

느티나무 종자특성의 지리적 변이와 1년생 유묘의 생장

김인식* · 이주환

국립산림과학원 산림유전자원부

(2013년 10월 7일 접수; 2013년 12월 4일 수정; 2013년 12월 9일 수락)

Geographic Variation of Seed Characteristics and 1-year-old Seedling Growth of *Zelkova serrata*

In Sik Kim* and Joo Hwan Lee

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

(Received October 7, 2013; Revised December 4, 2013; Accepted December 9, 2013)

ABSTRACT

This study was conducted to determine the factors affecting to seed characteristics and seedling growth of *Zelkova serrata*. The seeds were collected from sixteen populations of *Z. serrata* and the seed characteristics (i.e., seed length, width, weight and full seed rate) were measured. We also measured the 1-year-old seedling growth of each population at nursery. All seed characteristics showed significant differences in population level. Seed length and seed width were positively correlated with latitude, longitude, altitude and distance from coast line of sampling site. Seed length and seed width also negatively correlated with annual mean temperature, mean temperature of growing season (Mar.~Oct.). The ratio of seed length/seed width showed inverse trend in case of seed length and seed width. Seed weight/1,000 grains had no correlation with geographic factors but showed negative correlation with annual mean dryness index. Seed weight/L showed negative correlation with latitude and longitude and positive correlation with mean temperature of growing season of sampling site. Full seed rate showed negative correlation with latitude, longitude and annual mean dryness index of sampling site. There were significant differences among populations, among family within population and among individuals within family in seedling growth. Height and diameter of root collar of seedling showed negative correlation with longitude and mean humidity of growing season of sampling site. Height growth of seedlings was not correlated with any seed characteristics but, diameter at root collar showed low negative correlation with seed weight/1,000 grains and seed weight/L. We discussed the implications of the results in view of tree improvement of *Z. serrata*.

Key words: Seed characteristics, Seedling growth, Geographic variation, Climate impacts

I. 서 론

느티나무(*Zelkova serrata*)는 평안남도 이하 우리나라 전역 및 일본, 대만, 중국 등지에 자생하는 활엽교목으로 수고 25~30m, 흉고직경 2~3m까지 자란다.

느티나무의 목재는 재질이 뛰어난 뿐 아니라 재색과 목리가 아름다워 예로부터 건축재, 가구재, 기구재, 조각재, 약기재 등으로 다양하게 활용되어 왔다(Korea Forest Research Institute, 2007). 느티나무는 고려시대에 건축된 목조문화재 기둥부재의 55%를 차지할 정



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

도로 널리 사용되었으나 조선시대에 접어들면서 그 비율이 21%로 감소한 것으로 보고되었다(Korea Forest Research Institute, 2005). 최근에는 그 자원이 크게 감소하여 천연림 형태를 나타내는 느티나무 노령 임분을 찾아보기 어려운 실정이다(Kim *et al.*, 2010; Lim, 2010). 이처럼 자원이 한정되어 있다는 점은 느티나무를 육종재료로 이용하는데 있어 불리한 여건이지만 느티나무 목재의 우수성과 경제적 가치 등을 고려해서 최근 느티나무를 용재수로 육성하기 위한 연구가 진행되고 있다(Kim *et al.*, 2010).

임목육종 계획을 수립하기 위해서는 대상 수종의 유전자원 분포에 대한 정보는 물론 종자산지에 따른 지리적 또는 유전적 변이에 대한 정보 획득이 필수적이다(Muona, 1990). 종자 산지에 대한 정보가 없는 상태에서 수형목(plus tree) 선발이 이루어질 경우, 조림지의 환경에 대한 적응성이 낮은 개체들이 포함될 여지가 많다(Wright, 1976). 또한 유전자형과 환경의 상호작용 효과(genotype by environment interaction)가 존재하는지 여부는 다양한 환경조건에서의 성장특성 평가를 통해서만 검증이 가능하기 때문에 육종계획을 수립하기 위해서는 산지시험을 통한 종자산지에 대한 유전적, 지리적 정보의 축적이 필수적이다(Chahal and Gosal, 2002).

지금까지 느티나무에 대한 연구는 조경수 개발에 초점을 맞추어 진행되어 온 관계로 변이체를 선발하기 위한 연구(Park, 1998; Shim *et al.*, 1999), 증식을 위한 연구(Park, 1987; Kim and Kwon, 1990) 그리고, 조경수 크기 예측 및 수분관계 연구 등(Kim *et al.*, 1988; Park, 2006)이 주로 이루어졌다. 일부 느티나무 천연기념물의 유연관계 연구(Kang *et al.*, 1999)와 DNA 분자표지자 개발 연구(Choi and Bang, 2004)가 수행된 바 있지만, 느티나무 유전자원에 대한 전반적인 평가 및 종자산지에 따른 유전적 또는 지리적 변이에 대한 연구는 미흡한 편이다.

외국에서도 느티나무는 조경수 품종 개발을 목적으로 많은 연구가 이루어졌는데, 미국에서는 수형이 꽃병 모양인 ‘Green Vase’, ‘Halka’, ‘Village Green’ 품종이 육성되었으며 일본에서는 직립형 품종인 ‘무시시노 1호’와 ‘무시시노 2호’가 개발된 바 있다(Park, 1998). 국내 연구와 다소 차이가 있는 점은 국내 연구는 변이체의 수집과 무성증식에 초점을 맞추어 진행된 반면 외국에서는 전통적인 육종방법론에 입각한 유

전자원에 대한 특성 평가 및 선발육종 과정을 통해 품종을 육성했다는 점이다. 국내의 접근방법은 단기간에 성과를 낼 수 있는 장점이 있지만 외국과 달리 육종집단의 크기가 한정될 수밖에 없어 느티나무 집단들이 가지고 있는 다양한 변이를 활용하기 어려운 측면이 있다. 최근 느티나무를 용재수로 육성하기 위한 연구의 일환으로 국내 느티나무 집단의 엽형 변이에 대한 연구가 수행된 바 있지만(Kim *et al.*, 2010), 국내 느티나무 유전자원에 대한 유전적, 지리적 변이의 정도와 이에 영향을 미치는 요인을 구명하기 위해서는 아직도 많은 연구가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 느티나무 집단의 종자특성 변이에 영향을 미치는 요인과 종자특성이 유묘생장에 미치는 영향을 분석함으로써 느티나무의 산지시험 및 선발육종에 필요한 종자산지의 지리적 및 유전적 변이 양상을 구명하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구를 위해 느티나무가 임분 형태로 나타나거나 비교적 대규모로 식재되어 있는 것으로 알려진 16개 집단을 선정하였다(Fig. 1). 이들 집단은 위도 35°03'~

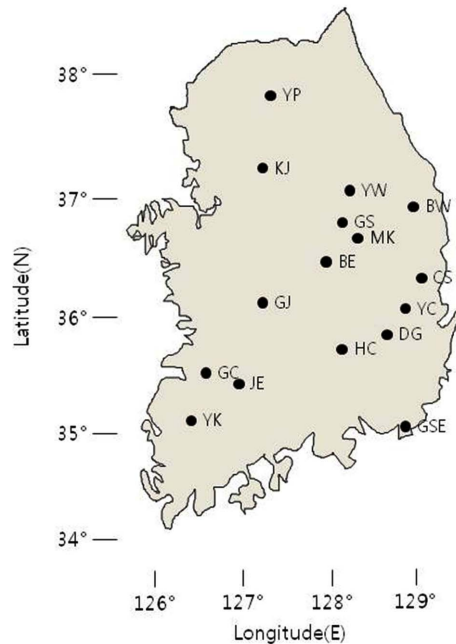


Fig. 1. Location of *Zelkova serrata* populations sampled. Abbreviation of population names are referred to Table 1.

Table 1. General descriptions of *Z. serrata* populations sampled

Population	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Mean annual temp. (°C)	Mean annual rainfall (mm)	Growth of sampling tree	
						Height (m)	Diameter at breast height (cm)
Yangpyung (YP)	37° 32'	127° 40'	105	10.8	1300.7	15.8 (10.8~22.4) ^z	93.3 (71.0~140.0)
Kwangju (KJ)	37° 28'	127° 11'	350	9.6	1256.4	19.7 (9.8~25.5)	91.8 (20.0~228.0)
Youngwol (YW)	37° 11'	128° 27'	201	10.1	1295.0	20.1 (12.1~25.0)	100.0 (60.0~150.0)
Bongwha (BW)	36° 54'	128° 58'	420	10.0	1178.7	21.0 (16.5~25.4)	49.5 (40.0~59.0)
Goesan (GS)	36° 47'	127° 45'	152	11.2	1187.7	19.8 (11.5~26.4)	62.9 (37.7~94.0)
Munkyeong (MK)	36° 44'	128° 13'	381	11.9	1205.4	16.6 (8.5~25.4)	46.9 (26.0~67.0)
Boeun (BE)	36° 32'	127° 49'	360	10.7	1260.2	20.0 (13.0~27.9)	64.8 (38.0~105.0)
Cheongsong (CS)	36° 23'	129° 08'	310	11.5	1041.0	14.0 (12.3~15.5)	66.1 (41.0~92.0)
Gongju (GJ)	36° 21'	127° 11'	180	12.3	1358.5	17.2 (12.1~22.9)	67.7 (41.0~103.0)
Youngcheon (YC)	36° 06'	128° 55'	26	12.3	1021.7	13.1 (7.4~20.5)	49.3 (24.0~104.0)
Daegu (DG)	35° 59'	128° 35'	59	13.7	1027.7	17.3 (15.3~18.9)	64.4 (50.0~96.0)
Hapcheon (HC)	35° 48'	128° 05'	230	12.7	1238.6	14.2 (12.7~15.2)	57.7 (39.0~83.0)
Gochang (GC)	35° 30'	126° 34'	5	13.5	1367.8	16.8 (11.6~23.2)	70.4 (51.0~111.0)
Jungeup (JE)	35° 29'	126° 54'	203	12.8	1286.2	17.9 (14.6~21.5)	78.8 (58.0~107.0)
Youngkwang (YK)	35° 21'	126° 26'	120	13.5	1367.8	14.4 (5.2~19.3)	88.7 (60.0~121.0)
Gangseo (GSE)	35° 03'	128° 49'	5	14.4	1491.5	11.2 (7.5~15.2)	71.7 (42.0~144.0)

^zParentheses indicate the range of each population

37°32', 경도 126°26'~129°08', 해발고도 5~420m 범위에 분포하고 있으며. 연평균 기온은 9.6~14.4°C, 연평균 강수량은 1021.7~1491.5mm 범위였다(Table 1). 각 집단에서 평균 9개의 나무에서 종자를 채취하였는데 전체 종자 채취목의 평균 수고는 16.9m, 흉고직경은 71.3cm였다. 종자 채취목 전체의 수고성장 범위는 5.2~27.9m, 흉고직경의 범위는 20.0~228.0cm로 다양하게 나타나 각 집단마다 이렇 개체목들이 함께 자생하고 있는 것으로 추정되었다.

10월경 각 집단에서 개체목별로 종자를 채취하였으며, 채취한 종자는 수선법(水選法)을 이용하여 정선하였다. 정선된 종자는 개체목 당 100립씩 사분법(四分法)에 의하여 시료를 추출한 후 디지털캘리퍼스로 종자길이와 종자폭을 측정하였다. 느티나무의 종자는 삼각형의 찌그러진 순무형으로 뾰족한 꼭지에서 편평한 기부까지 돌출이 있는 형태인데(Korea Forest Research Institute, 2010), 종자길이는 뾰족한 꼭지에서 기부까지의 길이를 측정하였고 종자폭은 종자길이의 가로방

향으로 가장 넓은 부분의 폭을 측정하였다. 또한 종자 100립에 대한 무게를 측정한 후 천립중(g/천립)을 구했으며, 20mL 당 종자무게를 측정하여 용적중(g/L)으로 환산했다(Korea Forest Research Institute, 2012). 동 시료를 이용하여 종자를 절단한 후 배의 유무에 따라 종자의 충실율을 조사하였다.

각 집단의 개체목별로 정선된 종자는 습사와 섞어 3개월간 노천매장을 실시하였으며, 4월초에 집단 내 개체별로 난괴법 3반복으로 포지에 파종하였다. 파종 및 양묘시업은 종묘사업실시요령에 준해 파종량은 20g/m²으로 하였으며, 발아된 유묘는 생립본수가 81본/m²이 되도록 솟아주었다(Korea Forest Service, 2012). 파종묘는 생장이 모두 완료된 9월말에 묘고와 근원경을 집단별로 조사하였다.

분산분석을 통해 측정형질의 집단 간 변이를 분석하였으며, 각 형질의 집단별 변이 정도를 파악하고자 변이계수를 구하여 비교하였다. 또한 종자특성과 유묘생장의 변이에 영향을 미치는 요인을 구명하고자 측정형질과 종자채취 집단의 지리적기후적 요인 간의 상관

분석을 실시했다. 각 집단의 기후인자는 위도, 경도, 해발고 및 해안으로부터의 거리 변수를 이용한 기후인자 추정식을 이용하여 산출했다(Noh, 1988).

III. 결과 및 고찰

3.1. 종자특성

측정된 종자특성 자료를 이용하여 분산분석을 실시한 결과, 모든 측정형질에서 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 2).

종자크기를 조사한 결과, 종자길이는 평균 3.4mm (2.2~4.3mm)였으며 종자폭은 평균 2.9mm(1.9~3.8mm)인 것으로 나타났다. 집단별로 보면 종자길이가 가장 긴 집단은 보은(3.6mm) 이었으며 가장 짧은 집단은 고창과 정읍(각각 3.0mm)이었다. 종자폭은 공주(3.3mm)가 가장 길었고, 정읍과 고창(각각 2.4mm)이 가장 짧았다. 집단 별로 종자크기에 대한 변이계수를 구하여 비교한 결과, 종자길이는 10.2%, 종자폭은 14.2%로 종자길이에 비해 상대적으로 종자폭의 변이가

Table 2. Seed characteristics of *Z. serrata* populations used in this study

Population	Length		Width		Length/width		Weight/1,000 grains		Weight/liter		Full seed rate	
	Mean (mm)	CV ² (%)	Mean (mm)	CV (%)	Mean	CV (%)	Mean (g)	CV (%)	Mean (g)	CV (%)	Mean (%)	CV (%)
YP ^z	3.2e ^x	8.4	2.4ef	6.1	1.4a	8.1	13.5abcde	16.2	541.5bc	14.1	19.0fg	55.4
KJ	3.6ab	12.3	3.2a	10.0	1.1ef	4.7	12.8bcdef	24.1	558.8bc	7.8	18.8fg	62.7
YW	3.0f	11.4	2.4ef	7.8	1.3bc	6.6	15.1ab	15.6	583.6ab	8.1	39.7abcd	37.6
BW	3.4ab	4.0	2.8cd	7.0	1.2d	2.9	13.1abcdef	9.8	580.0ab	6.2	18.9fg	61.1
GS	3.4cde	7.5	3.0cd	6.8	1.1def	5.3	12.0cdef	31.9	615.0ab	10.8	44.0abc	44.2
MK	3.4de	7.3	3.0cd	9.1	1.1ef	4.4	13.1abcdef	18.4	630.0ab	9.4	34.9bcde	40.7
BE	3.6a	6.2	3.2ab	5.1	1.2de	6.1	13.0abcdef	19.9	570.7bc	11.1	30.0cdef	17.1
CS	3.6ab	6.1	3.2a	8.0	1.1ef	5.1	15.1ab	33.5	601.4ab	14.6	20.3efg	58.5
GJ	3.6a	8.2	3.3a	6.7	1.1ef	6.3	12.0cdef	16.4	592.9ab	9.8	34.0bcdef	46.0
YC	3.5abc	7.4	3.1bc	8.1	1.1def	3.7	13.1abcdef	14.3	582.5ab	14.9	27.2def	33.8
DG	3.5ab	10.1	3.1bc	11.3	1.2de	3.6	14.8abc	16.9	598.3ab	9.4	27.7def	32.7
HC	3.3e	10.9	2.9d	15.4	1.1ef	4.6	10.9ef	7.0	610.0ab	6.4	28.7cdef	28.5
GC	3.0g	6.6	2.4ef	6.7	1.2c	8.5	11.5def	17.5	586.5ab	14.7	36.5bcd	38.6
JE	3.0g	7.0	2.4f	8.8	1.3bc	5.1	14.0abcd	10.4	675.0a	6.4	53.4a	23.3
YK	3.2e	6.1	2.5e	5.3	1.3ab	5.4	16.0a	12.7	640.0ab	12.1	46.6ab	30.6
GSE	3.4bcd	8.6	3.1ab	5.3	1.1f	4.7	10.2f	24.9	481.7c	6.8	9.0g	42.4
Mean	3.4	10.2	2.9	14.2	1.2	8.9	13.3	20.6	593.8	12.8	32.9±1.4	50.8
Prob.	<0.001	-	<0.001	-	<0.0001	-	<0.0001	-	<0.0002	-	<0.0001	-

^zAbbreviation of population name, refer to the Table 1.

^yCV : coefficient of variance.

^xDifferent letters indicate Duncan's multiple range test (significant at p<0.01).

더 큰 것으로 나타났다. 종자길이의 경우 광주(12.3%)와 영월(11.4%) 집단이 변이가 컸으며, 봉화(4.0%)는 특이하게 변이가 매우 낮은 것으로 나타났다.

느티나무 종자의 형상비(종자길이/종자폭)는 평균 1.2 (1.0~1.5)로 종자길이가 종자폭에 비해 다소 긴 형태인 것으로 나타났다. 대부분의 집단은 종자의 형상비가 1.1~1.2로 평균에 가까운 형태였으나, 양평(1.4)과 영월, 영광(각각 1.3) 집단은 종자폭에 비해 종자길이가 평균보다 더 긴 형태를 나타냈다. 집단별 변이계수를 살펴보면, 고창(8.5%)과 양평(8.1%) 집단이 종자 형상비의 변이가 큰 것으로 나타났으며, 봉화 집단(2.9%)이 변이가 가장 작았다. 전체적으로 살펴보면, 종자길이와 종자폭 모두 변이폭이 큰 집단들은 종자 형상비의 변이가 작았고, 종자길이 또는 종자폭 중 하나의 변이가 더 컸던 집단들은 종자 형상비의 변이가 크게 나타났다. 이에 비해 봉화 집단은 종자길이와 종자폭의 변이도 낮고 종자 형상비의 변이도 낮은 경향으로 전체적인 종자크기가 작으면서 종자 형상비도 평균에 가까운 형태인 것으로 나타났다.

종자의 무게를 조사한 결과, 천립중은 평균 13.3g (7.8~21.5g), 용적중은 평균 593.8g (435.0~775.0g)으로 나타났다. 천립중을 집단별로 비교해 보면, 영월과

청송(15.1g)이 가장 무거웠으며, 강서(10.2g)으로 가장 가벼운 것으로 나타났다. 천립중의 전체 변이계수는 20.6%였으며, 가장 변이가 큰 집단은 청송(33.5%), 가장 변이가 작은 집단은 함천(7.0%)이었다. 용적중이 가장 큰 집단은 정읍(675.0g)이었으며 가장 작은 집단은 강서(481.7g)였다. 용적중 전체의 변이계수는 12.8%였는데, 가장 변이가 큰 집단은 영천(14.9%)이었으며 가장 변이가 작은 집단은 봉화(6.2%)였다.

종자 충실율의 전체 평균은 32.9%(3.7~77.3%)로 집단 간 및 집단 내 개체 간에 많은 차이가 있었다. 가장 종자 충실율이 높은 집단은 영광(46.6%)이었으며 가장 낮은 집단은 강서(9.0%)로 나타났다. 종자 충실율의 변이계수는 50.8%였는데, 가장 변이가 큰 집단은 광주(62.7%)였으며, 가장 변이가 작은 집단은 보은(17.1%)인 것으로 나타났다.

조사된 종자특성 간의 연관성을 파악하고자 상관분석을 실시한 결과(Table 3), 종자길이와 종자폭은 매우 높은 정의 상관($r=0.815$)을 나타내 종자길이가 길어지면 종자폭도 함께 증가하는 경향을 보였다. 종자 형상비는 종자폭과 유의한 부의 상관($r=-0.682$)을 나타냈는데 비록 종자길이와 종자폭이 유의한 정의 상관을 가지고 있지만 종자길이가 증가하더라도 상대적으로

Table 3. Simple correlation among geographic and climatic factors of sampling site and seed characteristics of *Z. serrata*.

Variables	Length	Width	Length/ width	Weight/1,000 grains	Weight /liter	Full seed rate
Latitude	0.172 ^{z*}	0.150	-0.052	0.013	-0.180*	-0.227**
Longitude	0.252**	0.363**	-0.308**	0.045	-0.183*	-0.338**
Altitude	0.240**	0.332**	-0.294**	0.090	0.108	-0.052
Distance from coastal line	0.175*	0.239**	-0.179*	-0.089	-0.042	-0.046
Annual mean temp.	-0.203*	-0.232**	0.163*	-0.043	-0.004	0.084
Mean temp.(Mar.~Oct.)	-0.221**	-0.264**	0.204*	-0.093	-0.027	0.107
Mean temp.(Nov.~Feb.)	-0.190	-0.218**	0.147	-0.000	0.010	0.064
Mean humidity(Mar.~Oct.)	-0.079	-0.114	0.068	0.119	0.198*	0.159
Annual mean growing days	-0.192*	-0.207*	0.124	0.006	0.077	0.123
Annual Mean duration of sunshine	0.046	0.163*	-0.232**	-0.021	0.049	-0.101
Annual mean dryness index (=evaporation/precipitation)	0.311**	0.422**	-0.330**	0.159*	0.042	-0.225**
Length	-					
Width	0.815**	-				
Length/width	-0.164	-0.682**	-			
Weight/1,000 grains	0.272**	0.066	0.230**	-		
Weight/liter	-0.172	-0.208*	0.148	0.271**	-	
Full seed rate	-0.235**	-0.284**	0.208*	0.277**	0.571**	-

^{z*} and ^{**} : significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively

로 종자폭의 증가가 더 두드러졌기 때문인 것으로 보인다. 천립중은 종자길이 및 종자형상비와 유의한 정의 상관($r=0.272$ 과 $r=0.230$)을 나타냈는데, 종자길이보다 종자폭이 상대적으로 작은 종자가 더 무거웠음을 의미한다. 용적중은 종자폭과 유의한 부의상관($r=-0.208$)을 보였는데, 이는 종자폭이 커질수록 단위 부피 당 포함되는 종자의 수가 줄어 용적중이 감소했기 때문이다. 한편, 용적중은 천립중과 유의한 정의 상관($r=0.271$)을 보였는데, 단위 부피 당 동일한 종자립수가 포함되더라도 종자립 당 무게가 많이 나가는 것이 용적중이 높게 나왔기 때문으로 생각된다. 종자충실율은 종자길이, 종자폭과 유의한 부의 상관($r=-0.235$ 와 $r=-0.284$)을 보였는데, 충실한 종자일수록 종자두께가 두껍고 상대적으로 종자길이와 종자폭이 줄어들었기 때문으로 보인다. 또한 종자충실율은 천립중 및 용적중과 유의한 정의 상관($r=0.277$ 과 $r=0.571$)을 나타내 종자의 무게가 무거울수록 종자 충실율이 높은 경향을 보였다.

한편, 종자특성에 영향을 미치는 종자채취 집단의 지리적, 기후적 요인을 구명하기 위해 제반특성 간 상관분석을 실시했다(Table 3).

지리적 요인과의 상관을 살펴보면, 종자길이와 종자폭은 위도, 경도, 해발고, 해안으로부터 거리와 정의 상관을 보여준 반면, 종자형상비는 부의 상관을 나타냈다. 즉, 북쪽과 동쪽의 해발고가 높고 해안으로부터 거리가 먼 집단일수록 종자길이와 종자폭이 길고 종자형상비가 작은 경향이 있음을 알 수 있다. 기후인자와의 종자길이, 종자폭, 종자형상비의 상관성을 분석한 결과, 종자길이와 종자폭은 종자채취 집단의 연평균 기온 및 생육기(3~8월)의 평균기온과 부의 상관($r=-0.203$ 과 $r=-0.221$)을 나타내고 있으며, 종자형상비는 이들과 정의 상관을 나타내고 있다. 이러한 점을 볼 때, 종자채취 집단의 평균 기온이 높을수록 종자길이와 종자폭이 감소하는 경향이며 특히, 상대적으로 종자길이보다 종자폭의 감소가 더 크다는 것을 알 수 있다. 한편 상관성이 비교적 높게 나타난 것은 건조지수(연평균 증발산량/연평균 강수량)와의 관계인데, 종자길이와 종자폭은 건조지수와 유의한 정의 상관($r=0.311$ 과 $r=0.422$)를 나타냈으며, 종자형상비는 건조지수와 유의한 부의 상관($r=-0.330$)을 보였다. 즉, 종자채취 집단이 건조한 지역일수록 종자길이와 종자폭이 작고 상대적으로 종자길이의 감소폭이 더 크다는 의

미이다.

천립중은 지리적 요인과는 상관이 없었고 건조지수와는 유의하지만 낮은 정의 상관($r=0.159$)을 나타냈다. 용적중은 위도, 경도와 낮은 부의 상관($r=-0.180$ 과 $r=-0.183$)을 나타냈으며, 생육기(3~8월)의 평균 습도와 정의 상관($r=0.198$)을 나타냈다. 그리고, 종자충실율은 위도, 경도와 유의한 부의 상관($r=-0.227$ 과 $r=-0.338$)을 보였으며, 건조지수와는 유의한 부의 상관($r=-0.225$)을 나타냈다. 이러한 점을 볼 때, 종자채취 지역이 상대적으로 건조할수록 종자립당 무게는 다소 높아지지만, 용적중은 생육기의 평균 습도가 높을수록 증가하는 경향임을 볼 수 있었다. 그리고, 종자충실율은 건조지수가 낮을수록 높아지는 경향을 보여 증발산량 보다 상대적으로 강수량이 많은 지역에서 종자충실율이 높다는 것을 보여주었다.

일반적으로 종자크기는 종 내에서 많은 변이가 나타나는데, 종자크기는 유전적 특성, 모수의 상태, 종자비산 방식, 비음성 여부, 환경스트레스, 지리적 위치, 기후조건 등 다양한 요인에 의해서 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Harper *et al.*, 1970; Leishman *et al.*, 2000; Schmidt, 2000).

국내의 잣나무에 대한 연구에서는 개화년 1월, 8월의 기온이 낮고 결과년 7월 기온이 높으면 종자무게가 증가하며, 3~10월의 강수량이 많으면 구과무게가 적어지는 것으로 보고되었다(Joo *et al.*, 1999). *Fraxinus ornus*의 경우, 시과(samara)의 폭은 위도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 강수량은 열매나 종자의 형질과 상관이 없었던 반면, 기온은 시과의 폭과 유의한 상관이 있는 것으로 보고되었다(Yilmaz and Tonguc, 2009). *Azadirachta indica*(Neem tree)의 경우, 종자길이와 위도와 정의 상관을 보였으며, 종자길이와 묘고생장 간에 유의한 정의 상관이 있다고 보고되었다(Kundu and Tigerstedt, 1997). 초본류의 경우를 살펴보면, *Amaranthus retroflexus*의 종자무게는 북쪽 집단에서 남쪽 집단으로 갈수록 감소하는데 종자가 클수록 상대적으로 낮은 온도에서도 발아가 잘 되기 때문으로 해석하고 있다(McWilliams *et al.*, 1968). 그러나 같은 초본류라도 *Prunella vulgaris*에서는 이러한 지리적 요인과의 경향성이 발견되지 않기도 했다(Winn and Gross, 1993).

이러한 점을 볼 때 지리적 또는 기후적 인자와의 상관성은 종에 따라 많은 차이가 있기 때문에 한 두

수종의 연구 결과를 일반화 시킬 수 없을 것으로 생각된다. 느티나무에서는 일부 종자특성이 지리적 요인 및 기후인자와 유의한 상관을 나타냈지만 전반적으로 상관관계수가 낮기 때문에 그 영향은 상대적으로 미미한 것으로 판단된다.

3.2. 1년생 유묘생장

Table 4. One-year-old seedling growth of *Z. serrata* provenances at a nursery

Population	Height		Diameter at root collar	
	Mean (cm)	CV ^y (%)	Mean (mm)	CV (%)
YP ^z	87.0bcd ^x	22.4	7.0cde	33.7
KJ	79.7def	21.1	6.6def	23.3
YW	84.3cde	26.3	6.6def	27.9
BW	69.0g	27.1	5.3g	27.2
GS	92.6b	26.5	7.5bc	40.2
MK	89.7bc	25.2	6.8def	32.1
BE	85.2bcde	21.4	7.9b	30.4
CS	85.8bcde	24.5	7.5bc	33.5
GJ	87.2bcd	20.9	7.3bcd	23.1
YC	92.2b	20.9	7.6bc	27.0
DG	83.2cdef	22.5	6.5def	21.8
HC	81.0def	22.0	7.2bcd	30.4
GC	76.8f	23.5	6.3ef	26.6
JE	89.4bc	22.0	6.9cdef	25.2
YK	78.7ef	26.3	6.2f	24.7
GSE	105.8a	20.1	9.1a	25.3
Mean	86.0	24.4	7.1	30.9
Prob.	<0.0001	-	<0.0001	-

^zAbbreviation of population name, refer to the Table 1.

^yCV : coefficient of variance.

^xDifferent letters indicate Duncan's multiple range test (significant at $p < 0.01$).

포지에서 생육한 유묘의 평균 묘고는 86.0cm (60.5~124.5cm), 근원경은 7.1mm(5~13.4mm)로 조사되었는데, 이는 종묘사업실시요령(Korea Forest Service, 2012)에서 제시한 규격묘 기준(묘고 42cm, 근원경 3mm 이상)에 부합하는 수준으로 모든 유묘가 정상적인 생육을 한 것으로 판단되었다(Table 4).

집단별 묘고 생장을 보면, 강서 집단이 105.8cm로 가장 우수하였으며, 봉화 집단이 69.0cm로 가장 저조한 것으로 나타났다. 묘고 생장의 전체 변이계수는 24.4%였으며, 봉화 집단이 변이계수가 27.1%로 가장 컸으며, 강서 집단이 20.1%로 가장 작은 것으로 나타났다. 집단별 근원경 생장을 보면, 강서 집단이 9.1mm로 가장 컸으며 봉화 집단이 5.3mm로 가장 작았다. 근원경 생장의 전체 변이계수는 30.9%로 나타나 묘고 생장보다는 변이가 큰 것으로 나타났다. 집단별 변이계수를 보면 괴산 집단이 40.2%로 가장 컸으며 대구 집단이 21.8%로 가장 작았다.

유묘의 성장자료를 이용하여 분산분석을 실시한 결과, 묘고와 근원경에서 모두 집단 간, 집단 내 가계 간 그리고 가계 내 개체 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 5).

각 요인별로 분산성분을 살펴보면, 묘고 생장에서는 전체 분산 중 가계 내 개체 간 차이(24.6%)에서 기인하는 부분이 가장 컸으며, 그 다음으로 집단 내 가계 간 차이(16.7%) 그리고 집단 간 차이(6.1%) 순인 것으로 나타났다. 근원경 생장에서는 집단 내 가계 간 차이(34.1%), 가계 내 개체 간 차이(20.6%) 그리고 집단 간 차이(4.3%) 순으로 나타났다. 전체적으로 분산분석 모델에 포함된 세 가지 요인들의 전체 분산에 대한 기여도는 묘고가 47.4%, 근원경은 59.0%로 나타났다.

이러한 결과를 보면 느티나무의 유묘 생장에 있어 개체 간 또는 가계 간 변이가 크다는 것을 알 수 있

Table 5. Analysis of variance on seedling growth of *Z. serrata*

Source of variation	Height		Diameter at root collar	
	Mean square	Variance component(%)	Mean square	Variance component(%)
Among populations	4145.4488 ^{z*}	6.1	49.989712 ^{**}	4.3
Among family within population	1079.6217 ^{**}	16.7	19.022489 ^{**}	34.1
Among individuals within family	349.1368 [*]	24.6	2.992725 ^{**}	20.6

^{z*} and ^{**} : significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively

Table 6. Simple correlation among geographic and climatic factors of sampling site and seedling growth of *Z. serrata*

Variables	Height	Diameter at breast height
Latitude	-0.033	-0.015
Longitude	0.193 ^z	0.176*
Altitude	-0.105	-0.042
Distance from coastal line	0.117	0.086
Annual mean temp.	0.108	0.060
Mean temp.(Mar.~Oct.)	0.143	0.076
Mean temp.(Nov.~Feb.)	0.060	0.033
Mean humidity(Mar.~Oct.)	-0.265**	-0.185*
Annual mean growing days	0.033	0.015
Annual Mean duration of sunshine	0.132	0.141
Annual mean dryness index (=evaporation/precipitation)	-0.002	0.036
Height growth	-	-
Diameter at breast height	0.778**	-

^z* and ** : significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively

다. 그러나, 집단 간에도 통계적으로 유의한 차이가 있는 것 또한 사실이기 때문에 느티나무의 임목육종 프로그램에서는 이들 세 가지 측면을 함께 고려해야 할 것으로 생각된다(Wright, 1976). 즉, 조림지 적응성 측면에서 조림지에 적합한 집단을 선정하고, 그 집단 내에서 생장이 우수한 개체를 선정한 후, 개체 내에서 생장이 가장 우수한 개체를 선발하는 단계적 접근을 통해 개량효과를 제고하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

포지에서의 유묘생장에 영향을 미치는 종자채취 집단의 지리적, 기후적 요인을 구명하기 위해 상관분석을 실시했다(Table 6).

먼저 지리적 요인과의 상관성을 보면 묘고와 근원경 생장 모두 경도와 낮지만 유의한 정의 상관($r=0.193$ 과 $r=0.176$)을 나타내, 상대적으로 동쪽 집단들의 유묘생장이 더 우수한 경향을 보였다. 기후요인과의 상관성을 보면 묘고와 근원경 모두 생육기 평균 습도와

유의한 부의 상관($r=-0.265$ 와 $r=-0.185$)을 나타내 생육기의 평균 습도가 낮은 집단에서 온 유묘들이 상대적으로 생장이 양호한 것을 알 수 있었다. 본 조사가 이루어진 포지는 주기적인 관수가 이루어지고는 있지만, 자생지의 계곡부 처럼 수분 및 습도가 높은 편이 아니기 때문에 상대적으로 생육기 평균습도가 낮은 환경에 적응된 집단에서 온 유묘들의 생장이 더 좋았던 것으로 생각된다. 그러나, 이는 1년생 유묘의 생장결과이며 종자채취 집단의 지리적, 기후적 요인과의 상관 계수가 전반적으로 낮게 나타난 점(Table 6)과 느티나무가 비교적 내건성이 높은 수종이라는 연구결과를 감안할 때(Park, 2006), 종자산지 별로 정확한 생장특성을 평가하기 위해서는 산지시험림을 통한 지속적인 생장특성 모니터링이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

종자특성이 유묘의 생장에 미치는 영향을 살펴보기 위해 종자특성과 유묘생장의 상관성을 분석했다(Table 7).

묘고생장은 종자의 특성과 큰 상관성이 없는 것으로 나타났으며, 근원경 생장은 천립중 및 용적중과 유의한 부의 상관($r=-0.292$ 와 $r=-0.397$)을 나타냈다. 비록 근원경 생장에서 종자무게와 낮은 부의 상관성이 나타났지만 전반적으로 볼 때, 느티나무 1년생 유묘의 생장은 종자특성의 영향을 크게 받지 않는 것으로 생각된다.

종자크기가 유묘의 생장에 미치는 영향에 대한 연구는 오래 전부터 주목되어 온 분야이다(Bonfil, 1998). 침엽수의 경우 초기 유묘의 크기는 종자크기와 밀접한 연관이 있다는 보고가 있었으며, 종자의 크기는 모수의 특성에 따라 좌우되며 특히 환경적 영향을 많이 받는다고 알려져 있다(Hadders, 1963; Yeatman, 1966). 국내에서도 잣나무 유묘의 생장과 종자길이, 종자두께, 종자무게 간에 고도의 정의 상관성이 있는 것으로 보고된 바 있다(Han and Yi, 1996). 참나무류에 대한 연구에서도 종자크기가 유묘의 발달 및 생장에 영향을 미친다는 결과가 보고된 바 있다(Long and Jones, 1996; Bonfil, 1998). 그러나, 종자크기와 생장속도 간

Table 7. Simple correlation analysis on seed characteristics and 1-year-old seedling growth of *Z. serrata*

Variables	Length	Width	Length /width	Weight /1,000 grains	Weight /liter	Full seed rate
Height growth	0.061	0.153	-0.200	-0.127	-0.203	-0.004
Diameter at breast height	0.117	0.177	-0.175	-0.292 ^z	-0.397*	-0.186

^z* : significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively

에 연관성이 없거나 약한 상관만이 존재한다는 연구결과도 많이 보고되고 있다(Larson, 1963; Weis, 1980; Singh and Rai, 1988; St. Clair and Adams, 1991; Reich *et al.*, 1994). 이러한 연구결과들을 보면, 대체로 비교적 종자크기가 크고 저장조직이 있는 수종들에서 이러한 상관성이 더 두드러지게 나타나고 있는 것으로 보인다. 종자크기와 성장속도 간에 상관성이 높은 경우, 종자산지의 유전적 차이를 구명하기 위해서는 초기 종자크기에 따른 유묘생장량의 의존성이 배제된 이후부터의 생장자료를 이용해야 함을 의미한다. 이러한 측면에서 느티나무에서는 종자크기가 유묘의 생장에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났기 때문에 비교적 어린 시기에 종자산지에 따른 생장특성의 유전적 차이를 구명하는 것이 가능할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 느티나무 집단의 종자특성 변이에 영향을 미치는 요인과 종자특성이 유묘생장에 미치는 영향을 구명하고자 수행되었다. 이를 위해 느티나무 16개 집단에서 종자를 채취하여 특성을 조사하였으며, 포지에서 1년간 양묘한 후 묘목의 생장을 조사했다. 종자특성과 유묘생장에 영향을 미치는 요인을 구명하고자 조사형질과 종자채취 집단의 지리적기후적 인자와의 상관분석을 실시했다. 종자특성에 대한 분산분석 결과, 모든 측정형질에서 집단 간에 유의한 차이가 있었다. 지리적 요인과의 상관을 분석한 결과, 종자길이와 종자폭은 위도, 경도, 해발고, 해안으로부터 거리와 정의 상관을 보여준 반면, 종자형상비는 부의 상관을 나타냈다. 기후인자와의 상관을 분석한 결과, 종자길이와 종자폭은 종자채취 집단의 연평균 기온 및 생육기(3~8월)의 평균기온과 부의 상관을 나타냈으며, 종자형상비는 이들과 정의 상관을 보여주었다. 천립중은 지리적 요인과 상관성이 없었고, 기후인자 중 건조지수와 유의하지만 낮은 정의 상관을 나타냈다. 용적중은 위도, 경도와 낮은 부의 상관을 나타냈으며, 생육기(3~8월)의 평균 습도와 정의 상관을 나타냈다. 종자충실율은 위도, 경도와 유의한 부의 상관을 보였으며, 건조지수 외는 유의한 부의 상관을 나타냈다. 유묘의 생장은 묘고와 근원경 모두 집단 간, 집단 내 가계 간 그리고 가계 내 개체 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 묘고와 근원경은 모두 경도 및 생육기(3~8월)

평균 습도와 유의한 부의 상관을 나타냈다. 종자특성과 유묘생장의 상관을 분석한 결과, 묘고생장은 종자특성과 상관성이 없었으며, 근원경은 천립중 및 용적중과 유의하지만 낮은 부의 상관을 나타냈다. 이러한 점을 볼 때, 느티나무 1년생 유묘의 생장은 종자특성의 영향이 크지 않은 것으로 판단되었다. 전반적으로 볼 때, 종자특성과 유묘생장은 집단 간에 유의한 차이가 있었지만, 지리적 또는 기후적 요인과의 상관성이 낮아 그 경향성이 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 1년생 유묘에 대한 분석만으로는 느티나무 집단의 유전적 특성 및 지리적 변이를 정확히 추정하기 어렵다고 판단되며, 추후 산지시험을 통한 조립지 적응성 및 생장특성 검정 결과를 토대로 느티나무 집단에 대한 평가가 이루어져야 할 것으로 보인다.

REFERENCES

- Bonfil, C., 1998: The effects on seed size, cotyledon reserves and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany* **85**, 79-87.
- Chahal, G. S., and S. S. Gosal, 2002: *Principles and Procedures of Plant Breeding*. Alpha Science International Ltd. Pangbourne, UK.
- Choi, B. K., and K. J. Bang, 2004: A study of optimum condition of RAPD for the analysis of genetic characteristics by autumn leaf color of *Zelkova serrata*. *Journal of the Korean Society for Environmental Restoration and Vegetation Technology* **7**, 94-99. (in Korean with English abstract)
- Hadders, G., 1963: Some causes of variation in the initial development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Proceedings of World Consultation Forest Genetics and Tree Improvement*, Stockholm, FAO/FORGEN 63-2a/8, p.10.
- Han, S. U., and J. S. Yi, 1996: Age-age correlation for height growth of open-pollinated progenies of *Pinus koraiensis* in relation to their cone and seed characteristics. *Korean Journal Breeding* **28**, 63-68. (in Korean with English abstract)
- Harper, J. L., P. H. Lovel, and K. G. Moore, 1970: The shapes and size of seeds. *Annual Review of Ecology and Systematics* **1**, 327-356.
- Joo, Y. T., S. K. Chon, and D. J. Chung, 1999: The effect of some meteorological factors on the seed characteristics in Korean white pine (*Pinus koraiensis* S. et Z.) - the weight of cone and seed per cone-. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **1**, 20-28. (in Korean with English abstract).
- Kang, K. H., Y. J. Chong, and H. N. Kim, 1999: The genetic

- relationship of *Zelkova serrata* registered as the natural monument using RAPD markers. *Korean Journal of Environmental Biology* **17**, 89-94. (in Korean with English abstract)
- Kim, C. S., and O. W. Kwon, 1990: Vegetative propagation through green wood cuttings of adventitious sprouts in *Zelkova serrata* Makino. *Research Report of Institute of Forest Genetics Korea* **26**, 22-25. (in Korean with English abstract)
- Kim, N. C., J. S. Choi, and S. K. Moon, 1988: Study on the treesize prediction model: a case study of *Zelkova serrata*, *Pinus strobus* and *Magnolia denudata*. *The Korean Institute of Landscapes Architecture* **16**, 27-35. (in Korean with English abstract)
- 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**, 40-49. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Research Institute., 2005: The Composition of tree species in Wooden Cultural Heritages in Korea. Research Report 05-14, Korea Forest Research Institute. p.150.
- Korea Forest Research Institute., 2007: 100 Useful Tree Species in Korea. New Research Book No. 21. Korea Forest Research Institute. pp. 40-43.
- Korea Forest Research Institute., 2010: Illustrated Book of Korean Tree Seeds. New Research Book No. 38. p.51.
- Korea Forest Research Institute., 2012: Handbook of Forestry Technology. pp. 370-379. (in Korean).
- Korea Forest Service., 2012: Guidelines on Forest Tree Seed and Seedling. Korea Forest Service Regulation No. 611. p.47.
- Kundu, S. K., and P. M. A. Tigerstedt, 1997: Geographic variation in seed and seedling traits of Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) among ten populations studied in growth chamber. *Silvae Genetica* **46**, 129-137.
- Larson, M. M., 1963: Initial root development of ponderosa pine seedlings as related to germination date and size of seed. *Forest Science* **9**, 456-460.
- Leishman, M. R., I. J. Wright, A. T. Moles, and M. Westoby, 2000: The evolutionary ecology of seed size. In: *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities* (ed. by M. Fenner), CABI Pub., NY, pp. 31-58.
- Lim, J. H., 2010: Native tree species - *Zelkova serrata*. In *Zelkova serrata* and Our Culture (Ryu, S. H. ed.). The Series of Forest and Culture No. 18. The Society for Forest and Culture. pp. 56-60. (in Korean with English abstract)
- Long, T. J., and R. H. Jones, 1996: Seedling growth strategies and seed size effects in fourteen oak species native to different soil moisture habitats. *Trees* **11**, 1-8.
- McWilliams, E. L., R. Q. Landers and J. P. Mahlstede, 1968: Variation in seed weight and germination in populations of *Amaranthus retroflexus* L. *Ecology* **49**, 290-296.
- Muona, O., 1990: *Population genetics in forest tree improvement*. In: Brown, H.D., M.T. Clegg, A.L. Kahler and B.S. Weir (Eds): Plant population genetics, breeding, and genetic resources. 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, J. I., 1987: Biotechnological Studies on Bud Culture, Callus Culture, Cell Culture, Protoplast Culture and Gene Transformation in *Zelkova serrata* Makino. Ph. D. Thesis, Dongguk University. p. 62. (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, p. 87.
- Park, Y. M., 2006: Comparison of tissue water relation parameters in three garden tree species. *Journal of Ecology and Field Biology* **29**, 581-584. (in Korean with English abstract)
- Reich P. B., J. Oleksyn, and M. G. Tjoelker, 1994: Seed mass effects on germination and growth of diverse European Scots pine populations. *Canadian Journal of Forest Research* **24**, 306-320.
- Schmidt, L., 2000: Guide to Handling of Tropical and Subtropical Forest Seed. Danida Forest Seed Centre, Denmark.
- Shim, K. K., Y. M. Ha, H. S. Park, and J. H. Lee, 1999: Selection of new cultivars with red fall leaf color in *Zelkova serrata* Makino as street trees. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* **27**, 1-8. (in Korean with English abstract).
- Singh, S. P., and P. N. Rai, 1988: *Effect of seed size upon germination and early stages of plant growth of cowpea (Vigna unguiculata L.)* In: Waitaha K and J. A. Chweya (eds). Twelfth African symposium on horticultural crops. *International Society of Horticultural Science* **218**, 71-76.
- St. Clair, J. B., and W. T. Adams, 1991: Effects of seed weight and rate of emergence on early growth of open-pollinated Douglas-fir families. *Forest Science* **37**, 987-997.
- Weis, M. I., 1980: The effects of propagule size on germination and seedling growth in *Mirabilis hirsuta*. *Canadian Journal of Botany* **60**, 1868-1874.
- Winn, A. A., and K. L. Gross, 1993: Latitudinal variation in seed weight and flower number in *Prunella vulgaris*. *Oecologia* **93**, 55-62.
- Wright, J. W., 1976: Introduction to Forest Genetics. Academic Press, Inc. London.
- Yeatman, C.W., 1966: Germinant size of Jack pine in relation to seed size and geographic origin In Joint

Proceedings of the Second Genetics Workshop of the Society of American Foresters and the Seventh Lake States Forest Tree Improvement Conference; Res. Pap. NC-6. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station,

28-36.

Yilmaz, M., and F. Tonguc, 2009: Fruit and seed size variability of *Fraxinus ornus* subsp. *cilicica*. *International Journal of Natural and Engineering Sciences* **3**, 133-136.