목재공학 42(3): 327~338, 2014
J. Korean Wood Sci. Technol. 42(3): 327~338, 2014
http://dx.doi.org/DOI : 10.5658/WOOD.2014.42.3.327

24년생 루브라참나무의 생장과 재질에 관한 연구[1]
- 물리・역학적 성질 -

한 무 석[2]・이 창 준[3]・박 봉 석[3]・김 병 로[3,†]

Studies on Wood Quality and Growth of *Quercus rubra* (24 Years Old) in Korea[1]
- Physical and Mechanical Properties -

Mu-Seok Han[2]・Chang-Jun Lee[3]・Bong-Seok Park[3]・Byung-Ro Kim[3,†]

요 약

종자의 산지가 다른 루브라참나무(24년생)를 대상으로 물리 및 역학적 관계를 조사하여 생장속도와 목재의 재질과의 관계를 규명하였다. 생재함수율은 변재보다 심재가 높은 것으로 나타났고, 산지 간에 차이를 나타냈다. 비중의 경우 심재는 생장이 좋을수록 작아지는 경향을 보였고, 변재는 생장이 좋을수록 커지는 관계를 나타냈다. 전수축률은 산지 간 차이를 나타냈으며, 생장이 좋을수록 수축률과 T/R율은 높아지는 것으로 나타났다. 압축영계수, 휨강도와 휨영계수 및 충격강도는 산지 간 차이를 보였으며, 생장이 좋을수록 낮아지는 경향을 보였다. 전단강도는 산지 간 차이를 보였으며, 생장이 좋을수록 커지는 경향을 보였다. 경도는 세 단면에서 산지 간 차이를 보였으며, 생장이 좋을수록 커지는 경향을 나타냈다. 5종의 산지가 다른 루브라참나무 중 Bancroft산 종자의 경우가 가장 좋은 수고생장을 보이고, 세 번째의 흉고직경을 나타내며, 압축, 휨, 경도, 전단, 충격강도 모두 우수하여 생장과 재질면을 고려했을 때 현시점에서 가장 우수한 품종으로 판단된다.

ABSTRACT

Relationship between growth rate and wood quality was investigated by physical and mechanical properties with *Quercus rubra* (24 years old) from five different origin of apricot. In greenwood moisture content, sapwood had higher moisture content than heartwood, and there was difference among different origin of apricot. There were different specific gravity of wood among different origin of apricot. Compared with higher growth rate with higher specific gravity in sapwood, opposite trend was observed in heartwood. There were difference in shrinkage based on origin of apricot, and higher growth rate wood had higher shrinkage and T/R ratio. Compression Young's modulus, bending strength,

[1] Date Received February 3, 2014, Date Accepted March 10, 2014
[2] 국립산림과학원 임목육종과 Division of Forest Tree Improvement, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, 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)

bending Young's modulus, and compact strength was difference among different origin of apricot. Higher growth rate wood had higher tensile strength, and also there was difference amont different origin of apricot. In hardness, 3 different directions had all difference among different origin of apricot, and higher growth rate wood showed higher hardness than others. Based on overall physical and/or mechanical properties and growth rate, apricot from Bancroft was best quality in current.

Keywords : *Quercus rubra*, Juvenile wood, growth rate, wood quality, physical and mechanical properties

1. 서 론

임목의 형질을 개량하기 위한 임목육종 방법들 가운데 선발육종은 표현형에 따라 우수목 또는 우수집단을 선발하고 그들의 우수성을 검정하여 유전적으로 우수한 종자를 생산・공급하는 것이다. 따라서 외관상 수형 및 생장이 우수한 수형목을 선발하고 유・무성 증식을 통하여 증식된 개체로 채종원을 조성하여 채종원에서 종묘를 보급하는 것이 일반적이다(Akutsu *et al*. 2006). 지금까지 채종원을 조성하는 목적은 우수한 생장에 중점을 두었으나, 최근 임업선진국에서는 우수한 생장과 함께 우수한 재질의 목재생산에 더 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다.

재질연구는 생물체인 수목으로부터 생산되는 목재의 성질을 평가하는 것으로, 그것을 근간으로 목재의 용도가 모색되고, 우수한 목재 생산을 위한 기초가 되어 왔다. 따라서 임업선진국에서는 유용수종을 중심으로 역학적 강도, 밀도, 함수율, 수축율 등의 재질지표의 데이터를 축적하고, 동시에 섬유장, 세포경, 세포벽율, 마이크로피브릴경각이라고 하는 재질에 영향을 미치는 해부학적 지표에 관해서도 지금까지 다수의 연구데이터를 축적하고 있다(Abe 2005). 특히 품종, 클론, 산지 등에 따른 재질의 특징을 밝혀 우수한 재질의 목재를 생산할 수 있는 토대를 마련하고 있다(Fugisawa 1992, 1993; Akutsu 2003, 2006). 이와 같이 임업선진국에서는 우수한 목재를 생산하기 위해 생장 특성과 함께 재질 특성을 구명하고 있는 실정이고, 국내에서는 Park 등(2006)이 소나무 우량개체 차대검정림을 대상으로 생장과 재질 특성을 조사한 바 있다.

경제적 유용수종의 생산을 위해서는 향토수종을 선택하는 것이 가장 안정적이다. 그러나 그동안 우리나라는 향토수종 중 경제적으로 유용한 수종의 빈곤으로 외국으로부터 다양한 유망 조림수종을 도입하여 적응성 시험을 거쳐 조림수종을 보급하여 왔다. 산림청 국립산림과학원에서는 향토수종인 참나무류를 개량하기 위한 선발육종시험과 동시에 외국의 우량한 참나무류를 도입하여 국내 적응성을 검정하는 도입육종 시험도 병행하여 수행하고 있다.

전 세계적으로 중부온대지방을 중심으로 생육하고 있는 참나무류(*Quercus* spp.)는 380여 종이 알려져 있으며, 이 중 북미에 분포하는 참나무류는 78종이 있다. 이들 가운데 재질이 우수하여 특수목재로 이용되고 있는 수종은 *Q. robur*, *Q. rubra*, *Q. alba*, *Q. palustris* 등 4수종에 불과하다. 우리나라에서 주로 무늬목, 가구재, 내장재, 주방, 마루판재 등으로 사용되는 참나무류 목재는 북미에서 수입되는 루브라참나무와 알바참나무이며, 국내 자생 참나무류 6종은 주로 저가의 표고자목 및 신탄재로 이용된다(Ryu *et al*. 2004a, 2004b). 루브라참나무는 캐나다 퀘백주와 온타리오주에서 미국 동부 지역의 애팔레치아산맥을 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°C에서도 생존하는 수종이다(Sander 1990).

루브라참나무가 우리나라에 최초로 도입된 것은 조선총독부 임업시험장(1926~1936년)에서 부가 가치가 높은 외국 참나무류를 발굴 및 보급하기 위하여 북미, 캐나다, 프랑스, 독일 등에서 소량의 루브라참나무 종자를 도입하였다는 기록은 있으나 한국전쟁으로 자료가 소실되어 생육상황은 알 수 없다(Yoon

Table 1. Sample trees (*Quercus rubra*)

Provenance			Tree age (year)	Height (m)	D.B.H (cm)	Average annual ring width (mm)	Latewood ratio (%)
Carleton	Ontario	Canada	24	16.5	17.5	4.61	22
Simcoe	Ontario	Canada	24	14.7	10.9	2.87	41
Chatham	Ontario	Canada	24	17.3	19.8	5.21	27
Bancroft	Ontario	Canada	24	20.2	13.5	3.55	40
Unknown			24	14.9	12.6	3.32	23

1959). 그 이후 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 등 1986). 또한 Ryu 등(1994)은 1988년 미국과 캐나다에서 도입된 8개 산지의 종자에 대해 유적적인 외형적 생장변이를 조사하여 우리나라에 적합한 우수산지를 규명한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 아직 대부분이 미성숙재이나 이들에 대해 그간의 수고 생장과 흉고직경 생장과의 추이를 조사하고, 생장특성과 재질특성의 관계를 규명하여, 추후 성숙재가 되어 벌기령에 도달하였을 시 재질적으로도 우수한 종자의 산지를 규명하는데 필요한 기초자료를 얻는데 연구의 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에 사용된 루브라참나무(*Quercus rubra*) 재료는 원산지인 미국과 카나다로부터 1988년 도입된 8개 산지 종자를 1989년 포지에 산지별 발아하여 포지생장 한 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 종자 산지(이하 산지) 수고 흉고직경 등은 Table 1에 나타냈다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 평균연륜폭, 생재함수율 및 밀도 측정

공시목은 2012년 8월 29일에 전도되었고 2012년 9월 14일에 흉고부위에서 두께 10 cm의 디스크 채취 후 수로부터 2(T) × 2(R) × 2(L) (cm)의 시편을 연속 제작하였다. 이때 대부분에서 변재부의 시편도 제작할 수 있었다. 이들에 대해 생재함수율 측정은 KS F 2199, 밀도는 KS F 2198에 준하였다. 평균연륜폭은 채취된 디스크에서 함수율 및 비중시편 제작 전 디스크 상에서 KS F 2202에 준하여 측정하였다.

2.2.2. 수축률 측정

공시목의 흉고부위에서 두께 10 cm의 디스크 채취 후 수로부터 2(T) × 2(R) × 2(L) (cm)의 시편을 연속 제작하였으며, 이때 변재부의 시편은 Carletont 산지에서만 제작할 수 있었다. 또한 제작 시에는 측면에 방사단면과 접선단면이 정확하게 노출되도록 하였다. 수축율 시편 제작과 측정은 KS F 2203에 준하였다.

2.2.3. 역학적 성질 측정

압축강도, 휨강도, 전단강도, 충격휨흡수에너지 및 경도는 한국산업규격 목재의 시험 방법 통칙(KS F 2201)에 준하여 재료를 선정한 후 각각의 한국산업규격에 맞게 시료제작 및 측정을 하였다. 시편 제작은

Table 2. Green moisture contents and specific gravity (S.G.)

Provenance		Green moisture contents (%)	Green S.G. (W_g/V_g)	Oven-dry S.G. (W_o/V_o)	Air-dry S.G. (W_a/V_a)
Carleton	Sapwood	73.03	1.01	0.67	0.73
	Heartwood	85.98 a*	1.14	0.70	0.74 ab
Simcoe	Sapwood	74.86	0.95	0.63	0.68
	Heartwood	87.68 a	1.13	0.73	0.76 ab
Chatham	Sapwood	68.75	0.99	0.68	0.72
	Heartwood	76.39 b	1.12	0.71	0.75 ab
Bancroft	Sapwood	66.13	0.98	0.63	0.72
	Heartwood	71.46 b	1.15	0.70	0.77 ab
Unknown	Sapwood	55.50	0.85	0.64	0.65
	Heartwood	64.57 c	1.16	0.76	0.79 a

* Duncan groping (Subscripts indicate significant effect at 0.05% level)

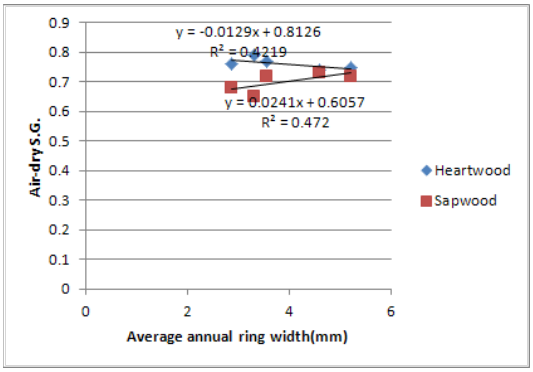

Fig. 1. Relationship between air-dry specific gravity and average annual ring width.

심재부에서는 모든 산지에서 제작되었으며, 변재부에서는 흉고직경이 큰 일부 산지에서만 제작되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 생재함수율 및 비중

Table 2는 루브라참나무의 산지 간 생재함수율, 생재비중, 전건비중, 기건비중을 나타낸 것이다. 생재함수율은 변재 55.50~74.86%의 범위로 평균 67.65%, 심재 64.57~87.68%의 범위로 평균 77.22%로 모든 산지에서 심재의 생재함수율이 변재의 생재함수율보다 높게 나타나는 것으로 나타났다. 생재비중은 변재 0.85~1.01의 범위로 평균 0.97, 심재 1.12~1.16의 범위로 평균 1.14, 전건비중은 변재 0.63~0.68의 범위로 평균 0.65, 심재 0.70~0.76의 범위로 평균 0.72, 기건비중은 변재 0.65~ 0.73의 범위로 평균 0.70, 심재 0.74~0.79의 범위로 평균 0.76을 나타냈다. Park 등(2004)은 한국산 참나무과인 굴참나무의 기건비중이 심재 0.78, 변재 0.77 상수리나무가 심재 0.78, 변재 0.80으로 루브라참나무는 한국산 참나무보다 기건비중이 약간 낮은 것으로 나타났다. 산지 간에 생재함수율과 비중의 차이의 유무를 알기 위해 던컨테스트를 실시한 결과 생재함수율은 유의차가 있었고 비중도 유의차가 있는 것으로 나타났다. 함수율의 경우 Simcoe, Carleton이 높게 나타났고, Chatham, Bancroft가 중간 값, Unknown이 낮은 값을 나타냈다. Fig. 1은 산지 간 평균연륜폭(생장속도)과 기건비중의 관계를 나타낸 것으로, 심재는 생장이 좋을수록 작아지는 경향을 보였고, 변재는 생장이 좋을수록 커지는 경향을 나타냈다. 생장속도와 비중과의 관계는 Paul(1963)은 환공재의 경우 생장속도가 빠를수록 목재의 밀도가 커진다고 하였고, John 등(1989)은 같은

Table 3. Shrinkage of air-dry and oven-dry in five provenance

Provenance		Air dry Shrinkage (%)				Oven dry Shrinkage (%)			
		T	R	L	T/R ratio	T	R	L	T/R ratio
Carleton	Sapwood	5.17	2.70	-0.90	1.91	9.44	2.70	0.12	3.49
	Heartwood	4.10 a*	2.42 a	0.29 a	1.69 b	6.51 bc	3.03 bc	0.44 a	2.35 a
Simcoe	Sapwood	-	-	-	-	-	-	-	-
	Heartwood	3.93 a	3.86 a	1.04 a	1.02 c	7.22 b	4.51 b	0.44 a	1.60 b
Chatham	Sapwood	-	-	-	-	-	-	-	-
	Heartwood	4.78 a	2.92 a	0.54 a	1.64 b	14.58 a	9.20 a	0.84 a	1.58 b
Bancroft	Sapwood	-	-	-	-	-	-	-	-
	Heartwood	3.20 a	1.27 a	0.93 a	2.52 a	9.43 b	7.73 a	0.61 a	1.22 b
Unknown	Sapwood	-	-	-	-	-	-	-	-
	Heartwood	4.29 a	2.50 a	0.96 a	1.72 b	3.61 c	1.75 c	0.73 a	2.06 a

* Duncan groping (Subscripts indicate significant effect at 0.05% level)

연령의 나무가 생장속도가 빠른 나무와 생장속도가 느린 나무는 비슷한 비중을 보이는 경향이 있다고도 보고하였다.

3.2. 수축률

Table 3은 산지 간 기건수축률과 전수축률을 나타낸 것이다. 기건 상태까지의 수축률은 접선방향은 3.20~4.78%의 범위로 평균 4.06%, 방사방향 1.27~3.86%의 범위로 평균 2.59%, 길이방향 0.29~1.04%의 범위로 평균 0.75%, 접선방향과 방사방향 수축이방도인 T/R 값은 1.02~2.52의 범위로 평균 1.72를 나타냈고, 전건 상태까지인 전수축률은 접선방향 3.61~14.58%의 범위로 평균 8.27%, 방사방향 1.75~9.20%로 평균 5.24%, 길이방향 0.44~0.84%로 평균 0.61%, T/R 값은 1.22~2.35로 평균 1.76을 나타냈다. 산지 간의 수축률 값에 대한 차이 유무를 알기 위해 던컨테스트를 실시한 결과 기건수축률은 모든 방향에서 유의차를 보이지 않았고, 전수축률은 접선방향과 방사방향에서는 유의차를 나타냈고 섬유방향에서는 유의차를 나타내지 않았다. T/R비는 기건 및 전수축율에서 유의차가 있는 것으로 나타났다. 기건수축률에서 T/R비는 Bancroft가 높게 나타났고, Unknown, Carleton, Chatham, Simcoe가 낮은 값을 나타냈다. 전수축율은 접선단면에서 Chatham이 높은 값, Bancroft, Simcoe, Carleton이 중간 값, Unknown이 낮은 값을 나타냈다. 방사방향에서 Chatham, Bancroft가 높은 값, Simcoe, Carleton은 중간 값, Unknown이 낮은 값을 나타냈다. T/R값은 Carleton, Unknown이 높고, Simcoe, Chatham, Bancroft가 낮은 값을 나타냈다. Fig. 2는 접선방향의 전수축율과 평균연륜폭과의 관계를 나타낸 것으로 생장이 좋을수록 수축률은 높아지는 정의 상관을 보였다. Fig. 3은 전수축율의 T/R비와 평균연륜폭과의 관계를 나타낸 것으로 생장이 좋을수록 T/R비가 커지는 경향을 나타내고 있다. Kim(1995)은 수축율은 비중과 관계가 높아 비중이 커지면 수축율이 커지는 것으로 알려졌으나 본 연구에서는 심재부의 경우는 반대의 경향을 나타냈다. 즉 Fig. 1의 평균연륜폭과 기건비중과의 관계에서 심재부는 생장이 좋아짐에 따라 비중이 낮아지는데, Figs. 2, 3에서 볼 수 있는 거와 같이 수축율 및 T/R비가 커지는 것으로 나타났다. 따라서 루브라참나무의 수축율은 비중보다 평균연륜폭과 관계가 있는 것으로 생각되므로, 루브라참나무는 생장이 좋아 연륜폭이 넓어지면 건조시

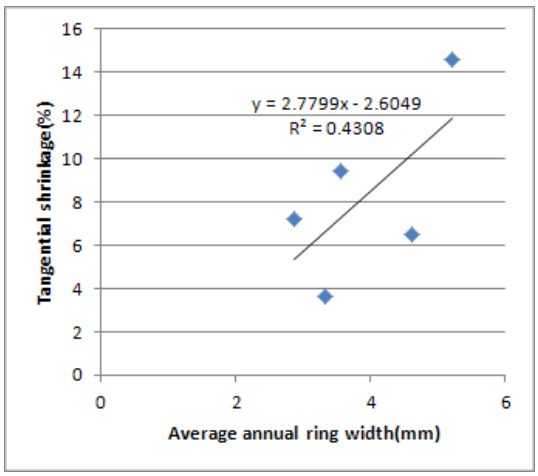

Fig. 2. Relationship between tangential shrinkage and average annual ring width.

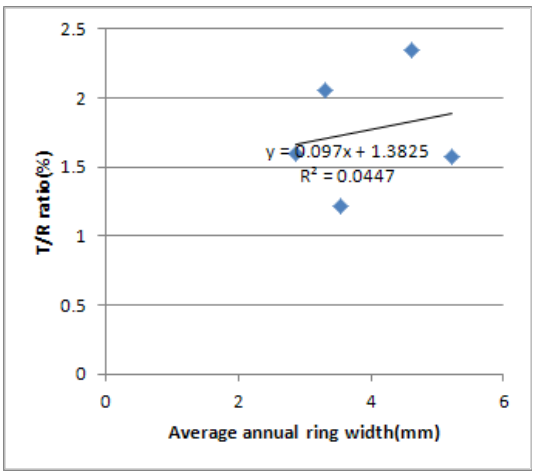

Fig. 3. Relationship between T/R ratio and average annual ring width.

Table 4. Axial compressive properties in five provenance

Provenance		MOR (kgf/cm^2)	Proportional limit (kgf/cm^2)	MOE (kgf/cm^2)
Carleton	Sapwood	471	328	33760
	Heartwood	465 a*	286 a	30825 b
Simcoe	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	501 a	335 a	30238 b
Chatham	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	455 a	273 a	20528 c
Bancroft	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	484 a	343 a	40839 a
Unknown	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	465 a	300 a	29009 b

* Duncan groping (Subscripts indicate significant effect at 0.05% level)

건조응력의 발생이 커질 수가 있으므로 주의해서 건조할 필요가 있을 것으로 생각된다.

3.3. 압축강도

Table 4는 루브라참나무의 산지 간 압축강도, 압축비례한도 및 압축영계수 값을 나타낸 것이다. 압축강도는 심재부가 455~501 kgf/cm^{2}의 범위로 평균 474 kgf/cm^{2}이고 변재부는 시료 채취가 가능했던 Carleton 산지의 개체가 471 kgf/cm^{2}의 값을 나타냈다. 압축비례한도는 심재부가 273~343 kgf/cm^{2}의 범위로 평균 307 kgf/cm^{2}이고 변재부는 Carleton산지의 개체가

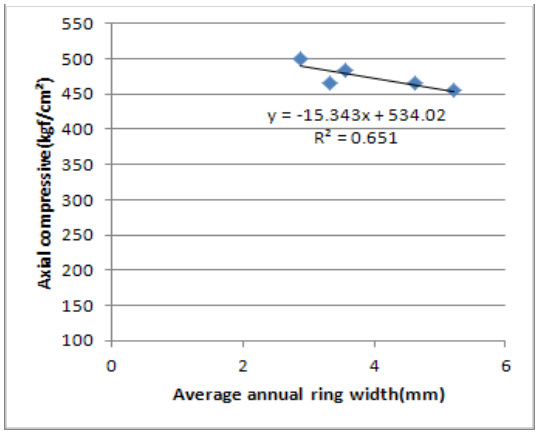

Fig. 4. Relationship between axial compressive and average annual ring width.

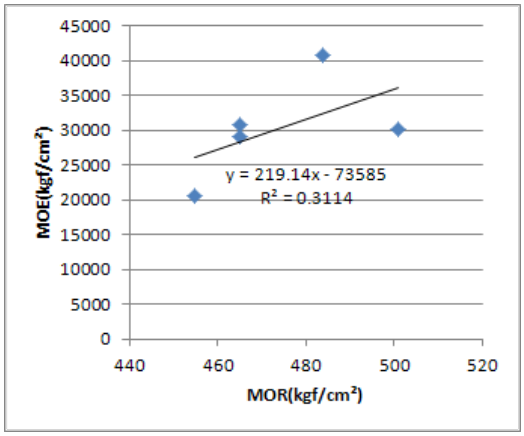

Fig. 5. Relationship between MOR and MOE.

328 kgf/cm^{2}을 나타냈다. 압축영계수는 심재부가 20,528~40,839 kgf/cm^{2}의 범위로 평균 30,288 kgf/cm^{2}이고, 변재부가 Carleton산지의 개체가 33,760 kgf/cm^{2}의 값을 나타냈다.

산지 간의 각 강도 값의 차이 유무를 알기 위해 던컨테스트를 실시한 결과 압축강도와 압축비례한도에서는 유의차가 없는 것으로 나타났고, 압축영계수에서는 산지 간 유의차가 있는 것으로 나타났다. 압축영계수의 경우 Bancroft가 가장 높은 값을 나타냈고 Carleton, Simcoe, Unknown이 중간 값을 나타냈고 Chatham은 가장 낮은 값을 나타냈다. 압축강도와 압축영계수의 산지 간 차이는 Table 1의 흉고직경 값과 관련이 있는 것으로 우선 분석을 할 수 있었다. 즉, 흉고직경이 넓은 Chatham (19.8 cm)이 압축강도와 압축영계수에서 작은 값을 나타냈고 흉고직경이 좁은 Simcoe (10.9 cm), Unknown (12.6 cm), Bancroft (13.5 cm), Carleton (17.5 cm)산지들이 높은 압축강도와 압축영계수 값을 나타냈다. Fig. 4는 산지 간 생장과 압축강도와의 관계를 나타낸 것이다. 앞의 강도와 흉고직경과의 관계에서 분석한 것과 같이 생장이 빠르면 강도 값은 저하되는 것으로 나타났다. Fig. 5는 압축강도와 압축영계수와의 관계를 나타낸 것이다. Park 등(2004)은 한국산 참나무과의 압축강도 조사에서 굴참나무는 490 kgf/cm^2, 상수리나무 534 kgf/cm^2, 졸참나무 589 kgf/cm^{2}으로 보고하였고, Cho 등(1990)은 루브라참나무 압축강도가 507 kgf/cm^{2}이라고 하였다. 본 연구의 공시재인 루브라참나무의 압축강도는 한국산 참나무과에 비해 낮았으며, 다른 보고(Cho 등 1990)의 루브라참나무보다 다소 낮았다.

3.4. 휨강도

Table 5는 루브라참나무의 산지 간 휨강도, 휨비례한도 및 휨영계수를 나타낸 것이다. 휨강도는 심재부가 795~1240 kgf/cm^{2}의 범위로 평균 989 kgf/cm^{2}이고 변재부는 2개 산지(Carleton, Chatham)의 개체에서 시편을 제조할 수 있었는데 이들의 범위는 926~931 kgf/cm^{2}로 평균 929 kgf/cm^{2}였다. 휨비례한도는 심재부가 308~491 kgf/cm^{2}의 범위로 평균 382 kgf/cm^{2}이고 변재부는 312~351 kgf/cm^{2}의 범위로 평균 332 kgf/cm^{2}였다. 휨영계수는 심재부가 61,531~102,323 kgf/cm^{2}의 범위로 평균 82,829 kgf/cm^2, 변재부가 67,566~73,678 kgf/cm^{2}의 범위로 평균 70,622 kgf/cm^{2}였다. 산지 간의 각 강도 값의 차이를 확인하기 위해 던컨테스트를 실시한 결과 휨강도, 휨비례한도 및 휨영계수에서 산지 간 유의차가 있는 것으로 확인됐다. 휨강도의 경우 Bancroft (1,240 kgf/cm^2), Unknown (1,237 kgf/cm^2)가 높은 값을 보였고

Table 5. Bending properties in six provenance

Provenance		MOR (kgf/cm^2)	Proportional limit (kgf/cm^2)	MOE (kgf/cm^2)
Carleton	Sapwood	931	312	67566
	Heartwood	814 b*	315 b	64490 b
Simcoe	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	861 b	319 b	84943 ab
Chatham	Sapwood	926	351	73678
	Heartwood	795 b	308 b	61531 b
Bancroft	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	1240 a	491 a	102323 a
Unknown(1)	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	1237 a	477 a	100860 a

* Duncan groping (Subscripts indicate significant effect at 0.05% level)

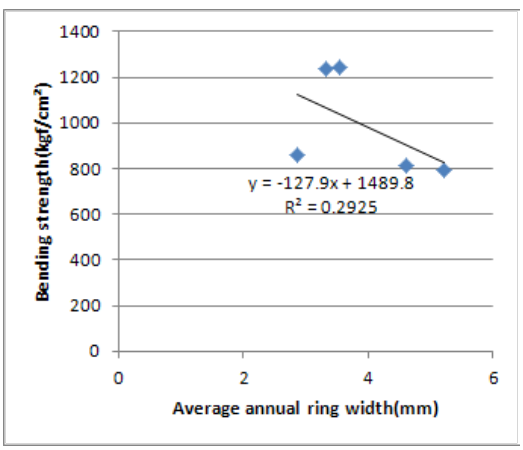

Fig. 6. Relationship between bending strength and average annual ring width.

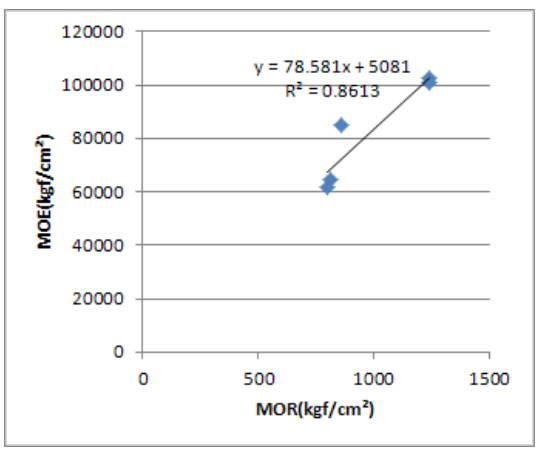

Fig. 7. Relationship between MOR and MOE.

Simcoe, Carleton, Chatham이 낮은 값을 나타냈다. 휨비례한도의 경우 Bancroft (491 kgf/cm^2), Unknown (477 kgf/cm^2)가 높은 값을 나타냈고 Simcoe (319 kgf/cm^2), Carleton (315 kgf/cm^2), Chatham (308 kgf/cm^2)가 낮게 나타났다. 휨영계수는 Bancroft (102,323 kgf/cm^2), Unknown (100,860 kgf/cm^2)가 높은 값을 보였고 Simcoe (84,943 kgf/cm^2)가 중간정도의 값을 나타냈으며 Carleton (64,490 kgf/cm^2), Chatham (61,531 kgf/cm^2)이 낮은 값을 나타냈다. 이들을 Table 1의 흉고직경 값과 연계해 분석하면 흉고직경이 작은 Bancroft와 Unknown산지의 개체가 높은 값을 보였고 흉고직경이 큰 산지의 개체가 낮은 값을 나타내는 경향을 보였다. Fig. 6은 생장과 휨강도와의 관계를 나타낸 것이다. 앞의 휨강도와 흉고직경과의 관계에서 분석한 것과, 또한 압축강도의 분석과 같이 생장이 빠르면 강도가 낮아지는 경향이

Table 6. Properties of shearing strength and impact bending absorbed energy in five provenance

Provenance		Shearing strength (kgf/cm^2)	Impact bending absorbed energy (kgf · m/cm^2)
Carleton	Sapwood	22.60	-
	Heartwood	23.54 a*	1.23 ab
Simcoe	Sapwood	-	-
	Heartwood	21.19 a	0.74 bc
Chatham	Sapwood	18.42	-
	Heartwood	23.18 a	0.68 c
Bancroft	Sapwood	-	-
	Heartwood	22.86 a	1.17 abc
Unknown	Sapwood	-	-
	Heartwood	18.13 b	1.50 a

* Duncan groping (Subscripts indicate significant effect at 0.05% level)

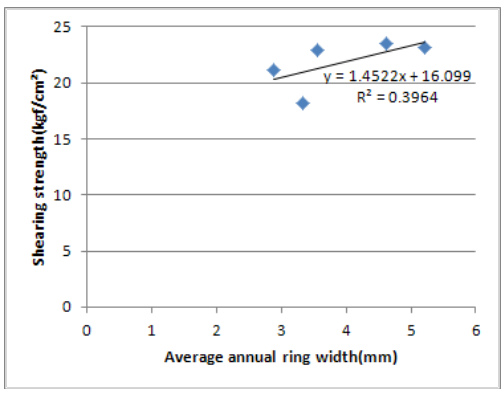

Fig. 8. Relationship between shearing strength and average annual ring width.

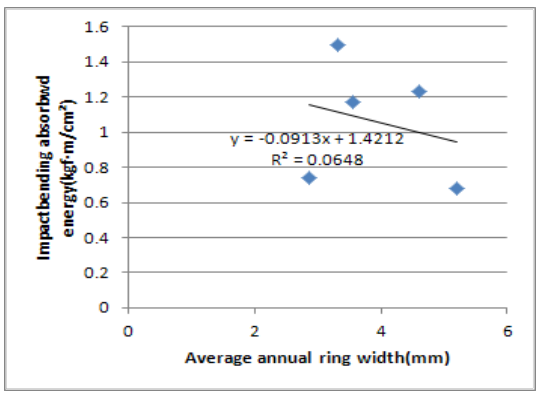

Fig. 9. Relationship between impact bending absorbed energy and average annual ring width.

있는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 7은 휨강도와 휨영계수의 관계를 나타낸 것으로, 휨강도가 증가할수록 휨영계수 또한 증가하는 상관관계를 보였다. Cho 등(1990)은 루브라참나무 휨강도가 998 kgf/cm^2 정도로 보통의 강도를 보인다고 나타냈으며, 이 값은 금번 조사한 휨강도와 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.5. 전단 및 충격강도

Table 6은 산지 간 전단강도와 충격강도를 나타낸 것이다. 산지 간 전단강도의 범위는 심재부의 경우 18.13~23.54 kgf/cm^{2}로 평균은 21.78 kgf/cm^{2}로 나타났다. 변재부의 경우는 18.42~22.60 kgf/cm^{2}의 범위로 평균 20.51 kgf/cm^{2}로 나타났다. 산지 간에는 심재부의 경우 Unknown이 18.13 kgf/cm^{2}로 낮은 값을 나타냈고 Carleton이 23.54 kgf/cm^2, Chatham이 23.18 kgf/cm^2, Bancroft가 22.86 kgf/cm^2, Simcoe가 21.19 kgf/cm^{2}를 나타냈으며 이들 간에는 유의차가 있는 것으로 나타냈다. Fig. 8은 생장과 전단강도와의 관계를 나타낸 것으로 큰 상관관계를 보이지 않았지만 생장속도가 빨라짐에 따라 압축강도와 휨강도와는 다르게 전당강도에서는 커지는 경향을 나타냈다.

Table 7. Hardness properties in five provenance

Provenance		Hardness (kgf/mm^2)		
		Cross section	Tangential section	Radial section
Carleton	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	6.40 c*	2.45 c	2.23 b
Simcoe	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	5.64 c	2.58 bc	2.03 b
Chatham	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	9.25 a	3.36 a	2.65 ab
Bancroft	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	8.91 a	3.20 ab	2.93 a
Unknown	Sapwood	-	-	-
	Heartwood	7.34 b	3.04 abc	2.89 a

* Duncan groping (Subscripts indicate significant effect at 0.05% level)

Cho 등(1990)은 루브라참나무의 전단강도는 147 kgf/cm^{2}라고 보고하여 본 조사와는 많은 차이를 보이고 있다. 이것에 대해서는 좀 더 조사가 있어야 할 것으로 생각된다.

충격강도는 심재부에서 0.68~1.50 kgf · m/cm^{2}의 범위로 평균 1.06 kgf · m/cm^{2}였다. 산지 간에는 유의차를 보였으며 Unknown이 1.50 kgf · m/cm^{2}으로 가장 높았으며, 다음으로 Carleton이 1.23 kgf · m/cm^2, Bancroft이 1.17 kgf · m/cm^2, Simcoe (0.74 kgf · m/cm^2), Chatham (0.68 kgf · m/cm^2)순으로 나타냈다. 이들을 Table 1의 흉고직경 값과 연계하여 분석해보면 흉고직경이 작은 Unknown과 Bancroft 산지가 높은 충격강도 값을 보였고 흉고직경이 큰 Chatham이 낮은 충격강도 값을 나타냈다. Fig. 9는 생장과 충격강도와의 관계를 나타낸 것으로 압축강도와 휨강도와 같이 생장이 빠를수록 충격강도가 작아지는 경향을 나타냈다.

3.6. 경도

Table 7은 루브라참나무의 산지 간 경도 값을 나타낸 것이다. 경도는 심재부에서 횡단면 값의 범위는 5.64~9.25 kgf/mm^{2}로 평균 7.51 kgf/mm^2, 접선단면 값의 범위는 2.45~3.36 kgf/mm^{2}로 평균 2.93 kgf/mm^2, 방사단면 값의 범위는 2.03~2.93 kgf/mm^{2}로 평균 2.55 kgf/mm^{2}로 나타났다. 각 단면 간 산지 간에 경도 값의 차이 유무를 알기 위해 던컨테스트를 실시한 결과 경도 값은 삼단면 모두에서 산지 간 유의차가 있는 것으로 나타났다. 횡단면의 경도 값의 경우 Chatham (9.25 kgf/mm^2), Bancroft (8.91 kgf/mm^2)가 높은 값을 나타냈고 Unknown (7.34 kgf/mm^2)이 중간 값, Carleton (6.40 kgf/mm^2), Simcoe (5.64 kgf/mm^2)가 낮은 값을 나타냈다. 접선단면의 경도 값의 경우 횡단면과 같이 Chatham (3.36 kgf/mm^2)이 높은 값을 나타내고 Bancroft (3.20 kgf/mm^2), Unknown (3.04 kgf/mm^2)로 중간 값을 나타내며 Simcoe (2.58 kgf/mm^2), Carleton (2.45 kgf/mm^2)로 낮은 값을 나타냈다. 방사단면의 경도 값은 Bancroft (2.93 kgf/mm^2), Unknown (2.89 kgf/mm^2)이 높은 값을 나타내고 Chatham (2.65 kgf/mm^2)이 중간 값, Carleton (2.23 kgf/mm^2), Simcoe (2.03 kgf/mm^2)가 낮은 값을 나타냈다. 삼단면 간 경도 값의 크기는 횡단면, 접선단면, 방사단면 순으로 큰 경향을 나타냈다. Fig. 10은 5개 산지 간 삼단면과 생장과의 경도 값의 관계를 나타낸 것으로 횡단면, 접선단면 및 방사단면의 세 단면에서 생장이 좋을수록 경도 값이 높아지는 경향을 나타냈다. 이는

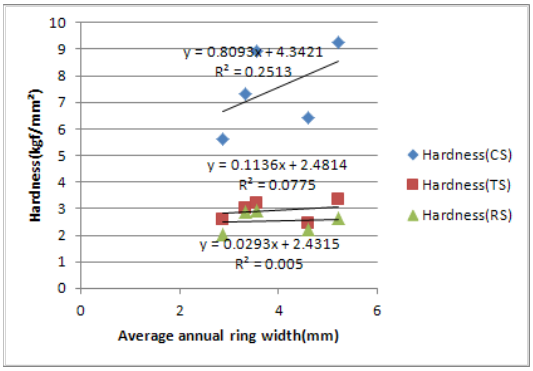

Fig. 10. Relationship between hardness and average annual ring width. CS: cross section, TS: tangential section, RS: radial section.

환공재의 경우 연륜폭이 넓어질수록 춘재부 도관의 비율이 낮아지기 때문이라고 생각한다.

이상의 결과를 종합하면 본 실험에 이용된 산지가 다른 루브라참나무(24년생으로 대부분 미성숙재 부분) 중 Bancroft산이 가장 좋은 수고생장을 보이고, 세 번째의 흉고직경을 나타내며, 압축, 휨, 경도, 전단, 충격강도 모두 우수하여 생장과 재질면을 고려했을 때 현시점에서 가장 우수한 품종이라고 할 수 있으며, 추후 성숙재의 경우에도 우수한 품종이 그대로 유지되고 있는지를 판단하기 위해서는 이러한 일련의 조사가 앞으로 더 필요할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 5개 종자 산지(Carleton, Simcoe, Chat-ham, Bancroft, Unknown)의 루브라참나무를 대상으로 물리역학적 강도의 관계를 조사하여 생장속도와 목재의 재질관계를 규명하고, 또한 목재의 합리적 이용을 위한 기초 자료를 얻고자 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 생재함수율은 변재 55.50~74.86%, 심재 64.57~87.68% 범위로 변재보다 심재가 높은 것으로 나타났다. 기건비중은 변재 0.65~0.73, 심재 0.74~0.79의 범위를 나타냈다. 산지 간에는 생재 함수율, 비중 모두 차이를 보였으며, 비중의 경우 심재는 생장이 좋을수록 작아지는 경향을 보였고, 변재는 생장이 좋을수록 커지는 관계를 나타냈다.

2) 전수축률은 접선방향 3.61~14.58%, 방사방향 1.75~9.20%, 섬유방향 0.44~0.84%을 나타냈고 T/R 값은 1.22~2.35범위를 나타냈고. 산지 간에는 생장이 좋을수록 수축률과 T/R율은 높아지는 관계를 나타냈다.

3) 압축영계수, 휨강도와 휨영계수 및 충격강도는 산지 간 차이를 보였으며, 생장이 좋을수록 낮아지는 경향을 보였다. 전단강도는 산지 간 차이를 보였으며, 생장이 좋을수록 커지는 경향을 보였다. 경도는 세 단면에서 산지 간 차이를 보였으며 생장이 좋을수록 커지는 경향을 나타냈다.

종자 산지가 다른 루브라참나무 중 Bancroft산이 가장 좋은 수고생장을 보이고, 세 번째의 흉고직경을 나타내며, 압축, 휨, 경도, 전단, 충격강도 모두 우수하여 생장과 재질면을 고려했을 때 현시점에서 가장 우수한 품종으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

Abe, H. 2005. Present state and future prospects of research on wood anatomy and wood quality. Mokuzai Gakgaishi 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(4). Hokkaido Forestry Research Institute 20(1): 25~34.

Cho, D.H,, Ryu, K.O., Kim, I.S., Lee, J.H., Park, J.I.

2013. Comparison of growth performance and stem straightness among 23 provenances of Quercus rubura Linne. Korean Journal of Breeding Science 45(4) : 369~376.

Cho, J.M., Kang, S.G. Hoo, N.J., Park, S.J. 1990. Illustrated world wood. Sunjinmoonhwasa. Seoul. p.317.

Fujisawa, Y.O., Nishimura, K. 1992. Wood characteristic and genetic variation in sugi 1. Mokuzai Gakgaishi 38(7): 638~644.

Fujisawa, Y.O., Nishimura, K. 1993. Wood characteristic and genetic variation in sugi 2. Mokuzai Gakgaishi 39(8): 875~882.

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

Hwang, W.J., Kwon, G.J., Kim, N.H. 2002. Physical and mechanical properties of major Korean ash species. Mokchae Konghak. 30(2): 95~101.

Haygreen, J.G., Bowyer, J.L. 1989. Forest Products and Wood Science. Iowa State University. p.274.

Kim, B.R. 1995. Studies on Variability in Wood Properties in Tree Stems of Pinus koraiensis (Ⅰ). Mokchae Konghak. 23(1): 28~34.

Kwo, Y.R., Ryu, K.O., Choi, H.S., Kwon, H.Y., Ahn, Y.H. 2007. Growth performance among 12 provenances of 30 year-old loblolly pine (Pinus taeda L.) in Wanju, southern part of Korea. Korean Journal of Breeding Science 39(4): 412~418.

Lee, J.C., Han, Y.C., Ryu, K.O. 1995. Growth comparison among 20 provenances of Quercus rubra. Research Report of the Institute of Forest Genetics Korea 31: 20~29.

Lee, W.H. 2008. Wood physics and mechanics. Hyangmoonsa. Seoul.

Oh, S.W. 1999. The relationship between anatomical characteristics and bending strenth in major species of Korea Lepidobalanus. Mokchae Konghak 27(1):9~17.

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.

Park, W.K., Kim. Y.C., Kim, B.R., Choi, T.H. 2004. Species identification and tree-ring dating of wood furniture. The national fork museum of Korea. Seoul. p.77.

Paul, B.H. 1963. The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. USDA Forest Service Technology Bulletin 1288.

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 Forest Genetics Korea 30: 58~63.

Ryu, K.O., Kim, I.S., Song, J.H. 2004a. Growth comparison among 8 provenances of Quercus rubra. Journal of Korean Society of Breeding Science 36: 309~315.

Ryu, K.O., Kwon, O.W., Song, J.H., Kim, I.S. 2004b. The variation of growth performance, timing of leaf burst and leaf from 23 provenances of Quercus rubra L. in Korea. Journal of Korean Forestry Society 93: 235~241.

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.

Yoon, K.B. 1959. Studies on rearing of foreign species (No, 3(1)). Korea forest research institute No. 1. 101p.