

# 서로 다른 세장비에 대한 비파괴시험으로 국산재의 실질탄성계수와 전단탄성계수 결정<sup>1</sup>

차재경<sup>2,†</sup>

## Determination of True Modulus of Elasticity and Modulus of Rigidity for Domestic Woods with Different Slenderness Ratios Using Nondestructive Tests<sup>1</sup>

Cha, Jae Kyung<sup>2,†</sup>

### 요약

국산재에 대한 전단탄성계수와 실질탄성계수를 구하기 위해 서로 다른 세장비에 대한 휨강도시험 및 응력파실험을 실시했다. 국산재의 휨 성질들은 12%로 조습 처리된 무결점 시편으로 측정하였다. 휨강도와 탄성계수는 세장비(L/D)에 영향을 받아 세장비가 증가하면 증가하였다. 전단탄성계수(G)와 실질탄성계수는 서로 다른 세장비에 대한 휨강도 시험 및 응력파실험의 결과를 이용하여 계산했고, 그 값들은 국산재가 구조용도로 사용된다면 유용할 것이다. 하지만 이들 결과들은 제한된 수의 시편들에 대한 값으로 이들 수종의 실질 평균값을 나타내진 않는다.

### ABSTRACT

This study examined true modulus of elasticity (MOE) and modulus of rigidity (G) for domestic woods with different slenderness ratios (L/D) using the static bending and stress wave tests. Bending properties of small clear wood specimen of three domestic wood species were determined at 12% moisture content. The results of this study indicated that both MOR and MOE of domestic woods were affected by the slenderness ratio. As the slenderness ratio increased, MOR and MOE increased. G and true MOE of domestic timber beams were obtained at different slenderness ratios by flexure test and stress wave test. The values reported here can be useful if these species woods are used for structural purposes. However, the reported values are only indicative and do not represent the true average of wood species due to the limited number of specimens tested.

**Keywords :** true modulus of elasticity, modulus of rigidity, modulus of rupture, slenderness ratio

<sup>1</sup> Date Received August 8, 2014, Date Accepted September 29, 2014

본 연구는 국민대학교 교내연구비(2014) 지원에 의해 수행되었음

<sup>2</sup> 국민대학교 임산생명공학과. Department of Forest Products and Life Science, College of Forest science, Kookmin University, Seoul 136-702

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author) : 차재경(e-mail: jcha@kookmin.ac.kr)

## 1. 서 론

목재의 여러 기계적 성질들 중에서는 휨 성질이 가장 많이 이용된다. 목재의 휨 성질들은 시편 중앙에 집중하중을 가해 측정되지만, 대다수의 목재 보는 스패ん길이를 따라 여러 위치에 집중하중과 함께 분포하중이 가해진다. 또한 표준 실험방법으로 구한 목재의 휨 성질들은 치수가 영향하여 같은 스패ん길이(L)에서 두께(D)를 증가시키면 휨강도는 감소하고, 탄성계수도 전단력에 의한 처짐으로 영향받을 것이다 (Yoshihara와 Yamamoto 2004). 이는 일정한 세장비(L/D)의 표준 실험에 의한 탄성계수가 목재의 품질을 비교하기 위한 기준으로만 사용될 수 있다는 것을 의미하므로 전단력에 의한 처짐 영향을 제한하는 세장비의 범위가 결정되어야 한다. 그럼에도 불구하고 이들 휨 성질의 세장비에 대한 연구가 거의 없다 (Yoshihara *et al.* 2003). 특히 목재 보는 서로 다른 치수와 함께 더 작은 치수도 구조용으로 사용된다. 따라서 이들 부재의 세장비가 휨 성질에 어떻게 영향하는지 알 필요가 있다.

두께에 대해 긴 길이로 사용되는 철, 알루미늄 및 콘크리트 보에 대한 설계는 모든 처짐이 휨모멘트에 의해 일어난다고 가정한다. 하지만 두께에 대해 짧은 길이로 사용되는 목재 보는 휨모멘트와 함께 전단력을 지지하지만 특별한 경우를 제외하고 휨모멘트에 의한 처짐에 대하여만 고려되어 왔다. 전단력은 모양의 변화와 함께 처짐을 일으키므로 처짐이 기준인 목재의 보와 함께 기둥 설계에도 중요하다. 목재는 금속과 다르게 탄성계수에 대한 전단탄성계수의 비가 구조설계에 16 : 1이 널리 사용되고, 2.5 : 1인 철에 비해 매우 작다(Bodig와 Jayne 1982). 많은 연구들이 목재의 전단탄성계수를 구하기 위해 표준 실험방법인 ASTM D198 (1986)의 3점과 4점의 휨강도실험 및 염력실험(torsion test)을 실시했다. Bodig와 Jayne (1982)은 여러 수종의 목재에 대한 전단탄성계수 값들을 보여주고 있고, E : G의 비율은 8.7~20.9 : 1 범위였다. Biblis (2001)의 7종 참나무 목재에 대한 실험결과 E : G의 비가 13.3~33.6이었다. Hindman *et al.* (2006)은 ASTM D198의 3점과 5점의 휨 하중에

의해 전단탄성계수를 측정했다. Harrison과 Hindman (2007)은 ASTM D198의 3점과 5점의 휨 하중 및 염력을 사용하여 전단탄성계수를 구하였다. 제재목에 대한 전단탄성계수는 3점과 5점 하중방법 사이에 차이가 크지 않았으나 염력에 의한 방법과는 큰 차이가 있었다. Jeong과 Hindman (2008)은 구조재의 전단탄성계수와 실질탄성계수를 구하기 위해 plate bending과 twisting test를 실시했다. Plate test로부터 구한 실질탄성계수와 전단탄성계수의 비는 ASTM D198의 휨강도실험으로부터 구한 값보다 약 40% 적었다.

전단탄성계수는 실험방법과 수종에 따라 서로 다른 값을 보였다. 이들 차이는 실험식을 이용하기 위한 여러 가정들의 타당성과 실험오차가 원인일 것이다. 하지만 국내 수종의 전단탄성계수에 대한 자료는 전무하다. 목재에 대한 탄성계수는 인장실험에서 시편의 고정과 압축실험에서 시편과 하중을 가하는 plate 사이에 접촉 등의 문제를 가지고 있어 휨강도 실험에 의한 탄성계수가 이용된다. 전단탄성계수(G)는 구조설계에서  $G_{LR}$ 와  $G_{LT}$ 의 값이 중요하다. 전단탄성계수는 종방향의 변형률과 함께 횡방향 변형률의 측정으로 인장실험이나 압축실험으로부터 구할 수도 있지만 직방성인 목재는 매우 복잡하다. 더구나 목재의 비틀림 실험에서  $G_{LR}$ 와  $G_{LT}$ 는 단지 비틀림 하중과 비틀림 각을 측정할 때 분리할 수 없어 동시에 작용한다. 따라서 본 연구는 실질탄성계수와 전단탄성계수를 응력과 실험 및 서로 다른 세장비의 시편에 접선단면으로 휨하중을 가해 결정하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

본 연구는 국내에서 많이 생산되는 낙엽송, 잣나무 및 소나무 목재를 사용했다. 이들 목재들은 간벌 등에 의해 많이 생산되지만 기계적 성질 등의 자료 부족과 용도개발이 이루어지지 않아 저가에 팔리고 있다. 용도개발과 고부가가치의 이용을 위해 휨강도 및 응력파실험을 실시했다. 휨강도 및 응력파실험 시편들은 국립산림과학원으로부터 분양받은 판재로부터 각 실험에 사용된 목재들 사이에 변이를 최소화하기 위해 폭으로 잘랐다. 각 판재로부터 5개씩 자른

시편들은 횡단면이 2 × 2 cm이고, 길이가 44 cm인 무결점 목재를 각각의 실험에 사용했다. 모든 시편들은 목재실험의 표준조건인 함수율 12%가 되도록 온도 21℃와 상대습도 65%인 항온항습기에 처리하였다. 무게가 일정하게 된 시편들은 평삭기로 대패질하였다. 모든 실험을 마친 시편들은 함수율과 비중을 구하기 위해 103℃의 전기오븐에서 전진시켰다.

## 2.1. 휨강도실험

휨강도실험은 단순 지지된 시편의 중앙에 분당 2.0 mm 속도로 하중을 가했다. 휨강도와 실질탄성계수 및 전단탄성계수를 구하기 위해 여러 세장비가 되도록 스패ن길이를 다르게 하여 휨강도실험을 했다. 각 시편들 사이에 휨 성질의 변이를 최소화하기 위해 세장비가 18, 14, 11과 8이 되도록 각 시편은 4개의 서로 다른 스패ن길이(36, 28, 22 및 16 cm)로 실험했다. 하중은 각 스패ن길이에 대한 예상되는 비례한계점에서 하중의 1 / 3 정도만 접선단면으로 가했다. 각 시편들은 가장 긴 스패ن길이 36 cm의 중앙에 하중을 가한 다음 스패ن길이를 순차적으로 짧게 하면서 실험을 모두 마칠 때까지 계속했다. 여러 세장비에서 휨강도실험에 의해 구한 탄성계수는 실질탄성계수와 전단탄성계수를 결정하는데 이용했다. 또 다른 휨강도실험은 세장비에 대한 휨강도의 영향을 보기 위해 4 스패ن길이의 시편들이 각각 파괴될 때까지 하중의 가해 휨강도를 측정했다. 휨강도, 실질탄성계수 및 전단탄성계수를 구하기 위해 각각의 수종별로 총 35개(5종 실험 × 7반복)의 시편들이 사용됐다.

## 2.2. 응력파실험

휨강도실험을 하기 전에 Fig. 1과 같이 비파괴실험기인 미국 Metrigard사의 응력파실험기(stress wave timer)로 시편의 길이를 통해 응력파의 통과시간을 측정하였다. 트랜스듀서는 일정한 압력으로 시편의 양 끝을 클램프에 의해 고정하였다. 응력파 통과시간은 10<sup>-6</sup>초까지 측정하여 응력파의 속도 계산에 사용했다. 응력파에 의한 탄성계수는 아래 식에 의해 계

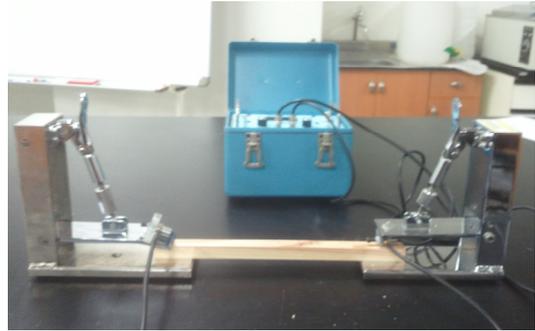


Fig. 1. Arrangement of stress wave test.

산하였다.

$$MOEs = \rho v^2$$

MOEs : 응력파에 의한 탄성계수(N/cm<sup>2</sup>)

$\rho$  : 목재 밀도(g/cm<sup>3</sup>)

v : 응력파의 속도(m/s)

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 실질탄성계수의 결정

휨강도실험과 응력파실험에 사용된 시편의 성질들은 Table 1과 같다. 평균함수율은 11.5~12.1%였다. 비중의 평균은 잣나무목재가 0.39로 가장 작았고, 소나무목재와 낙엽송목재는 각각 0.51과 0.50을 보였다. 잣나무, 소나무 및 낙엽송의 무결점재로 제작된 시편의 세장비와 탄성계수는 Table 1과 같다. 세장비가 증가하면 모든 수종의 목재들은 탄성계수가 증가하는 것을 보여주고 있다.

실질탄성계수는 스패ن길이를 변화시켜 실험한 탄성계수(E')와 세장비 사이에 비선형회귀분석을 통해 Table 2에서 보여주는 실질탄성계수를 계산했다. 실질탄성계수는 회귀식이 최대가 되는 세장비를 구한 다음 대입하여 얻었다. 소나무, 잣나무 및 낙엽송 목재의 실질탄성계수는 세장비가 각각 20.5, 18.7 및 18.3일 때 최대로 1122.9, 896.3 및 1068.9 × (kN/cm<sup>2</sup>)를 보였다. 이는 Table 1에서 소나무와 낙엽송 목재의 세장비 18일 때 탄성계수보다 약간 작은

서로 다른 세장비에 대한 비파괴실험으로 국산재의 실질탄성계수와 전단탄성계수 결정

**Table 1.** Summary of characteristics of Modulus of Elasticity with different slenderness ratios from bending tests

| wood species                          | Moisture Content (%)     | SG                        | Slenderness ratio | bending-Modulus of Elasticity (kN/cm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|---|
| <i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc | 12.1 (0.5 <sup>*</sup> ) | 0.39 (0.03 <sup>*</sup> ) | 8                 | 506.0 (38.2 <sup>*</sup> )                          |
|                                       |                          |                           | 11                | 721.8 (73.5)  |
|                                       |                          |                           | 14                | 803.2 (81.4)  |
|                                       |                          |                           | 18                | 900.3 (75.5)  |
| <i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc | 12.0 (0.6)               | 0.51 (0.05)               | 8                 | 581.5 (85.3)  |
|                                       |                          |                           | 11                | 793.4 (86.3)  |
|                                       |                          |                           | 14                | 986.5 (109.8)                                       |
|                                       |                          |                           | 18                | 1097.4 (165.7)                                      |
| <i>Larix leptolepis</i> Sieb. et Zucc | 11.5 (0.3)               | 0.50 (0.04)               | 8                 | 591.3 (71.6)  |
|                                       |                          |                           | 11                | 840.4 (109.8)                                       |
|                                       |                          |                           | 14                | 977.7 (89.2)  |
|                                       |                          |                           | 18                | 1070.9 (97.1)                                       |

\* standard deviation

**Table 2.** True Modulus of Elasticity for domestic species of wood determined by different slenderness ratios

| Wood species                          | true Modulus of Elasticity (kN/cm <sup>2</sup> ) |                             |                |                               |                |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
|                                       | Standard test (E')                               | by Regression               |                | stress wave test              |                |
|                                       |  | Average                     | Difference (%) | Average                       | Difference (%) |
| <i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc | 803.2  | 896.3 (18.7 <sup>*</sup> )  | 11.6           | 865.9 (53.9 <sup>**</sup> )   | 7.9            |
| <i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc | 986.5  | 1122.9 (20.5 <sup>*</sup> ) | 13.8           | 1055.2 (107.9 <sup>**</sup> ) | 7.0            |
| <i>Larix leptolepis</i> Sieb. et Zucc | 977.7  | 1068.9 (18.3 <sup>*</sup> ) | 9.3            | 1035.6 (147.1 <sup>**</sup> ) | 5.9            |

\* maximum slenderness ratio

\*\* standard deviation

값을 보여주고 있지만 표준 실험의 세장비인 14보다 9.3~13.8% 큰 값을 보여주고 있다. 표준 휨강도실험에 의한 탄성계수와 실질탄성계수의 평균 차이는 11.6%로 일반적으로 사용되는 10%보다는 약간 큰 값을 보여주고 있다. 또한 전단응력의 영향이 없는 세장비가 일반적으로 사용되는 21보다 약간 작은 값을 보여주고 있다. 이는 제한된 시편의 수와 더 많은 세장비에 대한 실험이 필요한 것으로 판단되고, 실질탄성계수가 강성을 작게 하는 전단응력이 존재하지 않는 긴보와 기둥의 설계 계산에 이용되어야 한다는 것을 보여준다.

Table 2는 응력파실험으로부터 구한 탄성계수도 보여주고 있다. 전단에 의한 처짐의 영향이 없는 실질탄성계수는 두 점에서 대칭으로 하중을 가하는 휨강도실험으로부터 처짐을 측정하여 구할 수도 있다. 하지만 두 하중 점 사이에서 처짐은 정확한 측정을 위해 특별한 주의가 요구된다. 또한 전술한 것과 같이 인장과 압축 실험에 의해 실질탄성계수를 구할 수 있지만, 시편의 고정 등에 문제가 있다. 이러한 이유들로 간편하게 실험할 수 있는 응력파실험으로부터 구한 탄성계수도 전단탄성계수를 구하는데 실질탄성계수로 사용했다. 일반적으로 응력파실험으로

부터 구한 탄성계수는 표준 휨강도실험으로부터 탄성계수보다 10% 정도 크지만 본 연구에서는 약간 작은 5.9~7.9%로 평균 6.9% 큰 값을 보여주고 있다. 이는 제한된 시편 수와 측정오차가 원인으로 판단되어 응력파실험으로 구한 탄성계수를 사용하기 위해서는 더 많은 시편에 대해 실험할 것을 추천한다.

### 3.2. 전단탄성계수의 결정

전단탄성계수는 세장비가 14일 때 휨강도실험으로 구한 탄성계수를 이용하여 계산했다. 휨 부재에 대한 처짐은  $y = y_b + y_s$ 로  $y_b$ 는 휨에 의한 처짐으로  $y_b = \frac{PL^3}{48IE} = \frac{PL^3}{48\left(\frac{bD^3}{12}\right)E} = \frac{P}{4Eb}\left(\frac{L}{D}\right)^3$ 이다. 집중하중의

경우 최대 전단응력이 발생하는 횡단면의 중립축에서 변형  $y_s = \frac{Q}{IbG} \int v dx = \frac{QPL}{4IbG} = \frac{3P}{8bG}\left(\frac{L}{D}\right)$ 이다.

따라서 집중하중의 총 처짐  $y = y_b + y_s = \frac{P}{4Eb}\left(\frac{L}{D}\right)^3 + \frac{3P}{8bG}\left(\frac{L}{D}\right)$ 가 된다.  $a = \frac{G}{E}$ 로 하면 직사각형 보에서

총 처짐  $y = \frac{P}{4Eb}\left[\left(\frac{L}{D}\right)^3 + \frac{1.5}{a}\left(\frac{L}{D}\right)\right]$ 가 된다. 표준

실험방법에 의해 구한 탄성계수( $E'$ )는  $\frac{P}{4yb}\left(\frac{L}{D}\right)^3$ 으로  $E'$ 에 대한 실질탄성계수( $E$ )의 비는 아래 식과 같다.

$$\frac{E}{E'} = \left[ 1 + \frac{1.5}{a} \left( \frac{D}{L} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (1)$$

전단탄성계수를 구하기 위해  $a$  값은 세장비가 14인 표준 실험으로부터 구한 탄성계수( $E'$ )와 Table 2의 세장비를 이용해 예측한 실질탄성계수( $E$ ) 및 응력파실험으로부터 구한 탄성계수( $E$ )를 각각 식 (1)에 적용하여 계산했다.

전단탄성계수는 표준 휨강도실험으로부터 구한 탄성계수( $E'$ )와 세장비를 사용하여 구하는 ASTM

(1986)식도 사용했다. 직사각형 보의 스팬 중앙에 하나의 집중하중에 의한 탄성계수( $E'$ )와  $\left(\frac{d}{L}\right)^2$ 을 이용한 식은 아래와 같다.

$$\frac{1}{E'} = \frac{1}{E} + \frac{1}{KG} \left( \frac{d}{L} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

$K$ ,  $E$  및  $G$ 는 각각 형태인자, 실질탄성계수 및 전단탄성계수를 나타낸다. 실질탄성계수는 식 (1)과 같이 휨강도실험에 의한 탄성계수로부터 예측된 값들과 응력파실험으로부터 구한 탄성계수를 사용했다.

휨강도실험으로부터 구한 실질탄성계수를 식 (1)과 (2)에 대입하여 계산된 전단탄성계수는 Table 3과 같다. Table 3은 실질탄성계수와 전단탄성계수의 비( $E : G$ )도 보여준다. 식 (1)에 의해 계산된  $E : G$ 는 12.1~17.1로 Bodig와 Jayne (1982)의 값들 범위 안에 있다. 하지만 식 (2)에 의해 구한  $E : G$ 의 비는 식 (1)에 의한 값들 보다 약간 큰 15.1~21.3을 보여주고 있다. 소나무 목재의  $E : G$ 의 비는 21.3으로 Bodig와 Jayne (1982)의 가장 큰 비인 20.9보다 약간 큰 값을 보여주지만, Biblis (2001) 실험결과의 범위 안에 있다. 식 (1)과 식 (2)에 의해 계산된 전단탄성계수 값의 차이는 식 (2)에서  $K$ 값에 따른 차이도 일부 원인일 것으로 판단된다.  $K$ 는 형태인자로 Harrison과 Hindman (2007)의 5 / 6을 사용했지만, 포이슨 비에 따라  $K$ 값을 사용해야 한다. 하지만 국내 수종에 대한 포이슨 비의 값은 전혀 알려져 있지 않다. 따라서 국산재의 더 나은 이용을 위해서는 기본 성질들에 대한 체계적인 연구들이 요구되고 있다.

Table 4는 응력파실험으로부터 구한 탄성계수를 사용하여 계산된 전단탄성계수를 보여주고 있다. 전단탄성계수들은 휨강도실험으로부터 예측된 실질탄성계수로 계산된 값들보다 큰 값들을 보여주고 있지만,  $E : G$ 의 비는 Bodig와 Jayne (1982)의 값들 범위 안에 있다. 실험방법에 따른 차이는 Table 2에서 두 실험 방법들 사이에 실질탄성계수의 차이가 원인이다.

서로 다른 세장비에 대한 비파괴실험으로 국산재의 실질탄성계수와 전단탄성계수 결정

**Table 3.** Modulus of Rigidity for domestic species of wood using MOE determined by bending test

| Wood species                          | Modulus of Rigidity (kN/cm <sup>2</sup> ) and E/G |      |            |      |
|---------------------------------------|---|------|------------|------|
|                                       | by Eq. (1)  |      | by Eq. (2) |      |
| <i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc | 55.9  | 16.0 | 45.1       | 20.2 |
| <i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc | 65.7  | 17.1 | 53.0       | 21.3 |
| <i>Larix leptolepis</i> Sieb. et Zucc | 88.3  | 12.1 | 70.6       | 15.1 |

**Table 4.** Modulus of Rigidity for domestic species of wood using MOE determined by stress wave test

| Wood species                          | Modulus of Rigidity (kN/cm <sup>2</sup> ) and E/G |      |            |      |
|---------------------------------------|---|------|------------|------|
|                                       | by Eq. (1)  |      | by Eq. (2) |      |
| <i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc | 79.4  | 10.9 | 63.7       | 13.7 |
| <i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc | 122.6   | 8.6  | 98.1       | 10.7 |
| <i>Larix leptolepis</i> Sieb. et Zucc | 134.4   | 7.7  | 107.9      | 9.6  |

**Table 5.** Summary of characteristics of MC, SG and Modulus of rupture with different slenderness ratios

| Characteristics<br>(species/slenderness ratio) | MC (%) | SG                        | Modulus of rupture<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) |                           |
|--|--------|---------------------------|---|---------------------------|
| <i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc          | 8      | 12.2 (0.64 <sup>*</sup> ) | 0.39 (0.03 <sup>*</sup> )                   | 6.24 (0.46 <sup>*</sup> ) |
|  | 11     | 11.9 (0.30)               | 0.40 (0.04)                                 | 6.37 (0.50)               |
|  | 14     | 11.6 (0.83)               | 0.37 (0.02)                                 | 6.46 (0.37)               |
|  | 18     | 11.8 (0.75)               | 0.38 (0.03)                                 | 6.57 (0.32)               |
| <i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc          | 8      | 12.0 (0.51)               | 0.47 (0.05)                                 | 7.02 (0.75)               |
|  | 11     | 11.8 (0.56)               | 0.51 (0.05)                                 | 7.82 (0.91)               |
|  | 14     | 11.5 (0.56)               | 0.49 (0.06)                                 | 8.30 (0.82)               |
|  | 18     | 11.4 (0.66)               | 0.50 (0.07)                                 | 8.65 (0.92)               |
| <i>Larix leptolepis</i> Sieb. et Zucc          | 8      | 11.4 (0.29)               | 0.49 (0.03)                                 | 7.19 (0.47)               |
|  | 11     | 11.2 (0.60)               | 0.51 (0.02)                                 | 7.71 (0.79)               |
|  | 14     | 11.6 (0.71)               | 0.48 (0.04)                                 | 8.17 (0.92)               |
|  | 18     | 11.8 (0.51)               | 0.50 (0.07)                                 | 8.54 (0.88)               |

\* standard deviation

### 3.3. 세장비에 따른 휨강도

여러 세장비의 시편들에 대한 휨강도실험의 결과는 Table 4와 같다. 시편의 세장비가 증가하면 휨강도는 증가했다. 잣나무, 소나무 및 낙엽송 목재의 휨강도는 세장비가 18일 때 표준 실험의 휨강도보다 1.8, 4.1 및 4.6% 증가를 보였다. 실질탄성계수와 같은 방법으로 전단응력의 영향이 없는 실질 휨강도를

구하기 위해 세장비와 휨강도 사이에 비선형회귀분석을 하였다. 회귀분석 결과에 의하면 탄성계수와 약간 다른 세장비인 26.7, 19.4 및 23.9일 때 잣나무, 소나무 및 낙엽송 목재의 휨강도는 각각 세장비가 18일 때 보다 약간 큰 6.66, 8.65 및 8.57 kN/cm<sup>2</sup>로 표준 실험에 의한 휨강도보다 3.1, 4.1 및 4.9% 큰 값을 보였다. 전술한 것과 같이 더 많은 체계적인 연구들이 세장비에 대한 휨강도의 영향에 대해서도 요

구된다.

#### 4. 결 론

국산재의 여러 세장비에 대한 휨강도실험 및 응력파실험의 결과는 다음과 같다. 탄성계수는 시편의 세장비가 증가하면 증가하였다. 실질탄성계수에 대한 전단탄성계수의 비는 예전 연구 결과들(Bodig와 Jayne 1982; Biblis 2001)의 범위 안에 있었다. 시편의 세장비가 증가하면 휨강도도 증가하였다. 또한 실험방법에 따른 차이는 있었지만 응력파실험과 세장비에 따른 휨강도실험이 국산재의 실질탄성계수와 전단탄성계수를 구하는데 이용이 가능함을 보였다. 하지만 이들 결과들은 실험에 사용된 제한된 수의 시편들에 대한 값으로 이들 수종에 대한 실질 평균값을 나타내진 않는다.

#### REFERENCES

- American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test method of static tests of timbers in structural sizes. ASTM D 198. ASTM, Philadelphia, PA.
- American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test method for small clear specimens of timber. ASTM D 143. ASTM, Philadelphia, PA.
- Biblis, E.J. 2001. Tension parallel to grain, pure flexural stiffness, and modulus of rigidity of clear wood of seven eastern red oaks. *Forest Products Journal* 51(4): 87-89.
- Bodig, J., Jayne, B.A. 1982. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Harrison, S.K., Hindman, D.P. 2007. Test method comparison of shear modulus evaluation of MSR and SCL products. *Forest Products Journal* 57(7/8): 32-38.
- Hindman, D.P., Janowiak, J.J., Manbeck, H.B. 2006. Comparison of ASTM D198 and five point bending for elastic constant ratio determination. *Forest Products Journal* 56(7/8): 85-90.
- Jeong, G.Y., Hindman, D.P. 2008. Elastic constants evaluated from plate tests compared to previous bending tests. *Forest Products Journal* 58(9): 53-58.
- Yoshihara, H., Kubojima, Y., Ishimoto, T. 2003. Several examinations on the static bending test methods of wood using todomatsu (Japanese fir). *Forest Products Journal* 53(2): 39-44.
- Yoshihara, H., Yamamoto, D. 2004. Examination of compression testing methods for wood in the parallel to grain direction. *Forest Products Journal* 54(11): 56-60.