

## 국산참나무 亞屬 주요 수종의 해부학적 성질과 휨강도와 관계\*<sup>1</sup>

오 승 원\*<sup>2</sup>

# The Relationship between Anatomical Characteristics and Bending Strength in Major Species of Korean *Lepidobalanus*\*<sup>1</sup>

Seung-Won Oh\*<sup>2</sup>

### ABSTRACT

This study was carried out to get some basic information on mechanical properties of Korean *Lepidobalanus* for the rational utilization of their woods. Five species of *Quercus variabilis*, *Q. aliena*, *Q. serrata*, *Q. mongolica*, *Q. acutissima* belonging to *Lepidobalanus* were investigated in this research. Relationship of anatomical characteristics with bending strength was analyzed using stepwise regression technique. All possible combination of 21 independent variables were regressed on bending strength. The summarized results in this study were as follows:

1) In the proportion of wood structural elements, the most important factors on bending strength appeared to be proportion of wood fiber in earlywood in *Q. variabilis* and *Q. serrate*, proportion of ray in earlywood in *Q. aliena*, proportion of vessel in earlywood in *Q. mongolica* and proportion of wood fiber in latewood in *Q. acutissima*, respectively.

2) In the other quantitative anatomical characteristics, the most important factors on bending strength appeared to be number of pore per 1mm<sup>2</sup> in latewood in *Q. variabilis*, microfibril angle in *Q. aliena* and *Q. mongolica*, length of wood fiber in *Q. serrata* and height of uniseriate ray in *Q. acutissima*, respectively.

**Keywords** : Korean *Lepidobalanus*, bending strength, anatomical characteristics

### - 요약 -

목재의 강도에 영향을 미치는 인자는 다양하기 때문에 본 연구에서는 국산 참나무 아속 주요수종인 굴참나무, 갈참나무, 졸참나무, 신갈나무, 상수리나무를 대상으로 해부학적 특성과 휨강도와의 관계를 규명하여 참나무 아속의 합리적인 이용방안을 위한 기초자료를 얻었다. 해부학적 특성 가운데 휨강도에 가장크게 영향을 미치는 인자는 굴참나무는 1mm<sup>2</sup>당 만재 관공의 수, 갈참나무와 신갈나무는 microfibril 경사각, 졸참나무는 목섬유의 길이, 상수리나무는 단열 방사조직 높이였다.

\*<sup>1</sup> 접수 1998년 6월 10일. Received June 10, 1998.

\*<sup>2</sup> 전북대학교 농과대학 College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

## 1. 서 론

인구증가와 생활수준의 향상으로 목재의 수요 증가는 계속될 전망이다. 특히 자원보유국의 수출억제 정책과 환경보전의 인식으로 우리나라와 같이 목재자원이 부족한 나라는 더욱 어려움을 겪게 될 것이다. 따라서 목재자원의 가공기술을 향상시킴으로써 목재자원을 효율적으로 이용하기 위한 다각적인 노력이 행해지고 있다. 목재의 강도에 영향을 미치는 인자는 다양한데 특히 내적 인자로서 조직적 특성은 매우 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다. 한편 강도의 차이는 각 수종의 조직적 특성 차이, 특히 침엽수재에서는 만재와 수지구의 영향, 활엽수재에서는 관공의 배열과 크기, 방사조직의 크기 등의 요인에 기인한다고 Gerhards(1982)가 보고한 바 있다. Bendtsen 등(1981)은 미루나무 및 미류나무와 양버들 교잡종의 12가지 조직적 특성에 따른 기계적 성질을 조사하였는데, 일반적으로 목섬유 길이, microfibril 경사각 및 방사조직이 강도적 성질과 밀접한 관련이 있다고 보고하였다. Tsoumis(1991)는 목섬유의 양과 도관요소의 배열이 휨강도에 영향을 미치는 주요 인자라고 하였으며, Bendtsen과 Senft(1986)는 cottonwood와 loblolly pine으로 휨강도를 측정된 결과 microfibril 경사각이 크고 목섬유 길이가 짧아질수록 휨강도는 감소한다고 보고하였다. 또한 microfibril 경사각은 목재의 물리 및 기계적 성질에 다양하게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Bendtsen, 1978; 藤崎, 1984; Grossman & Wold, 1971; Kucera & Bariska, 1982; Meylan & Probine, 1968; Salmen & Ruvo, 1985).

한편 본 연구에서 공시목으로 사용한 참나무류는 전체 산림축적량의 27%에 해당하는 우리나라의 대표수종으로 전국적으로 분포하고 있다(임업연구원, 1988). 목재의 조직 구조상 특징은 목재의 재질 및 가공성에 직·간접적으로 많은 영향을 미치고 있기 때문에 참나무류를 효율적으로 이용하기 위해서는 우선 참나무류의 각 수종별 세포 구성요소들이 기계적 성질에 미치는 영향과 그 변이 형태를 규명하는 것이 매우 중요한 일이라 하겠다. 그럼에도 불구하고 국산 참나무류의 역학적 성질에 관한 연구는 빈약한 실정에 있으며, 대부분 조직분야에 국한되어 단편적으로 이루어지고 있는 실정이다(심, 1991; 이, 1975; 이와 엄, 1983; 이와 이, 1991, 1992;

홍 등, 1972).

따라서 본 연구는 목리와 무늬가 아름답고 높은 강도와 내구성 가지고 있어 고급 가구부재, 고급 내장재, 건축재 등으로 다양하게 이용되는 국산 참나무 아속의 주요 수종인 굴참나무, 갈참나무, 졸참나무, 신갈나무, 상수리나무를 대상으로 휨강도에 영향을 하는 해부학적 특성을 밝힘으로써 참나무 아속의 합리적 이용 방안을 위한 기초자료를 얻고자 본 연구를 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시목

본 연구에서 사용한 참나무 아속의 공시목은 전라북도 부안군 소재 전북대학교 농과대학 부속연습원에서 채취하였다. 이 지역은 지리적으로 北緯 35° 37' ~ 35° 40', 東經 126° 32' ~ 126° 38' 에 위치하고 있으며, 지형은 해발 400~500m의 산봉들이 連峰을 이루면서 대부분 지역이 30% 이상의 경사로 비교적 험준하며, 지질은 중생대 백악기에 속하는 암반류를 모암으로 하고 있다(부안군, 1976; 국제관광공사, 1979).

공시 수종은 국내에 자생하고 있는 참나무 아속의 주요 수종인 굴참나무(*Quercus variabilis*), 갈참나무(*Q. aliena*), 졸참나무(*Q. serrata*), 신갈나무(*Q. mongolica*), 상수리나무(*Q. acutissima*) 5수종으로 하였으며, 비교적 성장이 우수하고 통직한 개체를 공시목으로 사용하였다. 공시목의 개요는 Table 1과 같다.

### 2.2 휨강도 측정용 시험편 제작

벌채된 원목의 흉고 부위를 중심으로 KS F 2208(1980)에 준하여 25(R)×25(T)×400(L)mm의 크기로 각 수종당 40개씩의 시험편을 제작하였다. 제작된 시험편은 항온항습기(온도 20±1℃, 습도 65±5%)에서 조습처리하여 평형습수율(12%)에 도달시킨 다음 휨강도 측정을 위한 시험편으로 사용하였다.

### 2.3 해부학적 특성 측정용 시험편 제작

강도 시험이 끝난 후 비중과 함수율 등 물리적 성질은 같으나 강도에 차이가 있는 시험편을 수종별로 8-10개씩 선별하여 약 15×15×15mm의 시편을 채취하고 실온에서 24시간 물속에 침지한 다음 고압부에서 30분간 연화시켰다. 연화된 시편을 활주식

Table 1. Description of sample trees

Scientific name	Korean name	D. B. H(Cm)	Ages(Year)	Locality
<i>Quercus variabilis</i> Blume	Gulchamnamoo	26 ~ 33	35 ~ 40	Buan, Chonbuk
<i>Quercus aliena</i> Blume	Galchanamoo	25 ~ 32	30 ~ 38	Buan, Chonbuk
<i>Quercus serrata</i> Thunb.	Jolchamnamoo	27 ~ 33	31 ~ 38	Buan, Chonbuk
<i>Quercus mongolica</i> Fischer	Singalnamoo	23 ~ 28	26 ~ 34	Buan, Chonbuk
<i>Quercus acutissima</i> Carruthers	Sangsurinamoo	25 ~ 31	28 ~ 34	Buan, Chonbuk

microtome으로 15~20 $\mu$ m 두께의 3단면 절편을 절삭하고 safranin액으로 염색하였다. 그 후 alcohol 계열로 탈수시킨 다음 xylene으로 투명화하고 Canada balsam으로 봉입하여 영구 slide를 제작하였다.

또한 3단면 절편의 제작에 이용된 시편에서 두께 1~2mm, 길이 15mm 정도의 축목을 채취하여 Schultze액으로 해리한 다음 safranin액으로 염색하여 일시 slide를 만들었다.

#### 2.4 휨강도 측정

항온항습기에서 조습처리한 후 KS F 2208(1980)에 준하여 만곡편을 접선단면으로 목표면쪽에 하중을 가하여 측정하였는데, 측정기로는 만능강도시험기(Every Dension Co. Model 7117 M/D/T 84439)를 사용하였으며 아래의 식을 이용하여 휨강도를 계산하였다.

$$\text{휨강도(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

P : 파괴하중  
L : 스펠  
b : 들보의 너비  
h : 들보의 높이

#### 2.5 해부학적 구성요소 측정

##### 2.5.1 구성비율

목재의 해부학적 구성비율 측정방법은 Schultz 법(1957)에 의하여 조·만재별로 측정하였다.

##### 2.5.2 목섬유

목섬유는 일시 slide를 이용하여 광학현미경 하에서 길이는 100배, 폭은 400배로 확대하여 각각 100개씩 측정하여 평균치를 구하였다.

##### 2.5.3 도관요소 직경

영구 slide의 횡단면에서 고립관공의 방사방향 직경과 접선방향 직경을 조재는 100배, 만재는 400배로

확대하여 100개씩 측정하여 평균치를 구하였다.

##### 2.5.4 관공의 분포

영구 slide의 횡단면에서 현미경 투영기를 이용하여 조·만재별로 1mm<sup>2</sup> 당 갯수를 50회 측정하여 평균치를 구하였다.

##### 2.5.5 방사조직

영구 slide의 접선단면에서 단열방사조직의 높이는 100배, 폭은 400배로 확대하여 각각 100개씩 조·만재별로 측정하여 평균치를 구하였으며, 방사조직에 직각으로 그른 직선 1mm 사이에 내포되는 방사조직의 수를 100회 측정하여 평균치를 구하였다. 광 방사조직의 폭은 100배 확대한 후 50개 측정하여 평균치를 구하였다.

##### 2.5.6 Microfibril 경사각

microtome으로 자른 방사단면을 건조시킨 후 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 10~15Kv의 가속전압으로 사진을 찍어 축방향과 microfibril 주향과의 각도를 측정하므로써 microfibril경사각을 구하였다.

#### 2.6 통계분석

시험결과 각 해부학적 특성이 휨강도에 미치는 영향 인자를 규명하기 위한 통계분석은 Stepwise regression technique를 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 해부학적 구성요소의 구성비율에 따른 휨강도

흉고 부위에서 휨강도를 측정한 시편중 함수율(12 $\pm$ 0.5%)과 비중(0.83)은 같으나, 강도에 차이가 있는 시편을 수종별로 8~10개씩 선별하여 해부학적 특성을 조사하였다.

Table 2. Relationship of anatomical characteristics and bending strength along tangential direction by species

Factors	<i>Quercus variabilis</i>	<i>Q. aliena</i>	<i>Q. serrata</i>	<i>Q. mongolica</i>	<i>Q. acutissima</i>
X1	41 ± 7 <sup>a</sup>	36 ± 6 <sup>c</sup>	36 ± 5 <sup>c</sup>	39 ± 7 <sup>b</sup>	42 ± 7 <sup>a</sup>
X2	38 ± 6 <sup>b</sup>	39 ± 7 <sup>a</sup>	39 ± 6 <sup>a</sup>	38 ± 6 <sup>b</sup>	35 ± 4 <sup>c</sup>
X3	7 ± 2 <sup>d</sup>	10 ± 3 <sup>a</sup>	9 ± 3 <sup>b</sup>	8 ± 2 <sup>c</sup>	8 ± 2 <sup>c</sup>
X4	15 ± 3 <sup>b</sup>	16 ± 3 <sup>a</sup>	16 ± 3 <sup>a</sup>	15 ± 3 <sup>b</sup>	15 ± 3 <sup>b</sup>
X5	9 ± 3 <sup>b</sup>	9 ± 2 <sup>b</sup>	9 ± 2 <sup>b</sup>	9 ± 2 <sup>b</sup>	10 ± 3 <sup>a</sup>
X6	67 ± 9 <sup>a</sup>	67 ± 9 <sup>a</sup>	67 ± 9 <sup>a</sup>	66 ± 9 <sup>a</sup>	64 ± 8 <sup>b</sup>
X7	9 ± 2 <sup>b</sup>	9 ± 2 <sup>b</sup>	9 ± 2 <sup>b</sup>	9 ± 2 <sup>b</sup>	10 ± 2 <sup>a</sup>
X8	16 ± 3 <sup>a</sup>	16 ± 3 <sup>a</sup>	16 ± 3 <sup>a</sup>	16 ± 3 <sup>a</sup>	16 ± 3 <sup>a</sup>
X9	260 ± 24 <sup>c</sup>	275 ± 20 <sup>b</sup>	271 ± 21 <sup>b</sup>	284 ± 27 <sup>a</sup>	270 ± 25 <sup>b</sup>
X10	236 ± 23 <sup>b</sup>	236 ± 24 <sup>b</sup>	231 ± 20 <sup>b</sup>	258 ± 26 <sup>a</sup>	232 ± 22 <sup>b</sup>
X11	72 ± 10 <sup>a</sup>	70 ± 9 <sup>a</sup>	63 ± 8 <sup>a</sup>	61 ± 7 <sup>a</sup>	59 ± 8 <sup>a</sup>
X12	51 ± 7 <sup>a</sup>	50 ± 7 <sup>ab</sup>	50 ± 7 <sup>ab</sup>	46 ± 6 <sup>bc</sup>	45 ± 6 <sup>c</sup>
X13	16 ± 4 <sup>a</sup>	17 ± 3 <sup>a</sup>	16 ± 4 <sup>a</sup>	16 ± 4 <sup>a</sup>	16 ± 4 <sup>a</sup>
X14	287 ± 26 <sup>cd</sup>	293 ± 27 <sup>bc</sup>	301 ± 28 <sup>abc</sup>	277 ± 26 <sup>d</sup>	308 ± 29 <sup>a</sup>
X15	12 ± 2 <sup>a</sup>	11 ± 2 <sup>b</sup>	11 ± 2 <sup>b</sup>	12 ± 2 <sup>a</sup>	12 ± 3 <sup>a</sup>
X16	267 ± 23 <sup>a</sup>	279 ± 27 <sup>a</sup>	267 ± 26 <sup>a</sup>	238 ± 24 <sup>c</sup>	262 ± 25 <sup>b</sup>
X17	1231 ± 135 <sup>ab</sup>	1238 ± 137 <sup>ab</sup>	1240 ± 140 <sup>ab</sup>	1209 ± 112 <sup>b</sup>	1257 ± 120 <sup>a</sup>
X18	15 ± 3 <sup>a</sup>	15 ± 3 <sup>a</sup>	15 ± 3 <sup>a</sup>	15 ± 3 <sup>a</sup>	15 ± 3 <sup>a</sup>
X19	18 ± 4 <sup>a</sup>	18 ± 4 <sup>a</sup>	18 ± 3 <sup>a</sup>	19 ± 4 <sup>a</sup>	17 ± 3 <sup>a</sup>
X20	8 ± 2 <sup>ab</sup>	7 ± 2 <sup>bc</sup>	8 ± 2 <sup>ab</sup>	9 ± 2 <sup>a</sup>	7 ± 2 <sup>bc</sup>
X21	21 ± 3 <sup>c</sup>	62 ± 7 <sup>a</sup>	63 ± 7 <sup>a</sup>	66 ± 4 <sup>a</sup>	30 ± 4 <sup>b</sup>
Strength(kg/cm <sup>2</sup> )	1280 ± 115	1278 ± 124	1259 ± 119	1171 ± 108	1227 ± 123

- |  |  |
|--|--|
| X1: Proportion of vessel element in earlywood      | X12: Tangential diameter of pore in latewood (μm)    |
| X2: Proportion of wood fiber in earlywood          | X13: Width of uniseriate ray (μm)                    |
| X3: Proportion of parenchyma cell in earlywood     | X14: Height of uniseriate ray (μm)                   |
| X4: Proportion of ray in earlywood                 | X15: Number of uniseriate ray per mm                 |
| X5: Proportion of vessel element in latewood       | X16: Width of broad ray (μm)                         |
| X6: Proportion of wood fiber in latewood           | X17: Length of wood fiber (μm)                       |
| X7: Proportion of parenchyma cell in latewood      | X18: Width of wood fiber (μm)                        |
| X8: Proportion of ray in latewood                  | X19: Microfibril angle (°)                           |
| X9: Radial diameter of pore in earlywood (μm)      | X20: Number of pore per mm <sup>2</sup> in earlywood |
| X10: Tangential diameter of pore in earlywood (μm) | X21: Number of pore per mm <sup>2</sup> in latewood  |
| X11: Radial diameter of pore in latewood (μm)      |  |

국산참나무 亞屬 주요 수종의 해부학적 성질과 휨강도와 관계

수종별 해부학적 구성비율의 차이를 조사한 결과 Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 조재 도관요소의 구성비율은 상수리나무가 42%, 조재 목섬유 구성비율은 갈참나무 및 졸참나무가 39%, 조재 축방향유조직 구성비율은 갈참나무가 10%, 조재 방사조직 구성비율은 갈참나무와 졸참나무가 16%, 만재 도관요소의 구성비율은 상수리나무가 10%, 만재 목섬유 구성비율은 굴참나무, 갈참나무 및 졸참나무가 67%, 만재 유조직 구성비율은 상수리나무가 10%로 다른 수종들 보다 큰 구성비율을 나타냈으며, 만재 방사조직 구성비율은 전 공시 수종이 16%로 동일하였다. 조와 이(1978)가 평균 구성비율을 측정한 결과에 의하면 상수리나무는 도관요소 13.82%, 목섬유 43.09%, 방사조직 16.78%, 축방향 유조직 18.09%이며, 졸참나무는 도관요소 12.79%, 목섬유 55.97%, 방사조직 21.61%, 축방향 유조직 18.64%라고 보고한 바 있다. 한편 해부학적 구성비율중 각 수종의 휨강도에 영향을 미치는 인자를 규명하기 위하여 stepwise 방식으로 다중회귀 분석한 결과는 Table 3과 같다.

해부학적 구성비율중 수종별 휨강도에 영향을 미치는 주요인자는 Table 3에서 보는 바와 같이 굴참나무는 조재 목섬유, 만재 방사조직 구성비율, 갈참나무는 조재 방사조직, 만재 도관요소의 구성비율, 졸참나무는 조재의 목섬유와 방사조직 구성비율, 신갈나무는 조재 도관요소 구성비율, 상수리나무는 만재의 목섬유와 방사조직 구성비율 등임을 알수 있었다.

3.2 해부학적 구성요소의 크기에 따른 휨강도

수종별 해부학적 구성요소의 크기 차이를 조사한 결과는 Table 2에서 보는 바와 같이 조재 관공의 방사방향 직경은 신갈나무가 284 $\mu$ m, 조재 관공의 접선방향 직경은 신갈나무가 258 $\mu$ m, 만재 관공의 방사방향 직경은 굴참나무가 72 $\mu$ m, 만재 관공의 접선방향 직경은 굴참나무가 51 $\mu$ m, 단열방사조직 폭은 갈참나무가 17 $\mu$ m, 단열방사조직 높이는 상수리나무가 308 $\mu$ m, 1mm내의 단열 방사조직 수는 굴참나무, 신갈나무, 상수리나무가 12개, 광방사조직 폭은 갈참나무가

Table 3. Coefficient of determination and regression equations in bending strength along tangential direction by proportion of wood element

Species	NO.	Independent variables	Coefficient of determination	Regression equations
<i>Quercus variabilis</i>	1	2	0.80 <sup>***</sup>	$Y = -340 + 1X_2 - 27 X_3 + 56 X_4 + 60X_8$
	2	2 8	0.88 <sup>**</sup>	
	3	2 8 4	0.91 <sup>*</sup>	
	2	8 4	0.89	
	3	8 4 3	0.91	
<i>Quercus aliena</i>	1	4	0.71 <sup>***</sup>	$Y = 1448 - 24 X_1 + 62 X_4 - 44 X_5$
	2	4 5	0.78 <sup>*</sup>	
	3	4 5 1	0.82	
<i>Quercus serrata</i>	1	2	0.78 <sup>***</sup>	$Y = -1641 + 49 X_2 + 58 X_4$
	2	2 4	0.82 <sup>**</sup>	
<i>Quercus mongolica</i>	1	1	0.87 <sup>***</sup>	$Y = 2902 - 47 X_1$
<i>Quercus acutissima</i>	1	6	0.80 <sup>***</sup>	$Y = -2225 + 43 X_6 + 44 X_8$
	2	6 8	0.85 <sup>**</sup>	

\*\*\*: P < 0.01, \*\*: P < 0.05, \*: P < 0.1

No.: No. of independent variables in regression

- 1: proportion of vessel element in earlywood
- 2: proportion of wood fiber in earlywood
- 3: proportion of parenchyma cell in earlywood
- 4: proportion of ray in earlywood

- 5: proportion of vessel element in latewood
- 6: proportion of wood fiber in latewood
- 7: proportion of parenchyma cell in latewood
- 8: proportion of ray in latewood

279 $\mu$ m, 목섬유 길이는 상수리나무가 1257 $\mu$ m, microfibril 경사각은 신갈나무가 19°, 1mm<sup>2</sup> 당 만재 관공의 수는 신갈나무가 66개로 다른 수종에 비하여 크게 나타났다. 홍 등(1972)이 지리산산 참나무류의 목섬유 길이 측정에서 신갈나무 1142 $\mu$ m, 졸참나무 1179 $\mu$ m, 굴참나무 1278 $\mu$ m라고 하였으며, 심(1991)은 참나무 아속 6수종에 대하여 목섬유 길이를 측정할 결과굴참나무 1215 $\mu$ m, 갈참나무 1027 $\mu$ m, 졸참나무 1007 $\mu$ m, 신갈나무 1166 $\mu$ m, 상수리나무 1154 $\mu$ m, 떡갈나무 1095 $\mu$ m라고 보고한 바 있다. 또한 심(1991)은

참나무 아속 6수종의 1mm<sup>2</sup> 당 도관요소의 분포수가 8~76개로 수종에 따라 차이가 심하며 목재의 비중에 상호보완적으로 영향을 미친다고 하였다.

한편 해부학적 구성요소의 크기중 각 수종의 휨강도에 영향을 미치는 인자를 규명하기 위하여 step-wise방식으로 다중회귀 분석한 결과는 Table 4와 같다.

해부학적 구성요소의 크기중 수종별 휨강도에 영향을 미치는 주요 인자는 Table 4에서 보는 바와 같이 굴참나무는 1mm<sup>2</sup>당 만재 관공의 수와 만재 관공

Table 4. Coefficient of determination and regression equations in bending strength along tangential direction by quantitative anatomical features

Species	NO.	Independent variables	coefficient of determination	Regression equations
<i>Quercus variabilis</i>	1	21	0.88***	Y = 527 + 7 X <sub>12</sub> + 3 X <sub>14</sub> - 23 X <sub>21</sub>
	1	21 12	0.92**	
	3	21 12 14	0.96***	
<i>Q. aliena</i>	1	19	0.85***	Y = 718 - 7 X <sub>12</sub> + 2 X <sub>14</sub> + 2 X <sub>16</sub> - 22 X <sub>19</sub>
	2	19 12	0.92***	
	3	19 12 14	0.94**	
	4	19 12 14 16	0.96**	
<i>Q. serrata</i>	1	17	0.87***	Y = 1820 - 2 X <sub>9</sub> + 1 X <sub>17</sub> - 56 X <sub>18</sub> - 24 X <sub>19</sub>
	2	17 19	0.93***	
	3	17 19 18	0.96**	
	4	17 19 18 9	0.97*	
<i>Q. mongolica</i>	1	19	0.95***	Y = 490 + 1 X <sub>17</sub> - 29 X <sub>19</sub>
	2	19 17	0.97**	
<i>Q. acutissima</i>	1	14	0.83***	Y = 262 - 9 X <sub>9</sub> + 3 X <sub>13</sub> + 1 X <sub>14</sub> + 2 X <sub>16</sub> + 2 X <sub>17</sub> - 12 X <sub>20</sub>
	2	14 17	0.92***	
	3	14 17 20	0.95**	
	4	14 17 20 16	0.96	
	5	14 17 20 16 13	0.97	
	6	14 17 20 16 13 9	0.98*	

\*\*\*: P < 0.01, \*\*: P < 0.05, \*: P < 0.1

No.: No.of independent variables in regression

9: Radial diameter of pore in earlywood ( $\mu$ m)

11: Radial diameter of pore in latewood ( $\mu$ m)

13: Width of uniseriate ray ( $\mu$ m)

15: Number of uniseriate ray

17: Length of wood fiber ( $\mu$ m)

19: Microfibril angle (°)

21: Number of pore per mm<sup>2</sup>in latewood

10: Tangential diameter of pore in earlywood( $\mu$ m)

12: Tangential diameter of pore in latewood( $\mu$ m)

14: Height of uniseriate ray ( $\mu$ m) per mm

16: Width of broad ray ( $\mu$ m)

18: Width of wood fiber ( $\mu$ m)

20: Number of pore per mm<sup>2</sup> in earlywood

Table 5. Coefficient of determination and regression equations in bending strength to the tangential direction by anatomical characteristics

Species	NO.	Independent variables	coefficient of determination	Regression equations
<i>Quercus variabilis</i>	1	21	0.88 <sup>***</sup>	$Y = 1802 - 22 X_1 + 6 X_{12} + 2 X_{14} - 37 X_{20} - 14 X_{21}$
	2	21 14	0.92 <sup>**</sup>	
	3	21 14 12	0.96 <sup>***</sup>	
	4	21 14 12 1	0.97 <sup>*</sup>	
	5	21 14 12 1 20	0.98 <sup>**</sup>	
<i>Q. aliena</i>	1	19	0.85 <sup>***</sup>	$Y = 1968 - 32 X_2 - 14 X_5 + 2 X_{14} - 91 X_{15} + 5 X_{16} - 30 X_{19}$
	2	19 12	0.92 <sup>***</sup>	
	3	19 12 14	0.94 <sup>**</sup>	
	4	19 12 14 16	0.96 <sup>**</sup>	
	5	19 12 14 16 5	0.97 <sup>**</sup>	
	6	19 12 14 16 5 2	0.98 <sup>**</sup>	
	7	19 12 14 16 5 2 15	0.98 <sup>**</sup>	
<i>Q. serrata</i>	1	17	0.87 <sup>***</sup>	$Y = 1331 - 14 X_3 + 17 X_7 - 1 X_{10} + 1 X_{17} - 30 X_{18} - 39 X_{19}$
	2	17 18	0.93 <sup>***</sup>	
	3	17 18 19	0.96 <sup>**</sup>	
	4	17 18 19 7	0.98 <sup>**</sup>	
	5	17 18 19 7 3	0.98 <sup>*</sup>	
	6	17 18 19 7 3 10	0.99 <sup>**</sup>	
<i>Q. mongolica</i>	1	19	0.95 <sup>***</sup>	$Y = -105 + 11 X_2 + 16 X_3 - 8 X_5 + 1 X_{17} - 19 X_{19}$
	2	19 17	0.97 <sup>**</sup>	
	3	19 17 2	0.97 <sup>*</sup>	
	4	19 17 2 3	0.99 <sup>**</sup>	
	5	19 17 2 3 5	0.99 <sup>*</sup>	
<i>Q. acutissima</i>	1	14	0.83 <sup>***</sup>	$Y = 281 - 63 X_5 + 7 X_8 - 3 X_9 + 48 X_{13} + 1 X_{14} - 1 X_{17}$
	2	14 17	0.92 <sup>***</sup>	
	3	14 17 8	0.95 <sup>**</sup>	
	4	14 17 8 5	0.96 <sup>*</sup>	
	5	14 17 8 5 13	0.97 <sup>**</sup>	
	6	14 17 8 5 13 9	0.98 <sup>*</sup>	

\*\*\*: P < 0.01, \*\*: P < 0.05, \*: P < 0.1 Legend ; see Table 3, 4

의 접선방향 직경, 갈참나무는 microfibril 경사각과 만재 관공의 접선방향 직경, 졸참나무는 목섬유 길이와 microfibril 경사각, 신갈나무는 microfibril 경사각과 목섬유 길이, 상수리나무는 단열방사조직 높이와 목섬유 길이 등으로 나타났다.

### 3.3 해부학적 특성에 따른 휨강도

공시 수종의 해부학적 구성요소의 비율과 크기를

포함한 해부학적 특성이 휨강도에 영향을 미치는 인자를 규명하기 위하여 stepwise 방식으로 다중회귀 분석한 결과는 Table 5와 같다.

해부학적 특성중 수종별 휨강도에 영향을 미치는 주요인자는 Table 5에서 보는 바와 같이 굴참나무는 1 mm<sup>2</sup>당 만재 관공의 수와 단열 방사조직의 높이, 갈참나무는 microfibril 경사각과 만재 관공의 접선방향 직경, 졸참나무는 목섬유 길이와 목섬유 폭, 신갈

나무는 microfibril 경사각과 목섬유 길이, 상수리나무는 단열방사조직 높이와 목섬유 길이 등으로 나타났다. 한편 심(1991)이 목재 구성 요소가 용적밀도에 영향을 미치는 개개의 인자와 그 상호 요인을 구명하기 위하여 참나무 아속 6수종을 대상으로 5가지 설명변수로 다중회귀분석한 결과 도관요소의 직경과 1mm<sup>2</sup> 당 도관요소의 분포수가 용적밀도에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 보고한 바 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 참나무 아속의 주요 수종인 굴참나무 (*Quercus variabilis*), 갈참나무(*Q. aliena*), 졸참나무(*Q. serrata*), 신갈나무(*Q. mongolica*), 상수리나무(*Q. acutissima*)를 대상으로 해부학적 특성과 휨강도와와의 관계를 구명함으로써 목재의 합리적 이용을 위한 기초 자료를 얻고자 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 해부학적 구성요소의 구성비를 가운데 휨강도에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 굴참나무와 졸참나무에서는 조재 목섬유 구성비율, 갈참나무에서는 조재 방사조직 구성비율, 신갈나무에서는 조재 도관요소의 구성비율, 상수리나무에서는 만재 목섬유 구성비율이었다.

2) 해부학적 특성 가운데 휨강도에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 굴참나무에서는 1mm<sup>2</sup>당 만재 관공의 수, 갈참나무와 신갈나무에서는 microfibril 경사각, 졸참나무에서는 목섬유의 길이, 상수리나무에서는 단열방사조직 높이인 것으로 밝혀졌다.

#### 참 고 문 헌

1. Bendtsen, B. A. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. Forest Products J. 28(10): 61~72.
2. Bendtsen, B. A., R. R. Maeglin and F. Deneke. 1981. Comparison of mechanical and anatomical properties of eastern cottonwood and *Populus* hybrid NE-237. Wood Sci. 14(1): 1~14.
3. Bendtsen, B. A. and J. Senft. 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth

- rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. Wood & Fiber Sci. 18(1): 23~38.
4. Gerhards, C. C. 1982. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: An analysis of immediate effect. Wood & Fiber 14(1): 4~36.
5. Grossman, P. U. A. and M. B. Wold. 1971. Compression fracture of wood parallel to the grain. Wood Sci. & Tech. 5: 147~156.
6. Kucera, L. J. and M. Bariska. 1982. On the fracture morphology in wood. Part 1: A SEM-study of deformation in wood of spruce and aspen upon ultimate axial compression load. Wood Sci. & Tech. 16: 241~259.
7. Meylan, B. A. and M. C. Probine. 1968. Microfibril angle as a parameter in timber quality assessment. Forest Products J. 19(4): 30~33.
8. Salmen, L. and A. de Ruvo. 1985. A model for the prediction of fiber elasticity. Wood & Fiber Sci. 17(3): 336~350.
9. Schultz, H. 1957. Der Anteil der einzelnen Zellarten an dem Holz der Rotuche. Holz als Roh-und Werks 15: 113~118.
10. Tsumis, G. 1991. Science and technology of wood. Van Nostrand Reinhold.
11. 藤崎謙次郎. 1984. スギにおけるヤング率と假道管長 およびマイクロフィブリル 傾角との関係について. 愛媛大演報. 11: 11~19.
12. 국제관광공사. 1979. 한국관광진흥 장기종합계획 (보고서).
13. 부안군. 1976. 변산반도 도립공원 기본계획안.
14. 심 근. 1991. 참나무 아속 주요수종의 수간내 재질변동. 전남대학교 박사학위 논문.
15. 이성재, 이원용. 1991. 한국산 참나무과 수종의 도관 구조에 관한 연구 (I) - 도관율과 치수의 출현 상태와 변이 강원대학교 임과대학 연습림 연구보고 11: 3~15.
16. 이성재, 이원용. 1992. 한국산 참나무과 수종의 도관 구조에 관한 연구 (II) - 도관벽의 수식구조. 강원대학교 임과대학 삼림과학 연보 8: 51~66.
17. 이원용. 1975. 물참나무재의 구성비율에 관한 연구. 강원대학 연구 논문집 9: 225~232.
18. 이필우, 엄영근. 1983. 졸참나무 지재섬유에 관한 연구. 한국임학회지 60: 45~50.



국산참나무 亞屬 주요 수종의 해부학적 성질과 휨강도와 관계

19. 임업연구원. 1988. 참나무자원의 종합이용 개발에 관한 연구(1). 과학기술처 특정개발사업 연구 보고서.
20. 조병우, 이원용. 1978. 한국산 주요활엽수재의 구성비율에 관한 연구. 목재과학 2: 33~41.
21. 한국공업규격. 1980. K. S. F. 2208. 목재의 휨시험방법. 공업진흥청. 서울.
22. 홍병화, 문창국, 신동소. 1972. 지리산産 참나무류의 목섬유 변이에 관하여. 한국 임학회지 14: 33~38.