

느티나무 산지별 개엽시기의 지리적 변이

김인식* · 한상억 · 이위영 · 나성준

국립산림과학원 산림유전자원부

(2013년 7월 23일 접수; 2013년 9월 17일 수정; 2013년 9월 27일 수락)

Geographical Variation in Bud-burst Timing of *Zelkova serrata* Provenances

In Sik Kim*, Sang Urk Han, Wi Young Lee and Sung Joon Na

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

(Received July 23, 2013; Revised September 17, 2013; Accepted September 27, 2013)

ABSTRACT

This study was conducted to examine the geographic variation of bud phenology of *Zelkova serrata* provenances. Data were collected from Gangneung, Yilmsil, Hwaseong and Jinju plantations which were parts of the 6 provenance trials established by Korea Forest Research Institute in 2009. The 16 provenances were included in these trials. The starting date of bud burst and finishing date of leaf expansion were investigated from April to May every other day. 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 between test sites and provenances. The study results suggested that the major factors affecting the timing of bud burst were the differences of extremely high temperature (March-October), annual mean temperature, mean temperature (March-October), extremely high temperature (July-August) and mean humidity (June-October) between test site and provenance. The provenances with lower mean or high temperature than those of plantation showed the earlier bud burst and leaf expansion. It showed a typical north-south or low-high temperature cline. Finally, we discussed the implication of the tree breeding program of *Z. serrata* based on these results.

Key words: Climate factor, Temperature, Humidity, Adaptation, Phenology, Provenance test

I. 서 론

산림에 분포하는 수종들은 오랜 세월 동안 주어진 환경에 적응하면서 진화해온 관계로 다양한 유전변이를 가지고 있는데, 산지시험(provenance test)은 이러한 변이의 특성을 파악하고 적절하게 이용하기 위한 정보를 제공해 줄 수 있어 임목육종 전략 수립을 위한 주요 수단으로 활용되고 있다(Wright, 1976). 전통적으로 산지

시험은 조림지에 적합한 종자 산지를 선택하기 위한 임목육종의 수단 중 하나로 이용되어 왔지만(Campbell and Sorensen, 1978; Raymond and Lindgren, 1990; Rehfeldt, 1989), 지구온난화가 국제적 이슈로 부각되면서 기후변화 적응을 위한 미래 기후조건에 적응성이 높은 종자 산지의 선정이라는 측면이 더 강조되고 있다(Mátyás, 1996; Carter, 1996). 특히, 임목은 조림에서 수확까지 장기간이 소요되기 때문에 농작물처럼



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

단기간에 기후변화에 적응하는데 한계가 있어 미래 기후조건에 적합한 종자산지 선정은 임업의 성패를 결정짓는 중요한 문제로 부각되고 있다(Leites *et al.*, 2012).

이러한 흐름에 따라 전통적인 산지시험의 주된 관심사였던 수고, 흉고직경, 재적 등 성장관련 형질과 함께 최근에는 개엽 시기, 동아 형성 시기와 같은 기후변화 적응 관련 형질들이 다시 주목 받고 있으며, 이러한 형질들에 영향을 미치는 기후인자를 구명하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Cannell *et al.*, 1976; Beuker, 1994; Kadomatsu, 1997; Bradley *et al.*, 1999; Sparks and Menzel, 2002; Bailey and Harrington, 2006). 특히, 개엽 시기는 온대지방 수목의 생존과 성장과 밀접한 연관성을 가진 생물계절학적 형질로 외국에서는 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는데 비해(Sakai and Larcher, 1987; Beuker, 1994; Hannerz, 1999; Leinonen and Hänninen, 2002; Bailey and Harrington, 2006), 국내에서는 상수리나무와 소나무에 대한 연구가 일부 이루어진 바 있지만(Kim *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2012) 전체적으로 이 분야의 연구가 미진한 편으로 다양한 수종에 대한 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

느티나무(*Zelkova serrata*)는 평안남도 이하 우리나라 전역과 일본, 대만, 중국 등지에 자생하는 활엽수종으로 변재가 황백색이고 심재가 적갈색으로 광택이 있으며, 목리가 아름답워 예로부터 건축재, 가구재, 기구재, 기계재, 조각재, 악기재 등으로 널리 이용되어 왔다(Korea Forest Research Institute, 2007). 이처럼 용재자원으로써 느티나무의 우수성은 예로부터 인정되어 왔지만 이를 적극적으로 자원화하여 용재수로 활용하기 위한 연구보다는 조경수 품종개발 연구가 주로 이루어져 왔다(Park, 1998). 비록 최근 느티나무의 자원이 크게 감소하여 천연림 형태를 나타내는 임분을 찾아보기 어려운 실정이지만 느티나무의 목재가 가지고 있는 경제적 가치를 고려해 최근 느티나무를 용재수로 육성하기 위한 시도가 이루어지고 있다(Kim *et al.*, 2010).

느티나무를 용재자원으로 육성하기 위해서는 먼저 느티나무 종자산지에 대한 지리적 변이 또는 유전적 변이에 대한 정보 획득이 매우 중요한데, 이러한 정보를 활용하여 육종계획을 수립하고 추진함으로써 위험요인을 최소화하고 육종 효율을 높일 수 있기 때문이

다(Wright, 1976; Muona, 1990).

이에 본 연구에서는 느티나무를 용재자원으로 육성하기 위한 연구의 일환으로 느티나무 산지의 지리적 변이 및 적응성 평가를 위해 산지 별 개엽 시기를 조사하고 개엽 시기에 영향을 미치는 조림지와 산지의 기후인자를 구명하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

개엽 시기 조사를 위해 2009년 국립산림과학원에서 조성한 6개소의 느티나무 산지시험림 중 기후대별 및 조림지의 지리적 위치를 고려하여 강원 강릉(온대 북부), 경기 화성(온대 중부), 전북 임실(온대 중부), 경남 진주(온대 남부)의 4개소를 선정하였다. 본 시험림에는 전국에서 수집된 느티나무 16개 산지가 포함되어 있으며(Table 1), 1-0묘를 이용하여 동일한 해에 조성되었다. 시험설계는 난괴법 3반복으로 산지 별로 반복 당 10본씩 배치하였으며, 식재 간격은 1.8m×1.8m로 하였다.

각 조림지 별로 병충해 피해가 없고 생육상태가 건전한 평균목을 산지 당 3본씩 선정하여 개엽시기를 조사하였다. 이때 조림지 내 반복 위치에 따른 편차가 발생하지 않도록 동일한 반복 내의 개체목들을 조사목으로 선정하였다. 그리고 조사목의 가지 방향에 따른 개엽 시기 오차를 줄이기 위해 조사목의 남쪽 방향 가지를 대상으로 조사하였다. 개엽 개시일은 동아가 부풀어 오르면서 초록색이 처음 보이는 때로 하였으며, 개엽 완료일은 동아에서 잎이 나와 완전히 신장하여 퍼진 시기로 하였다. 개엽 시기 조사는 2011년 4월초부터 5월초까지 진행되었으며 매 2일 간격으로 측정하였다. 개엽 조사 시 조사지 별 조사자에 따른 오차를 최소화하기 위해 조사목 별로 사진을 함께 촬영하여 보완자료로 활용했다. 이러한 방법에 의해 조사된 조사목들의 자료를 종합하여 각 산지 별 성장개시기와 개엽 시기를 확정하였다.

개엽 시기에 영향을 미치는 기후인자를 구명하기 위해 위도, 경도, 해발고, 해안으로부터 거리 변수를 이용한 기후인자 추정식(Noh, 1988)을 이용하여 각 조림지와 산지의 기후인자를 구했다. 조림지의 기후인자가 개엽 시기에 미치는 영향을 구명하고자 조림지 별 개엽 시기와 기후인자 간 단순상관을 분석하였다. 또한 개엽 시기에 대한 산지 기후인자의 영향을 구명하기 위해 조림지와 산지 간 생태적 거리(ecological

Table 1. General descriptions of the provenances and test sites of *Zelkova serrata*

Population	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Distance from coastal line(km)
Provenance				
Yangpyung (YP)	37° 32'	127° 40'	105	80.8
Kwangju (KJ)	37° 28'	127° 11'	350	42.0
Youngwol (YW)	37° 11'	128° 27'	201	70.4
Bongwha (BW)	36° 54'	128° 58'	420	39.5
Goesan (GS)	36° 47'	127° 45'	152	77.2
Munhyung (MK)	36° 44'	128° 13'	381	107.1
Boeun (BE)	36° 32'	127° 49'	360	91.2
Cheongsong (CS)	36° 23'	129° 08'	310	22.1
Gongju (GJ)	36° 21'	127° 11'	180	57.3
Youngcheon (YC)	36° 06'	128° 55'	26	40.9
Daegu (DG)	35° 59'	128° 35'	59	67.1
Hapcheon (HC)	35° 48'	128° 05'	230	85.1
Gochang (GC)	35° 30'	126° 34'	5	4.5
Jungeup (JE)	35° 29'	126° 54'	203	22.9
Youngkwang (YK)	35° 21'	126° 26'	120	0.4
Gangseo (GSE)	35° 03'	128° 49v	5	0.7
Test site				
Gangneung (GN)	37° 34'	128° 46'	640	25.3
Hwaseong (HS)	37° 14'	126° 56'	60	13.8
Yimsil (YS)	35° 37'	127° 27'	336	49.2
Jinju (JJ)	35° 08'	128° 18'	70	15.7

Table 1. Continued

Population	Mean annual temp. (°C)	Extremely low temp. (°C, annual)	Extremely high temp. (°C, annual)	Mean temp. (°C, Mar.-Oct.)	Extremely low temp. (°C, Mar.-Oct.)	Extremely high temp. (°C, Mar.-Oct.)
Provenance						
Yangpyung (YP)	10.8	6.1	16.7	16.8	11.8	22.6
Kwangju (KJ)	9.6	4.9	14.8	15.1	10.4	20.3
Youngwol (YW)	10.1	6.1	16.4	16.3	11.6	21.9
Bongwha (BW)	10.0	5.8	15.2	15.2	10.7	20.2
Goesan (GS)	11.2	6.7	17.0	17.0	12.1	22.6
Munhyung (MK)	11.9	4.9	16.1	15.8	10.5	21.9
Boeun (BE)	10.7	5.1	16.1	15.9	10.7	21.7
Cheongsong (CS)	11.5	7.3	16.1	16.1	12.0	20.6
Gongju (GJ)	12.3	6.9	16.8	16.8	12.2	22.1
Youngcheon (YC)	12.3	8.0	17.2	17.1	12.9	22.0
Daegu (DG)	13.7	6.0	15.7	15.4	10.6	20.7
Hapcheon (HC)	12.7	4.6	15.3	15.0	9.8	20.5
Gochang (GC)	13.5	9.6	17.8	18.1	14.3	22.4
Jungeup (JE)	12.8	8.0	16.9	17.0	12.8	21.6
Youngkwang (YK)	13.5	8.9	17.2	17.4	13.6	21.6
Gangseo (GSE)	14.4	10.7	18.5	18.4	15.0	22.4
Test site						
Gangneung (GN)	8.2	3.5	13.1	13.3	8.6	18.1
Hwaseong (HS)	11.5	7.3	16.3	16.7	12.6	21.5
Yimsil (YS)	11.2	6.6	16.3	16.2	11.6	21.3
Jinju (JJ)	13.7	9.9	18.1	18.0	14.3	22.3

Table 1. Continued

Population	Mean temp. (°C, Nov.~Feb.)	Extremely low temp. (°C, Nov.~Feb.)	Extremely high temp. (°C, Nov.~Feb.)	Extremely high temp. (°C, July~Aug.)	Extremely low temp. (°C, Dec.~Feb.)
Provenance					
Yangpyung (YP)	-0.3	-5.5	4.7	36.7	-22.6
Kwangju (KJ)	-1.3	-6.1	3.5	34.8	-23.0
Youngwol (YW)	0.0	-4.9	5.2	36.0	-21.2
Bongwha (BW)	0.1	-4.3	5.2	34.3	-19.6
Goesan (GS)	0.5	-4.4	5.7	36.3	-20.4
Munhyung (MK)	-1.3	-6.4	4.5	35.3	-23.1
Boeun (BE)	-1.0	-6.0	4.5	35.2	-22.6
Cheongsong (CS)	2.0	-2.1	6.9	34.8	-16.2
Gongju (GJ)	0.9	-3.8	5.8	35.9	-19.4
Youngcheon (YC)	2.5	-1.8	7.4	35.9	-16.1
Daegu (DG)	0.0	-4.5	5.6	34.1	-19.5
Hapcheon (HC)	-1.1	-5.8	4.7	33.7	-21.4
Gochang (GC)	4.1	-0.1	8.2	36.4	-13.5
Jungeup (JE)	2.4	-1.9	6.9	35.4	-16.0
Youngkwang (YK)	3.5	-0.7	7.6	35.7	-14.2
Gangseo (GSE)	5.8	2.1	10.2	36.4	-9.9
Test site					
Gangneung (GN)	-2.3	-6.8	2.8	32.8	-23.4
Hwaseong (HS)	1.3	-3.4	5.3	36.2	-19.3
Yimsil (YS)	0.9	-3.6	5.9	34.9	-18.5
Jinju (JJ)	4.8	0.8	9.3	36.1	-11.8

Table 1. Continued

Population	Mean humidity (%, Mar.~Oct.)	Mean humidity (%, Mar.~May)	Mean humidity (%, June~Oct.)	Annual mean growing days
Provenance				
Yangpyung (YP)	72.9	64.5	77.0	223.1
Kwangju (KJ)	76.7	69.6	80.4	221.1
Youngwol (YW)	73.4	64.9	77.9	227.7
Bongwha (BW)	76.1	68.8	80.6	235.6
Goesan (GS)	73.4	65.8	77.5	236.0
Munhyung (MK)	73.8	65.4	78.5	224.6
Boeun (BE)	74.7	67.1	79.0	228.3
Cheongsong (CS)	75.3	68.1	79.9	249.6
Gongju (GJ)	74.6	67.9	78.4	241.9
Youngcheon (YC)	73.7	66.5	78.2	252.8
Daegu (DG)	76.1	69.1	80.6	242.2
Hapcheon (HC)	76.6	69.6	81.1	235.9
Gochang (GC)	75.5	70.9	78.5	270.6
Jungeup (JE)	76.5	71.6	79.8	260.6
Youngkwang (YK)	76.8	72.5	79.7	268.3
Gangseo (GSE)	73.8	68.1	77.9	282.5
Test site				
Gangneung (GN)	78.5	70.8	82.9	214.2
Hwaseong (HS)	75.5	69.2	78.7	237.6
Yimsil (YS)	76.2	70.1	80.0	247.7
Jinju (JJ)	74.2	68.3	78.2	275.5

distance)를 구해 공준상관분석(canonical correlation analysis)을 실시했다. 공준상관분석에서는 개엽 개시일과 개엽 완료일을 종속변수로, 19개 지리 및 기후인자를 독립변수로 하였다. 생태적 거리는 산지 이동에 따른 환경의 변화, 즉, 조림지와 산지 간의 주요한 생태적 모수들의 차이를 의미하는데(Csaba, 1995), 본 연구에서는 각 기후인자 별로 조림지 수치에서 산지의 수치를 뺀 값을 생태적 거리로 하였다(Rehfeldt *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2012). 이러한 자료를 이용하여 조림지와 산지의 기후인자가 개엽 시기에 미치는 영향을 분석하였으며, 기후 변화 적응성 및 종자배포 구역 설정과 관련하여 결과의 활용방안에 대해 고찰하였다.

III. 결 과

3.1. 조림지 및 산지별 개엽 시기

개엽 시기 조사자료를 이용하여 분산분석을 실시한 결과, 조림지와 산지 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 조림지와 산지 간 상호작용 효과도 존재하는 것으로 나타났다. 그러나, 산지 내 개체 간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 2). 각 성분

Table 2. ANOVA for bud-flush timing of *Zelkova serrata* provenances in different test sites

Source of variance	Mean square	
	Starting date of bud burst	Finishing date of leaf expansion
Among sites	10.2 ^{***z}	10.2 ^{**}
Among provenances	0.0007 ^{**}	0.0014 ^{**}
Provenance*Site	0.0006 ^{**}	0.0006 ^{**}
Among individuals within provenance	0.00008	0.0001

^{***}Means significant at the 0.01% level.

별로 보면 조림지에 따른 차이가 가장 컸으며, 산지 간 그리고 조림지와 산지 간 상호작용은 상대적으로 차이가 작은 편이었다.

조림지 별로 개엽 개시일을 보면, 강릉 조림지가 5월 4일~5월 11일, 화성 조림지가 4월 15일~4월 24일, 임실 조림지가 4월 12일~4월 20일, 진주 조림지가 4월 10일~4월 18일로 나타나 진주, 임실, 화성, 강릉 조림지 순으로 개엽 개시일이 빠른 것으로 나타났다. 개엽 완료일은, 강릉 조림지가 5월 12일~5월 19일, 화성 조림지가 4월 21일~5월 1일, 임실 조림지가 4월 20일~4월 27일, 진주 조림지가 4월 18일~4월 25일로 나타나 개엽 개시일과

Table 3. Bud-flush timing of *Zelkova serrata* provenances at different test sites

Site	Gangneung		Yimsil		Hwaseong		Jinju	
	Starting date of bud burst	Finishing date of leaf expansion	Starting date of bud burst	Finishing date of leaf expansion	Starting date of bud burst	Finishing date of leaf expansion	Starting date of bud burst	Finishing date of leaf expansion
YP ^z	5.08~10	5.14~16	4.12~14	4.20~21	4.15~16	4.21~22	4.11	4.18
KJ	5.06~09	5.12~15	4.13~15	4.21~22	4.17~18	4.24~25	4.11	4.18~20
YW	5.08~11	5.14~16	4.13~14	4.20~21	4.19~20	4.25~26	4.11	4.18~19
BW	5.06~09	5.13~16	4.12~13	4.20	4.18~19	4.24~25	4.11	4.18~19
GS	5.08~09	5.16~18	4.13~14	4.20~22	4.18~19	4.25~26	4.11~13	4.18~20
MK	5.06~11	5.13~19	4.16~18	4.23~27	4.20~21	4.26~27	4.11~12	4.18~19
BE	5.09	5.16	4.15~16	4.22~23	4.21~22	4.27~28	4.11	4.18~20
CS	5.07~08	5.15~16	4.16~18	4.23~25	4.19~20	4.26~27	4.11~18	4.18~25
GJ	5.06~08	5.12~15	4.15~16	4.23~24	4.21~22	4.28~29	4.11~13	4.18~20
YC	5.07~10	5.14~19	4.16~18	4.23~25	4.20~21	4.28~30	4.11~13	4.18~20
DG	5.06~10	5.14~18	4.16~18	4.25	4.20~21	4.28~30	4.11	4.19~20
HC	5.07~08	5.14~15	4.18~20	4.25~27	4.19~20	4.26~28	4.11	4.18~19
GC	5.06~07	5.14~17	4.17~20	4.24~26	4.20~22	4.29~30	4.11~13	4.18~19
JE	5.05~07	5.15~17	4.17~18	4.24~25	4.20~21	4.29~30	4.11~14	4.18~20
YK	5.04~07	5.12~14	4.17~19	4.25~26	4.19~20	4.26~28	4.10~11	4.17~18
GSE	5.05~09	5.13~15	4.17~19	4.24~25	4.22~24	4.30~5.1	4.11~14	4.18~19

^zThe abbreviation of test sites and provenances are referred to Table 1.

비슷한 조림지 간 경향을 보였다(Table 3). 개엽 개시일과 개엽 완료일 간의 평균 소요기간은 7~8일 정도로 조림지 간 또는 조림지 내 산지 간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타나 이후 분석에서는 제외하였다.

수목의 개엽 시기는 조림지의 기온과 밀접한 관련이 있으며 일평균 기온이 5°C 이상인 날짜의 적산온도가 중요한 것으로 알려져 있다(Bailey and Harrington, 2006; Harrington *et al.*, 2010). 조림지와 인접한 기상관측소의 자료를 이용하여 생육기의 일평균 기온이 5°C 이상인 날짜가 연속해서 나타난 시점부터 최초 개엽 개시일까지의 평균 적산온도를 구한 결과, 강릉 조림지는 218.8°C, 임실 조림지는 225.1°C, 화성 조림지는 239.8°C, 진주 조림지는 241.0°C로 나타났다. 이러한 결과를 통해 생육기에 5°C 이상인 날짜가 연속해서 나타나는 때로부터 느티나무의 개엽 개시가 이루어지는데 필요한 적산온도는 218.8~241.0°C 범위인 것으로 추정되었다.

각 조림지 별 산지의 개엽 개시일을 살펴보면, 강릉 조림지에서는 영광과 강서 산지가 각각 5월4일과 5월5일로 가장 빨랐으며, 보은 산지가 5월9일로 가장 늦은 편이었다. 임실 조림지에서는 양평과 봉화 산지가 4월12일로 가장 빨랐으며, 홍천 산지가 4월18일로 가장 늦었다. 화성 조림지에서는 양평 산지가 4월15일로 가장 빨랐던 반면 강서 산지가 4월22일로 가장 늦었다. 진주 조림지에서는 영광 산지가 4월10일로 가장 빨랐지만, 대부분의 산지가 4월11일 경 개엽이 시작되는 것으로 나타나 산지 간 차이가 다른 조림지만큼 크지 않았다. 조림지 별 산지의 개엽 완료일은 개엽 개시일과 유사한 양상이었다.

느티나무의 개엽에 영향을 미치는 조림지의 기후인자를 구명하기 위해 상관분석을 실시하였다(Table 4). 먼저 조림지의 지리적 인자와의 관계를 보면, 개엽 개시일과 개엽 완료일 모두 조림지의 위도, 경도, 해발고와 유의한 정의 상관을 나타내 남쪽 또는 서쪽의 해발이 낮은 조림지에서 개엽이 빨리 시작되고, 완료되는 경향임을 알 수 있다.

조림지 기후인자 중 기온 관련 인자들은 개엽 개시일 및 개엽 완료일과 유의한 부의 상관을, 그리고 습도 관련 인자들은 유의한 정의 상관을 나타냈다. 좀더 세부적으로 살펴보면, 기온 관련 인자 중 설명력이 높은 것은 생육기 최고 기온($r = -0.979$)과 생육기 평균 기온($r = -0.939$)이었으며, 습도 관련 인자 중 설명

Table 4. Simple correlation among climate factors of test site and bud-flush in *Zelkova serrata*

Climate factors of test site	Bud flush	
	Starting date of bud burst	Finishing date of leaf expansion
Latitude	0.724**z	0.723**
Longitude	0.682**	0.683**
Altitude	0.883**	0.884**
Distance from coastal line	-0.027	-0.025
Annual mean Temp.	-0.893**	-0.893**
Extremely low temp. (annual)	-0.869**	-0.867**
Extremely high temp. (annual)	-0.932**	-0.932**
Mean temp. (Mar.~Oct.)	-0.939**	-0.939**
Extremely low temp. (Mar.~Oct.)	-0.903**	-0.903**
Extremely high temp. (Mar.~Oct.)	-0.979**	-0.979**
Mean temp. (Nov.~Feb.)	-0.833**	-0.832**
Extremely low temp. (Nov.~Feb.)	-0.795**	-0.795**
Extremely high temp. (Nov.~Feb.)	-0.798**	-0.797**
Extremely high temp. (July~Aug.)	-0.926**	-0.926**
Extremely low temp. (Dec.~Feb.)	-0.758**	-0.758**
Mean humidity (Mar.~Oct.)	0.906**	0.905**
Mean humidity (Mar.~May)	0.761**	0.761**
Mean humidity (June~Oct.)	0.937**	0.938**
Annual mean growing days	-0.816**	-0.816**

**Means significant at the 0.01% level.

력이 높은 것은 6~10월 평균습도($r = 0.937$)와 3~10월 평균습도($r = 0.906$)였다. 이러한 점을 볼 때, 느티나무의 개엽에 영향을 미치는 주요 인자는 생육기 특히, 느티나무의 개엽이 시작되는 3~5월의 평균기온과 습도인 것으로 보이며, 생육기의 평균 기온이 높고, 습도가 낮은 조림지에서 개엽이 빨리 이루어지는 경향임을 알 수 있다. 실제 개엽이 가장 빠른 진주 조림지(연평균 기온 13.7°C, 6~10월 평균습도 78.2%)와 개엽이 가장 늦은 강릉 조림지(연평균 기온 8.2°C, 6~10월 평균습도 82.9%)에서 공히 개엽이 가장 빨랐던 영광 산지의 최초 개엽 개시일을 비교해 보면, 진주 조림지(4월17일)와 강릉 조림지(5월4일)간에 약 17일 정도의 차이가 나타나고 있다. 일반적으로 생장 개시 및 개엽은 봄철 기온에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있으며(Chumura and Rozkowski, 2002; Wesolowski and Rowiński, 2006; Harrington *et al.*, 2010), 본 조사에서도 3월~10월의 최고기온($r = -0.979$)이 가장

Table 5. 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(%)	Numerator DF	Denominator DF	F value	P value*
1st	0.895	97.3	12	489.76	37.52	<0.0001
2nd	0.315	2.7	6	372.00	3.39	0.0029

*Likelihood ratio test with F approximation.

Table 6. 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	0.673	0.449	0.603	0.141
Longitude	0.541	0.326	0.484	0.103
Altitude	0.810	0.051	0.725	0.016
Distance from coastal line	-0.004	0.704	-0.004	0.222
Mean temp. (annual)	-0.842	-0.244	-0.754	-0.077
Extremely low temp. (annual)	-0.775	-0.317	-0.694	-0.100
Extremely high temp. (annual)	-0.931	-0.087	-0.833	-0.028
Mean temp. (Mar.~Oct.)	-0.915	-0.125	-0.819	-0.039
Extremely low temp. (Mar.~Oct.)	-0.830	-0.244	-0.743	-0.077
Extremely high temp. (Mar.~Oct.)	-0.974	0.133	-0.872	0.042
Mean temp. (Nov.~Feb.)	-0.726	-0.365	-0.650	-0.115
Extremely low temp. (Nov.~Feb.)	-0.672	-0.406	-0.602	-0.128
Extremely high temp. (Nov.~Feb.)	-0.735	-0.302	-0.658	-0.095
Extremely high temp. (July~Aug.)	-0.876	0.118	-0.784	0.037
Extremely low temp. (Dec.~Feb.)	-0.637	-0.441	-0.570	-0.139
Mean humidity (Mar.~Oct.)	0.767	-0.529	0.686	-0.167
Mean humidity (Mar.~May)	0.307	-0.917	0.275	-0.289
Mean humidity (June~Oct.)	0.871	-0.314	0.779	-0.099
Annual mean growing days	-0.715	-0.464	-0.640	-0.146
Total redundancy	56.3	16.3	45.1	1.6

Original bud flush variables	Bud flush variables (Canonical loadings)		Environmental canonical variables of provenances (Canonical cross-loadings)	
	W1	W2	V1	V2
Strating date of bud burst	0.999	-0.019	0.894	-0.006
Finishing date of leaf expansion	0.999	0.006	0.895	0.002
Total redundancy	66.7	31.9	53.4	3.2

큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 4). 그러나, 습도의 경우는 기온 만큼 개엽시기에 미치는 영향이 크지 않은 편이며, 습도가 낮으면 개엽 시기가 늦어진다는 보고가 있어(Sjöskog, 2011; Matteo *et al.*, 2012) 본 연구결과와 다소 배치되는 면이 있다. 따라서, 보다 정확한 결론을 내리기 위해서는 습도 조건에 따른

개엽 시기 변화양상 조사 등 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

3.2. 개엽 시기와 기후인자와의 관계

조림지와 산지 간 기후인자의 차이가 개엽 시기에 미치는 영향을 파악하고자 각 기후인자의 생태적 거리

(=조림지-산지)를 구하여 공준상관 분석을 실시한 결과, 선형결합에 의한 공준함수는 2개가 구해졌다(Table 5). 첫 번째와 두 번째 공준함수의 상관계수는 각각 0.895와 0.315였으며 각 변수의 결합으로 설명되는 분산의 양은 각각 80.2%와 9.9%로 나타났다. 첫 번째 공준함수는 전체 공준변이 중 97.3%를 설명할 수 있으며 두 번째 공준함수는 나머지 2.7%를 설명하는 것으로 나타났다. 두 개의 공준함수 모두 통계적으로 유의했지만 대부분의 공준변이를 첫 번째 공준함수로 설명력이 가능한 것으로 나타났기 때문에 이후 결과 해석에서는 첫 번째 공준함수만을 고려하였다.

19개 독립변수의 생태적 거리 값에서 유도된 첫 번째 공준함수 V1을 보면, 자신들의 공준결합에 의해 설명되는 부분은 56.3%이며, 3~10월 최고기온, 연평균 최고기온, 3~10월 평균기온, 7~10월 최고기온, 7~10월 평균습도가 기여도가 높은 것으로 나타났다. 첫 번째 공준함수 V1과 개엽 개시일 및 개엽 완료일의 상관계수는 0.894와 0.895로 개엽 개시일의 분산 중 79.7%, 개엽 완료일의 분산 중 80.1%가 V1에 의해서 설명됨을 알 수 있다. 종속변수에 의해 유도된 첫 번째 공준함수 W1을 보면 자신들의 공준결합에 의해 설명되는 부분이 66.7%이며, 개엽 개시일과 개엽 완료일의 상관계수가 공히 0.999로 나타나 설명력이 매우 높음을 알 수 있다. W1 함수에서 설명력이 높은 변수는 V1의 경우와 마찬가지로 3~10월 최고기온, 연평균 최고기온, 3~10월 평균기온 등이다(Table 6).

이상의 결과를 보면, V1과 W1 함수는 자신들의 공준결합 및 상대변수 집합에 대한 교차적재값이 모두 높은 편이며, V1과 W1 함수에 대한 기여도가 높은 변수들이 대부분 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 결론적으로 조림지와 산지 간 생육기 최고기온, 연평균 최고기온, 생육기 평균기온, 여름철 최고기온, 여름철 평균습도의 차이가 조림지에서 느티나무 산지의 개엽 개시일 및 개엽 완료일을 결정짓는 주요 인자인 것으로 보인다. 그러나, 연평균 최저기온, 3~10월 평균습도, 11~2월 최고기온, 11~2월 평균기온과 같은 변수들도 V1 함수의 경우 52.7~60.0%, W1 함수의 경우 42.3~48.2%의 설명력을 가지고 있기 때문에 여름철 기온 및 평균습도보다 상대적 기여도는 낮지만 느티나무의 산지 별 개엽 시기에 어느 정도는 영향을 미치고 있다고 판단된다(Table 6).

한편 소나무를 대상으로 이루어진 연구결과를 보면,

조림지와 산지 간의 12~2월 최저기온과 11~2월 최고기온 차이가 조림지에서 산지의 생장개시기와 개엽 시기를 결정짓는 주요 인자로 나타났으며, 3~10월 평균기온과 3~10월 평균 습도는 상대적으로 설명력이 낮은 편으로 보고되었다(Kim *et al.*, 2012). 그러나, 느티나무에서는 겨울철 기온도 일부 영향을 미치지만 오히려 생육기인 3~10월의 평균기온 및 습도가 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 두 수종 간의 생장특성 차이 때문으로 생각되는데, 소나무는 상록 침엽수로 겨울철에도 생리적 활동을 지속하는 반면, 느티나무는 낙엽 활엽수로 겨울철에 생리적 휴면 상태에 있기 때문에 기후인자에 대한 개엽 형질의 반응성에 차이가 나타난 것으로 추정된다.

IV. 고찰 및 결론

본 연구결과에 의하면 느티나무의 경우 조림지 보다 생육기 기온이 낮은 곳에서 온 산지들의 개엽이 빠른 경향이였다. 이러한 경향은 산지시험 연구에서 흔히 관찰되고 있는 북-남 또는 저온-고온 경사에 따른 전형적인 지리적 변이 경향에 해당한다(Wright, 1976, Beuker, 1994, Kim *et al.*, 2012). 비록 느티나무의 자생지가 크게 소실되었고, 과거 인위적 식재를 통해 노거수 형태로 분포하는 경우가 많지만(Kang *et al.*, 1999), 본 연구결과로 추론해 볼 때 인위적 식재가 이루어졌다 하더라도 지역적 분포 범위를 벗어날 정도의 장거리 산지이동(유전적 교란)이 일어난 것은 아니며 종자산지 별로 상이한 적응관련 유전형질을 보유하고 있는 것으로 판단된다. 따라서, 앞으로 느티나무를 용재자원으로 육성하기 위해서는 현존 집단들이 보유하고 있는 생장특성 및 변이를 구명하기 위한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

봄철에 생장개시 및 개엽이 빨리 이루어지는 경우 단상의 피해를 당해 수고나 직경생장이 감소하고 수형이 불량해 지는 결과를 초래할 수 있는데(Chumura and Rozkowski, 2002), 느티나무는 정아가 피해를 받으면 인위적인 가지치기를 해주지 않는 이상 다간이 형성되는 특성이 있기 때문에 동아 형성 및 개엽 형질은 적응성 뿐 아니라 경제적 측면에서도 중요하게 다루어져야 할 것으로 생각된다. 그리고, 개엽 개시일과 개엽 완료일 간의 소요기간은 조림지나 산지에 따라 큰 차이가 없을 뿐 아니라 두 항목 간에는 매우

높은 정의 상관성($r=0.999$)이 있기 때문에, 추후 유사 연구에서는 개엽 개시일 항목만 조사하여도 큰 무리가 없을 것으로 생각된다.

소나무와 같은 침엽수의 경우, 수목의 생장개시와 개엽을 촉진하는데 있어 봄철 기온 뿐 아니라 겨울철 저온과정이 중요한 요인으로 거론되고 있는데 (Harrington *et al.*, 2010), 느티나무에서는 봄철 생육기의 기온이 더 크게 영향을 미치는 것으로 나타나 느티나무의 조림적지 선정 등에 있어서 중요한 단서로 활용될 수 있을 것으로 보인다. 느티나무에서는 조림지 보다 생육기의 기온이 낮은 곳에서 온 산지가 봄철의 개엽이 빠른 경향이 있기 때문에 조림지 보다 생육기 기온이 낮은 곳에서 온 산지가 봄철 만상의 피해를 당할 가능성이 더 높다고 생각된다. 따라서, 향후 조림지에 적합한 종자산지 선정 시 생장이 우수한 산지를 선택해야 하는 것은 당연하지만, 예년의 만상 발생 시기를 감안하여 그 시기보다 개엽 시기가 늦은 종자산지를 이용하는 방안도 함께 고려해야 할 것으로 생각된다.

산지시험을 통해 해당 수종의 집단 또는 종자산지가 가지고 있는 유전변이의 파악이 가능하고 그 자료를 임목육종 계획 수립에 활용하게 되는데(Wright, 1976), 본 논문과 같은 개엽 시기에 대한 지리적 변이 연구는 그 시발점이라고 볼 수 있다. 앞으로 산지별 개엽 시기의 차이가 생장량과 어떤 연관성이 있는지 그리고 각 종자산지들이 다년간에 걸쳐 조림지 기후조건에 어떻게 적응하고 생장해 나가는지 파악하는 것이 향후 과제라고 할 수 있다. 이를 위해서 본 조사를 포함한 느티나무 산지시험립 전체를 대상으로 지속적인 생장특성의 조사 및 모니터링이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 느티나무 산지의 개엽 시기에 영향을 미치는 기후인자를 구명하기 위해 수행되었다. 이를 위해 2009년 국립산림과학원에서 조성한 강릉, 임실, 화성, 진주의 4개 산지시험립을 대상으로 개엽 시기를 조사하였다. 개엽시기 조사는 4-5월에 걸쳐 이루어졌으며 휴면 중이던 동아가 부풀어 오르면서 초록색이 처음 보이는 때를 개엽 개시일로 하였으며, 동아에서 잎이 나와 완전히 신장하여 퍼진 시점을 개엽 완료일

로 하였다. 분산분석을 실시한 결과, 개엽 개시일과 개엽 완료일 모두 조림지 간, 산지 간 그리고 조림지와 산지 간 상호작용에서 통계적으로 유의한 차이가 인정되었다. 개엽 시기에 영향을 미치는 조림지의 기후인자를 구명하기 위해 상관분석을 실시한 결과, 3~10월의 평균기온 또는 최고기온이 높고, 3~10월 또는 6~10월의 평균습도가 낮은 조림지에서 개엽이 빨리 이루어지는 것으로 나타났다. 조림지와 산지 간 기후인자의 차이가 개엽 시기에 미치는 영향을 구명하고자 기후인자에 대한 생태적 거리(=조림지-산지)를 구하여 공준상관 분석을 실시한 결과, 3~10월 최고기온, 연평균 최고기온, 3~10월 평균기온, 7~8월 최고기온, 6~10월 평균습도의 차이가 주요 인자로 나타났다. 결론적으로 느티나무는 조림지 보다 생육기의 평균 기온이 낮은 곳에서 온 산지가 개엽이 빨리 시작되는 경향으로 전형적인 북-남 또는 저온-고온 경사변이를 나타내 느티나무 산지에 따른 지리적 변이가 존재함을 확인할 수 있었다. 마지막으로 이러한 연구결과를 느티나무 육종에 활용하기 위한 방안에 대해 고찰하였다.

REFERENCES

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**(4), 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.

Bradley, N. L., A. C. Leopold, J. Ross, and W. Huffaker, 1999: Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America* **96**(17), 9701-9704. doi:10.1073/pnas.96.17.9701

Campbell, R. K., and F. C. Sorensen, 1978: Effect of test environment on expression of clines and on delimitation of seed zones in Douglas-fir. *Theoretical and Applied Genetics* **51**, 233-246.

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 Inc., New York, 173-205.

Carter, K. K., 1996: Provenance tests as indicators of growth response to climate change in 10 north temperate tree species. *Canadian Journal of Forest Research* **26**, 1089-1095.

- Chumura, D. J., and R. Rozkowski, 2002: Variability of beech provenances in spring and autumn phenology. *Silvae Genetica* **51**, 123-127.
- Csaba, M., 1995: Modeling effects of climate change with provenance test data by applying ecological distances. *Proceeding of Caring for the Forest: Research in a Changing World: IUFRO XX World Congress 6-12 August 1995*, Tampere, Finland. Finnish IUFRO World Congress Organising Committee, 145pp.
- Hännertz, M., 1999: Evaluation of temperature models for predicting bud burst in Norway spruce. *Canadian Journal of Forest Research* **29**(1), 9-19.
- Harrington, C. A., P. J. Gould, and J. B. St. Clair, 2010: Modeling the effect of winter environment on dormancy release of Douglas-fir. *Forest Ecology and Management* **259**(4), 798-808.
- Kadomatsu, M., 1997: Differences in phenology of *Quercus* collected from northeastern China, eastern Hokkaido and western Honshu. *Research Bulletin of Hokkaido University Forests* **54**(2), 188-201.
- Kang, K. H., Y. J. Chong, and H. N. Kim, 1999: The genetic relationship of *Zelkova serrata* registered as the monument using RAPD markers. *Korean Journal of Environmental Biology* **17**(1), 89-94. (in Korean with English abstract)
- Kim, I. S., K. O. Ryu, T. S. Kim, and J. K. Park, 2005: Climatic factors affecting bud flushing of *Quercus acutissima* Car. provenances in Korea. *Proceeding of the International Symposium on Plant Genetic Resources and Annual Meeting of the Korean Breeding Society and the Korean Academy of Native Species "Understanding of ITPGRFA Trends of Researches on Plant Genetic Resources"*, Jeju, Korea. 150pp.
- Kim, I. S., H. Y. Kwon, K. O. Ryu, and H. S. Choi, 2010: Variation of leaf morphology among 18 populations of *Zelkova serrata* Mak. *Korean Journal of Breeding Science* **42**(1) 40-49. (in Korean with English abstract)
- Kim, I. S., K. O. Ryu, and J. H. Lee, 2012: Climatic factors affecting bud flush timing of *Pinus densiflora* provenances. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 229-235. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Research Institute, 2007: *100 Useful Tree Species in Korea*. New Research Book No. 21. Korea Forest Research Institute. 40-43.
- Leinonen, I., and H. Hänninen, 2002: Adaptation of the timing bud burst of Norway spruce to temperate and boreal climates. *Silva Fennica* **36**(3), 695-701.
- Leites, L. P., G. E. Rehfeldt, A. P. Robinson, N. L. Crookston, and B. Jaquish, 2012: Possibilities and limitations of using historic provenance tests to infer forest species growth responses to climate change. *Natural Resource Modeling* **25**(3), 409-433. doi: 10.1111/j.1939-7445.2012.00129.x
- Matteo, G., M. Riccardi, F. Righi, and E. Fusaro, 2012: Inter- and intraspecific variations in bud phenology, foliar morphology, seasonal stomatal conductance and carbon isotopic composition in *Cedrus libani* and *C. atlantica*. *Trees* **26**, 1161-1167. doi: 10.1007/s00468-012-0692-9
- Mátyás, C., 1996: Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests. *Euphytica* **92**, 45-54.
- Muona, O., 1990: Population genetics in forest tree improvement. *Plant population genetics, breeding, and genetic resources*. Brown, A. H. D., M. T. Clegg, A. L. Kahler and B. S. Weir (eds). Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts, 282-298.
- 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. (in Korean with English abstract)
- Park, H. S., 1998: A study on the development of new cultivar showing either yellow or red leaf fall color in *Zelkova serrata* Makino. The Ph.D. Thesis, Sungkyunkwan University, 87pp. (in Korean with English abstract)
- Raymond, C. A., and D. Lindgren. 1990: Genetic flexibility—a model for determining the range of suitable environments for a seed source. *Silvae Genetica* **39**, 112-120.
- Rehfeldt, G. E., 1989: Ecological adaptations in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*): a synthesis. *Forest Ecology and Management* **28**(3-4), 203-215.
- 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**(11), 1660-1668.
- Sakai, A., and W. Larcher, 1987: *Frost Survival of Plants: responses and adaptation to freezing stress*. Springer-Verlag, Berlin. 321pp.
- Sjöskog, M. S., 2011: Local variation in mountain birch spring phenology along an altitudinal gradient in northern coastal Fennoscandia. Master's thesis, University of Tromsø, Norway, 30pp.
- Sparks, T. H., and A. Menzel, 2002: Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology* **22**, 1715-1725. doi: 10.1002/joc.821
- Wesolowski, T. and P. Rowiński, 2006: Timing of bud burst and tree-leaf development in a multispecies temperate forest. *Forest Ecology and Management* **237**(1-3), 387-393.
- Wright, J. W., 1976: *Introduction to Forest Genetics*. Academic Press, Inc. London, 463pp.