

국산 주요 간벌 소경재의 무결점재에 대한 휨특성¹

차재경²

Flexural properties of clear specimens made from small diameter thinned trees¹

Jae-Kyung Cha²

요 약

국산 간벌 소경재인 리기다소나무(*Pinus rigida* Mill.), 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc), 일본잎갈나무(*Larix kaempferi* Carr.) 및 상수리나무(*Quercus acutissima* Carr.)로 만든 무결점재에 대한 휨특성을 조사하였다. 휨강도와 탄성계수는 수종에 따라 차이가 있었다. 비중이 큰 상수리나무가 가장 큰 휨강도와 탄성계수를 나타냈으며, 비중이 작은 일본잎갈나무가 가장 작은 값을 나타냈다. 휨탄성계수와 휨강도는 응력과 탄성계수와 양호한 정(正)의 상관관계를 나타내어 응력과 탄성계수에 의해 휨 특성 예측이 가능하였다.

Abstract

Flexural properties were investigated on clear specimens made from small diameter thinned trees of pitch pine (*Pinus rigida* Mill.), Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc), Japanese larch (*Larix kaempferi* Carr.), and sawtooth oak (*Quercus acutissima* Carr.). MOR and MOE values of small clear specimen were depended on the species. The highest density of sawtooth oak shows the highest values of MOR and MOE. However, the lowest density of Japanese larch shows the lowest values of MOR. It was also shown that flexural properties could be predicted by stress wave MOE, since the correlations between stress wave MOE and flexural properties were relatively good.

keywords : small clear lumber, thinned tree, flexural properties and stress wave MOE.

1. 접수 2003년 2월 20일 Received on February 20, 2003.

This study was financially supported by Korea Agricultural R & D promotion center.

2. 국민대학교 산림과학대학, College of Forest Science, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea.

Corresponding author: jcha@kookmin.ac.kr

서론

최근 국내에서 주택 및 가구 등에 목재 및 목질 재료의 급속한 사용 증가와 임목 축적량의 증가에도 불구하고, 국산재 이용이 활발하지 못하다. 따라서 우리나라의 대표적인 주요 조림수종인 일본잎갈나무, 소나무, 리기다소나무 및 상수리나무에 대한 합리적이고 효율적인 용도 개발이 매우 시급하다. 특히 2001년 산림청 보고에 의하면, 일반 목재의 공급량은 1991년 35만 8천m³, 1995년 51만 1천m³ 2000년 92만 8천m³으로 증가하였고, 현재도 크게 증가하고 있다.

주택 및 가구 등에서 목재 및 목질 재료의 급속한 사용 증가와 임목 축적량의 증가에도 불구하고, 국산재의 사용이 활발하지 못한 중요한 이유 중 하나는 강도특성에 대한 자료 부족에 있는 것으로 여겨진다. 특히 최근 간벌을 통하여 국내에서 많이 생산되는 소나무, 리기다소나무, 일본잎갈나무 및 상수리나무 등의 간벌 소경재는 자연림에서 자란 성숙재와 다른 특성들을 가지고 있다. 이들 국내에서 생산되는 간벌 소경재는 미숙재를 많이 포함하고 있고, 이 재질이 열등한 미숙재로 인해 국산재의 이용이 기피되고 있고, 심 등(1975)과 차(1996)에 의해 국산재의 특성에 대한 연구가 이루어졌지만 국산 간벌 소경재에 대한 연구는 매우 미흡하다. 특히, 미숙재가 많이 포함된 간벌재는 제재목 및 간벌재로 만든 파티클 보드 등의 특성에도 영향을 미친다(Roos 등 1990). 따라서 국내 간벌 소경재의 합리적 이용과 새로운 용도의 개발로 고부가가치를 창출하기 위해 간벌 소경재에 대한 기계적인 특성을 확립하는 것이 무엇보다 시급한 과제이고 중요한 연구 분야이다.

대경재의 감소 및 환경적 압력이 구조용 목재 시장에서 속성수 및 간벌 소경재의 이용에 대한 관심을 증가시켰으며, 미이용 간벌 소경재가 구조재의 대체 자원으로 잠재력을 가지고 있다. 하지만 새로운 시장에서 요구되는 구

조 성능에 영향하는 특성이 알려져 있지 않다면 이용이 매우 어렵게 될 것이다. 목재 등을 구조재로 사용하기 전에 엔지니어는 사용하고 자하는 목재의 설계응력을 알아야한다. 낮은 품질의 구조재는 낮은 설계응력을 만족스럽게 사용할 수 있고, 큰 치수로의 이용은 더 나은 품질의 구조재 사용보다 더 경제적이고 쉽게 이용이 가능할 것이다. 새로운 시장은 또한 경제적인 측면에서 구조재에 대한 더 정확하고 신뢰가 있는 강도를 예측하는 것이 필요하다. 이러한 목적으로 강도 및 강성도에 대한 자료가 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 국산 간벌 소경재의 보다 나은 이용을 위해 응력파 실험과 휨강도 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

실험을 위해 경기도에 위치한 제재소들에서 구입한 직경이 작은 소형 원목을 사용하였다. 사용된 수종들은 국내에 많이 조림된 리기다소나무(*Pinus rigida* Mill.), 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 일본잎갈나무(*Larix kaemferi* Carr.) 및 상수리나무(*Quercus acutissima* Carr.)의 간벌 소경재를 선택했다. 모든 시편들은 폭 15mm, 두께 15mm 길이 400mm로 제작하였다. 또한 시편들은 상대습도 65%와 온도 21°C인 항온항습기에서 처리하였다.

2.1 응력파 시험

휨강도 실험 전에 미국 Metrigard 사의 응력파 시험기(stress wave timer)를 사용하여 시편의 길이에 대한 응력파 통과 시간을 측정하였다. 트랜스듀서는 일정한 압력으로 시편의 양끝에 위치한 크래프에 의해 고정하였다. 응력파 통과 시간은 10⁻⁶초까지 측정하여 응력파 속도를 계산하는데 사용하였다. 응력파 탄성계수는 아래 식에 의해 계산하였다.

$$MOEs = \frac{\rho v^2}{g}$$

$$\begin{aligned} \text{MOEs} &= \text{응력과 탄성계수 (kgf/cm}^2\text{)} \\ \rho &= \text{목재의 밀도 (g/cm}^3\text{)} \\ v &= \text{응력과 속도 (m/s)} \\ g &= \text{중력가속도 (9.806m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

2.2 휨강도 시험

휨강도 실험은 응력과 탄성계수와 비교하기 위해 응력과 실험을 마친 모든 시편에 실시하였다. 휨강도 실험은 표준 실험 방법(ASTM D 143, 1995)에 의해 수행되었다. 휨강도 실험은 Hounsfield 사의 만능재료실험기를 사용하여 시편의 중앙에 하중속도 2.5mm/min로 파괴될 때까지 하중을 가하였다. 하중과 변형량은 계속하여 컴퓨터로 기록하여 휨강도 실험에 의한 탄성계수와 휨강도 계산에 사용했다. 휨강도 실험을 마친 다음 함수율과 비중을 측정하기 위해 모든 시편의 양끝으로부터 시편을 제작하여 무게와 치수를 측정한 다음, 모든 시편은 온도가 103°C인 전기 오븐에 전건시켰다.

결과 및 고찰

Table 1은 실험에 사용된 시편들의 비중 및 함수율에 대한 평균과 표준 편차를 보여주고 있다. 함수율의 평균은 10.9%에서 11.2%였다. 비중은 일본 잎갈나무와 소나무가 각각 0.44와 0.48로 가장 낮았고, 리기다소나무는 0.56였으며, 상수리나무가 0.71로 가장 높았다. 심 등(1975)은 40년 이상 된 천연림에서 자란 소나무와 인공림에서 자란 리기다소나무의 경우 비중이 각각 0.53과 0.54로 리기다 소나무는

약간 적게 나타났으나 소나무의 경우 크게 나타났다. 이는 심 등이 서있는 나무의 밑부분으로부터 5.45m이상에서 채취하여 사용한 시편의 채취 위치와 관계가 있는 것으로 판단된다.

휨강도 실험 및 응력과 실험에 의한 결과들은 Table 2에 요약하였다. 응력과 실험으로부터 구한 탄성계수와 휨강도 실험으로 구한 탄성계수는 매우 유사한 값을 보여주고 있다. 두 실험으로부터 구한 탄성계수는 리기다 소나무가 가장 작은 값을 보여주고 있으며, 일본잎갈나무, 소나무 및 상수리나무 순으로 크게 나타났다. Table 2에서 괄호 안에 있는 각 실험 결과들에 대한 표준편차는 탄성계수의 변이성을 보여준다. 상수리나무와 소나무는 응력과 탄성계수가 휨탄성계수보다 적은 값을 보여주고 있고, 표준편차 또한 적은 값을 나타내고 있다. 이는 일본잎갈나무나 리기다소나무보다 소나무나 상수리나무가 더 작은 탄성계수의 변이를 나타낸 것으로, 이는 시편 내에서 밀도가 더 균일하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 무결점재에 대한 휨강도의 평균과 표준편차는 Table 2에서 보여주고 있다. Table 2에서 보여주는 것과 같이 휨강도는 수종에 의해 영향을 받고 있는데 이는 비중 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에 사용된 수종 중에 가장 비중이 큰 상수리나무가 가장 큰 휨강도인 1243.8kgf/cm²와 휨탄성계수인 148.6 × 10³kgf/cm²을 나타냈다. 이는 상수리나무가 다른 수종보다 더 큰 하중을 지지하고 덜 처짐이 발생시킨다는 것을 의미한다. 그 다음으로 밀도가 큰 리기다소나무는 휨강도 941.5kgf/cm²를 보여주고 있다. 밀도가 작은 소나무와 일본잎갈나무는 가장 작은 휨강도를 나타냈고, 그 값

Table 1. Moisture contents and Specific Gravity for specimens from small diameter log

Species	Moisture Content (%)	Specific Gravity
<i>Pinus rigida</i> Mill.	10.9 (0.53*)	0.56 (0.03*)
<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	11.2 (0.24)	0.48 (0.04)
<i>Larix kaemferi</i> Carr.	11.0 (0.22)	0.44 (0.03)
<i>Quercus acutissima</i> Carr.	10.9 (0.21)	0.71 (0.04)

* Standard Deviation

Table 2. Summary of Modulus of Elasticity and Static bending strength

Species	Modulus of Elasticity (10^3kgf/cm^2)		Modulus of rupture (kgf/cm^2)
	Stress wave	Static bending	
<i>Pinus rigida</i> Mill.	93.9 (15.1*)	90.5 (12.6*)	941.5 (103.7*)
<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	107.7 (15.0)	112.0 (17.5)	865.5 (100.6)
<i>Larix kaemferi</i> Carr.	103.7 (21.9)	102.0 (22.7)	773.1 (84.7)
<i>Quercus acutissima</i> Carr.	143.2 (14.6)	148.6 (17.8)	1243.8 (95.4)

* Standard deviation

Table 3. Results of linear regression analyses relating static MOE and MOR to stress wave velocity and stress wave MOE

Predictor(X)	Regression eqn: $Y = AX + B$			
	Y	A	B	R ²
Stress wave MOE ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)	static MOE ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)	1.09	-8.45	0.94
stress wave MOE ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)	MOR(kgf/cm^2)	6.42	223.6	0.62
static MOE ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)		5.81	286.14	0.64

은 각각 865.5와 773.1 kgf/cm^2 를 보였다. 심 등의 연구 결과(1975)는 리기다소나무가 본 연구 결과보다 약간 작은 910 kgf/cm^2 을 나타냈지만, 소나무는 975 kgf/cm^2 으로 큰 값을 보여주고 있다. 이미 전술한 바와 같이 이는 본 연구에 사용된 시편과의 비중 차이가 원인인 것으로 판단된다.

탄성계수를 이용하여 휨강도를 예측하기 위해 선형회귀분석을 실시하였다. 각 수종의 휨강도는 휨탄성계수 및 응력과 탄성계수 사이에 매우 낮은 상관을 보였다. 이는 탄성계수의 좁은 범위가 원인으로 판단된다. 모든 수종의 휨탄성계수 및 응력과 탄성계수를 사용했을 때 휨강도와 사이에 상관계수는 각각 0.64과 0.62를 보였다. 이는 탄성계수가 각각 휨강도에 각각 64% 및 62% 관계 있음을 가리킨다.

휨강도와 휨탄성계수를 예측하기 위해 회귀분석으로 얻어진 결과들은 Table 3에 요약하였다. 휨탄성계수와 응력과 탄성계수 사이에 관계는 또한 그림 1에서 매우 높은 상관관계를 보여주고 있다.

결론

국산 리기다소나무(*Pinus rigida* Mill.), 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 일본잎갈나무(*Larix kaemferi* Carr.) 및 상수리나무(*Quercus acutissima* Carr.)의 간벌 소경재에 대한 휨강도 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

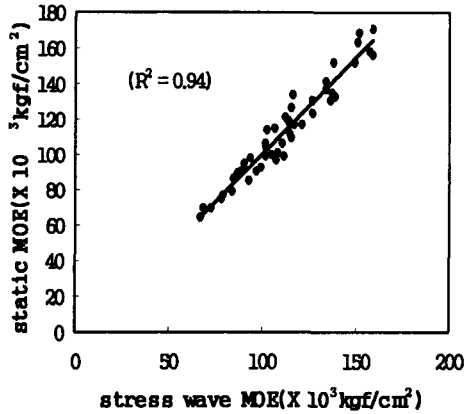


Figure 1. Relationship between stress wave MOE and static MOE.

1. 휨강도와 탄성계수는 수종에 따라 차이를 나타냈으며, 밀도가 큰 수종이 더 큰 휨강도와 탄성계수를 보였다.
2. 매우 큰 상관관계가 휨 탄성계수와 응력파 탄성계수 사이에 나타났으며, 또한 휨강도와 탄성계수들 사이에 좋은 상관관계를 보였다.

참 고 문 헌

1. American Society for Testing and Mater als. 1995. Standards methods of testing small clear specimens of timber. ASTM D 143. Annual Book of Standards, Vol 04.09, Wood. Philadelphia, PA.
2. Dean, M.A. and J.H. Kaiserlik. 1984. Non destructive screening of hardwood specialty blanks. Forest Products J. 34(3): 51-56.
3. Smulski, S.J. 1991. Relationship of stress w ave- and static bending determined proper ties of four north eastern hardwoods. Woo d and fiber sci. 23(1): 44-57.

4. Roos, K. D., J.E. Shottafer and R.K. Shepa rd. 1990. The relationship between selected mechanical properties and age in quaking aspen. Forest Prod. J. 40(7): 54-56.
5. 산림청. 2001. 임업통계연보. 제 31호.
6. 심종섭, 조재명, 강선구, 안정모, 이찬호, 조 남석, 정희석. 1975. 소나무속의 성질. 임업 시험장 연구보고 제 22호: 71-84.
7. 차재경. 1996. 국산 소경재를 이용한 집성재 개발을 위한 응력파 연구(II). 목재공학 24(4): 7-14.