

미기후 변화에 따른 식물계절 차이^{1a}

조현길^{2*} · 안태원³

Differences in Phenological Phases of Plants Subsequent to Microclimate Change^{1a}

Hyun-Kil Jo^{2*}, Tae-Won Ahn³

요약

본 연구는 우리나라 중부지방에 위치한 점봉산과 봉의산에서 일부 자생수목을 대상으로 봄철 식물계절 변화를 관찰 비교하고, 관련 환경인자를 함께 측정하여 미기후 변화에 따른 식물계절 차이를 구명하였다. 점봉산 조사지의 2004년 1~5월 평균 기온은 봉의산 조사지보다 4.1°C 더 낮았다. 점봉산 내 조사구별 4월의 토양온도는 남사면에 비해 서사면에서 1.8°C, 북서사면에서 4.4°C 각각 낮았다. 표본목 중 개화시기가 가장 이른 종은 생강나무로 봉의산에서 3월 하순에, 점봉산에서 4월 초순에 각각 개화하였다. 동일 수종의 개화시기는 점봉산보다 봉의산에서, 그리고 서사면이나 북사면보다 남사면에서 더욱 빨랐으며, 이른 봄 개화하는 수종의 경우는 지역간 약 2주의 차이를 나타냈다. 개엽시기는 대개 봉의산에서 4월 중순, 점봉산에서 5월 초순이었으며, 동일 수종의 개엽시기 역시 점봉산보다 봉의산에서 2주 정도 빨랐다. 개화 및 개엽시기의 Nuttsonson 온량지수(Tn)와 일적산온량지수(YDI)는 동일 수종에서 지역간 유사한 값을 나타냈다. 지역간 식물계절 변화는 주로 온도에 의해 영향을 받는 것으로 분석되며, 기후변화와 온도상승은 식물계절 변화를 현재보다 더욱 촉진시킬 수 있음을 시사한다.

주요어 : 개화, 개엽, 온도변화, 점봉산, 봉의산

ABSTRACT

This study observed and compared phenological changes in the spring for some native woody plants growing at Mt. Jumbong and Mt. Bongueui located at central districts of our country, and also inquired into the phenological difference subsequent to microclimate change by measuring its related environment factors as well. The average air temperature at a survey point of Mt. Jumbong from January to May in 2004 was 4.1°C lower than that of Mt. Bongueui. As for the soil temperature in April by a survey section within Mt. Jumbong, the soil temperature on the west and northwest slopes was 1.8°C and 4.4°C lower than that of the south slope, respectively. It was found that the earliest tree species in a flowering period was *Lindera obtusiloba* among the sample woody plants and its flowering began in late March at Mt. Bongueui and in early April at Mt. Jumbong. The flowering of the same species began faster on the south slope than the west or north slope; in case of the

1 접수 8월 31일 Received on Aug. 31, 2007

2 강원대학교 산림경영·조경학부 Division of Forest Management and Landscape Architecture, Kangwon National University, Chuncheon(200-701), Korea

3 강원발전연구원 환경·지역개발실 Environment & Regional Development Research Division, Gangwon Development Research Institute, Chuncheon(200-041), Korea

a 본 연구는 2003년도 환경부 지원 연구비에 의한 장기생태연구 시범사업 결과의 일부임

* 교신저자, Corresponding author(jhk@kangwon.ac.kr)

tree species flowering in early spring, there appeared about two-week interval between the survey sites. Likewise, leafing time of the same species was two weeks earlier at Mt. Bongeuui(in mid-April) than at Mt. Jumbong(in early May). Nuttinson's Index and Year Day Index for the flowering and leafing time of the same species showed similar value between the survey sites. It is analyzed that the transition in phenological phases between the sites is mainly caused by temperatures; further, it is implied that the climate changes and rise in temperatures could expedite the changes in phenological phases more than ever.

KEY WORDS: FLOWERING, LEAFING, TEMPERATURE CHANGE, Mt. JUMBONG, Mt. BONGEUI

서론

온대북반구에서 낙엽수는 겨울 내생휴면 후 봄에 발아하여 잎을 내고 꽃을 피우며 가을에 잎을 떨어뜨리는 식물계절(phenology) 현상을 1년 주기로 나타낸다. 즉, 식물계절은 식물이 계절을 따라 주기적으로 나타내는 변화로서, 발아, 개화, 낙화, 개엽 및 낙엽의 단계로 구분할 수 있다. 본 연구에서 식물계절은 생육초기인 봄에 한정해 개화와 개엽을 포함하며, 가을의 단풍과 낙엽은 제외한다.

계절 변화를 반영해 나타나는 식물계절은 시간경과뿐만 아니라 다양한 환경요인에 의해 그 시기가 결정된다. 식물의 개화 및 개엽에 영향을 주는 환경인자는 온도, 수분, 광등인데, 특히 겨울 및 봄철의 온도가 가장 민감한 요인이다(Lee and Ho, 2003; 성주한, 2003; Chmielewski *et al.*, 2004). 주요 온실가스인 CO₂의 지속적인 배출은 향후 50~100년 이내에 산업화 이전의 농도를 배가시키고, 지구온도를 평균 2~5°C 상승시킬 것으로 추정된다(Hansen *et al.*, 1988; Washington and Meehl, 1989; Mitchell *et al.*, 1990). 이러한 대기 CO₂ 농도의 증가와 온도 상승은 식물계절에 유의한 변화를 초래할 수 있다. 즉, 개화 및 개엽기를 이르게 하고 엽생장과 결실을 촉진하며(Paez *et al.*, 1984; Lee and Ho, 2003; 성주한, 2003; 이승범 등, 2003; Chmielewski *et al.*, 2004), 엽노화 지연으로 성장기간을 연장시킨다(Melillo *et al.*, 1990). 한편, 한온대 지역에서 식물의 조기 개화는 개화 중 늦서리에 의한 피해 위험성을 증가시킨다(Cannell and Smith, 1986; Chmielewski *et al.*, 2004). 식물계절의 갑작스런 변화는 결국 식물종간 상호작용과 초식자 및 곤충 생활상에 영향을 미치고 기존 생태계의 불균형을 야기할 수 있다.

Chmielewski *et al.*(2004)은 독일에서 1961~2000년의 40년 동안 기온이 1.4°C 증가하였고 2~4월의 평균 기온이 식물계절의 연 변화를 나타내는 주요한 지표임을 보고하였다. 그들의 연구에 따르면, 2~4월 평균 기온 1°C 증가는 수목의 개화시기를 약 5일 빠르게 하였다.

Lee and Ho(2003)는 서울시 기온이 1960년대 및 1970년대에 비해 1990년대에 연평균 1.0~1.5°C 증가하였고, 1961~2000년의 40년 동안 개화시기가 개나리 10일, 왕벚나무와 복사나무 5~8일, 아까시나무 3일씩 빨라졌음을 제시하였다. 즉, 봄철 개화시기가 이른 수종일수록 그 변화는 더욱 뚜렷하였다. 그들은 또한 겨울철 기온이 1°C 증가함에 따라서 수종별 개화시기는 10일까지 빨라질 것이라고 보고하였다.

홍릉수목원에서 개나리, 미선나무 등 47종을 대상으로 개화시기를 연구한 결과에 따르면(성주한, 2003), 1966년에는 5월 15일 이전에, 2002년에는 4월 30일 이전에 각각 개화를 완료하여 개화시기가 평균 15일 정도 빨라졌다. 수목의 개화는 주로 1~3월의 온도에 의하여 좌우되는데, 2002년 그 시기에 서울의 평균 기온은 1961~1990년 평균치보다 1월 3.7°C, 2월 4.0°C, 3월 3.1°C 각각 높았고, 1~3월 적산온도는 1966년에 비해 2002년에 56.7°C 더 많았다.

민병미와 최재규(1993)에 의하면, 연평균 기온이 5.5°C 차이를 보이는 남한산성(11.8°C)과 대관령(6.3°C)의 경우 동일 수종의 1992년 개엽시기는 남한산성에서 대관령보다 수종에 따라 8~24일 빨랐다. 두 지역 간 개화시기의 차이는 0~22일로 개엽시기의 경우보다 적었다. 한편, 그들은 동아의 파열시기는 일평균 기온 0°C 이상의 누적치인 일적산온량지수(Year Day Index: YDI; 임양재 등, 1983; 임양재, 1986)와 유관하지만, 개엽 완료시거나 개화시기를 예측하는 데는 Nuttinson's index(Tn; Nuttinson, 1948; 임양재와 조무연, 1977)가 더욱 유효함을 제시하였다.

이와 같이 봄철 식물의 계절현상은 온도 변화와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되며, 이들 간 관계는 기온-시간개념으로 확대되어 Tn, YDI 등의 지수가 제안되었다. 그러나, 많은 연구들이 주변의 기상대에서 수집한 온도자료를 이용하여 왔으며, 조사지의 환경요인 실측은 소홀한 것으로 보인다. 식물계절은 대기후뿐만 아니라 미기후에도 영향을 받아 동일 종이나 동일 지역이라도 고도, 사면, 울폐도, 가지위 치 등에 따라 그 시기가 상이할 수 있다. 김준호와 유병태

(1985)가 관악산의 고도와 사면방위에 따른 진달래와 철쭉의 개화 및 개엽 변화를 연구한 바 있으나, 식물계절 차이를 미기후 변화와 결부시켜 현장연구로 구명한 국내 사례는 아직 흔치 않다.

식물계절 조사기준 설정과 관련하여 기존 국내의 연구들(임양재와 조무연, 1977; 김준호와 유병태, 1985; 홍성각과 한승욱, 1991; 민병미와 최재규, 1993; 서병기 등, 1994; 농촌진흥청, 1995; 서병기와 심경우, 1995; 서병기, 1998; Chmielewski *et al.*, 2004; <http://web.kma.go.kr>)을 검토하면, 개화일, 개화기, 개화시기 등 유사 용어가 혼용되고 있으며, 개화나 개엽의 시작과 종료에 대한 기준 설정이 연구에 따라 상이하거나 불분명하여 식물계절 연구결과를 일반적으로 비교하는 것도 명백하지 않은 상황이다. 기후변화와 온도 상승을 고려할 때, 계절 변화 추이를 반영해 나타나는 식물계절에 대한 다양하고 지속적인 연구의 축적 차원에서 유사 용어를 비롯해 식물계절 조사 기준을 정립할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 우리나라 중부지방의 자연지역 산림인 점봉산과 도시지역 산림인 봉의산에서 자생수목을 대상으로 봄철 계절 변화를 관찰하고, 관련 환경인자를 함께 조사하여 미기후 차이에 따른 식물계절 변화의 상관성을 분석하는 것이다. 사면방위에 따른 미기후 및 식물계절 변화의 차이를 비교하고, 두 지역 간 식물계절 변화를 기온과의 연관성 구명에 초점을 두었다. 미기후에 따른 식물계절 변화와 조사지의 환경인자 실측을 포함하는 본 연구가 향후 기후변화와 결부하여 생태계에 미치는 영향을 파악하는 중요한 기반정보로 활용되기를 기대한다.

연구내용 및 방법

1. 조사지 및 표본목 선정

연구대상지는 산림유전자원 보호림인 강원도 인제군의 점봉산(38°02'N, 128°26'E)과 도시지역 내 위치하는 춘천시의 봉의산(37°52'N, 127°44'E)이었다(Figure 1). 점봉산은 활엽수 원시림 및 희귀식물 자생지로서 입산통제구역으로 지정된 자연림이며, 봉의산은 점봉산과 온도차가 나타나는 도시 중앙부의 자연산림지이다.

예비답사를 통해 군집구조와 사면방위, 그리고 정기적인 현장조사에 따른 접근성을 고려하여, 점봉산에서 3개소, 봉의산에서 2개소의 식물계절 조사구(15m×15m)를 각각 인접 배치하였다. 점봉산 조사구 3개소는 해발고도 800~850m에 위치하고 조사구의 경사는 남사면 27°, 서사면 22°, 북사면 33°이었다. 봉의산의 경우는 해발고도 260~270m, 경사가 남사면 43°, 북사면 39°로서 점봉산 조사구

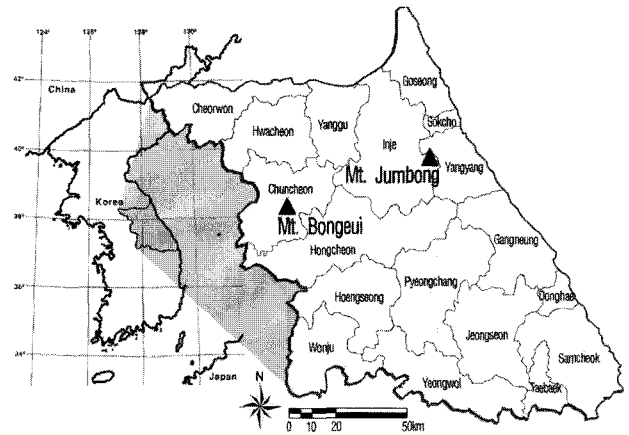


Figure 1. Location of study sites

와 약 550m의 고도차를 나타냈다. 조사구 내 식생은 두 지역 모두 상층수관에 참나무류가 우점하였다.

식물계절 조사 표본목은 각 조사구 내에서 정상적인 생육을 보이는 수목을 대상으로 8~18개체씩, 총 7종 67개체를 선정하고, 지속적인 관찰을 위해 인식용 표찰을 부착하였다. 표본목 선정시 사면 간 및 지역 간 식물계절 변화의 비교를 위해 가급적 동일 수종이 포함되도록 고려하였으며, 1개 조사구 내에서 수종별 개체수가 3개이상 분포할 경우 대(大), 중(中), 소(小)의 직경크기를 반영해 3개체를 선정하였다. 조사구별 표본목의 종류와 직경 크기는 Table 1과 같으며, 교목종은 당단풍(*Acer pseudo-sieboldianum*), 산벚나무(*Prunus sargentii*), 신갈나무(*Quercus mongolica*) 및 쪽동백나무(*Styrax obassia*)의 4종, 관목종은 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 진달래(*Rhododendron mucronulatum*) 및 철쭉(*Rhododendron schlippenbachii*)의 3종이었다. 점봉산 진달래의 경우는 조사구 인근 평지에서 3개체를 표본목에 포함하여 봉의산의 경우와 비교하였다.

2. 식물계절 변화 관찰

선정한 표본목의 계절 변화와 조사지 접근성을 고려하여 개화 및 개엽기간인 봄철에 점봉산은 주 1회, 봉의산은 주 2회 현장조사를 실시하였다. 조사기간은 점봉산이 2004년 4월 1일부터 5월 31일까지이었고, 봉의산이 2004년 3월 20일부터 5월 15일까지이었다.

매 현장조사시 선행연구 검토결과를 토대로 설정한 조사기준에 따라 꽃과 잎에 대한 변화현상을 관찰 기술하고 그 변화현상이 나타나는 비율을 기록하였다. 본 연구에서 식물계절 조사기준은 변화현상의 시작과 종료에 해당하는 용어로서 개화시기(開花始期) 및 종기(終期), 낙화시기 및 종기, 개엽시기 및 종기로 구분하였으며, 각 용어에 대한 기준은

Table 1. Species and diameter of specimen plants in study plots

Site	Plot	Species	Diameter*(cm)
Mt. Jumbong	South- facing	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	3, 13, 17
		<i>Prunus sargentii</i>	5, 26
		<i>Lindera obtusiloba</i>	2, 5, 4*
		<i>Quercus mongolica</i>	10, 37, 53
		<i>Styrax obassia</i>	9
		<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	4
	West- facing	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	4, 8, 17
		<i>Lindera obtusiloba</i>	2*, 2*, 2*
		<i>Quercus mongolica</i>	6, 22, 32
		<i>Styrax obassia</i>	3, 5, 5
		<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	3, 4, 2*
	Northwest- facing	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	9, 15, 19
		<i>Prunus sargentii</i>	4
		<i>Lindera obtusiloba</i>	2, 2, 1*
		<i>Quercus mongolica</i>	33, 44, 47
<i>Styrax obassia</i>		5, 9, 14	
Flat	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	2*, 3*, 4*	
South- facing	<i>Lindera obtusiloba</i>	5, 4*, 3*	
	<i>Quercus mongolica</i>	26, 42	
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	2*, 2*, 3*	
Mt. Bongeu	North- facing	<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	6, 7, 10
		<i>Prunus sargentii</i>	5, 7, 26
		<i>Lindera obtusiloba</i>	6, 1*, 3*
		<i>Quercus mongolica</i>	24, 26, 39
		<i>Rhododendron mucronulatum</i>	2*, 2*, 3*
		<i>Styrax obassia</i>	4, 7, 2*

*: It indicates diameter at breast height except asterisk which stands for diameter at 15cm above ground

아래와 같이 설정하였다.

- 개화시기: 꽃이 연속적으로 만개(滿開)하는 시기
- 개화종기: 꽃의 대부분(95% 이상)이 만개한 시기
- 낙화시기: 꽃이 연속적으로 낙화되거나 현저한 마름이 나타나는 시기
- 낙화종기: 꽃의 대부분(95% 이상)이 낙화 또는 현저하게 마른 시기
- 개엽시기: 잎이 연속적으로 만개하는 시기
- 개엽종기: 잎의 대부분(95% 이상)이 만개한 시기

3. 환경요인 측정

사면방위에 따른 미기후 및 식물계절 변화를 비교하기 위해, 2004년 봄철 정기적인 식물계절 현장조사시 각 조사구 내의 기온, 습도, 광, 토양 등의 환경인자를 함께 측정하였다. 대기 온습도는 조사구 내 지상 1.5m 높이에 자기온습도계(HOBO H08-032-02, Massachusetts)를 설치하여 4월부터 5월까지 연속 측정하였다. 10cm 깊이의 토양온도 및 수분함량은 토양온도계(Hanna HI9063, Portugal)와 토양

수분측정기(Campbell Scientific HydroSense, Australia)를, 수관 내외부의 광량은 광량계(LI-COR LI-190SA, Nebraska)를 각각 이용하였으며, 그 측정은 오후 2시경 5반복으로 실시하였다. 그리고 조사구별 5개 지점에서 10cm 부위의 토양을 채취하여 농촌진흥청(1988)의 토양분석방법에 따라 토양의 물리화학적 특성을 분석하였다.

한편, 지역 간 비교를 위해 조사구 인근에서 측정한 2004년 1월부터 5월까지의 기상관측자료를 수집한 후, 두 지역에서 개화 및 개엽시기의 Tn 및 YDI 값을 산출하여 식물계절 변화와의 연관성을 분석하였다. 점봉산 기상자료는 점봉산 내 간이 기상관측장비의 실측자료(환경부, 2004)를 이용하였다. 그 측정위치는 식물계절 조사구에서 200m 이내이었다. 봉의산의 경우는 조사구에서 1.6km 거리에 위치한 춘천기상대 자료(http://www.kma.go.kr/sfc/sfc_03_02.jsp)를 수집하여 분석에 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 조사구 개황

Table 2. Growing conditions of each study plot

	Mt. Jumbong			Mt. Bongeu	
	South	West	Northwest	South	North
Altitude(m)		800~850		260~270	
Slope(°)	27	22	33	43	39
Tree density(tree/100m ²)	18	24	15	8	13
Basal area(cm ² /100m ²)	4,000	5,600	2,700	3,300	3,000
Crown structure	· Upper layer: Dominated by <i>Quercus mongolica</i> with 56~87% coverage · Floor: <i>Sasa borealis</i> with 60~80% coverage			· Upper layer: Dominated by <i>Quercus</i> spp. with 71~82% coverage	

점봉산 조사구 내 교목밀도는 15~24주/100m²이었고, 기적면적은 2,700~5,600cm²/100m²이었으며 3개 조사구 중 서사면에서 가장 높았다(Table 2). 상층수관은 신갈나무가 사면에 따라 피도 56~87%를 보이며 우점하였다. 중층에는 당단풍이 피도 40~86%로 가장 높았고, 이어서 남사면에선 찰피나무(*Tilia mandshurica*)가, 서사면 및 북서사면에선 쪽동백나무가 상대적으로 높은 피도를 나타냈다. 하층에는 철쭉, 노린재나무(*Symplocos chinensis* for. *pilosa*), 생강나무 등이 피도 3~10%를, 조릿대(*Sasa borealis*)가 피도 60~80%를 보이며 분포하였다. 조릿대를 제외한 수관전체 피도는 190~250%로 다양한 층위구조를 보였으며, 남사면에서 가장 높고 북서사면에서 상대적으로 낮았다.

봉의산의 경우, 교목밀도는 조사구에 따라 8~13주/100m²이었고 기적면적은 3,000~3,300cm²/100m²로서 점봉산 북서사면 조사구와 유사한 수준이었다. 피도는 교목이 120~127%, 관목이 14~19%로서, 점봉산에 비해 관목 피도는 다소 높으나 수관전체 피도는 상대적으로 낮았다. 상층수관은 갈참나무(*Quercus aliena*), 신갈나무 등 참나무류가 피도 71~82%를 보이며 우점하였고, 하층에는 남사면

에선 생강나무와 진달래가, 북사면에선 생강나무가 상대적으로 높은 피도를 나타냈다.

점봉산 조사구의 토성은 사양토 내지 사토이었고, 토양분석 결과는 사면간 뚜렷한 차이없이 유사하였다(p>0.05). 그 평균치는 수분함량 33.8%(g/g), pH 4.8, 유기물함량 12.7%, 총질소 1,668mg/kg, 유효인산 17.3mg/kg, K⁺ 0.4cmol⁺/kg, Ca⁺⁺ 1.4cmol⁺/kg, Mg⁺⁺ 1.0cmol⁺/kg, 양이온치환능 8.6cmol⁺/kg 등이었다. 봉의산의 경우, 토성은 남사면이 양토 내지 사양토, 북사면이 사양토 내지 사토이었다. 이화학적 특성은 사면간 유사하였는데(p>0.05), 점봉산에 비해 유효인산이 약 2배 높은 반면 대부분의 분석함량이 낮고 총질소, 치환성양이온 등은 절반 수준이었다.

2. 환경요인 변화

봉의산 인근 춘천기상대(이하 봉의산 지역으로 약칭)와 점봉산에서 2004년 1월부터 5월까지 기온의 변화경향을 살펴보면(Figure 2), 두 지역에서 유사하게 4월 중순에는 5월 초순 기온과 유사한 고온 현상이, 4월 하순에는 오히려 기온

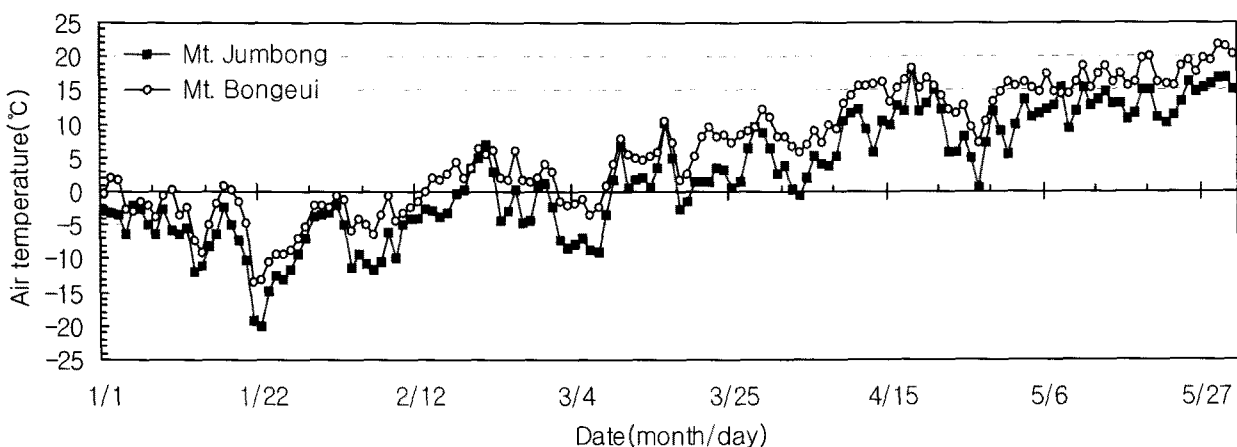


Figure 2. Changes of air temperature in early growing season of 2004*

*Source: Ministry of Environment(2004) for Mt. Jumbong and Chuncheon Weather Station for Mt. Bongeu

이 낮아져 4월 초순과 유사해지는 저온 현상이 나타났다. 일평균 최저 기온은 점봉산 지역에서 -20.1°C로 1월 22일에, 봉의산 지역에서 -13.4°C로 1월 21일에 각각 발생하였다. 점봉산 지역의 1~5월 평균 기온은 2.2°C이고 상대습도는 65%이었다. 봉의산 지역의 경우는 각각 6.3°C, 57%로서 점봉산 지역에 비해 기온이 4.1°C 더 높고($p < 0.01$) 상대습도가 8% 낮았다($p < 0.01$). 지역 간 월평균 기온차는 1월 3.4°C, 2월 3.9°C, 3월 4.4°C, 4월 4.3°C, 5월 4.2°C 등으로서 겨울보다 초봄에 그 차이가 상대적으로 더 큰 것으로 분석된다.

점봉산 3개 조사구에서 4~5월 실측한 사면방위에 따른 조사구 간 기온의 차이를 분석하면, Figure 3과 같이 서사면 및 북서사면이 남사면에 비해 다소 저온이었으며($p < 0.01$), 서사면과 북서사면 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 평균 상대습도는 사면에 따라 62~64%이었다. 봉의산의 경우는 북사면이 남사면보다 0.4°C 저온이었는데, 4월 초순까지 그 차이가 약간 더 크고($p < 0.01$) 개엽 이후는 유사해지는 경향을 보였다($p > 0.05$). 두 지역 간 실측 기온의 차이는 조사구 인근에서 수집 분석한 지역 간 기온차와 유사하였다.

점봉산에서 4~5월 주 1회 측정된 토양온도(오후 2시경)의 변화는 Figure 4와 같으며, 남사면에서 평균 9.5°C로 가

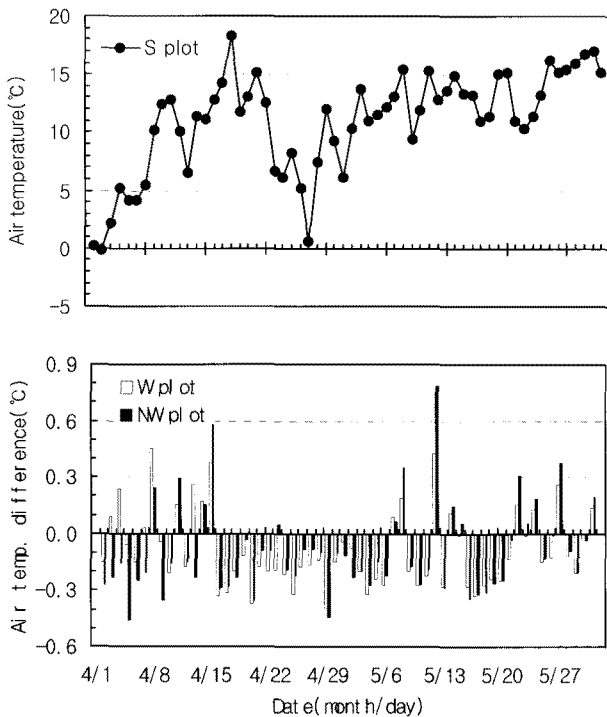


Figure 3. Difference in air temperature of west-facing and northwest-facing plots against south-facing plot

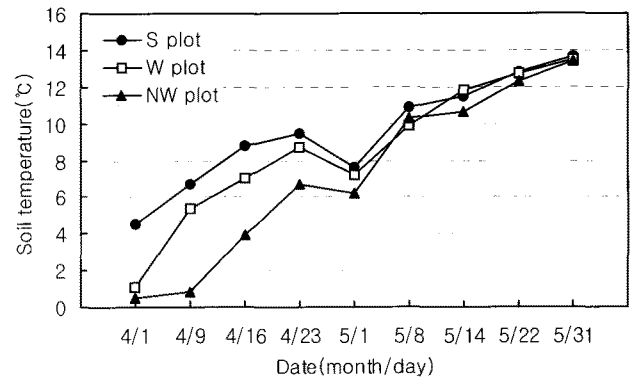


Figure 4. Changes of soil temperature by slope direction for Mt. Jumbong

장 높았다. 토양온도의 사면 간 차이는 기온의 경우보다 더욱 뚜렷하였는데, 남사면에 비해 서사면에서 1.0°C($p < 0.05$), 북서사면에서 2.4°C($p < 0.01$) 각각 낮았다. 4월에는 사면 간 차이가 남사면 기준 서사면이 0.7~3.5°C, 북서사면이 2.8~5.9°C 저온으로서 상대적으로 더욱 크고, 5월에는 그 차이가 감소하는 경향을 보여 하순엔 토양온도가 유사해졌다. 토양수분은 조사구 및 시기에 따라 16~29%(v/v)이었고, 그 평균은 북서사면이 24%로서 남사면 및 서사면 22%보다 약간 높으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$).

광량은 맑은 날 오후 2시경 수관 외부에서 800~1,500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이었으며, 조사구 내부에서는 4월 중순에 외부광량의 50~80%, 5월 중순에 10% 내외로 개엽이 진행됨에 따라 감소하였으며, 5월 하순 내부광량은 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 미만이었다. 사면 간 내부광량비는 개엽전인 4월 초·중순에는 남사면과 서사면이 북서사면보다 높았으나, 대부분 개엽을 종료한 5월 하순에는 사면 간 유사하였다.

3. 식물계절 변화

점봉산에서 표본목 중 개화시기가 가장 이른 종은 생강나무로 4월 초순이었다. 다음으로 4월 중순 진달래, 4월 하순 산벚나무, 5월 초순 철쭉, 당단풍 및 신갈나무, 5월 하순 쪽동백나무 등의 순이었다. 봉의산의 경우 역시 표본목 중 생강나무의 개화시기가 3월 하순으로 가장 이르고 쪽동백나무가 5월 중순으로 가장 늦어 개화순서는 유사하였으나, 점봉산에 비해 2004년 1~5월 평균 기온이 4.1°C 높은 봉의산에서 수종에 따라 1~2주 빨리 개화하였다.

점봉산에서 표본목들의 개화과정을 살펴보면, 생강나무는 3월말 화아가 파열하여 4월 초순에 개화하고 중순엔 꽃잎이 마르는 낙화현상이 나타났다. 4월 9일 개화의 변화정도는 남서사면 간 유사하고, 기온 및 토양온도가 상대적으

로 가장 낮은 북서사면(Figure 3, 4)에서 다소 느려 개화시기 직전이었다. 진달래는 4월 16일경 개화를 시작하여 1주일 내에 대부분 낙화하였으며, 산벚나무는 4월 하순 만개하고 5월 이전에 모두 낙화하였다. 철쭉은 4월 하순 꽃망울이 관찰되었으며, 개화시기는 사면 간 1주일 정도의 차이를 나타냈다. 즉, 남사면 개체는 5월 1일 개화를 시작하여 1주일 후 모든 꽃이 낙화하였는데, 서사면 개체는 5월 8일 전체 꽃망울 중 약 20%가 만개한 상태이었다. 당단풍의 개화시기는 5월 8일이었고 1주일 후 약 40%가 만개하였다. 신갈나무는 5월 초순에 연녹색수술이, 중순엔 흑갈색 수술이 관찰되었다. 쪽동백나무는 5월 초순에 녹색 꽃망울이 관찰되고 개화시기는 5월 31일이었다.

봉의산에서 생강나무의 개화시기는 남사면이 3월 20일, 북사면이 3월 27일로서 점봉산의 경우보다 최소 1주일 이상 빠르고, 상대적으로 온도가 높은 남사면에선 그 차이가 더욱 컸다. 진달래 역시 남사면(3월 30일)이 북사면(4월 3일)보다 일찍 개화하였고, 점봉산에 비해 개화시기가 13~17일 빨랐다. 산벚나무는 4월 16일 만개하여 점봉산보다 약 1주일 빠르고, 쪽동백나무는 4월 중순 꽃망울이 관찰되고 5월 중순 개화하였다.

표본목들의 개엽시기는 점봉산에서 대개 5월 초순이었으며, 4월 중순 엽아 파열 후 잎이 완전히 퍼질 때까지 2~3주가 소요되었다. 점봉산에서 개엽시기가 가장 늦은 종은 신갈나무로 5월 중순이었고 하순 이전에 개엽을 종료하였다.

봉의산 개엽의 경우는 진달래, 생강나무, 당단풍 등이 개엽시기가 이른 종으로, 3월말 또는 4월초 엽아가 파열하고 4월 13~16일 일부 잎이 만개하기 시작하여 20일경 개엽을 종료하였다. 쪽동백나무는 엽아 파열이 4월 11~13일로 상기 수종보다 다소 늦었으나, 개엽시기 및 종기는 각각 16일 및 20일로서 엽아 파열 후 상대적으로 단기간 내에 개엽을 종료하였다. 산벚나무는 4월 11일경 출엽을 시작하였는데,

개엽시기 및 종기는 각각 4월 20일 및 23일이었다. 신갈나무의 경우, 점봉산에선 개엽시기가 가장 늦은 종이었으나 봉의산에선 산벚나무와 유사하였다. 이처럼 봉의산의 개엽시기는 상대적으로 저온인 점봉산에 비해 2주 정도 빠른 것으로 나타났다.

민병미와 최재규(1993)는 연평균 기온이 5.5℃ 차이를 보이는 남한산성의 개화시기가 대관령의 경우보다 수중에 따라 0~22일 빨랐는데, 개엽보다 개화가 이른 종인 생강나무와 진달래가 각각 22일 및 19일로 그 차이가 가장 컸음을 보고한 바 있다. 본 연구에서는 1~5월 평균 기온이 4.1℃의 차이를 보인 점봉산과 봉의산에서 개화시기의 지역 간 차이가 최소 1주일 이상이었고, 선행 연구결과와 유사하게 생강나무와 진달래가 타 수종보다 개화시기의 지역 간 차이가 더욱 현저하였다.

동일지역 내에서는 타 사면보다 기온이 높은 남사면에서 대체로 식물계절 변화정도가 이른 것으로 나타났다. 김준호와 유병태(1985)는 관악산 진달래의 경우, 남동사면이 북서사면보다 5% 개화가 3일, 50% 개화가 2일, 100% 만개가 1일 빨랐음을 보고한 바 있다. 본 연구에서 봉의산 진달래의 개화시기는 남사면이 북사면보다 4일 빨랐는데, 설정한 조사기준에 비추어 보면 선행연구와 유사한 결과라고 해석할 수 있다. 그리고, 진달래보다 개화가 이른 생강나무는 남사면과 북사면 간 1주일의 개화시기 차이를 나타냈다. 사면 방위에 따른 개화시기 차이는 생강나무, 진달래 등 이른 봄 개화한 수종에서 더욱 뚜렷하였으며, 늦은 종에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

4. 기온과 식물계절 변화의 연관성

Figure 5는 점봉산과 봉의산에서 식물계절 변화와 함께 Tn 및 YDI의 변화를 보여준다. 전기와 같이 개화시기가

Table 3. Beginning time of flowering and leafing for study species in two sites*

Species	Mar.		Apr.				May		
	25	5	5	15	25	5	15	25	
<i>Lindera obtusiloba</i>	Flowering in Mt. Jumbong		Flowering in Mt. Jumbong	Flowering in Mt. Jumbong	Flowering in Mt. Jumbong	Flowering in Mt. Jumbong	Flowering in Mt. Jumbong		
<i>Rhododendrom mucronulatum</i>		Flowering in Mt. Bongeui		Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui		
<i>Prunus sargentii</i>			Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui		
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>				Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui		
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>				Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui		
<i>Quercus mongolica</i>					Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	
<i>Styrax obassia</i>					Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	Flowering in Mt. Bongeui	

*: Flowering in Mt. Jumbong Leafing in Mt. Jumbong
 Flowering in Mt. Bongeui Leafing in Mt. Bongeui

가장 이른 종은 두 지역 모두 생강나무이었는데, 점봉산에서는 4월 초순으로 그 시기의 Tn은 20~26°C·일, YDI는 103~134°C·일 범위이었다. 봉의산에서는 남사면 3월 20일, 북사면 3월 27일로 Tn이 17~41°C·일, YDI가 128~187°C·일이었다. 진달래의 경우는 점봉산에서 4월 16일경으로 Tn이 63°C·일, YDI가 207°C·일인 시기에, 봉의산에서 남사면 3월 30일, 북사면 4월 3일로 Tn이 58~67°C·일, YDI가 220~249°C·일인 시기에 개화하였다.

이처럼 개화시기는 지역 간 1~2주의 차이를 보였지만, 시간-기온개념으로 볼 때 적산온도인 Tn 값은 동일 수종에서 지역 간 유사하였다. YDI 범위는 점봉산보다 봉의산에서 약간 높은 편인데, 민병미와 최재규(1993)는 개화시기를 예측하는 데 Tn이 YDI보다 더욱 유효함을 제시한 바 있다.

홍릉수목원에서 연구에 의하면(임양재와 조무연, 1977), 생강나무의 개화는 Tn 24.7±17.0°C·일인 시기에, 진달래의 개화는 Tn 65.6±23.8°C·일인 시기에 이루어졌다. 본 연구에서 산정한 이들 수종의 개화시기 Tn 값도 선행연구 결과와

유사하며, 개화시기 변화는 기온과 밀접한 연관이 있는 것으로 해석된다. 산벚나무 개화시기의 온량이 지역 간 다소 상이한 것은 4월 중순에 발생한 고온현상(Figure 2)에 의해 상대적으로 온량의 변화폭이 컸기 때문으로 보인다.

개엽은 일부 수종을 제외하고 지역별로 대개 유사한 기간에 이루어졌는데, 그 기간의 Tn은 점봉산(5월 초순)에서 134~190°C·일, 봉의산에서 개엽시기(4월 13~16일) 134~164°C·일 및 개엽종기(4월 20~23일) 211~238°C·일 범위이었다. YDI 범위는 점봉산에서 348~444°C·일, 봉의산에서 개엽시기 365~410°C·일 및 개엽종기 478~520°C·일이었다. 개엽시기 역시 지역 간 약 2주의 차이가 있었으나, Tn 및 YDI는 대체적으로 유사한 범위를 나타냈다. 다만, 봉의산 개엽종기의 Tn 및 YDI가 점봉산보다 다소 높은 범위인데, 그 이유는 봉의산 개엽기간 중인 4월 중순의 고온현상에 의한 것으로 보인다. 이와 같이 두 지역에서 식물계절 변화시기의 Tn 및 YDI 값이 유사하였고 선행 연구결과와도 유사한 범위이었다. 결국, 지역 간 식물계절 변화는 주로 기온에 의해 영향을 받는 것으로 분석된다.

결론

본 연구는 우리나라 중부지방의 자연지역 산림인 점봉산과 도시지역 산림인 봉의산에서 일부 자생수목을 대상으로 봄철 식물계절 변화를 관찰 비교하고, 관련 환경인자를 함께 측정하여 미기후 변화에 따른 식물계절 차이를 구명하였다. 식물계절 조사구는 사면방위에 따라 점봉산이 남사면, 서사면 및 북서사면의 3개소, 봉의산이 남사면 및 북사면의 2개소이었으며, 지역 간 약 550m의 고도차를 나타냈다. 조사 표본목은 당단풍, 산벚나무, 신갈나무, 쪽동백나무, 생강나무, 진달래 및 철쭉의 7종 67개체이었다.

점봉산 조사지의 2004년 1~5월 평균 기온은 봉의산 조사지보다 4.1°C 더 낮았고, 지역 간 월평균 기온차는 겨울보다 초봄에 상대적으로 더욱 컸다. 조사구별 봄철 환경인자 측정 결과, 동일 지역 내에선 남사면 조사구가 타 사면보다 기온이 다소 높았다. 토양온도 역시 남사면 조사구에서 가장 높았으며, 사면 간 차이가 기온의 경우보다 더욱 뚜렷하였다.

표본목 중 개화시기가 가장 이른 종은 생강나무로 봉의산에서 3월 하순에, 점봉산에서 4월 초순에 각각 개화하였다. 동일 수종의 개화시기는 상대적으로 기온이 높은 봉의산이 점봉산보다 최소 1주이상 빠르고, 생강나무, 진달래 등 이른 봄 개화하는 수종은 지역 간 약 2주의 차이를 나타냈다. 그리고, 동일 지역 내에서는 서사면이나 북사면보다 남사면에서 개화시기가 더욱 빨랐다. 개엽시기는 대개 봉의산에서 4월 중순, 점봉산에서 5월 초순이었으며, 동일 수종의 개엽

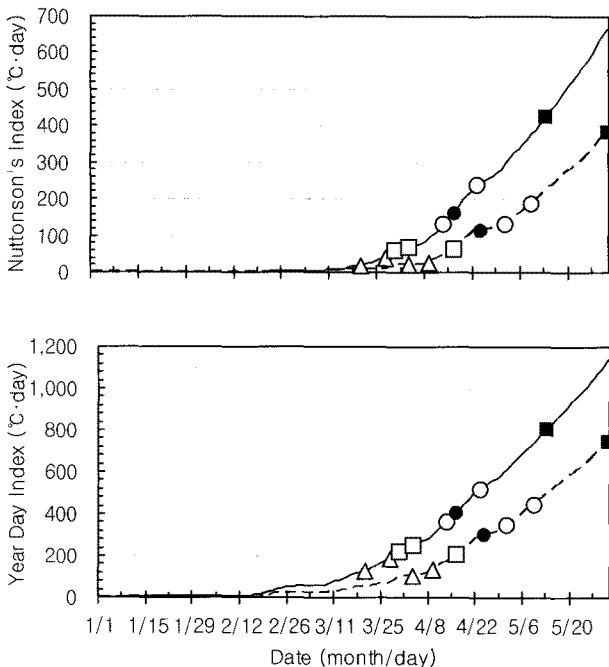


Figure 5. Changes of phenological phases associated with Nuttson's Index and Year Day Index in study sites

Legend: Beginning of flowering
 △ *L. obtusiloba* □ *R. mucronulatum*
 ● *P. sargentii* ■ *S. obassia*
 Beginning ~ end of leafing ○—○
 Changes of Index
 — Mt. Bongueui - - - - Mt. Jumbong

시기 역시 점봉산보다 봉의산에서 2주 정도 빨랐다.

개화 및 개엽시기는 지역 간 1~2주의 차이를 보였으나, 그 시기의 Tn 및 YDI 값은 동일 수종에서 지역 간 유사한 범위를 나타냈다. 즉, 지역 간 식물계절 변화는 주로 온도에 의해 영향을 받은 것으로 분석되며, 향후의 기후변화와 온도상승이 봄철 식물계절 변화에 영향을 미쳐 그 시기를 현재보다 더욱 촉진시킬 수 있음을 시사한다. 이러한 변화는 늦서리나 이상저온에 의한 위험성 증가를 비롯해 생물종간 상호작용에 영향을 미치고 기존 생태계의 불균형을 초래할 수 있다. 환경인자를 포함한 식물계절 변화에 대한 연구 자료의 축적은 향후 기후변화와 결부하여 중요한 기반정보로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 한계는 조사구의 사면방위에 따라 미기후 및 식물계절 변화에 차이가 있었으나 겨울 및 초봄의 미기후 변화를 조사구별로 실측하지 못한 것이다. 본 연구에서는 봄철 실측기온과 조사구 인근에서 수집한 기상자료의 지역 간 차이가 유사하였으며, 이에 기온과 식물계절 변화의 상관성을 구명함에 있어 그들의 지역 간 차이에 중점을 두었다. 향후, 겨울철 미기후 실측을 포함한 장기 모니터링을 통해 기후변화는 물론 미기후 변화에 따른 식물계절 차이의 상관성을 보다 정량적으로 밝히는 보강연구가 수행될 필요가 있다.

인용문헌

- 김준호, 유병태(1985) 관악산의 고도에 따른 진달래와 철쭉꽃의 개화와 개엽시기. 한국생태학회지 8(1): 53-59.
- 농촌진흥청(1988) 토양화학분석법. 450쪽.
- 농촌진흥청(1995) 농사시험연구조사기준. 603쪽.
- 민병미, 최재규(1993) 수종 목본식물의 화학학적 연구. 한국생태학회지 16(4): 477-487.
- 서병기, 심경구, 심재성, 정해준(1994) 낙엽조경수목의 꽃, 잎, 열매, 줄기 특성 정보체계 구축 및 CAD 이용에 관한 연구. 한국산지학회지 8(2): 65-85.
- 서병기, 심경구(1995) 낙엽조경수종의 개화 및 화색에 관한 연구. 한국조경학회지 22(4): 149-160.
- 서병기(1998) 낙엽조경수목의 대기정화 기간 연장과 미적 이용을 위한 잎 지속기간 및 엽색 특성. 한국산지학회지 12(3): 195-214.
- 성주한(2003) 환경변화와 수목의 생리적 특성(강원대학교 산림과학연구소 수목진단센터, '수목진단 및 방제기술' IV: 65-86), 춘천.
- 이승범, 신경섭, 조영순, 손승희(2003) 식물계절에 나타난 한반도 기후변화 영향. 한국기상학회지 13(1): 468-471.
- 임양재, 임문교, 심재국(1983) 한국의 온도기후와 생물의 계절변화. 한국식물학회지 26(2): 101-117.
- 임양재, 조무연(1977) 홍릉수목원수종의 개화기에 관하여. 한국생태학회지 1(1): 17-43.
- 임양재(1986) 한국산 식물의 개화에 미치는 온도기후의 영향. 한국양봉학회지 1(2): 67-84.
- 홍성각, 한승욱(1991) 쉬나무 밀원자원 개발에 관한 연구(1)-개화기, 개화기간, 개화량을 중심으로. 임산에너지 11(2): 118-124.
- 환경부(2004) 장기생태연구 시범사업-연구보고서-. 329쪽.
- Cannell, M.G.R. and R.I. Smith(1986) Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees. Journal of Applied Ecology 23: 177-191.
- Chmielewski, F.M., A. Müller, and E. Bruns(2004) Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. Agricultural and Forest Meteorology 121: 69-78.
- Hansen, J., I. Fung, A. Lacis, D. Rind, S. Lebedeff, R. Ruedy, and G. Russell(1988) Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. Journal of Geophysical Research 93: 9341-9364.
- Lee, E.J. and C.H. Ho(2003) Climate change and earlier spring in Seoul. Proceedings of an International Symposium on Nature and Society in the Changing Environment, Seoul National University, Graduate School of Environmental Studies, Seoul, pp. 12-17.
- Melillo, J.M., T.V. Callaghan, F.I. Woodward, E. Salati, and S.K. Sinha(1990) Effects on ecosystems. In: J.T. Houghton, G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums(eds.), Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 285-310.
- Mitchell, J.F.B., S. Manabe, V. Meleshko, and T. Tokioka(1990) Equilibrium climate change and its implications for the future. In: J.T. Houghton, G.T. Jenkins, and J.J. Ephraums(eds.), Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 134-164.
- Nuttonson, M.Y.(1948) Some preliminary observation of phenological data as a tool in the study of photoperiodic and thermal requirements of various plant material. In: A.E. Mureek and R.O. Whyte(eds.), Vernlization and Photoperiodism, Chronica Botanica, Waltham, Mass, pp. 192-143.
- Paez, A., H. Hollmers, and B.R. Strain(1984) CO₂ enrichment and water interaction on growth on two tomato cultivars. Journal of Agricultural Science 102: 687-693.
- Washington, W.M. and G.A. Meehl(1989) Climate sensitivity due to increased CO₂: experiments with a coupled atmosphere and ocean general circulation model. Climate Dynamics 4: 1-38.
- http://web.kma.go.kr/edu/unv/agricultural/season-ob/1173374_1389.html
- http://www.kma.go.kr/sfc/sfc_03_02.jsp