

루브라참나무의 성장과 재질¹ - 해부학적 성질 -

한 무 석² · 이 진 리³ · 김 지 수³ · 신 수 정³ · 김 병 로^{3,†}

Studies on Wood Quality and Growth of *Quercus rubra* in Korea¹ - Anatomical Properties -

Mu-Seok Han² · Jin-Ri Lee³ · Ji-Su Kim³ · Soo-Jeong Shin³ · Byung-Ro Kim^{3,†}

요 약

본 연구는 5개 종자 산지(Carleton, Simcoe, Chatham, Bancroft, Unknown)의 루브라참나무(*Quercus rubra*)를 대상으로 해부학적 성질을 조사하여, 이들의 종자산지 간 및 성장속도와와의 관계를 규명하였다. 루브라참나무는 환공재로서 공권부는 대형도관이 1~3열로 배열하다가 공권 외부는 소형도관이 방사상으로 배열하였다. 산지 간에는 조재부 목섬유 길이, 조재부 도관의 직경에서만 차이가 있었다. 성장속도와는 목섬유 길이 및 도관요소 직경에서 만재부는 상관관계가 없고, 조재부는 부의 상관이었다. 도관요소 길이는 성장속도와 조, 만재에서 관계가 없었다. 조, 만재부에서의 구성요소 비율은 목섬유, 방사조직은 만재부에서 높았고, 도관요소는 조재부에서 높았다. 방사조직 높이는 11~15개 범 위였다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the relationship between anatomical characteristics and growth rate of *Quercus rubra* from different origins of seed. Anatomical characteristics showed that all *Quercus rubra* species were ring-porous woods with 1~3 layers of large pores in earlywood, but the latewood had small pores oriented in radial direction. There were slight differences in libriform fiber length and vessel element diameter in the earlywood among different provenance origins of seeds. In growth rate, the libriform fiber length and vessel element diameter was negative correlation in the earlywood, but not correlative in the latewood, and vessel element length was not correlative in the early and latewood, Volumetric composition of libriform fiber and ray in latewood was higher than those in ear

¹ Date Received March 30, 2015, Date Accepted June 15, 2015

² 국립산림품종관리센터 품종심사과. Division of Plant Variety Examination, Korea Forest Seed & Variety Center, Chungju, 380-941, Korea

³ 충북대학교 농업생명환경대학 목재·종이과학과. Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

[†] 교신저자(Corresponding author) : 김병로(e-mail: brkim@cbnu.ac.kr)

lywood, and a higher composition of vessel element was observed in earlywood. Ray height was the range of from 11 to 15 cells.

Keywords : *Quercus rubra*, growth rate, anatomical characteristics, vessel element diameter and length, libriform fiber length

1. 서 론

임목육종은 유전적으로 우수한 종자를 생산, 공급하는 것으로, 우수한 수형목으로부터 채종원을 조성하여 채종원에서 종묘를 보급하는 것이 일반적이다 (Akutsu *et al.* 2006). 지금까지 임목육종은 생장에 중점을 두었으나, 최근에는 우수한 성장과 함께 우수한 재질의 목재생산에 더 많은 노력을 기울이고 있다. 재질연구는 수목으로부터 생산되는 목재의 성질을 평가하는 것으로, 이에 따라 목재의 용도가 모색되고, 또한 우수한 목재 생산을 위한 기초 데이터로 활용되어질 수가 있다. 따라서 임업선진국에서는 유용수종을 중심으로 해부학, 물리학 및 역학적 성질에 대하여 다수의 연구데이터를 축적하고 있다 (Abe 2005). 특히 품종, 클론, 산지 등에 따른 재질의 특징을 밝혀 우수한 재질의 목재를 생산할 수 있는 토대를 마련하고 있다. 따라서 이와 관련한 다양한 연구가 발표되고 있다 (Fugisawa 1992, 1993; Akutsu 2003, 2006). 그러나 국내에서는 Park *et al.* (2006)이 소나무 우량개체 차대검정림을 대상으로 성장과 재질특성을 조사한 바 있고, Han *et al.* (2014)이 본 연구의 전보로서 산지가 다른 루브라참나무에 대해 성장에 따른 물리, 역학적 특성에 대하여 조사한 정도로 아직 미비한 수준이다.

산림청 국립산림과학원에서는 외국의 우량한 참나무류를 도입하여 국내 적응성을 검정하는 도입육종 시험도 병행하여 수행하고 있는데, 이 중 루브라참나무는 캐나다 퀘벡주와 온타리오주에서 미국 동부 지역의 애플레치아산맥을 중심으로 해발 1,700 m까지 자생하는 낙엽활엽교목으로 수고 20~30 m, 흉고직경 60~90 cm까지 자라며, 수간이 통직하고, 생장이 신속하며, 또한 내한성이 강해 영하 40℃에서도 생존하는 수종이다 (Sander 1990).

국립산림과학원에서는 1972년에 미국 펜실바니아주에서 루브라참나무 종자와 독일과 프랑스에서 유럽참나무 종자를 도입하여 적응성을 검정한 결과 유럽참나무는 적응력 및 생장이 불량한 것으로 나타난 반면에 루브라참나무는 적응력 및 생장이 우수한 것을 확인하였다 (Han 1992). 또한 Ryu *et al.* (1994)은 1988년 미국과 캐나다에서 도입된 8개 산지의 종자에 대해 유전적인 외형적 성장변이를 조사하여 우리나라에 적합한 우수산지를 규명한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 이들에 대해 전보 (Han *et al.* 2014)의 성장에 따른 물리, 역학적 특성에 이어 성장에 따른 해부학적 특성을 규명하고, 또한 해부학적 성질과 물리, 역학적 성질과의 상호 관련성을 분석하여, 재질적으로도 우수한 산지를 규명하는데 연구의 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험의 공시재료인 루브라참나무 (*Quercus rubra*)는 원산지인 미국과 캐나다로부터 1988년 도입된 8개 산지 종자를 1989년 포지에 산지별 발아하여 포지생장한 것을 1990년 경기도 수원시 임목육종연구소 시험림에 식재한 것이다. 이들 중 2012년 8월 태풍 볼라멘에 의해 전도된 5개 개체이고, 5개 개체 중 1개 개체는 산지를 확인할 수 없었다. 이들의 산지 수고 흉고직경 등을 Table 1에 나타냈다.

2.2. 실험방법

해부학적 특성을 조사하기 위한 슬라이드는 상법 (일본목재학회 1985)으로 제작한 후 독취현미경

Table 1. Sample trees

Provenance			Tree age (year)	Height (m)	D.B.H* (cm)	Average annual ring width (mm)	Latewood percentage (%)
Carleton	Ontario	Canada	24	16.50	17.50	4.61	22
Simcoe	Ontario	Canada	24	14.70	10.85	2.86	41
Chatham	Ontario	Canada	24	17.30	19.75	5.21	27
Bancroft	Ontario	Canada	24	20.20	13.50	3.55	40
Unknown	Unknown	Unknown	24	14.88	12.60	3.32	23

*D.B.H: diameter at breast height

(STM5-UM)과 생물현미경을 이용하여 측정 및 관찰하였다.

2.2.1. 3단면 관찰

3단면 관찰은 1 × 1 × 1 cm의 시편을 제작한 후 히팅멘틀로 연화한 후 활주식 마이크로톰(sliding microtome)을 이용하여 15~20 μm 두께의 절편을 제작하였다. 제작된 절편을 1% safranin 용액으로 염색한 후 알콜시리즈(60, 80, 100%)로 탈수한 후, 영구프레파라트로 제작하여 광학현미경(M30/M20, OLIMPUS, JAPAN)을 이용하여 관찰하였다.

2.2.2. 목섬유, 도관요소 크기 측정

목섬유, 도관요소 크기 측정은 각 연륜에서 조, 만재로 분리하여 Schultz용액으로 처리 후 해리하여 임시프레파라트를 제조한 후 Measuring microscope (STM5-UM, OLIMPUS, JAPAN)으로 목섬유 길이, 도관요소 길이 및 직경을 측정하였다. 연륜별 조, 만재부에서 각각 30개씩 측정하였다.

2.2.3 방사조직의 높이 및 수 측정

방사조직의 높이는 접선단면에서 방사조직 내의 방사유세포 수(세포고)와 방사조직 수는 횡단면에서 접선방향 1 mm 내의 수를 측정하였다. Measuring microscope를 이용하였으며, 20회씩 측정하여 평균치로 하였다.

2.2.4 구성요소 비율 측정

구성요소 비율은 광학현미경으로 촬영한 횡단면 사진을 이용하여 측정하였다. 도관, 방사유조직, 축방향유세포, 목섬유의 비율을 각 연륜별로 조, 만재로 나누어 측정하였다(Hwang *et al.* 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1. 3단면 특징

Fig. 1은 Carleton, Simcoe, Chatham산지의 루브라참나무의 횡단면, 방사단면, 접선 단면의 사진이다. 각 단면별로 사진을 보면 횡단면에서는 환공재로 Carleton, Simcoe산지 산은 공권부는 대형도관이 1~3열로 배열하다가 공권 외부는 소형도관이 방사상으로 배열되었으며, 레드오크지만 드물게 광공에 따라서는 미약한 타일로시스가 발달한 것을 관찰할 수가 있었다. 이에 비해, Chatham산지 산은 공권부에서는 대형도관이 다열로 배열하다가 공권 외부에서는 소형도관이 방사상으로 존재하는 것으로 나타났다. 방사단면에서는 도관은 단천공이며, 세 개 산지 모두에서 평복세포가 주를 이루는 동성형 방사조직이 관찰되었고, 약간의 방형세포도 함께 존재하는 것으로 나타났다. 접선 단면에서는 방사조직이 광방사조직과 단열조직이 함께 존재하는 복합방사조직을 관찰할 수 있었다. Hoadley (1998)는 목재분류에서 Northern red oak (*Q. Rubra*)에 대해 Carleton, Simcoe산지의 루브라참나무와 같은 해부학적 설명

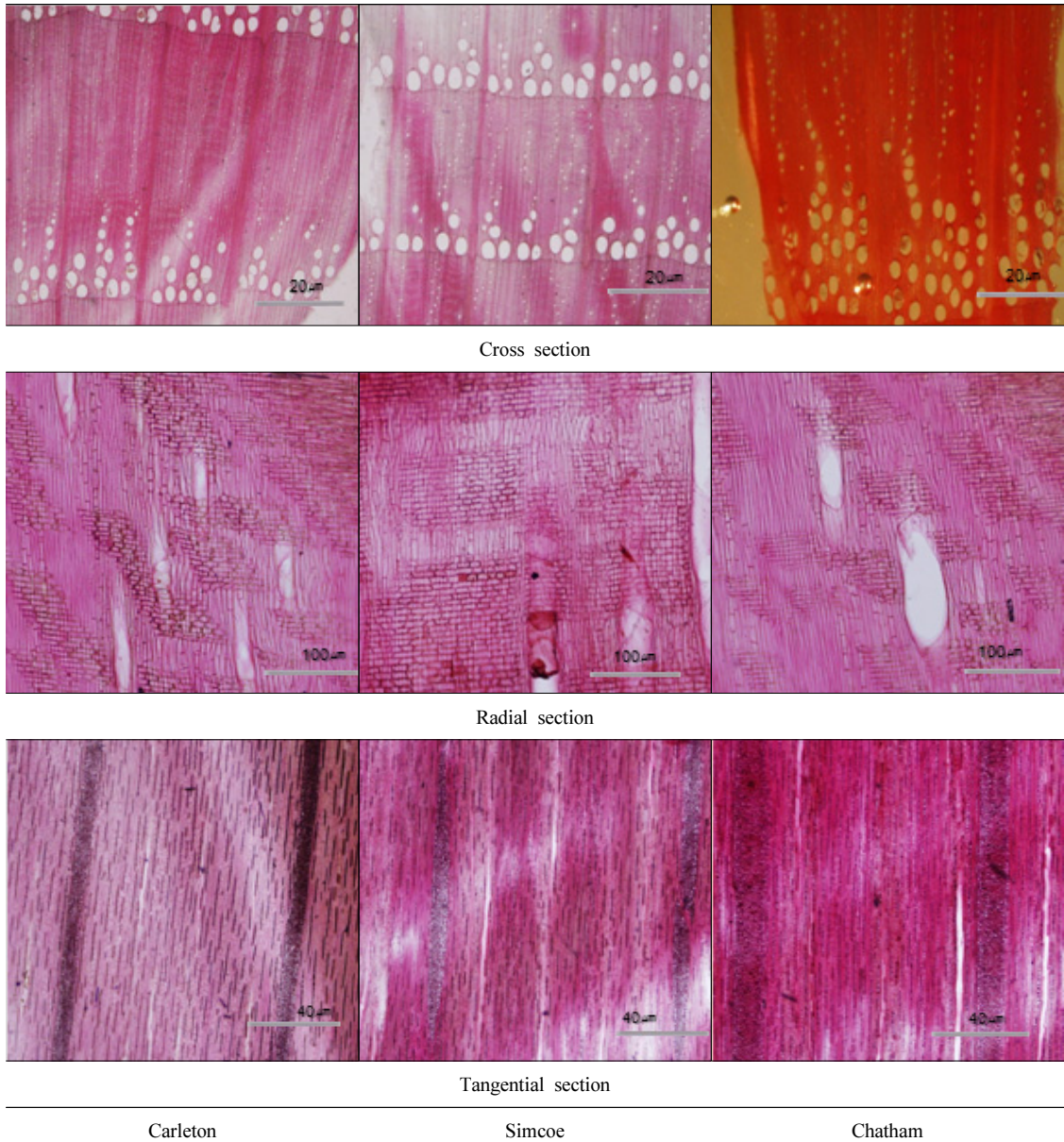


Fig. 1. Optical micrographs of three section of *Q. Rubra* woods from Carleton, Simcoe and Chatham.

을 하고 있다. Chatham산지 산 루브라참나무의 공권부에서 앞의 루브라참나무와는 달리 대형도관이 다열로 배열하고 있는 것은 좀 더 조사가 필요할 것으로 생각한다.

3.2. 목섬유, 도관요소 크기와 성장(평균연륜폭)과의 관계

Table 2는 6개 산지의 루브라참나무의 목섬유 길이, 도관요소 길이 및 도관 직경을 조재와 만재로 구

Table 2. Characteristics of cell elements in *Quercus rubra*

Provenance		Libriform fiber length (μm)		Vessel element diameter (μm)		Vessel element length (μm)	
		Average ²	Duncan's	Average ²	Duncan's	Average ²	Duncan's
Carleton	EW ¹	937 ± 222	b	104 ± 76	b	359 ± 111	a
	LW	968 ± 276	A	94 ± 39	A	308 ± 88	A
Simcoe	EW	1286 ± 296	a	156 ± 84	ab	283 ± 82	a
	LW	964 ± 209	A	115 ± 35	A	342 ± 79	A
Unknown (1)	EW	1187 ± 257	a	138 ± 85	a	314 ± 95	a
	LW	943 ± 264	A	123 ± 77	A	278 ± 103	A
Chatham	EW	1069 ± 207	ab	105 ± 73	ab	361 ± 94	a
	LW	994 ± 192	A	147 ± 65	A	332 ± 94	A
Bancroft	EW	1128 ± 271	a	146 ± 102	a	358 ± 81	a
	LW	1030 ± 300	A	147 ± 67	A	293 ± 73	A

1. EW : earlywood, LW: latewood, 2. Average and standard deviation
Duncan grouping: small letter : EW, capital letter : LW

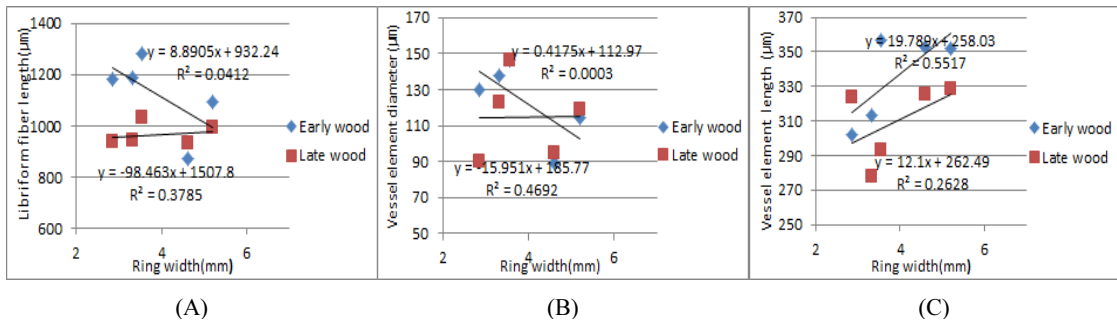


Fig. 2. Relationships between libriform fiber length (A), vessel element diameter (B), vessel element length (C) and ring width of *Quercus rubra*.

분하여 나타낸 것이다. 루브라참나무의 목섬유 길이는 조재부는 937~1286 μm 만재부는 943~1030 μm의 범위를 나타냈고, 평균은 조재는 1121 μm 만재는 980 μm로 나타났다. 도관 길이에서 조재부는 283~361 μm 만재부는 278~342 μm의 범위를 나타냈다. 평균은 조재는 336 μm 만재는 312 μm로 나타났다. 도관의 직경은 조재부는 86~146 μm 만재부는 87~147 μm의 범위로 나타났다. 평균은 조재는 122 μm 만재는 118 μm로 나타났다

산지 간 차이의 유무를 알아보기 위해 던칸테스트를 실시한 결과 조재부 목섬유 길이, 조재부 도관의 직경만 차이가 나타나는 것으로 관찰되었다. 우선 목

섬유 길이의 경우는 Simcoe산이 1286 μm로 가장 길게 나타났고, Carleton산이 937 μm로 가장 짧게 나타났다. 도관 직경은 Bancroft산이 146 μm로 가장 컸으며, Carleton산이 104 μm로 가장 짧은 것으로 관찰되었다.

Lee (1994)는 한국산 참나무속 상수리나무의 목섬유 길이는 820~1420 μm, 도관의 길이 310~540 μm, 도관 직경 100~230 μm, 졸참나무의 목섬유 길이 670~1420 μm, 도관의 길이 160~530 μm, 도관 직경 100~190 μm, 밤나무의 목섬유 길이 910~1250 μm, 도관의 길이 240~620 μm, 도관의 직경 125~270 μm와 비교하여 볼 때, 루브라참나무의 목

Table 3. Volumetric composition, ray height and number in *Quercus rubra*

Elements	Carleton		Simcoe		Chatham	
	EW	LW	EW	LW	EW	LW
Fiber	50.6 %	63.7 %	49.8 %	76.6 %	46.4 %	72.0 %
Vessel element	25.6 %	4.4 %	33.6 %	3.9 %	28.3 %	4.5 %
Axial parenchyma	7.2 %	13.2 %	6.5 %	2.7 %	8.5 %	0.9 %
Ray	14.9 %	17.8 %	10.8 %	18.73 %	12.2 %	23.3 %
Ray height (No. of ray parenchyma)	15		11		12	
Ray number in crosssection (No. per mm)	12		11		12	

EW: earlywood, LW: latewood

섬유 길이는 한국산 참나무속과 비교하여 보았을 때 다소 짧은 것을 알 수 있었으며 도관의 길이와 직경 역시 짧은 것으로 나타났다.

Fig. 2는 목섬유 길이, 도관 길이 및 직경과 생장 속도(평균연륜폭)와의 관계를 나타낸 것이다. A의 목섬유 길이와 평균연륜폭과의 관계는 만재부 목섬유 길이는 평균연륜폭과 관계가 없는 것으로 나타났으나 조재부 목섬유 길이는 평균연륜폭과 부의 상관 이 있는 것으로 나타났다. 즉 조재부 목섬유 길이는 생장이 좋을수록 길이는 짧아지는 것이다. B의 도관 요소 직경과 평균연륜폭과의 관계는 목섬유 길이와 같은 경향으로 만재부 도관요소 직경은 평균연륜폭 과 관계가 없는 것으로 나타났으나 조재부 도관요소 직경은 평균연륜폭과 부의 상관 이 있는 것으로 나타 났다. 즉 조재부 도관요소 직경은 생장이 좋을수록 길이는 짧아지는 것이다. C의 도관요소 길이와 평균 연륜폭과의 관계는 만재부, 조재부 공히 정의 관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 도관요소 길이는 생장이 좋을수록 길이는 길어지는 것이다.

Han *et al.* (2014)은 루브라참나무의 생장과 재질 (물리·역학적 성질)에 대한 연구에서 압축강도, 휨 강도 및 충격강도는 생장(평균연륜폭)과 부의관계가 있는 것으로 보고하고 있다. 즉 생장이 좋을수록 압 축강도, 휨강도 및 충격강도는 낮게 나타난다고 하였 다. 이 이유는 본 연구에서 활엽수재의 기계적 지지를 담당하는 조재부의 목섬유 길이와 도관요소 직경 이 생장이 좋을수록 작아지는 것에 기인하는 것으로

생각한다. Kim *et al.* (1988), Kim *et al.* (1999), Hirakawa *et al.* (1996)들은 가도관과 마이크로피브 릴경각과의 관계는 가도관이 길어지면 경각은 작아 지고, 가도관이 짧아지면 경각은 커진다고 보고하고 있다. 또한 이에 따라 강도도 영향 받아 가도관장과 강도는 정의 관계가 있다고 하였다. 목섬유는 가도관 장과 벽구조가 비슷하므로 앞의 문헌으로 설명이 가 능할 것으로 생각된다. 또한 앞으로 목섬유의 벽구조 에 대한 조사 연구는 필요할 것으로 생각한다.

3.3. 구성요소의 비율, 방사조직 높이 및 수

Table 3은 구성요소의 비율 및 방사조직 높이, 수 를 조, 만재부로 나누어 나타낸 것이다. 목섬유 비율 은 조재부 46.4~50.6%, 만재부 63.7~76.6% 범위로 조재부보다 만재부가 높게 나타났다. 도관요소 비율 은 조재부 25.6~33.6%, 만재부 3.9~4.5% 범위로 만재부보다 조재부가 높게 나타났다. 축방향유조직 비율은 조재부 6.5~8.5%, 만재부 0.9~13.26% 범위 로 조, 만재 간 뚜렷한 경향이 없이, Carleton산은 만 재부의 비율이 높았고, Simcoe, Chatham산은 조재부 의 비율이 높게 나타났다. 방사조직 비율은 조재부 10.8~14.9%, 만재부 17.8~23.3% 범위로 조재부보 다 만재부가 높게 나타났다. 이러한 구성요소 비율의 조, 만재의 차이는 Hwang *et al.* (2002)의 한국산 물 푸레나무속 주요 수종의 조, 만재의 차이와 같은 경 향을 보였다. 산지 간에는 Chatham산의 축방향유조

직이 적게 나타난 것 이외에는 산지 간 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

접선단면에서의 방사조직 높이는 11~15개의 범위를 횡단면에서 방사조직 수는 11~12개의 범위로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 5개 종자산지(Carleton, Simcoe, Chatham, Bancroft, Unknown)의 루브라참나무를 대상으로 해부학적 성질을 조사하여, 이들의 종자산지 간 및 생장속도와의 관계를 규명하였다. 루브라참나무는 환공재로서 공권부는 대형도관이 1~3열로 배열하다가 공권 외부는 소형도관이 방사상으로 배열하였다. 산지 간에는 조재 목섬유 길이, 조재 도관의 직경에서만 차이가 있는 것으로 나타났다. 목섬유 길이 및 도관요소 직경과 생장속도와는 만재부는 상관관계가 없고 조재부는 부의 상관이 있는 것으로 나타났다. 도관요소 길이와 생장속도와는 조, 만재부 관계가 없는 것으로 나타났다. 조, 만재에서의 구성요소 비율은 목섬유, 방사조직은 만재부에서 높고, 도관요소는 조재부에서 높은 것으로 나타났다. 방사조직 높이는 11~15개 범위로 나타났다.

사 사

이 논문은 2014년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

Abe, H. 2005. Present state and future prospects of research on wood anatomy and wood quality. *Mokuzai Gakkaishi* 51(1): 7-9.

Akutsu, A. 2003. Wood characteristics in plus tree clones of Sugi planted in southern Hokkaido (4). *Hokkaido Forestry Research Institute* 17(5): 8-15.

Akutsu, A., Fugimoto, T., Kuromaru, M. 2006.

Wood properties and genetic variation in plus-tree of todomatsu (*Abies sachalinensis*) (1). *Hokkaido Forestry Research Institute* 20(1): 25-34.

Fujisawa, Y., Ohta, S., Nishimura, K., Tajima, M. 1992. Wood characteristic and genetic variation in Sugi. *Mokuzai Gakkaishi* 38(7): 638-644.

Fujisawa, Y., Ohta, S., Tajima, M. 1993. Wood characteristic and genetic variation in Sugi II. *Mokuzai Gakkaishi* 39(8): 875-882.

Han, M.S., Lee, C.J., Park, B.S., Kim, B.R. 2014. Studies on wood quality and growth of *Quercus rubra* (24 years old) in Korea. *Mokchae Konghak* 42(3): 327-348.

Han, Y.C. 1992. America oaks of fast growth. *Forest Management Korea*. 81: 16-18.

Hirakawa, Y., Fujisawa, Y. 1996. The S2 Microfibril angle variations in the vertical direction of late-wood tracheids in susi (*Cryptomeria japonica*) trees. *Mokzai Gakkaishi*. 42(2) 107-114.

Hoadley, R.B. 1998. Identifying wood (Accurate results with simple tools). The Taunton Press, Newtown, USA.

Hwang, W.J., Kwon, G.J., Park, W.G., Bae, Y.S., Kim, N.H. 2002. Anatomical characteristics of major Korea ash species. *Mokchae Konghak*. 30(2): 79-86.

Kim, B.R., Missshro, A. 1998. Studies on variability of wood properties in stem of *Pinus koraiensis* (II) (Differences in trachied length, microfibril angle and compression strength in south and north sides of stem). *Mokchae Konghak*. 26(2): 45-50.

Kim, B.R., Min, D.S. 1999. Studies on variability of wood properties in stem of *Pinus koraiensis* (III) (variations in tracheid length and width, microfibril angle and compression strength in the longitudinal direction). *Journal of Korea Forestry Energy*. 18(1): 1-5.

- Lee, P.W. 1994. The structure of Korea wood. Jeongminsa Press, Seoul, Korea
- Park, B.S., Park, J.H., Han, S.U. 2006. Variation of material properties of Korea red pine of superior families. *Journal of Korea Forestry Energy* 25(2): 9-15.
- Ryu, K.O., Lee, K.Y., Lee, J.C. 1994. Growth performance of 8 provenances Northern red oak (*Quercus rubra* L.) in Korea. *Research Report of the institute of Forst Genetics Korea* 30: 58-63.
- Sander, I.L. 1990. *Quercus rubra* L. northern red oak. In: Burns RM and Honkala BH, ed. *Silvics of North America. Volum 2. Hardwoods*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Agricultural Handbook 654. Washington, DC. pp. 727-733.