

# 남부지역 졸참나무의 임분 특성에 따른 물리·역학적 특성<sup>1</sup>

원 경 록<sup>2</sup> · 홍 남 의<sup>3</sup> · 이 광 수<sup>4</sup> · 정 수 영<sup>4</sup> · 유 병 오<sup>4</sup> · 박 용 배<sup>4</sup> · 정 성 호<sup>5</sup> · 변 희 섭<sup>2,†</sup>

## Physical and Mechanical Properties of *Quercus serrata* according to Stand Characteristics in Southern Region of Korea<sup>1</sup>

Kyung-Rok Won<sup>2</sup> · Nam-Euy Hong<sup>3</sup> · Kwang-Soo Lee<sup>4</sup> · Soo-Yung Jung<sup>4</sup>  
Byung-Oh Yoo<sup>4</sup> · Young-Bae Park<sup>4</sup> · Song-Ho Chong<sup>5</sup> · Hee-Seop Byeon<sup>2,†</sup>

### 요 약

목재의 조직, 물리, 역학적 특성은 토양조건과 기후변화 등의 환경적 인자에 의해서도 바뀌게 됨으로 남부 세 지역의 임분 특성이 목재의 재질특성에 미치는 영향과 지역별 조직, 물리, 역학적 특성 등을 비교 검토하였다. 경상도, 전라도, 제주도의 졸참나무임지에 대해 임분 특성과 목재특성을 평가 분석하였는데 이들 간에는 대부분 높은 상관관계가 나타났다. 남부지역의 졸참나무는 온대에서 난대로 기후가 변화하는 난대 지역의 산림자원으로 본 목재재질특성 분석 결과 유용한 산림자원으로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

### ABSTRACT

Wood properties are affected by environmental factors such as soil and climate change. There were close relationships between mechanical properties and stand characteristics for *Quercus serrata* stands in Gyeongsangnam-do Province, Jeollanam-do Province and Je-ju island. Both compression and shear strengths of woods showed a negative correlation with diameter at breast height (DBH) and the number of tree per hectare, while they are positively related with tree age, altitude, and drainage. The annual ring width was also negatively correlated with tree age, altitude, drainage, DBH, and tree height. However, anatomical characteristics of wood did not show much variation depending on the provincial regions. These results brought a conclusion that *Quercus serrata* in southern region could be useful forest resources for the utilization of wood.

**Keywords :** *Quercus serrata*, stand characteristics, anatomical, physical and mechanical properties

<sup>1</sup> Date Received September 18, 2014, Date Accepted October 10, 2014

<sup>2</sup> 경상대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원. College of Agriculture & Life Science, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

<sup>3</sup> 경상대학교 농업생명과학대학. College of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

<sup>4</sup> 국립산림과학원 남부산림자원 연구소. Southern Resources Research Center, Korea Forest Research Institute, Korea

<sup>5</sup> 산림청 산림교육원 재해방지 교육과. Training Institute, Korea Forest Service, Namyangju city, Kyounggido 472-865, Korea

<sup>†</sup> 교신저자(corresponding author): 변희섭(e-mail: hsbyeon@gnu.ac.kr)

## 1. 서 론

우리나라 산림자원의 조성은 세계적으로도 성공적으로 이루어졌다는 평가를 받고 있다. 과거에는 목재 생산과 같은 경제적 기능에 중점을 둔 산림정책을 실행하였고, 이로 인해 그동안 산림의 경영과 관리는 단순 동령림 위주의 침엽수 임분에 집중되어왔다. 그러나 이러한 단순림 위주의 산림정책은 병해충의 발생과 생태적 불안정 등의 문제점이 야기되면서 생태적으로 건전한 천연 활엽수림에 대한 관심과 중요성이 대두되고 있다(Park *et al.* 2013).

최근 기후가 난대기후로 변화함으로 인하여 소나무나 신갈나무는 줄어들고 난대수종 분포가 증가하게 되어 강도가 높고, 탄소저장률이 우수한 졸참나무가 급부상하고 있다. 하지만 졸참나무는 외부 상처에 의해 목질부가 노출되면서 목질부 조직의 변색 또는 부후가 심각하여 목재로써의 사용이 제한되어있는 실정이며, 현재 우리나라의 참나무림은 주로 수목의 밀도가 높은 이차림으로 목재의 효율적인 활용을 위하여 체계적인 관리 조성이 필요하다. 지금까지의 채종원을 조성하는 목적은 우수한 생장에 중점을 두었으나, 최근 입업선진국에서는 우수한 생장과 함께 우수한 재질의 목재 생산에 더 많은 노력을 기울이고 있다(Han *et al.* 2014). Abe (2005)는 유용수종을 중심으로 조직적 물리적 역학적 특성까지 많은 연구데이터를 축적하고 있다.

우리나라의 산림자원도 점차 벌기령에 도달하는 임목 축적의 증가로 미래에는 국내재 벌채량이 증가될 것으로 예견되고 있으나, 현재의 목재시장에서는 원목의 직경과 재장에 의한 거래가 대부분이어서 목재 재질의 질적 변화에 대한 경제적 가치는 고려되고 있지 않고 있다. 그러나 육림방법 등에 따른 객관적인 목재 재질의 증가를 포함한 목재의 경제적 가치를 분석하는 것은 매우 중요하다(Chong *et al.* 2014).

조림면적이 넓고, 집단화되어있으며 체계적인 육림작업을 실시한 인공조림지 중 목재생산이 가능한 임지를 대상으로 하여 육림작업에 따른 목재 재질 평가를 함으로써 적정 시업체계를 재정립하여 목재

이용 및 산업화 측면을 고려한 시장중심의 새로운 산림자원의 관리방향 제시가 필요하다. 따라서 건전하면서도 부가가치가 높은 천연활엽수림을 조성하고 관리할 수 있는 경영방안에 대해 관심을 가져야 할 시점이며, 이를 위해 다양한 입지 유형별로 생육하고 있는 활엽수림 내의 임목 생장에 대한 정보의 활용이 필수적이다(Shin *et al.* 2001). 또한 임목의 생장은 입지환경과 기후, 수종에 따라 그 특성이 다양하게 나타나기 때문에 그에 따른 경영관리가 필요하다. 그런데 졸참나무의 생태와 임분특성에 대한 국내의 연구는 매우 드물어, 목재 특성에 따른 용도를 파악하기 힘든 실정이다.

그래서 본 연구는 남부 지역 졸참나무 중에서 부후목을 제외한 건전목의 임분특성과 조직, 물리 및 역학적 특성과의 관계를 평가하여 그 특성에 따른 용도개발과 기초자료의 축적을 위하여 수행되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

본 실험에 사용된 졸참나무(*Quercus serrata*) 시험목은 각 표준지의 임분특성에 따른 목재재질의 비교 분석을 위하여 흉고직경, 평균수고, 평균수령, 표고, ha당 본수를 고려하여 각 표준지별로 선정하였으며, 그 개요를 Table 1에 나타내었다. 또한 지역별 비교를 위하여 남부지역 중 경남(함양군), 전남(완도군), 제주(서귀포시)지역에서 각각 6본씩 시험을 채취하여 실험을 수행하였다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 조직적 특성

원활한 절삭을 위하여 연화처리 한 졸참나무의 횡단면, 방사단면, 접선단면에서 마이크로톰(LEICA SM 2000 R)으로 20  $\mu$ m 두께로 절삭하여 제작한 절편을 염색, 탈수, 봉입 과정을 거쳐 프레파라트를 제조하였다. 준비된 프레파라트를 광학현미경(Nicon, LBO 2N-Micro)과 현미경에 장착된 CCD 카메라

**Table 1.** Plot data according to standing wood (*Quercus serrata*)

Division	D.B.H. (cm)	Height (m)	Stand age (year)	Altitude (m)	Stem number per ha (Count)
Plot 1 (Hamyang)	20.31	14.34	42	500~600	1220
Plot 2 (Hamyang)	26.60	16.20	41	500~600	1050
Plot 3 (Wando)	23.28	13.18	41	100m under	875
Plot 4 (Seogwipo)	26.50	11.71	61	400~500	725
Plot 5 (Seogwipo)	14.92	10.04	93	700~800	850
Plot 6 (Seogwipo)	19.01	11.77	82	300~400	1050

(AxioCam MRm, Carl Zeiss)를 사용하여 화상을 획득하였다. 획득한 화상을 바탕으로 조직학적 특성 중 방사조직 수, 방사조직의 높이, 방사세포 수, 섬유장, 연륜당 도관 수와 면적당 도관 수를 관찰하여 지역별로 분류하고 유의성을 검정하였다.

### 2.2.2. 평균연륜폭, 밀도 및 수축률 측정

연륜폭의 측정은 한국산업규격(KS) 중 KS F 2202 (목재의 평균 나이테 나비 측정 방법)에 준하여 시험편의 횡단면에서 나이테 사이의 거리를 나이테의 수로 나누어서 구했으며, 양 횡단면을 측정하여 평균값으로 표시하였다. 기건밀도는 KS F 2198 (목재의 밀도 및 비중 측정방법)에 의거하여 실험을 실시하였다. 수축률 시험은 KS F 2203 (목재의 수축률 시험 방법)에 준하여 시험편 20 mm × 20 mm × 20 mm로 제단한 후 증류수에 포수시켜 포수 때의 치수를 측정한 후 항온항습실(온도 20 ± 1℃, 습도 65 ± 2%)에서 2주 이상 조습시킨 후 항량에 달했을 때 기건치수를 측정한 후 건조기 103 ± 2℃에서 목재 내의 수분을 완전히 제거될 때까지 건조시킨 후 전건치수를 측정하여 평균수축률, 기건수축률, 전수축률을 구하였다.

### 2.2.3. 역학적 특성 시험방법

종압축강도와 방사방향전단강도는 한국산업규격

한국목재규격(KS)의 KS F 2206 (목재의 압축 시험 방법)과 KS F 2209 (목재의 전단 시험 방법)을 참조하여 실험을 실시하였으며 시험은 피로점용 만능강도시험기(Shimadzu, model EHF-ED10-20L)를 이용하여 압축강도 및 전단강도 모두 하중속도(cross head speed)를 1.0 mm/min의 조건으로 시험편의 횡단면이 하중 블록의 사이에 상하로 향하도록 위치시키고 균일한 하중이 횡단면에 가해지도록 시험을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 임분 특성

Table 2에 임분 특성인 흉고직경, 평균수고, 평균수령, 표고, ha당 본수 및 배수와 재질특성인 압축강도, 전단강도, 연륜폭 및 밀도와와의 상관계수와 p-value 값을 나타내었다. t 검정결과 졸참나무의 임분 특성과 재질 특성 간에는 상당히 높은 상관관계와 유의성을 나타내었다.

압축, 전단강도의 역학적 특성과 임분 특성에서 흉고직경, ha당 본수와는 부(負)의 상관관계를 나타내었고 수령, 표고, 배수와는 정(正)의 상관관계를 나타내었으며 모든 부분에서 유의성이 나타났다. 연륜폭은 수령, 표고, 배수와는 부의 상관관계를 나타내

**Table 2.** Physical and mechanical properties of *Quercus serrata* according to standing wood

Classification	N	DBH		Height		Stand age	
		F	p-value	F	p-value	F	p-value
Compressive strength	125	-0.271	0.002	-0.465	0.000	0.483	0.000
Shear strength	138	-0.442	0.000	-0.576	0.000	0.581	0.000
Ring width	140	0.396	0.000	0.489	0.000	-0.535	0.000
Density	140	-0.059	0.488	-0.390	0.000	0.213	0.011
Classification	N	Altitude		Wood number per hectare		Drainage	
		F	p-value	F	p-value	F	p-value
Compressive strength	125	0.654	0.000	-0.300	0.001	0.416	0.000
Shear strength	138	0.230	0.007	-0.413	0.000	0.301	0.000
Ring width	140	-0.665	0.000	0.136	0.109	-0.218	0.010
Density	140	-0.402	0.000	-0.589	0.000	0.111	0.192

**Table 3.** Anatomical characteristics of *Quercus serrata* according to southern region of Korea

Classification	Gyeongnam	Jeonnam	Jeju-do	F	p-value
No. of ray per (500 × 500 μm)	14.38 (1.11)	14.38 (1.70)	15.75 (1.08)	1.954	0.188
Ray structure height (μm)	169.25 (17.78)	162.18 (14.57)	141.70 (10.16)	5.437	0.023
No. of ray cell (500 × 500 μm)	8.54 (1.02)	8.42 (1.03)	6.87 (0.36)	7.130	0.010
Fiber length (mm)	1.24 (0.04)	1.31 (0.02)	1.25 (0.09)	1.177	0.344
Vessel per annual ring	17.15 (6.52)	16.10 (4.29)	10.99 (3.04)	2.668	0.114
Vessel per area	68.13 (17.04)	43.38 (6.39)	58.50 (17.60)	2.706	0.111

Notes; parenthesis is standard deviation.

었고, 흉고직경, 수고와는 정의 상관관계 나타내었으며 모든 부분에서 유의성이 나타났다. 밀도는 수고, 표고, ha당 본 수와는 부의 상관관계를 나타내었고, 배수와는 정의 상관관계를 나타내었으며 밀도와 수고, 수령, 표고에서는 유의성이 나타났지만 흉고직경과 배수에서는 유의성이 나타나지 않았다. Allen & Marquis (1970)는 루브르참나무의 직경생장 및 수고생장에 대한 인공적인 간벌을 실시한 임분의 생장특성과 높은 비례관계를 보고하였다. 또한 페트라참나무와 루브르참나무의 간벌 임분에서 비대생장효과와 헥타르당 본수의 상관관계에서 1% 수준에서 유의성

을 보고하였다(Kerr, 1996). 그 외에도 임분의 생장변화 뿐만 아니라 입지환경 및 식생에 따른 재질의 큰 변화도 보고되었다(Albrecht & McCarthy 2006; Wignall & Browning 1988).

### 3.2. 지역별 조직적 특성

조직학적 특성 중 데이터 축적을 위하여 각 지역별로 방사조직 수, 방사조직, 방사세포 수, 섬유장, 연륜당 도관 수, 면적당 도관 수를 측정하고 t 검정을 실시하여 비교한 결과를 Table 3에 나타내었다.

**Table 4.** Physical characteristics of *Quercus serrata* according to southern region of Korea

Classification	Ring width (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Oven dry shrinkage (%)		Air dry shrinkage (%)	
			Tangential	Radial	Tangential	Radial
Gyeongnam	2.73 ab* (1.03)	0.75 b (0.04)	8.87 (1.27)	4.27 (0.69)	6.34 (1.05)	2.14 (0.42)
Jeonnam	3.91 a (0.95)	0.83 a (0.04)	9.64 (0.75)	4.58 (0.41)	5.83 (1.11)	1.92 (0.37)
Jeju-do	2.08 b (0.86)	0.85 a (0.05)	10.77 (1.22)	5.19 (0.58)	7.69 (1.17)	2.70 (0.54)

Note; <sup>1)</sup> Duncan grouping (Subscripts indicate significant effect at 0.05% level)

조직적 특성에서 500 × 500 μm 당 복합 방사조직을 제외한 단일방사조직 수는 경남과 전남이 약간 높게 나타났으며, 평균방사조직높이, 평균방사세포수, 연륜당 도관 수는 경남 > 전남 > 제주 순으로 낮게 나타났지만 큰 차이가 없었다. 섬유장은 전남 > 제주 > 경남 순으로 낮게 나타났으며, 면적당 도관 수는 경남 > 제주 > 전남 순으로 낮게 나타났지만 모두 차이가 미미하였다. 경남, 전남, 제주 지역별로 조직적 특성에서 방사조직 수, 방사조직, 방사세포수, 섬유장, 연륜당 도관 수, 면적당 도관 수에서 지역별로 차이가 미미한 것은 동일 수종의 나무가 지역차이에 의한 조직적 차이는 없는 것으로 생각된다.

### 3.3. 지역별 물리적 특성

평균연륜폭, 기진밀도, 수축률(전진, 기진)을 지역별로 구분하여 측정하고 지역 간 물리적 특성값에 대한 차이 유무를 알기 위해 던컨테스트를 실시하여 Table 4에 나타내었다.

지역에 따른 물리적 특성에서 밀도는 제주 > 전남 > 경남 순으로 낮았고, 연륜폭은 전남 > 경남 > 제주 순으로 좁았다. 경남과 전남의 졸참나무는 평균연륜폭(생장속도)이 높은 전남의 졸참나무가 밀도도 높았지만 제주의 경우 가장 낮은 평균연륜폭으로 가장 높은 밀도를 나타내었다. 생장속도와 밀도는 일반적으로 생장속도가 높을수록 밀도가 낮지만 Paul (1963)은 환공재의 경우 생장속도가 빠를수록 목재의 밀도가 커진다고 보고하였고, Han 등(2014)은 루

브라참나무의 산지 간 평균연륜폭과 기진 비중의 관계에서, 심재는 생장이 좋을수록 작아지는 영향을 보였고, 변재는 생장이 좋을수록 커지는 경향을 나타내었다. t 검정결과 평균 연륜폭에서는 전남과 제주도가 차이를 나타내었고, 경남의 밀도가 전남과 제주의 밀도와 차이가 있음을 나타내었다. 수축률은 전 수축률과 기진 수축률 모두에서 유의성은 인정되지 않았지만 제주가 가장 높고 경남과 전남은 비슷하였다. 제주도 졸참나무가 밀도와 수축률이 가장 높았다. Kim (1995)은 수축률은 비중과 관계가 높아 비중이 커지면 수축률이 커지는 것으로 보고하여 본 연구결과와 같은 경향을 나타내었다.

### 3.4. 지역별 역학적 특성

압축강도, 압축영률, 전단강도를 지역별로 구분하여 측정하고 지역 간 역학적 특성값에 대한 차이 유무를 알기 위해 던컨테스트를 실시한 데이터를 Table 5에 나타내었다.

역학적 특성에서 경남, 전남, 제주의 압축강도 값은 각각 54.19, 44.69 59.17 Mpa로 제주 > 경남 > 전남순으로 나타났고 던컨검정결과 모든 지역에서 유의성이 나타났다. 경남, 전남, 제주의 압축영률은 각각 5.02, 4.86, 5.37 Gpa로 압축강도와 같이 제주 > 경남 > 전남순으로 나타났고 t 검정결과 경남과 전남은 차이가 나타나지 않았지만 제주와의 차이는 나타났다. 경남, 전남, 제주의 전단강도는 각각 14.35, 14.54, 17.03 Mpa로 제주가 가장 높았으며 경남과

**Table 5.** Mechanical characteristics of *Quercus serrata* according to southern region of Korea

Classification	Compressive MOR (Mpa)	Compressive MOE (Gpa)	Shear MOR (Mpa)
Gyeongnam	54.19 b (4.74)	5.02 b (0.59)	14.35 b (1.42)
Jeonnam	44.69 c (4.55)	4.86 b (0.38)	14.54 b (1.05)
Jeju-do	59.17 a (5.63)	5.37 a (0.58)	17.03 a (1.57)

전남은 비슷하였다. t 검정결과 경남과 전남의 차이에서는 유의성이 나타나지 않았지만 제주와 경남 및 전남의 차이에서는 유의성이 나타났다. Park *et al.* (2010)은 제주도의 삼나무의 역학적 성질이 남부지역의 삼나무에 비해 비교적 낮은 것으로 보고되었으나 본 연구에서는 제주도 졸참나무의 강도가 남부지역의 졸참나무 보다 높은 반대의 경향을 나타내었다. 또한 Wang & Ko (1998)는 임팩트 헤머법을 이용한 삼나무의 동적탄성률과 휨강도 모두 같은 수준이지만 각 지역별로 수목의 밀도, 토양에 따라 강도가 달라진다고 보고하였다.

#### 4. 결 론

목재의 재질특성은 토양조건과 기후변화 등의 환경적 인자에 의해서도 바뀌게 됨으로 남부 세 지역의 임분특성이 목재의 재질특성에 미치는 영향과 지역별 조직, 물리, 역학적 특성 등을 비교한 결과는 다음과 같다.

- 1) 압축 및 전단강도는 임분 특성의 흉고직경, ha당 본 수와는 부의 관계를 나타내었고 수령, 표고, 배수와는 정의 관계를 나타내었다. 연륜폭은 수령, 표고, 배수에서 부의 관계를 나타내었지만 흉고직경 및 수고와는 정의 관계를 나타내었다. 밀도는 수고, 표고, ha당 본 수와는 부의 관계를 나타내었지만 배수와는 정의 관계를 나타내었으며 수고, 수령, 표고에서는 유의성이 인정되었지만 흉고직경과 배수에서는 유의성이 인정되지 않았다.

- 2) 각 지역별 조직적 특성에서는 특별한 차이가 나타나지 않았다. 밀도는 제주 > 전남 > 경남 순으로 낮았고, 연륜폭은 전남 > 경남 > 제주 순으로 좁았다. 압축강도는 제주 > 경남 > 전남 순으로 낮았고, 전단강도는 경남과 전남은 비슷하고 제주가 가장 높았다.

#### 사 사

본 연구는 국립산림과학원 남부산림자원연구소 연구과제(SC0500-2012-01) 지원사업에 의하여 수행되었습니다.

#### REFERENCES

Abe, H. 2005. Present State and Future Prospects of Research on Wood Anatomy and Wood Quality. *Mokuzai Gakkaishi*. 51(1): 7-9.

Albrecht, M.A., McCarthy, B.C. 2006. Effects of Prescribed Fire and Thinning on Tree Recruitment Patterns in Central Hardwood Forests. *Forest Ecology and Management* 226(1-3): 88-103.

Allen, R.H., Marquis, D.A. 1970. Effect of Thinning on Height and Diameter Growth of Oak and Yellow-poplar Saplings. Northeastern Forest Experiment Station. USA. 11.

Chong, S.H., Won, K.R., Hong, N.E., Park, B.S., Lee, K.J., Byeon, H.S. 2014. Bending and Compressive Strength Properties of *Larix kaempferi* According to Thinning Intensity. *Journal of*

- The Korean Wood Science and Technology. 42(4): 385-392.
- 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 - Physical and Mechanical Properties -. Journal of The Korean Wood Science and Technology. 42(3): 327-338.
- Kerr, G. 1996. The Effect of Heavy or 'Free Growth' Thinning on Oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*). Forestry 69(4): 303-317.
- Kim, B.R. 1995. Studies on Variability in Wood Properties in Tree Stems of *Pinus koraiensis* (I). Journal of The Korean Wood Science and Technology. 23(1): 28-34.
- Park, B.S., Hwang, K.H., Chong, S.H. 2010. Wood Properties of Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) Planted as a Windbreak Forest of Mandarin Orange Field in Jeju Island. KFS Journal. 21(6): 479-485.
- Park, J.H., Kim, S.K., Lee, S.T., Lee, K.S., Kim, H.H. 2013. Thinning Effect on Vegetation Structure and Stand Characteristics of Oak Stands. Journal of Agriculture & Life Science 47(6): 81-89.
- Paul, B.H. 1963. The Application of Silviculture in Controlling the Specific Gravity of Wood. USDA Forest Service Technology Bulletin. 1288.
- Shin, M.Y., Chung, S.T., Lee, D.K. 2001. Estimation of Microclimate by Site Types in Natural Deciduous Forest and Relation between Periodic Annual Increment of Diameter and the Microclimatic Estimates (A Case Study on the National Forest in Pyungchung, Kangwon Province). Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 3(1): 44-54.
- Wang, S.Y., Ko, C.Y. 1998. Dynamic Modulus of Elasticity and Bending Properties of Large Beams of Taiwan-Grown Japanese Cedar from Different Plantation Spacing Sites. Journal of Wood Science 44: 62-68.
- Wignall, T.A., Browning, G. 1988. The Effects of Stand Thinning and Artificial Shading on Epicormic Bud Emergence in Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.). Forestry 61(1): 45-59.