 대부분의 식물들이 09년 보다 10년 조사에서 개화시기가 적게는 1주에서 많게는 1달까지도 늦어진 경향을 보였다. 산앵도나무, 붉은병꽃나무, 부계꽃나무, 만병초 등이 1주 정도 늦어졌으며 흰참꽃나무, 시닥나무 등이 2주 정도 늦어진 개화시기를 보였고 특히 매미꽃의 경우 09년 조사에서는 4월 말에 개화하였지만 10년 조사에서는 6월 초에 개화하여 한 달 이상 늦어진 것으로 조사되었다.

2009년 보다 2010년 개화시기가 늦게 시작된 이유는 2010년 봄철에 기상이변으로 지리산지역의 온도가 일시적으로 떨어지고, 강우가 2009년 보다 많아진 결과로 보인다. 따라서 장기기후모니터링을 통한 비교연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 1. Comparison of plant phenological cycle (2009-2010).

No	Scientific name	Flowering		Fallen blossoms		Aestivation		Red leaves		Fallen leaves	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
1	<i>Carpinus laxiflora</i> (Siebold & Zucc.) Blume var. <i>laxiflora</i>	-	-	-	-	5/19	5/11	9/8	10/6	10/8	10/29
2	<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.	-	-	-	-	6/24	6/30	-	10/21	-	-
3	<i>Abies koreana</i> Wilson	-	-	-	-	5/6	6/26	-	10/21	-	-
4	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	5/19	-	6/4	-	5/13	5/25	9/16	10/6	10/16	10/13
5	<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>lucidum</i> Nakai.	-	-	-	-	-	5/11	9/8	9/29	10/16	10/13
6	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	-	-	-	-	5/6	5/26	10/8	10/6	10/22	10/21
7	<i>Betula costata</i> Trautv.	-	-	-	-	5/6	5/25	9/16	9/9	9/24	9/9
8	<i>Betula ermanii</i> Cham.	-	-	-	-	5/13	5/25	9/8	9/9	9/16	9/9
9	<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L.	7/31	7/29	9/2	8/12	-	5/11	10/16	9/29	10/22	10/29
10	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.	-	6/1	-	6/16	5/19	6/1	9/16	9/29	10/8	10/13
11	<i>Abies koreana</i> Wilson.	-	-	-	-	5/19	6/1	-	10/21	-	-
12	<i>Vaccinium hirtum</i> var. <i>koreanum</i> (Nakai) Kitam.	6/4	6/16	6/12	6/21	5/13	5/25	9/8	10/6	10/16	10/29
13	<i>Stewartia pseudocamellia</i> Maxim.	-	-	-	-	5/13	5/25	9/16	9/29	9/24	10/13
14	<i>Coreanomecon hylomeconoides</i> Nakai.	4/28	6/7	5/6	6/21	4/28	4/28	9/24	10/6	9/24	10/28
15	<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.	5/26	6/21	6/24	6/30	7/10	7/20	-	10/13	-	-
16	<i>Weigela florida</i> (Bunge) A.DC.	6/4	6/16	6/24	6/21	5/6	5/25	9/16	9/9	10/8	10/13
17	<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> Nakai.	5/6	5/11	5/13	5/25	5/13	5/25	9/8	9/29	10/8	10/13
18	<i>Acer barbinerve</i> Maxim.	-	5/25	-	6/16	-	5/25	9/8	9/4	9/8	10/6
19	<i>Siretopus ovalis</i> (Ohwi) F.T.Wang & Y.C.Tang var. <i>ovalis</i> .	-	6/7	6/12	6/16	-	5/25	9/24	7/20	9/24	10/6
20	<i>Syringa reticulata</i> var. <i>mandshurica</i> (Maxim.) H.Hara.	6/4	-	6/24	-	-	5/11	10/8	9/29	10/16	10/21
21	<i>Rhododendron tschonoskii</i> Maxim. var. <i>tschonoskii</i> .	7/10	7/29	7/31	8/12	5/26	6/1	9/16	10/6	9/24	10/13
22	<i>Smilacina bicolor</i> Nakai.	-	6/7	6/12	6/16	-	5/15	7/31	7/20	8/27	7/29
23	<i>Abies koreana</i> Wilson.	-	-	-	-	6/12	6/16	-	-	-	-
24	<i>Acer komarovii</i> Pojark.	5/19	6/7	6/4	6/21	5/13	5/25	9/2	9/29	9/24	9/29
25	<i>Oplopanax elatus</i> (Nakai) Nakai.	7/10	6/30	7/31	7/20	5/26	6/7	10/8	9/4	10/16	10/13
26	<i>Filipendula formosa</i> Nakai.	-	6/30	7/31	7/20	-	5/25	9/24	9/29	10/8	10/13
27	<i>Acer ukurunduense</i> Trautv. & C.A.Mey.	6/4	6/16	6/12	6/21	5/13	6/1	9/8	9/4	9/24	9/29
28	<i>Picea jezoensis</i> (Siebold & Zucc.) Carriere.	-	-	-	-	6/12	6/16	-	10/13	-	-
29	<i>Rhododendron brachycarpum</i> D.Don ex G.Don.	6/12	6/21	6/24	6/30	6/4	6/16	-	-	-	-
30	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.	5/19	6/7	5/19	6/16	5/19	6/1	9/24	10/6	10/8	10/22
31	<i>Abies koreana</i> Wilson.	-	-	-	-	7/10	7/20	-	-	-	-
32	<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.	-	-	-	-	7/31	6/16	-	9/29	-	-
33	<i>Taxus cuspidata</i> Siebold & Zucc.	-	-	-	-	6/12	6/16	-	-	-	-
35	<i>Clintonia udensis</i> Trautv. & C.A.Mey.	-	6/7	6/12	6/16	-	5/25	9/16	10/6	10/8	10/22
36	<i>Betula ermanii</i> var. <i>saitoana</i> ,	5/19	6/7	6/4	6/16	5/19	6/1	9/16	7/29	10/8	8/12
37	<i>Fraxinus chiisanensis</i> Nakai.	6/4	6/7	6/12	6/16	5/13	6/7	9/24	10/13	10/8	10/13
38	<i>Cardamine amaraeformis</i> Nakai.	-	6/1	6/24	6/21	-	4/20	-	10/6	-	10/21
39	<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>albiflora</i> Chang.	-	6/7	6/12	6/21	-	5/25	-	10/6	-	11/2
40	<i>Dendranthema sichotense</i> Tzvelev.	9/2	8/12	9/24	-	-	4/20	10/8	10/21	10/16	10/29
41	<i>Aconitum jaluense</i> Kom.	8/27	-	8/27	-	-	4/20	10/8	10/13	10/22	10/29
42	<i>Acer tegmentosum</i> Maxim.	-	-	-	-	-	5/26	9/16	7/29	9/24	9/4
43	<i>Lindera obtusiloba</i> Blume	-	4/14	-	4/20	-	5/25	-	10/13	-	10/29
44	<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carriere	-	-	-	-	-	5/15	-	10/21	-	10/29
45	<i>Lindera obtusiloba</i> Blume	-	4/14	-	4/28	-	5/25	-	9/29	-	10/13
46	<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carriere	-	-	-	-	-	5/11	-	10/6	-	10/13

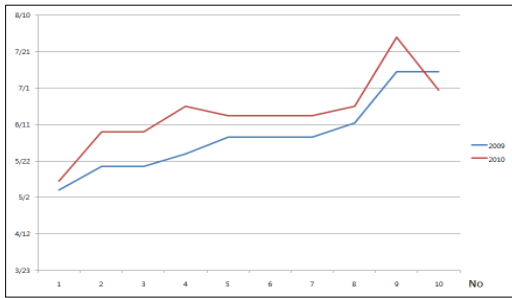


Figure 6. Comparison of flowering time, 2009 ~ 2010 year.

(1. *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*, 2. *Acer komarovii*, 3. *Betula ermanii* var. *saitoana*, 4. *Pinus densiflora*, 5. *Vaccinium hirtum* var. *koreanum*, 6. *Weigela florida*, 7. *Acer ukurunduense*, 8. *Rhododendron brachycarpum*, 9. *Rhododendron tschonoskii*, 10. *Oplopanax elatus*).

2) 낙화

낙화시기 분석 결과 개화시기와 마찬가지로 붉은병꽃나무, 땃두릅나무 등을 제외하고는 대부분의 수종에서 그 시기가 늦어진 결과를 보였다. 산앵도나무, 소나무, 부계꽃나무, 만병초 등이 1주 정도 늦어졌으며 흰참꽃나무와 시닥나무 등은 약 2주 정도 낙화시기가 늦어졌다. 낙화시기는 2009년과 2010년을 비교할 경우 뚜렷한 패턴을 찾기가 어려웠다.

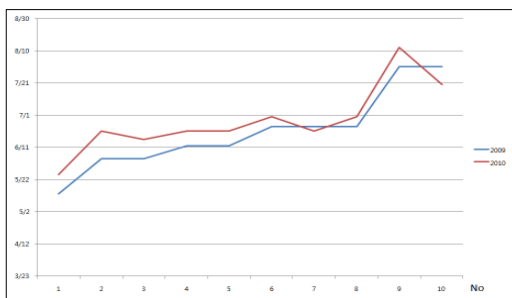


Figure 7. Comparison of fallen blossoms time, 2009 ~ 2010 year.

(1. *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*, 2. *Acer komarovii*, 3. *Betula ermanii* var. *saitoana*, 4. *Vaccinium hirtum* var. *koreanum*, 5. *Acer ukurunduense*, 6. *Pinus densiflora*, 7. *Weigela florida*, 8. *Rhododendron brachycarpum*, 9. *Rhododendron tschonoskii* var. *tschonoskii*, 10. *Oplopanax elatus*).

3) 개엽

개엽시기 분석 결과 09-10년 변화추이가 가장 명확한 차이를 보였다. 전체 지표수종 중 흰참꽃나무, 가문비나무, 주목 등이 1주 정도로 미미한 차이를 보였고 신갈나무, 철쭉, 노각나무, 땃두릅나무, 만병초 등이 2주, 부계꽃나무, 물들메나무 등이 약 3주 정도 개엽시기가 늦어진 경향을 보였다. 구상나무의 경우 09년 보다 약 50일 정도 개엽시기가 늦어진 것으로 조사되었다(그림 8).

2009년과 2010년을 비교할 때 뚜렷한 패턴의 차이를 보이고 있으며, 개엽의 경우 온습도와 밀접한 관계를 보이는 것으로 판단된다. 이는 2010년 봄철과 여름철에 기상변화로 인하여 온도가 일시적으로 떨어지는 현상을 보이거나, 강우가 2009년에 비하여 전반적으로 많았기 때문으로 판단된다.

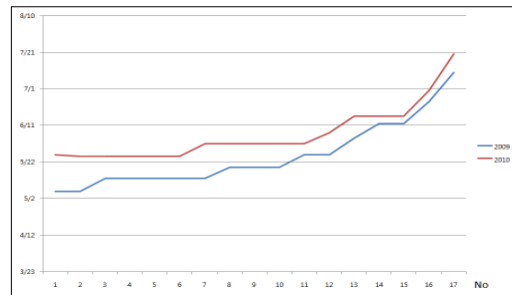


Figure 8. Comparison of leaf unfolding time, 2009 ~ 2010 year.

(1. *Acer pseudosieboldianum*, 2. *Weigela florida*, 3. *Quercus mongolica*, 4. *Vaccinium hirtum* var. *koreanum*, 5. *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*, 6. *Acer komarovii*, 7. *Acer ukurunduense*, 8. *Rhododendron schlippenbachii*, 9. *Abies koreana*, 10. *Betula ermanii* var. *saitoana*, 11. *Rhododendron tschonoskii* var. *tschonoskii*, 12. *Oplopanax elatus*, 13. *Rhododendron brachycarpum*, 14. *Picea jezoensis*, 15. *Taxus cuspidata*, 16. *Pinus koraiensis*, 17. *Pinus densiflora*).

4) 단풍

단풍시기 분석 결과 2009년과 2010년에는 일정한 규칙성을 찾아볼 수가 없으며, 전년도와 비슷하거나 몇 주 간격으로 빠르거나 늦은 모습을

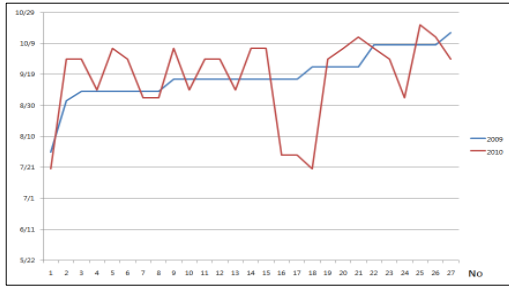


Figure 9. Comparison of leaf colouring time, 2009 ~ 2010 year.

(1. *Smilacina bicolor*, 2. *Acer komarovii*, 3. *Rhododendron mucronulatum* var. *lucidum*, 4. *Betula ermanii*, 5. *Vaccinium hirtum* var. *koreanum*, 6. *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*, 7. *Acer barbinerve*, 8. *Acer ukurunduense*, 9. *Quercus mongolica*, 10. *Betula costata*, 11. *Rhododendron schlippenbachii*, 12. *Stewartia pseudocamellia*, 13. *Weigela florida*, 14. *Rhododendron tschonoskii* var. *tschonoskii*, 15. *Clintonia udensis*, 16. *Betula ermanii* var. *saitoana*, 17. *Acer tegmentosum*, 18. *Streptopus ovalis* var. *ovalis*, 19. *Filipendula formosa*, 20. *Rhododendron schlippenbachii*, 21. *Fraxinus chiisanensis*, 22. *Acer pseudosieboldianum*, 23. *Syringa reticulata* var. *mandshurica*, 24. *Oplopanax elatus*, 25. *Dendranthema sichotense*, 26. *Aconitum jaluense*, 27. *Hemerocallis fulva*).

보였다. 기후차이로 인한 변화 보다 각 개체의 생리적 특성 차이로 인한 시기차이를 나타낸 것으로 보인다. 서어나무, 진달래, 매미꽃, 나도옥잠화, 투구꽃 등은 전년도 보다 단풍시기가 늦어졌으며 원추리, 자주솨대, 땃두릅나무 등은 더 빨라진 모습을 보였다. 금강애기나리는 약 64일 정도 빠르게 단풍이 시작된 것으로 조사되었는데 이는 10년도 조사부터 정확성을 높이기 위해 주변의 동일한 종의 생리적 변화 시점까지 기록한 것의 영향으로 보인다.

5) 낙엽

낙엽시기 분석 결과 대부분의 지표식물이 09년과 비슷하거나 1~2주 정도 늦어진 시기에 낙엽을 시작하였다. 청시닥나무, 금강애기나리, 철쭉, 바위구절초 등이 늦어졌으며 매미꽃은 09년 보다 약 34일 정도 까지 더 오래 생육한 것으로 조

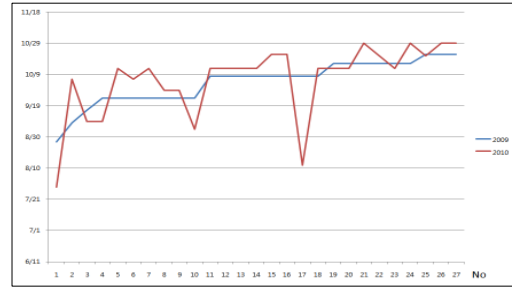


Figure 10. Comparison of leaf falling time, 2009 ~ 2010 year.

(1. *Smilacina bicolor*, 2. *Acer barbinerve*, 3. *Betula ermanii*, 4. *Betula costata*, 5. *Stewartia pseudocamellia*, 6. *Streptopus ovalis* var. *ovalis*, 7. *Rhododendron tschonoskii* var. *tschonoskii*, 8. *Acer komarovii*, 9. *Acer ukurunduense*, 10. *Acer tegmentosum*, 11. *Rhododendron schlippenbachii*, 12. *Weigela florida*, 13. *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*, 14. *Filipendula formosa*, 15. *Rhododendron schlippenbachii*, 16. *Clintonia udensis*, 17. *Betula ermanii* var. *saitoana*, 18. *Fraxinus chiisanensis*, 19. *Quercus mongolica*, 20. *Rhododendron mucronulatum* var. *lucidum*, 21. *Vaccinium hirtum* var. *koreanum*, 22. *Syringa reticulata* var. *mandshurica*, 23. *Oplopanax elatus*, 24. *Dendranthema sichotense*, 25. *Acer pseudosieboldianum*, 26. *Hemerocallis fulva*, 27. *Aconitum jaluense*).

사되었다. 거제수나무, 자주솨대, 좁고채목 등이 09년 보다 빠른 낙엽시기를 보였는데 좁고채목은 약 47일 정도 빨라진 단풍시기에 이어 낙엽시기 역시 약 56일 정도 빨라진 것으로 조사되었다. 낙엽시기 역시, 2009년과 2010년에는 일정한 규칙성을 찾아볼 수가 없으며, 전년도와 비슷하거나 몇 주 간격으로 빠르거나 늦은 모습을 보였다.

IV. 결 론

본 연구는 우리나라 대표적인 고산지대인 지리산의 산림식물종을 대상으로 생물계절학적 모니터링을 시행하여 기후변화에 취약한 식물유전 자원의 안정적 보전과 생물지리학적 장기예측 관리시스템의 기초자료로 활용하기 위하여 시행되었다.

지표식물 모니터링 결과 대부분의 식물들이

09년 보다 10년 조사에서 개화시기가 적게는 1주에서 많게는 1달까지도 늦어진 경향을 보였다. 낙화시기 역시 개화시기와 마찬가지로 붉은병꽃나무, 땃두릅나무 등을 제외하고는 대부분의 수종에서 그 시기가 늦어진 결과를 보였고, 개엽시기는 전체 지표수종 중 서어나무와 잣나무를 제외하고 모두 09년 보다 늦어진 것으로 조사되어 09-10년 생리적 사이클 시기 변화 분석자료 중 가장 명확한 차이를 보였다. 이는 개화, 개엽에 영향을 미치는 2월, 3월, 4월의 기온이 2009년에 비하여 2010년에 더 낮았고 겨울의 찬 기온이 오래 유지된 것에서 비롯한 것으로 사료된다.

단풍시기 분석 결과 일정한 규칙성 없이 전년도와 비슷하거나 몇 주간을 틈으로 빠르거나 늦은 모습을 보였고, 낙엽은 대부분의 지표식물이 09년과 비슷하거나 1~2주 정도 늦어진 시기에 시작하였다. 2009년과 2010년의 후반 기온차가 그리 크게 나타나지 않은 결과 09-10년 단풍과 낙엽시기는 비슷한 시기를 보인 것으로 보이며, 몇몇 지표식물 생리적 사이클 시기의 규칙성 없는 차이는 개체 각각의 생리적, 환경적 특성의 차이로 인한 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

- 공우석. 2007. 생물지리학으로 보는 우리식물의 지리와 생태. 서울 : 지오북.
- 국립공원관리공단. 2001-2003. 지리산 자연자원 조사 모니터링 -식물상-. 국립공원관리공단 보고서.
- 국립공원관리공단. 2006. 지리산국립공원 자원 모니터링 plate -5차년도-. 국립공원관리공단 보고서.
- 국립산림과학원. 2009. 기후변화의 산림생태계 영향과 적응. 국립산림과학원 보고서.
- 국립산림과학원. 2010. 기후변화에 대응한 난·아열대 수종의 육성방안. 서울 : 국립산림과학원.
- 국립수목원. 2005. 한반도 관속식물 분포도 -남부아구(전라도 및 지리산)-. 서울 : 국립수목원.
- 국립수목원. 2009. 2009기후변화 취약 산림식물종 보전·적응사업 보고서. 국립수목원 보고서.
- 김준호·류병태. 1985. 관악산의 고도에 따른 진달래와 철쭉꽃의 개화와 개엽시기. 한국생태학회지 8 : 53-59.
- 김진석·정재민·이병천·박재홍. 2006. 한반도 풍혈지의 종조성과 식물지리학적 중요성. 한국식물분류학회지 36(1) : 61-89.
- 김 원. 1978. 대구분지의 식물의 개화에 관하여. 경북생물학회지 8 : 137-147.
- 내무부. 1993. 국립공원자연자원조사(지리산 국립공원). 내무부 보고서.
- 민병미·최재규. 1993. 수종 목본식물의 화력학적 연구. 한국생태학회지 16(4) : 477-487.
- 박종철·양금철·장동호. 2010. 기후변화에 따른 난온대 상록활엽수림대의 이동에 관한 연구. 기후연구 5(1) : 29-41.
- 산림청. 2008. 기후변화가 임업·임산업에 미치는 영향 및 대응연구. 산림청 보고서.
- 산림청·국립수목원. 2009. 기후변화 취약 산림식물종 보전·적응사업 조사 매뉴얼. 서울 : 국립수목원.
- 이승범·신경섭·조영순·손승희. 2003. 식물계절에 나타난 한반도 기후변화 영향. 한국기상학회지 13(1) : 468-471.
- 임양재. 1986. 한국산 식물의 화기에 미치는 온도 기후의 영향. 한국양봉학회지 1 : 67-84.
- 임양재. 1987. 한국산 식물의 개화에 미치는 온도 기후의 영향. 양봉을 위한 밀원식물과 화분원 식물의 개발을 위하여. 한국양봉학회지 2 : 9-28.
- 임양재·김정연. 1992. 지리산의 식생. 서울 : 중앙대학교 출판부.
- 임양재·임문교·심재국. 1983. 한국의 온도기후

- 와 생물의 계절변화. 한국식물학회 26(2) : 101-117.
- 임양재·조무연. 1977. 홍릉수목원 수종의 개화기에 관하여. 한국생태학회지 1 : 17-23.
- 추갑철·김갑태. 2004. 지리산국립공원 종석대 아고산 지대의 식물분포. 한국환경생태학회지 17(3) : 181-186.
- 한국자연보존협회. 1983. 지리산 피아골 일대 종합학술조사 보고서. 한국자연보존협회 보고서.
- 환경부. 2008. 기후변화 대응 종합계획. 환경부 보고서.
- 환경부. 2009. 국가장기생태연구(II). 환경부 보고서.
- 환경청. 1998. 지리산지역의 식물상. 지리산자연생태계 조사보고서. 환경청 보고서.
- 藤本征司. 2007. 廣葉樹29種の10年間の開芽フェノロジー観測に基づく開芽日予測法の検討. 日本森林學會誌 89(4) : 253-261.
- Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell. 1995. The science of climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. NY. USA.
- Menzel, A., Sparks, T., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewsky, F., and Crepinsek, Z. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*. 12(10) : 1969-1976.
- Root T. L., Price J. T., Hall R. K., Schneider S. H., Rosenzweig C., and Pounds J. A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421 : 57-60.
- Schwartz, M. D. 2003. Phenology : An integrative environmental science. Springer.