

소나무 산지의 개엽시기에 영향을 미치는 기후인자

김인식* · 유근옥 · 이주환
국립산림과학원 산림유전자원부

(2012년 8월 24일 접수; 2012년 11월 26일 수정; 2012년 11월 28일 수락)

Climatic Factors Affecting Bud Flush Timing of *Pinus densiflora* Provenances

In Sik Kim*, Keun Ok Ryu and Joo Whan Lee

Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

(Received August 25, 2012; Revised November 26, 2012; Accepted November 28, 2012)

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the climatic factors affecting bud phenology of *Pinus densiflora* provenances. Data were collected from Jungseon, Chungju and Jeju plantations which were parts of the 11 provenance trials established by Korea Forest Research Institute in 1996. The 36 provenances were included in this trial (33°30'~38°08' in latitude and 126°30'~129°20' in longitude). The bud swelling date and bud burst date of the provenances were investigated from March to May in 2004 in two-day interval. The four geographic factors and fifteen climatic factors of the test sites and provenances were considered in this study. Canonical correlation analysis was conducted to examine the major factors affecting the bud phenology. Our results suggested that the major factors affecting the timing of bud swelling and burst are the differences in latitude, longitude, extremely low temperature (during December-February), extremely high temperature (during November-February) and annual mean growing days between test plantation and provenance. The provenances with lower winter temperature than that of plantation showed the faster bud swelling and bud burst. Based on these results, the implication on the seed transfer of *P. densiflora* was discussed.

Key words: Microclimate, Temperature, Adaptation, Phenology, Provenance test

I. 서 론

임목에서 기후 적응성과 관련이 있는 형질들의 유전 변이나 지리적 변이 양상은 기온과 습도의 구배와 밀접한 관련을 가지고 있다고 알려져 있다(Blum, 1988; Frewen *et al.*, 2000; Chmura and Rozkowski, 2002). 특히 수종, 산지(provenance) 및 개체목 수준에서 기후 반응성에 대한 유전적 변이가 큰 것으로 보고되고 있는데 개엽시기, 생육기간, 성장량, 성장정지 등을 예로 들 수 있다(Cannell *et al.*, 1976).

산지 수준에서 이러한 변이는 대부분의 경우 환경에 대한 직접적인 적응성으로 이해되고 있다(Ekberg *et al.*, 1976; Aitken and Adams, 1997). 즉, 봄철의 개엽시기는 민상의 피해를 최소화하고 생육기간을 최대로 활용하기 위한 적응 기작으로 생각되고 있다. 이러한 개엽시기의 적응성 기작에는 여러 기후인자들이 관여되고 있는데, 원산지의 봄철 기온 또는 적산온도 등이 산지 간 개엽시기 차이를 발생시키는 요인이라고 보고된 바 있다(Leinonen and Hanninen, 2002). 임업적 측면에서도 봄철에 개엽이 일찍 이루어져 민상의 피해



* Corresponding Author : In Sik Kim
(kimis02@forest.go.kr)

를 당하게 되면 수고나 직경생장이 감소하고 수형이 불량해지는 등 목재가치가 감소될 수 있기 때문에 개엽시기는 환경에 대한 수목의 적응성을 평가하는 지표로 활용되고 있다(Chmura and Rozkowski, 2002; Leinonen and Hanninen, 2002).

산지 간 개엽시기의 유전변이에 대해서는 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔는데, 산지의 위도, 경도, 해발고, 평균기온 등 지리적 또는 기후적 요인과 개엽시기와의 연관성을 구명하기 위한 연구가 주로 이루어졌다(Skroppa and Magnussen, 1993; Rehfeldt, 1995; Chuine *et al.*, 2001; Chmura and Rozkowski, 2002). 이러한 결과들은 전통적으로 산지시험(provenance test)을 통한 종자배포구역 설정을 위한 기초자료로 활용되어 왔으나 최근에는 기후변화에 대한 적응성 측면에서 미래 기후조건에 대한 적응성 및 성장량을 예측하는데 활용되고 있다(Savolainen *et al.*, 2004).

소나무는 우리나라의 대표적인 침엽수종으로 수평적으로는 함경북도의 위도 43°20'에서 제주의 33°20'까지, 수직적으로는 해발 100~1,300m의 전국 산지에 널리 분포하고 있다(Korea Forest Research Institute, 1999; Kong, 2006). 일반적으로 분포범위가 넓은 수종은 다양한 유전변이를 보유하고 있는 것으로 알려져 있다(Savolainen *et al.*, 2004). 소나무의 경우도 집단 또는 산지 수준에서 많은 유전변이가 존재한다고 보고된 바 있으나(Yim and Kim, 1975; Kim *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2008), 소나무 산지의 개엽시기 변이에 대한 연구는 미진한 편이다.

이에 본 연구에서는 소나무 산지시험림을 대상으로 산지별 개엽시기에 대한 지리적 변이 양상을 조사하고 개엽시기에 영향을 미치는 기후인자를 구명함으로써 소나무의 육종집단 조성 및 종자배포구역 설정에 필요한 정보를 제공하고자 했다.

II. 재료 및 방법

개엽시기 조사를 위해 1996년 국립산림과학원에서 조성한 11 곳의 산지시험림 중에서 기후대별로 정선(온대북부), 충주(온대중부), 제주(난대)의 3개 조림지를 선정하였다. 본 시험림에는 전국에서 수집된 소나무 36개 산지가 포함되어 있으며(Table 1), 난괴법 3반복으로 설계하였으며 산지별로 반복 당 10본씩 배치하고

Table 1. General description of test plantations and provenances of *Pinus densiflora*

	Location			Annual mean temperature (°C)
	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
Plantation				
Jungseon	37°27'	128°42'	380	9.9
Chungju	36°53'	127°57'	160	11.3
Jeju	33°10'	126°40'	390	12.9
Provenance				
1. Inje	38°08'	128°12'	400	9.0
2. Whachun	38°03'	127°49'	150	10.2
3. Hongchun	37°46'	128°25'	700	7.7
4. Jungsun	37°31'	128°52'	600	8.6
5. Bongwha	37°01'	128°50'	500	9.4
6. Yeonchun	38°01'	127°04'	100	10.4
7. Heungsung	37°32'	127°51'	300	9.8
8. Ichun	37°15'	127°20'	150	10.9
9. Chunan	36°47'	127°20'	100	11.8
10. Samchuk	37°15'	129°17'	100	12.1
11. Uljin-seo	36°58'	129°13'	500	10.1
12. Uljin-on	36°45'	129°20'	200	12.1
13. Youngwol	37°18'	128°19'	300	10.2
14. Joongwon	37°02'	127°50'	150	11.0
15. Munkyeong	36°47'	128°18'	400	10.2
16. Boeun	36°31'	127°50'	250	10.9
17. Jinan	35°45'	127°20'	300	11.5
18. Andong	36°32'	128°50'	200	11.8
19. Sunsan	36°16'	128°20'	150	11.9
20. Taean	36°31'	126°21'	50	12.2
21. Chungyang	36°30'	126°50'	200	11.3
22. Wanju	35°55'	127°15'	150	12.3
23. Youngil	36°15'	129°21'	250	12.1
24. Kyungju	35°45'	129°20'	100	13.5
25. Youngchun	36°02'	128°50'	200	12.0
26. Koryung	35°45'	128°20'	150	12.7
27. Milyang	35°30'	128°51'	150	13.0
28. Haman	35°15'	128°20'	150	13.1
29. Buan	35°42'	126°36'	100	12.7
30. Hamyang	35°30'	127°49'	200	12.4
31. Jungju	35°30'	126°50'	100	12.8
32. Koksung	35°16'	127°19'	150	12.7
33. Naju	35°01'	126°50'	50	13.3
34. Hadong	35°01'	127°52'	50	13.7
35. Haenam	34°31'	126°31'	150	13.3
36. Seoguiipo	33°20'	126°30'	1,250	7.7

식재간격은 1.8m×1.8m로 하였다(Kim *et al.*, 2008).

각 조림지별로 병충해 피해가 없고 생육상태가 건전한 평균목을 산지 당 3본씩 선정하여 개엽시기를 조

사했다. 이때 조림지 내 반복 위치에 따른 편차가 발생하지 않도록 동일한 반복 내의 개체목들을 조사목으로 선정했다. 그리고, 조사목의 가지방향에 따른 개엽시기 오차를 줄이기 위해 조사목의 남쪽방향 가지를 대상으로 조사하였다. 개엽시기 조사는 2004년 3월말부터 5월 중순까지 2일 간격으로 이루어졌으며, 휴면 중이던 동아가 부풀어 오르기 시작하는 시점을 성장개시기로 정했고, 신초가 포린을 뚫고 나와서 0.5mm 정도 자란 시점을 개엽시기로 정해 야장에 해당 날짜 및 단계를 기록하였다. 또한 조사지별 조사자에 따른 오차를 최소화하기 위해 개엽시기 조사 시 사진을 함께 촬영하여 보완자료로 활용했다. 위와 같은 방법으로 조사된 조사목들의 자료를 종합하여 각 산지별 성장개시기와 개엽시기를 확정하였다.

개엽시기에 영향을 미치는 기후인자를 파악하기 위해 위도, 경도, 해발고, 해안으로부터 거리 변수를 이용한 기후인자 추정식(Noh, 1988)을 이용하여 각 조림지와 산지의 기후인자를 구했다. 조림지의 기후인자가 개엽시기에 미치는 영향을 구명하고자 조림지별 개엽시기와 기후인자 간 단순 상관을 분석하였다. 또한, 개엽시기에 대한 산지 기후인자의 영향을 구명하기 위해 조림지와 산지 간 생태적거리(ecological distance)를 구해 공준상관분석(canonical correlation analysis)을 실시했다. 공준상관 분석에서는 성장개시기와 개엽시기를 종속변수로, 19개 지리 및 기후인자를 독립변수로 하였다. 생태적거리는 산지 이동에 따른 환경의 변화, 즉 조림지와 산지 간의 주요한 생태적 모수들의 차이를 의미하는데(Csaba, 1995), 본 연구에서는 각 기후인자별로 조림지 수치에서 산지의 수치를 뺀 값을 생태적거리로 하였다(Rehfeldt *et al.*, 1999).

이렇게 구해진 자료를 이용해 조림지와 산지별 기후인자가 개엽시기에 미치는 영향을 분석하였으며, 기후변화 적응성 및 종자배포구역 설정과 관련된 활용방안에 대해 고찰하였다.

III. 결 과

3.1. 조림지별 성장개시기와 개엽시기

조림지별 소나무 성장개시기는 정선, 충주, 제주 조림지에서 각각 4월9일~4월12일, 3월30일~4월10일, 3월18일~3월24일이었으며, 개엽시기는 각각 5월7일~5월18일, 5월4일~5월14일, 4월20일~5월4일로 나타나,

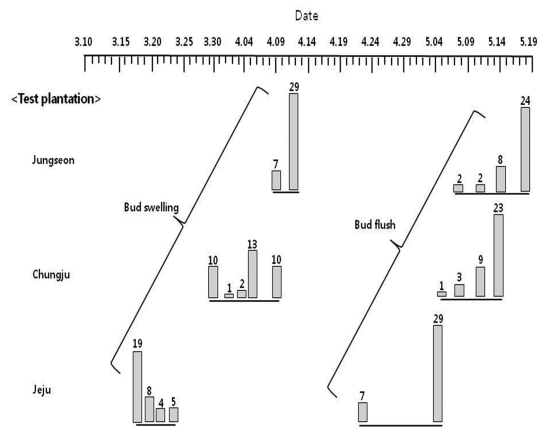


Fig. 1. Phenology of bud flush of *Pinus densiflora* provenances at different test sites. The number above the bar is the number of provenances in bud swelling or bud flush stage at the date. An arbitrary scale was used in the figure for presentation.

제주 조림지, 충주 조림지, 정선 조림지 순으로 빨랐다. 조림지 간 평균 성장개시기의 차이를 보면 정선-충주는 5일, 충주-제주는 16일, 정선-제주는 21일이었으며 평균 개엽시기 각각 3일, 10일, 13일이었는데 조림지 간 평균 기온의 차이(정선-충주 1.4°C, 충주-제주 1.6°C, 정선-제주 3.0°C)에 따른 구배를 보여주고 있다(Fig. 1).

수목의 성장개시거나 개엽시기는 조림지의 기온과 밀접한 관계가 있으며, 특히 일평균 기온이 5°C 이상인 날짜의 적산온도가 중요한 요인으로 거론되고 있다 (Bailey and Harrington, 2006; Harrington *et al.*, 2010). 조림지와 인접한 기상대의 관측 자료를 이용하여 생육기인 3월 이후 일평균 기온이 5°C 이상인 날짜가 연속해서 나타난 때부터 최초 성장개시기까지의 적산온도를 구해본 결과, 정선 조림지가 113.4°C, 충주 조림지가 110.5°C, 제주 조림지가 113.4°C로 나타났다. 또한 최초 개엽시기까지의 적산온도는 정선 조림지가 457.9°C, 충주 조림지가 548.1°C, 제주 조림지가 510.9°C로 나타났다. 이러한 결과를 통해 생육기에 5°C 이상인 날짜가 연속해서 나타나는 시기부터 소나무의 성장개시기 및 개엽시기 도달에 필요한 적산온도의 역치는 각각 110.5~113.4°C와 457.9~548.1°C 범위의 것으로 추정되었다.

조림지별 산지 간 성장개시기의 차이를 살펴보면, 정선 조림지에서는 가장 빠른 산지와 가장 늦은 산지의 차이가 3일, 충주 조림지는 11일, 제주 조림지는

6일로 나타나 정선 조림지에서는 산지 간 차이가 크지 않았던 반면 충주 조림지에서는 산지 간 차이가 컸으며 제주 조림지는 그 중간 정도인 것으로 나타났다.

조림지에 따라서 산지들의 생장개시 반응도 다양하게 나타났는데, 정선 조림지에서는 7개 산지가 3일 정도 빨리 생장을 개시했지만 대부분의 산지가 4월 12일 경에 비슷하게 생장을 개시했다. 제주 조림지에서는 정선 조림지와 반대로 27개의 산지가 3월 18일~20일경에 빠른 생장개시가 이루어진 반면 나머지 9개 산지는 3월 22일~24일에 생장 개시가 이루어졌다. 이에 비해 충주 조림지에서는 생장개시기가 빠른 산지(27.7%), 중간인 산지(36.1%), 늦은 산지(27.7%)가 거의 비슷한 비율로 나타나고 있다.

조림지별 산지 간 개엽시기를 살펴보면, 정선 조림지에서는 가장 개엽이 빠른 산지와 가장 늦은 산지의 차이가 11일, 충주 조림지는 10일, 제주 조림지는 14일로 나타났는데 조림지에 따라서 산지들의 반응에 다소 차이가 있었다. 즉, 정선 조림지에서는 5월 7일에 가장 빠른 2개 산지의 개엽이 이루어진 후, 5월 11일 2개 산지, 5월 14일 8개 산지, 5월 18일에는 나머지 2개 산지의 개엽이 완료되었다. 충주 조림지에서도 이와 비슷한 경향으로 5월 4일에 1개 산지가 가장 먼저 개엽이 이루어진 후, 5월 7일 3개 산지, 5월 11일 9개 산지, 5월 14일에는 나머지 23개 산지의 개엽이 완료되었다. 이에 비해 제주 조림지에서는 4월 20일 7개 산지가 개엽이 가장 먼저 이루어진 후, 나머지 29개 산지는 5월 4일에 개엽이 되는 양상을 보였다.

이상의 결과를 통해 조림지별 생장개시거나 개엽시기는 생육기의 조림지 기온에 의해서 영향을 받고 있지만 산지에 따라서 그 반응성에 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

3.2. 개엽시기와 기후인자의 관계

산지의 기후인자 차이가 조림지에서의 생장개시 및 개엽시기에 어떤 영향을 미치는지 구명하기 위해 각 기후인자의 생태적거리를 구하여 공준상관 분석을 실시한 결과, 선형결합에 의한 공준함수는 2개가 구해졌다. 첫 번째와 두 번째 공준함수의 상관계수는 각각 0.744와 0.244였으며 각 변수의 결합으로 설명되는 분산의 양은 각각 55.4%, 5.9%로 나타났다. 첫 번째 공준함수는 전체 공준변이 중 95.1%를 설명할 수 있으며 두 번째 공준함수는 나머지 4.9%를 설명하는 것

Table 2. Canonical correlations and explained canonical variance percentage of canonical variables between environmental variables of provenance and bud phenology variables

Pair of Canonical variables	Canonical correlation (R ²)	Explained variance (%)	P value*
1st	0.744	95.1	<0.0001
2nd	0.244	4.9	0.0947

*Likelihood ratio test with F approximation.

으로 나타났다. 첫 번째 공준함수는 통계적으로 유의하며 전체 공준변이의 대부분을 설명할 수 있기 때문에 이후 결과 해석에는 첫 번째 공준함수만을 적용하였다(Table 2).

19개 독립변수의 생태적거리 값에서 유도된 첫 번째 공준함수 V1을 보면 자신들의 공준결합에 의해 설명되는 부분은 40.0%이며, 위도, 경도, 12~2월의 최저기온, 11~2월의 최고기온 그리고 생육기간이 기여도가 높은 것으로 나타났다. 첫 번째 공준함수 V1과 생장개시 및 개엽시기와의 상관계수는 0.744와 0.321로 생장개시기의 분산 중 55.4%, 개엽시기의 분산 중 10.3%가 V1에 의해서 설명됨을 알 수 있다. 종속변수에 의해서 유도된 첫 번째 공준함수 W1을 보면 자신들의 공준결합에 의해 설명되는 부분은 59.3%이며, 생장개시기와 개엽시기의 상관계수가 각각 0.999와 0.432로 나타나 상대적으로 생장개시기의 기여도가 높았다. W1 함수에 대한 설명력이 높은 변수로는 위도, 경도, 생육기간 등을 들 수 있다(Table 3).

이상의 결과를 볼 때, V1과 W1 함수 모두 자신들의 공준결합에 대한 설명력 및 기여도가 상대적으로 높은 반면 상대변수 집합에 대한 교차적재값에서는 상관계수와 설명력이 다소 낮은 한계가 있지만, 생태적거리 인자 중 위도, 경도, 12~2월 극최저기온, 11~2월 극최고기온 그리고 생육기간이 소나무 산지의 생장개시기와 개엽시기에 영향을 미치는 주요 기후인자인 것으로 나타났다.

상관계수만을 고려할 때는 위도, 경도, 생육기간과 같은 요인들의 설명력이 더 높지만 우리나라에서 위도는 기온구배와 밀접한 연관성이 있으며, 생육기간도 북부지역보다 남쪽 지역에서 일반적으로 더 긴 특성을 감안할 때, 이들 요인보다는 조림지와 산지 간의 12~2월 최저기온과 11~2월 최고기온 차이가 조림지에서 소나무 산지의 생장개시기와 개엽시기를 결정하는 주요 인자인 것으로 판단된다.

Table 3. Canonical structure of the geographical variables of provenance and bud flush variables with the two pairs of canonical variables, represented by the correlation coefficients

Original environmental variables	Environmental canonical variables of provenances (Canonical loadings)		Bud flush canonical variables (Canonical cross-loadings)	
	V1	V2	W1	W2
Latitude	0.981	0.184	0.730	0.045
Longitude	0.810	-0.383	0.603	-0.094
Altitude	-0.132	-0.403	-0.098	-0.099
Distance from coastal line	0.376	0.816	0.280	0.199
Mean temp.(annual)	-0.686	-0.034	-0.511	-0.008
Extremely low temp.(annual)	-0.692	-0.250	-0.515	-0.061
Extremely high temp.(annual)	-0.480	0.371	-0.360	0.091
Mean temp.(Mar.~Oct.)	-0.451	0.331	-0.335	0.081
Extremely low temp.(Mar.~Oct.)	-0.576	-0.023	-0.428	-0.006
Extremely high temp.(Mar.~Oct.)	-0.062	0.705	-0.046	0.172
Mean temp.(Nov.~Feb.)	-0.745	-0.374	-0.555	-0.092
Extremely low temp.(Nov.~Feb.)	-0.747	-0.471	-0.556	-0.115
Extremely high temp.(Nov.~Feb.)	-0.779	-0.294	-0.579	-0.072
Extremely high temp.(July~Aug.)	0.240	0.615	0.178	0.150
Extremely low temp.(Dec.~Feb.)	-0.791	-0.496	-0.589	-0.121
Mean humidity(Mar.~Oct.)	-0.504	-0.570	-0.375	-0.139
Mean humidity(Mar.~May)	-0.711	-0.506	-0.529	-0.124
Mean humidity(June~Oct.)	-0.380	-0.624	-0.283	-0.153
Annual mean growing days	-0.896	-0.355	-0.667	-0.087
Total redundancy	40.0%	21.0%	22.2%	1.3%

Original bud flush variables	Bud flush variables (Canonical loadings)		Environmental canonical variables of provenances (Canonical cross-loadings)	
	W1	W2	V1	V2
Date of bud swelling	0.999	0.033	0.744	0.008
Date of bud flush	0.432	0.902	0.321	0.221
Total redundancy	59.3%	40.8%	32.8%	2.4%

IV. 고찰 및 결론

본 연구결과에 의하면 소나무의 경우 조림지보다 겨울철 기온이 낮은 북쪽 산지가 남쪽 산지보다 생장개시기와 개엽시기가 상대적으로 빠른 경향이었는데, 핀란드에서 Scots pine(*Pinus sylvestris*)과 Norway spruce (*Picea abies*)의 산지별 개엽시기를 조사한 결과에서도 본 결과와 유사하게 북쪽 산지가 남쪽 산지보다 개엽시기가 빠른 경향을 보고하고 있다(Beuker, 1994). 이러한 경향은 산지시험 연구에서 흔히 보고되는 북-남 또는 저온-고온 경사에 따른 전형적인 지리적 변이 경향에 해당하는데(Wright, 1976), 소나무에서도 산지에 따라 생장개시기와 개엽시기의 지리적유전적 변이가 존재하고 있음을 확인할 수 있다.

봄철에 생장개시 및 개엽이 빨리 이루어지면 만상의 피해를 당해 수고나 직경생장이 감소하고 수형이 불량해지는 결과를 초래하게 되는데(Chmura and Rozkowski, 2002), 침엽수류에서 내한성 기작은 눈트는 시기와 동아형성 시기와 밀접한 연관성이 있는 것으로 보고되었다(Kuser and Ching, 1980; Burr *et al.*, 1989). 이 두 가지 생물기후학적 형질은 환경조건에 대해 매우 정밀하게 반응하며 강한 유전적 조절 하에 있다고 알려져 있어(Ekberg *et al.*, 1991), 임목육종 프로그램에 있어서 클론이나 차대를 검정하는 지표로 많이 활용되고 있다(Hannerz, 1999).

생장개시와 개엽을 촉진하는 요인은 봄철 기온이지만 이러한 촉진 효과는 겨울철의 저온 과정을 거친 이후에 가능하다는 보고가 있었는데(Harrington *et*

al., 2010), 본 연구를 통해 소나무에서도 조림지와 산지 간의 겨울철 기온 차이가 생장개시거나 개엽시기에 영향을 미친다는 것을 확인한 점은 의미가 있다고 생각된다.

한편, 개엽시기는 생장개시기 보다 상관성이 낮게 나타나고 있는데 이는 소나무 동아의 생장특성에서 때문으로 생각된다. 즉, 소나무는 봄철에 동아가 먼저 부풀어 오름(생장개시기) 이후에 신초지의 길이 생장이 이루어지게 되고 길이 생장이 완료될 즈음에 신엽이 나오는(개엽시기) 과정을 거치게 된다. 조림지의 기온이 높으면 생장개시기가 빨라지지만, 그 이후 개엽이 이루어지기까지 신초지의 길이생장이 이루어지기 때문에 개엽시기는 생장개시기 만큼 산지 간에 뚜렷한 차이를 보이지 않는 것으로 생각된다. 따라서, 소나무의 경우 개엽시기 보다는 생장개시기를 산지특성 평가를 위한 지표로 활용하는 것이 더 바람직한 것으로 판단된다.

산지시험을 하는 목적은 산림생산성 향상을 위해 조림지의 환경조건에 가장 적합한 산지를 선발하여 활용하는데 있다. 소나무는 우리나라의 대표적인 경제조림수종으로 분포범위가 넓은 뿐 아니라 많은 면적에 식재되고 있으나, 지금까지 종자산지에 따른 조림지 적응성이나 생장특성에 대한 연구 결과가 많지 않은 편이다. 본 연구결과에 의하면 소나무의 경우 조림지보다 겨울철 기온이 낮은 곳에서 온 산지가 생장개시 및 개엽시기가 빠르기 때문에 그렇지 않은 곳에서 온 산지보다 만상의 피해를 당할 가능성이 더 높다고 하겠다. 이러한 만상 피해가 자주 일어나는 것은 아니지만 벌기령에 도달하기 전 특히 유시나 중기 성장단계에서 피해를 당하게 되면 수형 및 생장이 불량해져 경제적인 손실을 초래할 수도 있다. 따라서, 비록 다른 산지보다 생장이 우수한 산지라고 하더라도 조림지와 산지의 기후 차이를 고려한 산지의 선정 및 조림이 필요하다고 생각된다. 다만, 본 연구결과만으로는 산지 이동의 기준을 설정하기 어려운 것이 사실이므로 앞으로 조림지별 산지의 적응성 및 생장에 대한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 소나무 산지의 개엽시기에 영향을 미치는 기후인자를 구명하기 위해 수행되었는데 1996년 국립

산림과학원에서 조성한 정선, 충주, 제주의 소나무 산지시험림에서 조사가 이루어졌다. 휴면 중이던 동아가 부풀어 오르는 시점을 생장개시기로, 신초가 포린을 뚫고 나와 0.5mm 정도 자란 시점을 개엽시기로 정해 2004년 3월말부터 5월 중순까지 2일 간격으로 조사를 했다. 개엽시기에 대한 산지 기후인자의 영향을 구명하기 위해 조림지와 산지의 기후인자를 구했으며, 각 기후인자의 생태적거리를 구해 공준상관 분석을 실시했다. 조림지별 생장개시기와 개엽시기는 제주, 충주, 정선 조림지 순으로 빨라 조림지의 평균 기온 차이에 따른 구배를 보여주었다. 종자산지의 기후인자 차이가 조림지에서의 생장개시 및 개엽시기에 미치는 영향을 구명하기 위해 생태적거리 자료를 이용하여 공준상관 분석을 실시한 결과, 조림지와 산지 간 위도, 경도, 12~2월 최저기온, 11~2월 최고기온 그리고 생육기간 차이가 주요 인자인 것으로 추정되었다. 결론적으로 조림지보다 겨울철 기온이 낮은 곳에서 온 산지가 생장개시 및 개엽시기가 빠른 전형적인 북-남 또는 저온-고온 경사변이를 나타내 소나무 산지에 따른 지리적·유전적 변이가 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- Aitken, S. N., and W. T. Adams, 1997: Spring cold hardiness under strong genetic control in Oregon populations of *Pseudotsuga menziessi* var. *menziessi*. *Canadian Journal of Forest Research* **27**, 1773-1780.
- Bailey, J. D., and C. A. Harrington, 2006: Temperature regulation of bud-burst phenology within and among years in a young Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) plantation in western Washington, USA. *Tree Physiology* **26**, 421-430.
- Beuker, E., 1994: Adaptation to climatic changes of the timing of bud burst in populations of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies*(L.) Karst. *Tree Physiology* **14**, 961-970.
- Blum, B. M., 1988: Variation in the phenology of bud flushing in white and red spruce. *Canadian Journal of Forest Research* **18**, 315-319.
- Burr, K. E., R. W. Tinus, S. J. Wallner, and R. M. King, 1989: Relationships among cold hardiness, root growth potential and bud dormancy in three conifers. *Tree Physiology* **5**, 291-306.
- Cannell, M. G. R., S. Thompson, and R. Lines, 1976: An analysis of inherent differences in shoot growth within some north temperate conifers. In: *Tree Physiology and Yield Improvement*. Cannell, M. G. R. and F. T. Last (eds). Academic Press, New York, 173-205.
- Chmura, D. J., and R. Rozkowski, 2002: Variability of

- beech provenances in spring and autumn phenology. *Silvae Genetica* **51**, 123-127.
- Chuine, I., S. N. Aitken, and C. C. Ying, 2001: Temperature thresholds of shoot elongation in provenances of *Pinus contorta*. *Canadian Journal of Forest Research* **31**, 1444-1455.
- Csaba, M., 1995: Modeling effects of climate change with provenance test data by applying ecological distances. In: Proceedings of IUFRO XX World Congress "Caring for the forest: Research in a changing world". 1995. August 6-12. Tampere, Finland, 145pp.
- Ekberg, I., I. Dormling, G. Eriksson, and D. Wettstein, 1976: Inheritance of photoperiodic response forest trees. In: Tree Physiology and Yield Improvement. Cannell, M. G. R. and F. T. Last (eds). Academic Press, New York, 207-221pp.
- Ekberg, I., G. Eriksson, and C. Nilsson, 1991: Consistency of phenology and growth of intra- and interprovenance families of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* **6**, 323-333.
- Frewen, B. E., T. H. H. Chen, G. T. Howe, J. Davis, A. Rohde, W. Boerjan, and H. D. Bradshaw, 2000: Quantitative trait loci and candidate gene mapping of bud set and bud flush in populus. *Genetics* **154**, 837-845.
- Hannerz, M., 1999: Evaluation of temperature models for predicting bud burst in Norway spruce. *Canadian Journal of Forest Research* **29**, 9-19.
- Harrington, C. A., P. J. Gould, and J. B. St.Clair, 2010: Modeling the effects of winter environment on dormancy release of Douglas-fir. *Forest Ecology and Management* **259**, 798-808.
- Kim, I. S., K. O. Ryu, J. H. Song, and T. S. Kim, 2005: Geographic variation in survival rate and height growth of *Pinus densiflora* S. et Z. in Korea. *Journal of Korean Forest Society* **94**, 78-81.
- Kim, I. S., H. Y. Kwon, K. O. Ryu, and W. Y. Choi, 2008: Provenance by site interaction of *Pinus densiflora* in Korea. *Silvae Genetica* **57**, 131-139.
- Kim, J. H., I. S. Jung, W. H. Lee, and S. C. Hong, 2002: Studies on the fundamental properties of the wood of Gumgangsong (*Pinus densiflora* for. *erecta* Uyeki) (Part2). *Journal of Korean Forest Society* **91**, 241-246. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y. Y., J. O. Hyun, K. N. Hong, T. B. Choi, and K. S. Kim, 1995: Genetic variations of natural populations of *Pinus densiflora* in Korea based on RAPD marker analysis. *Korean Journal of Breeding* **27**, 23-48. (in Korean with English abstract)
- Kong, W. S., 2006: Biogeography of native Korean pinaceae. *Korean Geographical Society* **41**, 73-93. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Research Institute, 1999: Pine, Pine Forest. 205pp.
- Kuser, J. E., and K. K. Ching, 1980: Provenance variation in phenology and cold hardiness of western hemlock seedlings. *Forest Science* **26**, 463-470.
- Leinonen, O. and H. Hanninen, 2002: Adaptation of the timing bud burst of Norway spruce to temperate and boreal climates. *Silva Fennica* **36**, 695-701.
- Noh, E. R., 1988: Evaluation of optimum growth and site conditions for major tree species of Korea using climatic factors. Research Report of Institute of Forest Genetics, Korea **24**, 138-191.
- Rehfeldt, G. E., 1995: Genetic variation, climatic models, and the ecological genetics for *Larix occidentalis*. *Forest Ecology and Management* **78**, 21-37.
- Rehfeldt, G. E., N. M. Tchebakova, and L. K. Barnhardt, 1999: Efficacy of climate transfer functions : introduction of Eurasian populations of *Larix* into Alberta. *Canadian Journal of Forest Research* **29**, 1660-1668.
- Savolainen, O., F. Bokman, R. Garcia-Gil, P. Komulainen, and T. Repo, 2004: Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climate changes. *Forest Ecology and Management* **197**, 79-89.
- Skroppa, T., and S. Magnussen, 1993: Provenance variation in shoot growth components of norway spruce. *Silvae Genetica* **42**, 111-120.
- Yim, K. B., and Z. S. Kim, 1975: The variation of natural population of *Pinus densiflora* S. et Z. in Korea(I) - Characteristics of needle and wood of Chuwang-san, An-Myeon-do and Odae-san populations. *Journal of Korean Forest Society* **28**, 1-20. (in Korean with English abstract)
- Wright, J. W., 1976: Introduction to Forest Genetics. Academic Press, Inc. London, 463pp.