

響板用 慣行樹種과 代替可能樹種의 自由振動的 性質에 관한 研究*¹

姜 旭*² 鄭 希 錫*²

Studies on The Free Vibrational Properties of Traditional and Replaceable Species for Sounding Board *¹

Wook Kang*² Hee Suk Jung*²

SUMMARY

This study was carried out to investigate the free vibrational properties of traditional and replaceable species for sounding board, using piezoelectrical accelerometer and signal analyzer.

In the study, the frequency equations of free-free beam carrying a concentrated mass in the transverse vibration and of free-mass beam in the longitudinal vibration were used.

The results obtained were as follows.

1. Average values of dynamic modulus of rigidity of Korean commercial species measured were as follows.

Paulownia tomentosa (Thunb.) Steudel : 5.590×10^9 dyne/cm²

Tilia amurensis Rupr. : 5.414×10^9 dyne/cm²

Macckia amurensis Rupr. : 10.044×10^9 dyne/cm²

Fraxinus mandshurica Rupr. : 8.876×10^9 dyne/cm²

Ulmus davidiana var. *japonica* Nakai : 8.677×10^9 dyne/cm²

Pinus rigida Miller : 6.33×10^9 dyne/cm²

Fraxinus rhynchophylla Hance : 4.666×10^9 dyne/cm²

2. The ratio of dynamic transverse Young's modulus to dynamic modulus of rigidity, E_T/G_{LT} , was 24.922 for *Fraxinus rhynchophylla* Hance, which was the highest, 7.317 for *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steudel, which was the lowest among Korean commercial species measured.
3. The value of longitudinal dynamic Young's modulus was about 3.7% and 19.8%, respectively, higher than those of transverse dynamic and static Young's modulus.
The value of transverse dynamic Young's modulus was about 15.5% higher than that of static Young's modulus.
4. Predicted value of MOR in terms of correlation coefficient by transverse dynamic Young's modulus was slightly higher than that of static Young's modulus, but no significance was found out.

*1. 接受 1988年 8月 2日 Received August 2, 1988.

*2. 서울대학교 農科大學 College of Agriculture, Seoul National University, Suwon 440-744, Korea

5. Transverse dynamic Young's modulus was $(2.002 \pm 0.288) \times 10^{11}$ dyne/cm² for *Fraxinus mandshurica* Rupr., which was the highest, $(0.601 \pm 0.100) \times 10^{11}$ dyne/cm² for *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steudel, which was the lowest among Korean commercial species measured.

The sound velocity of sitka spruce was 5,685 m/sec, which was the highest.

6. Internal friction of *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steudel was shown the lowest value among Korean commercial species, $(8.795 \pm 1.795) \times 10^{-3}$, but was higher than that of sitka spruce, $(7.331 \pm 0.991) \times 10^{-3}$.

Internal friction was shown negative correlation with density and dynamic Young's modulus, respectively.

7. K value was affected largely by internal friction and was the highest, 2.225×10^8 for *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steudel and was the lowest, 0.550×10^8 for *Fraxinus rhynchophylla* Hance.

K value of *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steudel was higher than that of sitka spruce and K values of melapi and cottonwood, which have been considered to be replaceable species with sitka spruce in the piano industry, were lower than those of *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steudel and *Tilia amurensis* Rupr..

1. 緒 論

木材에 어떤 周期力(periodic force)이 加해지면 木材는 振動을 하게 되고 그 振幅(amplitude)은 周期力뿐만 아니라 振動數(frequency)에 의해서도 달라지는데, 木材를 최대振幅으로 振動하게 하는 振動數를 木材의 共振振動數(resonant frequency) 또는 自然振動數(natural frequency)라 부르고, 이와같이 최대振幅으로 振動하는 현상을 共振 또는 共鳴(resonance)이라고 한다.

이러한 木材의 共振현상을 이용하여 오래전부터 악기의 響板材(sounding board)로서 木材가 사용되어 왔으나 악기의 響板用材는 密度에 비해 영률이 크고 內部摩擦(internal friction)이 작아야 되는 성질때문에 서양악기에서는 sitka spruce, 국내 전통악기에서는 오동나무와 피나무 등이 사용되어 왔다.

현재 국내 樂器製造業界에서는 서양악기 響板用으로 等級分類되고 건조된 sitka spruce 板材를 수입하여 사용하고 있기 때문에 제품원가의 상승과 부가가치 감소의 요인이 되고있는 실정이며, 또한 sitka spruce의 수입여건의 악화로 인하여 代替樹種 개발에 대한 연구가 절실히 요청되고 있는 실정에 있으나, 이에 대한 연구와 국내 전통악기용재의 자유진동적 성질에 관한 연구가 아주 미

흡한 실정에 있다.

또한 木材의 振動시험에는 주로 橫振動시험이 실시되었으나 回轉慣性(rotary inertia)과 剪斷變形(shear deflection)의 영향으로 인하여 측정된 橫振動動的영률을 보정해 주어야 하는 단점이 있으며 縱振動시험에 의한 縱振動動的영률은 보정의 필요성이 없으므로 두 종류의 振動시험에 의한 動的영률을 비교해 보는 것은 매우 의미있는 일이라 볼 수 있으나, 橫振動 및 縱振動動的영률과 靜的영률의 상호 비교연구는 아직도 미흡한 실정에 있다.

또한, 木材資源의 효율적이용과 아울러 목구조물 설계등의 측면에서 木材의 기계적 성질을 비교적인 방법에 의해 측정하는 일은 매우 중요하나 국내수종에 대한 연구는 수행된 바 없다.

따라서 本研究에서는 木材의 振動的의 性質을 간편하고 신속하게 측정할 수 있는 自由振動法을 채택하여 響板用材인 sitka spruce의 대체가능수종인 melapi와 cottonwood, 그리고 국내유용수종인 참오동나무의 몇 수종에 대하여 動力學的의 性質을 비교하기 위해 橫振動시험을 실시하고, 動的영률과 靜的영률의 상호비교와 韌強度를 추정하기 위하여 縱振動과 橫振動 및 韌강도시험을 실시하였다.

2. 研究史

木材의 振動測定時 불가피하게 시편에 鐵片을 부착시키거나 加速度計 (accelerometer) 를 부착시키는 경우 그 부착질량이 木材의 共振振動數 (resonant frequency) 에 영향을 미치게 되는데, 이에 대한 연구로 Kataoka 등(1975, 1976)^{15, 16)}은 시편의 兩端에 鐵片을 부착하여 橫振動을 측정하였는데 부착질량 대 시편질량비가 증가할수록 관측共振振動數 (apparent resonant frequency) 가 감소하였다고 하였으며 그에 대한 보정곡선을 보고하였다.

Kamioka 등(1982)¹⁴⁾은 縱振動측정에서 Kataoka와 같은 研究結果를 얻었으나, 질량비와 共振振動數 감소비가 직선적으로 비례하지는 않는다고 보고하였으며, Tonosaki 등 (1983)²⁰⁾은 縱振動 측정시 질량비에 대한 관측共振振動數 감소회귀보정식을 보고하였다.

以上은 木材의 振動측면에서 부가질량에 대한 실험적 고찰이며, 이론적 고찰을 살펴보면 Haener 등(1958)⁸⁾은 兩端自由보의 兩端에 부가질량작용시 橫振動의 振動數方程式 (frequency equation) 을 구하였으나 1차 振動形 (mode) 의 경우 질량비가 28% 이상인 경우에 대하여 근사한 보정이 가능하다고 보고하였다.

Chen(1963)³⁾은 兩端지지보의 중앙에 집중질량이 작용하는 Euler 보의 振動數方程式을 구하였으며, Grant(1978)⁹⁾은 집중질량이 Timoshenko 보의 진동에 미치는 영향을 나타내는 미분방정식을 유도해 그로부터 여러가지 境界條件 (boundary condition) 의 振動數方程式을 보고하였다.

橫振動時 Euler 보 이론은 振動形이 증가할수록 剪斷變形 (shear deflection) 과 回轉慣性 (rotary inertia) 으로 인하여 그 오차가 증대되는데 특히 木材는 E/G 값이 크므로 오차는 더 크게 된다.

Hearmon (1951)⁷⁾은 여러 수종에 대해 조사한 E_r/G_{Lr} 값의 범위는 6.97~31.03으로 수종에 따라서 변이가 매우 컸다고 보고 하였다.

또한 Hearmon(1956, 1966)^{10, 11)}은 Timoshenko 보 미분방정식³⁾에 대한 Goens의 解²⁾로부터 振動形 증가에 따른 관측共振振動數와 動的영률 감소의 영향인자를 분리해 보정하는 방법과 動的剪斷彈性係數 (dynamic shear modulus) 를 구하는 방법을 제시하였다.

Ono(1980)²⁵⁾와 Nakao (1984)²⁶⁾은 비틀림振動에 의해 動的剪斷彈性係數를 측정하였고, Nakao는 異方性인 木材의 경우 剪斷係數 (shear coefficient) 는 1.18이라고 보고하였다.

Ono(1979)^{23, 24)}와 Nakao 등(1985)²⁷⁾은 振動數가 증가할수록 動的영률은 감소하고 內部摩擦은 증가하나 보정한 動的영률과 內部摩擦은 一定하다고 보고하였다.

木材의 振動的性質을 측정하기 위해 Jayne(1959) 등^{13, 15, 28)}은 dynamic speaker 를 사용하여 시편을 勵振시키고 photoelectric cell 을 사용하여 變位를 檢出하였으며, Miller(1962)¹⁹⁾은 橫振動動的영률에 의한 휨강도추정이 靜的영률에 의한 것보다 더 효율적이라고 보고하였다.

Pellerin(1965)²⁹⁾은 自由振動에 의한 橫振動 측정시 finger tap 이 시편을 勵振시키는데 적합하다고 보고하였으며, Orosz(1977)²⁸⁾은 인장강도의 추정효율은 橫振動動的영률과 靜的영률에 의한 방법이 서로 비슷하였음을 보고하였다.

Funck 등(1979)⁴⁾은 eastern cottonwood 의 휨강도와 動的 및 靜的영률간의 관계를 조사하여 이들간의 상관계수 등을 보고하였다.

Norimot (1982)²²⁾은 橫振動動的영률과 靜的영률의 상관계수는 0.99이고, 動的영률이 靜的영률보다 약 20% 크게 나타났다고 보고하였으며, Tonosaki(1983)²⁰⁾은 縱振動과 橫振動에 의한 動的영률과 비교에서 縱振動動的영률이 橫振動動的영률보다 약 2% 컸으며, 剪斷變形的 영향을 무시한 橫振動動的영률에 비해 剪斷變形的 영향을 Hearmon의 방법에 의해 보정한 橫振動動的영률이 약 5% 큰 값을 나타냈다고 보고하였다.

樂器 響板用材의 動力學的 성질에 대해 Kataoka(1976)¹⁷⁾는 Sitka spruce 가 다른 수종에 비하여, 密度에 비해 動的영률이 크고 內部摩擦이 적어 響板材로 적합하며, 動的영률과 內部摩擦의 상관계수는 -0.59이고 밀도가 크면 內部摩擦이 작다고 보고하였다.

Ono(1981, 1983)^{26, 27)}는 일반적으로 밀도와 動的영률은 陽의 상관계수, 밀도와 內部摩擦은 陰의 상관계수를 가지나 재질에 따라 그 크기는 일정하지 않고 매우 변이가 크다고 보고 하였다.

홍 (1983)¹²⁾은 국내수종인 참오동나무, 피나무, 들메나무 등의 음향적 지표인 K 값을 조사 보고하였다.

3. 材料 및 方法

3.1. 供試材料

3.1.1. 供試樹種

本 研究에서 사용한 供試樹種은 국내 활엽수인 참오동나무 (*paulownia tomentosa* (Thunb.) Steudel), 피나무 (*Tilia amurensis* Rupr.), 님나무 (*Macckia amurensis* Rupr.) 느릅나무 (*Ulmus davidiana* var. *japonica* Nakai), 물푸레나무 (*Fraxinus rhynchophylla* Hance) 및 들메나무 (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) 6수종과 침엽수인 리기다소나무 (*Pinus rigida* Miller) 를 供試하였고, 도입수종은 sitka spruce(*Picea sitchensis* Carr.), Melapi(*Shorea (Antho shorea)* spp.) 및 cottonwood(*Populus* spp.) 3수종을 供試하였다.

3.1.2. 供試試片

供試木은 도입수종인 sitka spruce, Melapi 및 cottonwood 의 경우는 인공건조를 실시하고, 국산수종의 경우는 천연건조를 실시한 다음 온도 20℃ 와 상대습도 65% 조건을 유지하는 항온항습기에서 1개월동안 조습처리를 하였다.

供試試片은 木理가 通直한 무결점재를 선별한 다음 橫斷面이 柁目이 되도록 시편을 제작하였는

네 그 크기와 형상은 표 1. 과 같다.

3.2. 實驗裝置

自由振動의 共振振動數와 内部摩擦을 측정하기 위해 사용한 實驗裝置는 그림.1 과 같다.

신호분석기의 측정주파수 범위는 0.2~100 KHz 이었으며, 振動變換機인 壓電形加速度計는 질량이 2.3g, 측정주파수 범위는 2Hz ~100 KHz 이었으며, 橫振動 測定時 시편 支持장치는 제작하여 사용하였고, 縱振動 측정시에 시편을 支持하기 위해 크기가 5×5×10cm인 부드러운 sponge 를 사용하였다.

휨강도시험은 만능강도시험기 (Universal materials testing machine) 을 사용하여 측정하였다.

3.3 實驗方法

3.3.1. 縱振動試驗

試片의 一端에 加速度計를 부착시켜 縱振動試驗을 실시하였으므로 一端은 질량이 부착된 보의 基本共振振動數 (fundamental resonant frequency) 를 측정하여 다음 式(1) 과 (2) 에 의해 보정한 후 式(3) 으로 縱振動의 영率을 구하였다.

Table 1. Specification of specimens used in the experiment.

Species	Number of Specimen	Size (TxWxL) mm	Width of annual ring (1) mm	Moisture content (1) %	Density (1) g/cm ³
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	22	13x15x500	—	13.22 ± 0.69	0.256 ± 0.020
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	40	13x15x500	3.83 ± 0.84	14.17 ± 0.58	0.415 ± 0.028
<i>Macckia amurensis</i> Rupr.	17	13x15x500	1.61 ± 0.29	13.57 ± 0.46	0.601 ± 0.049
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> Nakai	19	13x15x500	1.80 ± 0.79	13.30 ± 0.56	0.691 ± 0.035
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	28	13x15x500	2.02 ± 0.94	13.87 ± 0.29	0.768 ± 0.067
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	26	13x15x500	4.45 ± 1.23	12.80 ± 0.38	0.766 ± 0.041
<i>Pinus rigida</i> Miller	15	13x15x500	1.63 ± 0.28	12.46 ± 0.49	0.643 ± 0.035
<i>Picea sitchensis</i> Carr.	68	8x20x600	1.12 ± 0.34	9.05 ± 0.49	0.430 ± 0.018
Melapi (<i>Shorea (Anthoshorea)</i> spp.)	47	8x20x600	—	9.37 ± 0.48	0.500 ± 0.019
Cottonwood (<i>Populus</i> spp.)	60	8x20x600	3.26 ± 0.90	9.86 ± 0.45	0.505 ± 0.045

T : Thick (tangential axis)
 W : Width (radial axis)
 L : Length (longitudinal axis)
 (1) : Average ± Standard deviation

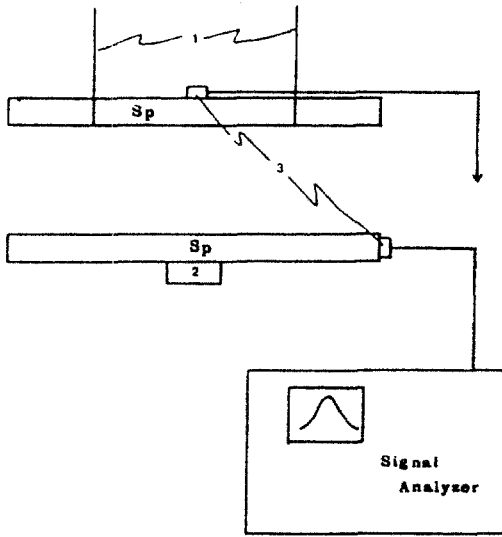


Fig. 1. Diagram of apparatus for measuring internal friction and frequency of free vibration
Notes: 1: Threads, 2: Sponge, 3: Accelerometer
Sp. Specimen

$$f_0 = f \left(\frac{\pi}{\lambda} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$\tan \lambda = - \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \lambda^2 \dots\dots\dots (2)$$

f_0 : 兩端自由보의 共振振動數(Hz)
 f : 一端自由, 一端질량부착보의 共振振動數(Hz)
 M_1, M_2 : 시편과 부착질량 (g)

$$E_L = \frac{4 \ell^2 f_0^2 d}{n^2} \dots\dots\dots (3)$$

E_L : 縱振動動的 영率(dyne/cm²)

ℓ : 시편길이 (cm)
 d : 시편밀도 (g/cm³)
 n : 振動形이며 1인

실제로 시편에 작용하는 부착질량은 가속도계 질량 2.3 g 외에 wax 질량 0.2 g 과 연결선질량 1.0 g 이 포함되므로 총질량은 3.5 g 이며 橫振動의 경우에도 동일한 부착질량을 적용하였다.

3.3.2. 橫振動試驗

3.3.2.1. 橫振動動的 영率

基本共振振動數를 측정하기 위해 加速度計를 시편의 중앙에 위치시켜 측정하였으므로 加速度計의 질량을 集中質量이라 가정하고 다음 式(4) ~ (10)에 의해 共振振動數를 보정한 다음 式(11)에 의해 橫振動動的 영率을 구하였다.

Chen(1963)³⁾ 이 제시한 집중질량이 작용하는

Euler 보의 미분방정식인 다음 式(4)을 적용하였다.

$$EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^2} + [dA + M_2 \delta(x - \chi_1)] \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \dots\dots\dots (4)$$

I : 慣性모우멘트(cm⁴)
 A : 시편단면적(cm²)
 χ_1 : 집중질량 위치

式(4)의 Dirac의 δ 함수는 $\int_0^l \delta(x - \chi_1) dx = 1$ 로 정의된다. 집중질량이 작용하는 兩端自由보의 振動數方程式은 式(4)를 변수분리법과 Laplace 변환을 이용하여 풀면 式(5)와 같다.

$$2 - 2 \cos \beta_1 \ell \cos h \beta_1 \ell + \frac{m}{2} \beta_1 \ell \{ 2 \cosh \beta_1 \ell (1-a) \sin \beta_1 \ell (1-a) - 2 \sin h \beta_1 \ell (1-a) \cos \beta_1 \ell (1-a) + [\sin \beta_1 \ell (1-a) + \sin h \beta_1 \ell (1-a)] \times [\cos h \beta_1 \ell \cos \beta_1 \ell a - \sin h \beta_1 \ell a \sin \beta_1 \ell - \sin \beta_1 \ell a \sin h \beta_1 \ell - \cos h \beta_1 \ell a \cos \beta_1 \ell] + [\cos h \beta_1 \ell (1-a) + \cos \beta_1 \ell (1-a)] \times [\cos h \beta_1 \ell a \sin \beta_1 \ell - \sin h \beta_1 \ell \cos \beta_1 \ell a + \cos h \beta_1 \ell \sin \beta_1 \ell a - \sin h \beta_1 \ell a \cos \beta_1 \ell] \} \dots\dots\dots (5)$$

式(5)에서 질량비 $m = M_2/dA \ell = M_2/M_1$ 이고 집중질량위치 $a = \chi_1/\ell$ 이다.

또한 집중질량이 작용하지 않는 兩端自由 Euler보의 振動數方程式은 다음 式(6) 및 (7)과 같다.

$$\cos \beta \ell \cos h \beta \ell = 1 \dots\dots\dots (6)$$

$$\beta^4 = w^2 d / E k^2 \dots\dots\dots (7)$$

W : 角振動數(rad/sec)
 K : 慣性半徑(cm)
 E : 動的 영率(dyne/cm²)

式(5)와 (6)의 관계로부터 共振振動數 보정 式을 구하면 다음 式(8)과 같다.

$$\left(\frac{\beta_1 \ell}{\beta \ell} \right)^2 = \frac{\omega_1}{\omega} = \frac{f_c}{f_0} = \alpha \dots\dots\dots (8)$$

ω_1 : 집중질량이 작용하는 보의 角振動數 (rad/sec)

f_c : 집중질량이 작용하는 보의 共振振動數 (Hz)

α : 振動數比

$$E_t = \frac{48 \pi^2 d \ell^4 f_0^2}{m_1 b^2} \dots\dots\dots (9)$$

$$m_1 = \frac{1}{2}(2n + 1) \pi (n)^2 \dots\dots\dots (10)$$

m_1 은 4.73, m_2 는 7.853을 적용하였다.
 式(9)로부터 구한 동적영율은 回轉慣性과 剪斷變形의 영향을 무시한 Euler 보 이론에 의한 것이므로 이들 영향을 고려한 다음 式(11)로 보정하여 橫振動動的영율을 구하였다.

$$E_T = E_t \times T \dots\dots\dots (11)$$

여기서, 보정항 T는 Hearmon(1958, 1966)^{10, 11)}이 제시한 방법을 적용하여 구하였다.

3.3.2.2. 動的剪斷彈性係數

국내산 供試樹種에 대한 動的剪斷彈性係數를 측정하기 위해 5차振動形까지 共振振動數를 측정하여 Hearmon(1958, 1966)^{10, 11)}이 제시한 방법을 적용하여 구하였다.

이때 加速度計는 시편 맨 끝에 위치시켜 측정하였는데 加速度計 직경이 0.95cm이므로 가속도계위치(a)는 0.0095이었다.

3.3.2.3. 內部摩擦

內部摩擦은 橫振動時 自由振動에 의해 시간에 따른 자유감쇠곡선으로부터 측정하였는데 관계식은 式(12)와 같다.

$$Q^{-1} = \frac{\delta}{\pi} = \frac{1}{n \pi} \ln \frac{X_i}{X_{n+1}} \dots\dots (12)$$

Q^{-1} : 내부마찰
 δ : 대수감쇠율
 X_i, X_{n+1} : 振幅

또한 집중질량이 내부마찰에 미치는 영향을 최소화하기 위해 加速度計를 가능한 한 節點(nodal point) 부근에 위치시켜 내부마찰을 측정하였다.

3.3.3. 韌強度試驗

韌強度시험은 振動시험이 종료된 후 만능강도시험기를 사용하여 시편의 중앙에 집중하중을 가하여 응력변형선도(stress-strain diagram)을 구한 후 정적영율은 式(13), 그리고 韌強度는 式(14)로 계산하였다.

$$E_s = \frac{P_p \cdot L^3}{4D_{pl} \cdot b^3} \dots\dots (13)$$

$$MOR = \frac{3P_p L}{2wb^2} \dots\dots (14)$$

E_s : 靜的영율 (dyne/cm²) L: span (cm)
 D_{pl} : 비례한계내 변형(cm)
 b : 시편 두께 (cm)
 w : 시편 폭(cm)
 P_p : 비례한계내 하중 (dyne)
 MOR: 韌강도 (dyne/cm²), P_u : 최대하중 (dyne)

3.3.4. 縱波速度와 K 값

Andrev가 제안한 K 값은 일반적으로 악기 용재의 음향적 성질지표로 사용되고 있으며 그 값이 클수록 響板用材로 더욱 적합한 것으로 인정되어진다.

縱波速度는 다음 式(15)로 구하고 K 값은 式(16)으로 구하였다.

$$V = \sqrt{\frac{E_t}{d}} \dots\dots\dots (15)$$

$$K = \frac{1}{Q^{-1}} \sqrt{\frac{E_t}{d^3}} \dots\dots\dots (16)$$

V: 縱波速度 (m/sec)

本 研究에서는 內部摩擦을 橫振動에 대해서만 측정하였으므로 K 값도 橫振動에 관한 것만 계산하였다.

4. 結果 및 考察

4.1. 橫振動에 의한 動的剪斷彈性係數

4.1.1. 질량비와 가속도계 위치에 따른 보정곡선

집중질량이라 가정한 加速度計의 위치가 0.0095와 0.5일때 질량비가 0.20까지의 진동수비 변화를 각각 계산한 결과는 그림.2 와 그림.3의 내용과 같다.

가속도계의 위치가 0.0095일때 振動形이 증가함에 따라 주파수비가 증가하였는데, 그 이유는 節點의 위치가 振動形에 따라 변화하므로 振動形이 증가할수록 집중질량의 영향은 감소하기 때문이다.

가속도계의 위치가 0.5인 경우는 2, 4차 振動形에는 집중질량의 영향이 없었는데, 그 이유는 節點이 2, 4차 振動形의 경우 0.5에 위치하기 때문이나 2, 4차 振動形의 共振振動數를 측정하기 위하여 加速度計를 0.5지점에 위치시키면 그 지점에서는 變位가 없으므로 실제 측정이 불가능하다.

그래서 構振動 動的영률을 구하기 위하여 基本共振振動數를 측정할 때 가속도계를 0.5지점에 위치시켜 측정한 共振振動數를 그림.3과 같은 질량비에 따른 주파수비로 보정하는 방법을 택하였으며, 動的剪斷彈性係數를 구하기 위해 가속도계를 0.0095지점에 위치시켜 5차 共振振動數까지 측정한 共振振動數를 그림.2와 같이 질량비에 따른 주파수비로 보정하는 방법을 채택하였다.

이상과 같은 질량비와 가속도계 위치에 따른 보정주파수비를 얻기 위한 프로그램과 가속도계 위치가 0.0과 0.5인 경우의 계산 결과를 Appendix 1, 2 및 3에 나타내었다.

4.1.2. 動的剪斷彈性係數

국내산 수종에 대한 構振動重力的영률의 보정과 動的剪斷彈性係數를 구하기 위해 5차 振動形까지 共振振動數를 측정하여 Hearmon (1958)¹⁰⁾이 제시한 방법을 적용하여 구한 결

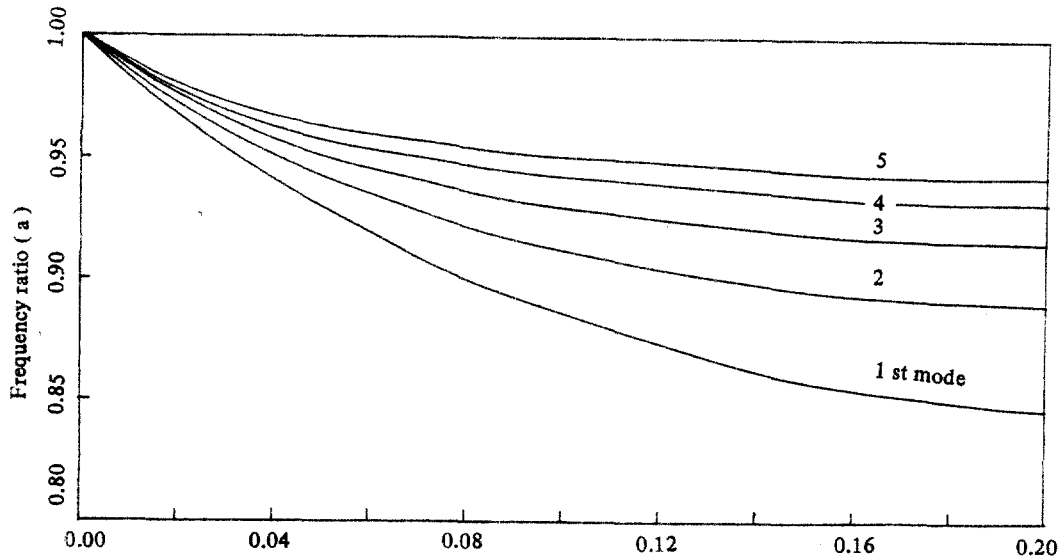


Fig. 2. Correction curves in resonant frequencies of Euler beam with a concentrated mass at end-position ($a=0.0095$)

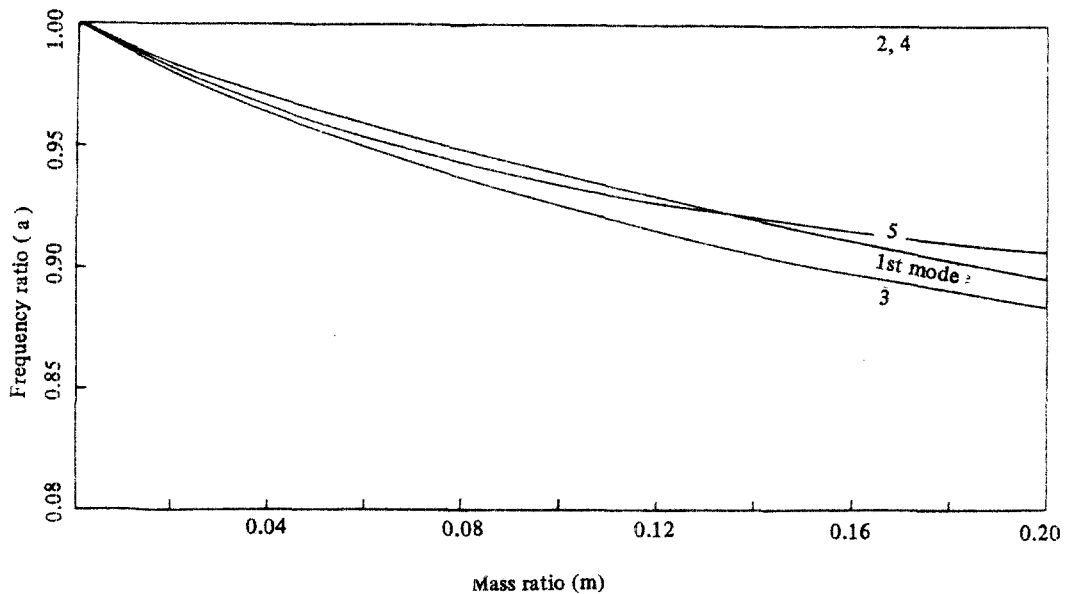


Fig. 3. Correction curves in resonant frequencies of Euler beam with a concentrated mass at mid-position ($a=0.5$)

Table 2. Theoretical modulus of rigidity of domestic wood by the transverse vibration.

Species	Number of measurement	$\frac{sE}{G_{LT}}$	$\frac{E}{G_{LT}}$	$\frac{s}{G_{LT}} (x10^{11})$ cm/dyne ²	$G_{LT} (x10^{-9})$ dyne/cm ²
<i>Macckia amurensis</i> Rupr.	4	13.614 ± 1.339	11.537 ± 1.135	8.486 ± 0.743	10.044 ± 0.877
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	3	20.008 ± 1.466	16.956 ± 1.242	9.720 ± 1.511	8.876 ± 1.516
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> Nakai	5	14.759 ± 1.078	12.507 ± 0.914	9.903 ± 1.389	8.677 ± 1.068
<i>Pinus rigida</i> Miller	4	20.007 ± 4.301	16.996 ± 3.702	13.900 ± 2.917	6.331 ± 1.505
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	5	8.804 ± 3.920	7.317 ± 3.425	16.375 ± 5.099	5.590 ± 1.707
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	5	19.508 ± 5.319	16.532 ± 4.508	16.355 ± 3.702	5.414 ± 1.308
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	5	29.408 ± 6.539	24.922 ± 5.542	19.615 ± 5.701	4.666 ± 1.524

s : Shear coefficient

GLT : Modulus of rigidity in L-T plane

과는 표. 2의 내용과 같다.

$\frac{sE}{G_{LT}}$ 값은 물푸레나무가 29.408로 가장 크고 참오동나무가 8.804로 가장 작게 나타났는데, 剪斷係數 s는 보 단면을 통한 전단응력분포상태를 나타내는 계수인데 전단응력분포가 균일하면 그 값은 1.0이되나 일반적으로 等方性材料인 경우 斷面이 矩形일 때 1.2라고 가정한다.

그러나 木材는 異方性材料이므로 그 값을 그대로 적용하는 데는 문제가 있어서 Hearmon(1958)¹⁹⁾은 여러수종에 대한 s 값을 구해 그 평균값을 구하였는데 1.06이라고 하였으나, Nakao(1984)²⁰⁾는 兩端自由 構振動時 그 값을 1.18이라고 하였으므로 木材의 경우는 等方性材料의 s 값보다 더 적다는 것은 윗 두사람의 결과로부터 알 수 있으나 확실히 구명되어 있는 상태는 아니다.

전단계수를 1.18이라고 가정해 구한 E/G_{LT} 값은 표 2에서 보는 바와 같이 물푸레나무가 24.922로 가장 컸으며, 리기다소나무 16.996, 들메나무 16.956, 피나무 16.532, 느릅나무 12.507, 다릅나무 11.537 그리고 오동나무 7.317順으로 나타났다.

E/G 값이 클수록 전단변형의 영향이 증대되므로 관측共振振動數와 動的영率在 감소되며, 振動形이 증가할수록 그 영향은 더욱 크게 작용

된다.

動的剪斷彈性係數(G_{LT})는 다릅나무가 10.044×10⁹ dyne/cm²로서 가장 크고 들메나무 8.876×10⁹ dyne/cm², 느릅나무 8.677×10⁹ dyne/cm², 리기다소나무 6.331×10⁹ dyne/cm², 참오동나무 5.590×10⁹ dyne/cm², 피나무 5.414×10⁹ dyne/cm², 그리고 물푸레나무 4.666×10⁹ dyne/cm²順으로 나타났다.

4.2. 動的영률과 靜的영률 및 靱強度

4.2.1. 縱振動動的영률과 構振動動的영률
국내산 유용수종에 대한 縱振動動的영률 및 構振動動的영률과 靜的영률의 값을 표 3에 縱振動動的영률과 構振動動的영률의 관계를 표 4에 나타내었다.

縱振動動的영률은 들메나무 2.304×10¹¹ dyne/cm², 물푸레나무 1.645×10¹¹ dyne/cm², 리기다소나무 1.591×10¹¹ dyne/cm², 느릅나무 1.590×10¹¹ dyne/cm², 다릅나무 1.367×10¹¹ dyne/cm², 피나무 1.077×10¹¹ dyne/cm², 참오동나무 0.624×10¹¹ dyne/cm² 順으로 나타났다.

構振動動的영률의 수종별 크기 순서는 縱振動動的영률과 동일하게 나타났으며, 들메나무가 2.202×10¹¹ dyne/cm²로 가장 크고 참오동나무가 0.601×10¹¹ dyne/cm²로 가장 적게 나타나

Table 3. Dynamic and static Young's modulus of domestic wood

Species	E_L ($\times 10^{-11}$)	E_T ($\times 10^{-11}$)	E_S ($\times 10^{-11}$)
	dyne/cm ²	dyne/cm ²	dyne/cm ²
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> Nakai	1.590 ± 0.196 ¹	1.503 ± 0.221	1.266 ± 0.158
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	1.645 ± 0.351	1.556 ± 0.335	1.291 ± 0.264
<i>Pinus rigida</i> Miller	1.591 ± 0.157	1.512 ± 0.141	1.343 ± 0.134
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	0.624 ± 0.096	0.601 ± 0.100	0.564 ± 0.084
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	2.304 ± 0.237	2.002 ± 0.288	1.783 ± 0.355
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	1.077 ± 0.168	1.061 ± 0.188	0.905 ± 0.184
<i>Macckia amurensis</i> Rupr	1.367 ± 0.295	1.392 ± 0.384	1.249 ± 0.456

E_L : Longitudinal dynamic Young's modulus

E_T : Transverse dynamic Young's modulus

E_S : Static Young's modulus

Table 4. Relationship between longitudinal and transverse dynamic Young's modulus

Species	Regression	E_L/E_T	Correlation coefficient
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> Nakai	$E_L = 0.31922 \times 10^{11} + 0.84539 E_T^{**}$	1.062	0.95334**
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	$E_L = 0.06887 \times 10^{11} + 1.01290 E_T^{**}$	1.060	0.96529**
<i>Pinus rigida</i> Miller	$E_L = 0.17344 \times 10^{11} + 0.93744 E_T^{**}$	1.053	0.83789**
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	$E_L = 0.08986 \times 10^{11} + 0.88845 E_T^{**}$	1.044	0.92881**
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	$E_L = 0.67886 \times 10^{11} + 0.67686 E_T^{**}$	1.025	0.82406**
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	$E_L = 0.19020 \times 10^{11} + 0.83580 E_T^{**}$	1.019	0.83789**
<i>Macckia amurensis</i> Rupr.	$E_L = 0.37267 \times 10^{11} + 0.71481 E_T^{**}$	1.019	0.92864**
Total	$E_L = 0.06559 \times 10^{11} + 0.97906 E_T^{**}$	1.037	0.97576**

** Significant at 1% level

서 대체적으로 縱振動動的영률이 構振動動的영률에 비해 크다는 사실을 알 수 있다.

縱振動動的영률은 構振動動的영률에 비해 비교적 이론이 간단하고 보정이 필요하지 않는 데 이상 두가지 動的영률 값의 크기를 수종별로 비교해 보면 縱振動動的영률이 構振動動的영률에 비해 느릅나무가 6.2%로 가장 크게 나타났고 피나무와 다릅나무는 1.9%로 가장 적게 나타났는데 전체적으로 비교하면 약 3.7% 크게 나타났다.

이상의 결과는 Tomsaki 등(1983)¹²⁾이 Sitka spruce 縱振動動的영률이 構振動動的영률보다 약 2% 크게 나타났다는 것과 대략적으로 일치하고 있음을 알 수 있었다. 그리고 모든 공시수종에서 橫振動과 縱振動動的영률은 고도의 상관관계가 있었다.

4.2.2. 動的영률과 靜的영률

국내 유용수종의 縱振動動的영률과 靜的영률의 관계를 표 5 에 構振動動的영률과 靜的영률의 관계를 표 6 에 나타내었으며

Table 5. Relationship between longitudinal dynamic and static Young's modulus

Species	Regression	E_L/E_S	Correlation coefficient
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	$E_L=0.11977 \times 10^{11} + 1.18170 E_S^{**}$	1.281	0.88774**
<i>Ulmus davidiana</i> var. japonica Nakai	$E_L=0.12824 \times 10^{11} + 1.15420 E_S^{**}$	1.258	0.93042**
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	$E_L=0.39745 \times 10^{11} + 0.75089 E_S^{**}$	1.204	0.28338**
<i>Pinus rigida</i> Miller	$E_L=1.00140 \times 10^{11} + 0.43873 E_S^{**}$	1.192	0.37351
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	$E_L=1.26230 \times 10^{11} + 0.43281 E_S^{**}$	1.175	0.64864**
<i>Macckia amurensis</i> Rupr.	$E_L=0.78052 \times 10^{11} + 0.47002 E_S^{**}$	1.141	0.72499**
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	$E_L=0.15182 \times 10^{11} + 0.83720 E_S^{**}$	1.101	0.73624**
Total	$E_L=0.21535 \times 10^{11} + 1.00290 E_S^{**}$	1.198	0.90966**

** Significant at 1% level

Table 6. Relationship between transverse dynamic and static Young's modulus

Species	Regression	E_T/E_S	Correlation coefficient
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	$E_T=-0.01658 \times 10^{11} + 1.21840 E_S^{**}$	1.205	0.96048**
<i>Ulmus davidiana</i> var. japonica Nakai	$E_T=-0.08224 \times 10^{11} + 1.25180 E_S^{**}$	1.187	0.89485**
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	$E_T=0.18943 \times 10^{11} + 0.96301 E_S^{**}$	1.180	0.94080**
<i>Macckia amurensis</i> Rupr.	$E_T=0.43292 \times 10^{11} + 0.76778 E_S^{**}$	1.146	0.91159**
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	$E_T=0.71997 \times 10^{11} + 0.71915 E_S^{**}$	1.139	0.88526**
<i>Pinus rigida</i> Miller	$E_T=0.49069 \times 10^{11} + 0.76021 E_S^{**}$	1.129	0.72408**
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	$E_T=0.03739 \times 10^{11} + 0.99964 E_S^{**}$	1.063	0.84089**
Total	$E_T=0.10970 \times 10^{11} + 1.05760 E_S^{**}$	1.155	0.96255**

** Significant at 1% level

그림4 에 전수종에 대한 構振動動的의 영률과 靜的의 영률간의 회귀식과 상관관계를 나타내었다.

표3 에서 보는 바와 같이 靜的의 영률은 縱振動動的의 영률 및 橫振動動的의 영률에 비해 적음을 알 수 있다.

縱振動動的의 영률과 靜的의 영률간에는 리기다소 나무를 제외하고는 모든 수종이 고도의 상관관계가 있었으며 縱振動動的의 영률이 靜的의 영률보다 수종에 따라 약 10.1~28.1% 정도 크게 나타났으며, 전체적으로는 약 19.8% 크게 나타났다.

構振動動的의 영률과 靜的의 영률간에는 모든 수종에서 고도의 상관관계가 있었으며 構振動動的의 영률이 靜的의 영률에 비해, 수종에 따라 약 6.3~20.5% 정도 크게 나타났으며, 전체적으로는 약 15.5% 정도 크게 나타났다.

이상과 같이 動的의 영률이 靜的의 영률보다 큰 이유를 Matsumoto(1962)⁶⁾는 彈性余效(elastic after-effect)와 彈性履歷現象(elastic hysteresis) 때문이라고 하였으며 소나무의 構振動動的의 영률이 靜的의 영률보다 약 10% 정도 컸다고 하였으나 Norimoto(1982)⁷⁾가 여러 수종에 대해 조사

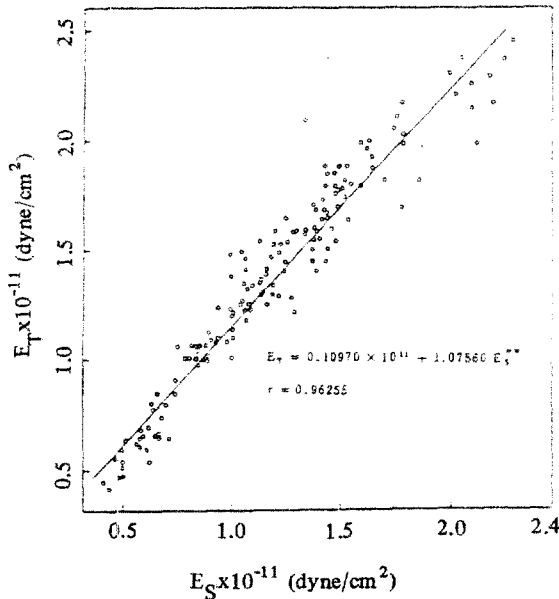


Fig. 4. A regression of the static Young's modulus on transverse dynamic Young's modulus for all species measured.

한 결과 약 20% 정도 크게 나타났다고 보고하였다.

그러므로 構振動動的의 영률이 靜的의 영률보다 크다는 것은 本研究 결과와 他 研究者와의 결과와 잘 일치하나 그 크기는 측정방법과 수종에 따라서 약간 차이가 있기 때문에 정확하게 일치하지는 않으나 대략적으로 10~20% 정도 크다는 것을 알 수 있었다.

또한 縱振動動的의 영률과 靜的의 영률, 構振動動的의 영률간의 크기가 각 수종에 따라서 변이가 큰 이유중의 하나는 動的의 영률을 계산하기 위해 유도된 식은 均一보라는 가정하에서 얻어진 식이므로 시편의 단면과 길이를 통한 밀도의 균일성이 상이하기 때문이라고 생각된다.

수종에 따라 약간의 차이는 있으나 縱振動動的의 영률과 靜的의 영률간의 전체적인 상관계수는 0.90966으로 構振動動的의 영률과 靜的의 영률간의 전체적인 상관계수 0.96255보다 그 값이 적게 나타났는데 그 이유는 측정縱振動共振數가 고주파수이기 때문에 일반적으로 構振動보다 측정정도가 저하되기 때문이라고 사료된다.

Funck(1979) 등이 eastern cottonwood의 構振動動的의 영률과 靜的의 영률을 상관계수는 0.

914라고 한 보고와 표 6에서 보는 바와 같이 本研究의 결과를 비교해 보면 수종의 차이는 있으나 대략적으로 일치하고 있음을 알 수 있다.

4.2.3. 영률과 휨강도

국내 수종의 縱振動動的의 영률과 휨강도, 橫振動動的의 영률과 휨강도 및 靜的의 영률과 휨강도의 관계에 대한 회귀식 및 상관계수는 표 7에 나타낸 바와 같으며 각 수종에 대한 관측치를 모두 합한 橫振動動的의 영률과 휨강도의 관계는 그림 7에 나타내었다.

縱振動動的의 영률과 휨강도 상관계수는 리기다소나무 경우를 제외하고는 통계적 유의성이 있었으나 다른 것에 비해 적게 나타났는데 그 이유는 전술한 바와 같이 縱振動動的의 영률의 측정정도 저하때문이라고 사료된다.

橫振動動的의 영률과 휨강도의 상관계수 그리고 靜的의 영률과 휨강도의 상관계수는 모두 고도의 상관관계를 나타내었으며 느릅나무, 참오동나무, 리기다소나무의 構振動動的의 영률과 휨강도의 상관계수는 靜的의 영률과 휨강도의 상관계수보다 약간 크게 나타났으나 나머지 다른 수종에서는 靜的의 영률과 휨강도간의 상관계수가 약간 더 크게 나타났었다.

따라서 각 수종의 관측치 총합에 대해 측정방법에 따른 상관계수를 $H_0: \rho = \rho_0$ 라는 귀무가설을 세워서 통계적 검증을 실시하였는데 縱振動動的의 영률과 휨강도, 橫振動動的의 영률과 휨강도간의 상관계수는 1% 수준에서 유의차가 인정되었으며 靜的의 영률과 휨강도간의 상관계수와는 10% 수준에서 유의차가 인정되었다.

橫振動動的의 영률과 휨강도, 靜的의 영률과 휨강도간의 상관계수는 통계적 유의차가 없었다.

이상의 결과를 橫振動動的의 영률과 휨강도간의 상관계수가 정적영율과 휨강도의 상관계수보다 sitka spruce 경우 더 크다는 Miller(1962)¹⁰⁾의 보고와 eastern cottonwood의 경우는 靜的의 영률과 휨강도간의 상관계수가 더 크게 나타났다는 Funck 등(1978)¹¹⁾의 보고와 비교해 볼 때 橫振動動的의 영률에 의한 휨강도 추정효율이 일부 수종에서는 靜的의 영률에 의한 추정효율보다 더 크게 나타나 모든 수종에서는 그렇게 나타나지는 않았으며 전체적으로 볼 때 이상 두가지 방법에 의한 휨강도 추정효율은 비

Table 7. Relationship between Young's modulus and modulus of rupture

Species	Regression	Correlation
<i>Macckia amurensis</i> Rupr.	MOR = $-0.15321 \times 10^9 + 0.00215E_L$ **	0.71997**
	MOR = $-0.13186 \times 10^9 + 0.00832E_T$ **	0.90243**
	MOR = $0.10828 \times 10^9 + 0.00734E_S$ **	0.94631**
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	MOR = $0.31729 \times 10^8 + 0.00611E_L$ **	0.80813**
	MOR = $0.46949 \times 10^8 + 0.00605E_T$ **	0.89945**
	MOR = $0.11096 \times 10^8 + 0.00639E_S$ **	0.92746**
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	MOR = $0.11502 \times 10^9 + 0.00633E_L$ **	0.58897**
	MOR = $-0.12901 \times 10^9 + 0.00761E_T$ **	0.86206**
	MOR = $0.25214 \times 10^9 + 0.00645E_S$ **	0.89983**
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	MOR = $0.35653 \times 10^9 + 0.00516E_L$ **	0.79605**
	MOR = $0.28823 \times 10^9 + 0.00589E_T$ **	0.86653**
	MOR = $0.23031 \times 10^9 + 0.00755E_S$ **	0.87552**
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> Nakai	MOR = $0.62963 \times 10^7 + 0.00747E_L$ **	0.80546**
	MOR = $0.16831 \times 10^9 + 0.00683E_T$ **	0.82983**
	MOR = $0.20600 \times 10^8 + 0.00927E_S$ **	0.80538**
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	MOR = $0.59287 \times 10^8 + 0.00516E_L$ **	0.64756**
	MOR = $0.68142 \times 10^8 + 0.00520E_T$ **	0.68328**
	MOR = $0.40111 \times 10^8 + 0.00604E_S$ **	0.66752**
<i>Pinus rigida</i> Miller	MOR = $0.44207 \times 10^9 + 0.00502E_L$	0.45431
	MOR = $-0.65330 \times 10^8 + 0.00863E_T$ **	0.69756**
	MOR = $0.27021 \times 10^9 + 0.00722E_S$ *	0.55549*
Total	MOR = $-0.52667 \times 10^8 + 0.00745E_L$ **	0.91518**
	MOR = $-0.57345 \times 10^8 + 0.00771E_T$ **	0.94409**
	MOR = $-1152.0 + 0.00839E_S$ **	0.93454**

*Significant at 5% level

**Significant at 1% level

숫하였다.

지금까지 영률과 휨강도간의 회귀식은 한 두 수종에 국한되어 조사되었는데 여러 수종에 대해 조사한 결과를 살펴보면 예상한 바와 같이 회귀식의 절편과 기울기가 수종과 측정방법에 따라 매우 다르게 나타나는 것을 알 수 있으므로 모든 수종에 대해 적용가능한 휨강도 추정회귀식을 구하는 것은 어려우며 각 수종에 대한 휨강도 추정회귀식을 구하는 것은 어려우며 각 수종에 대한 휨강도 추정회귀식을 구해 제재목의 휨강도를 추정하는 것이 더 효율적임을 알 수 있었다.

4.3. 動力學的 性質

4.3.1. 縱波速度, 內部摩擦과 K 값

국내수종과 도입수종의 動力學的 性質을 비교하기 위해 橫振動에 의해 측정된 결과는 표 8에 나타낸 내용과 같다.

縱波速度는 Sitka spruce 가 5685 m/sec 로 가장 크게 나타났으며 국내수종인 물푸레나무가 4469 m/sec 로 가장 작게 나타났다. 물푸레나무가 다른 수종에 비해 橫振動的 率에 비해 밀도가 크기 때문에 縱波速度는 가장 작게 나타나게 되었고 참오동나무와 피나무의 縱波速度는 각각 4827m/sec, 5027m/sec이었으며 국내수종의 평균 縱波速度는 4382m/sec이었다.

木材의 音響의 性質을 나타내는데 중요한 지

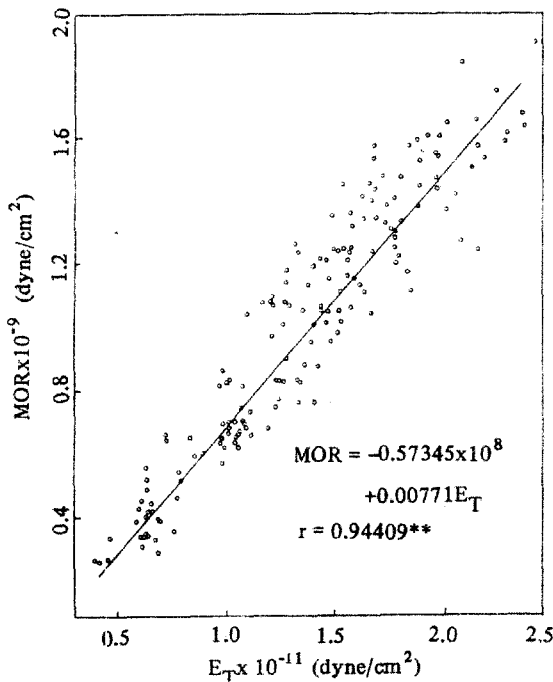


Fig. 5. A regression of modulus of rupture on transverse dynamic Young's modulus for all species measured.

표인 내부마찰 값은 국내수종의 경우 물푸레나무 10.910×10^3 , 들메나무 10.333×10^3 , 다릅나무 10.022×10^3 , 느릅나무 9.847×10^3 , 리기다소나무 9.500×10^3 , 피나무 9.121×10^3 , 참오동나무 8.795×10^3 順으로 크게 나타났다.

도입수종인 Sitka spruce 내부마찰값은 7.331×10^3 으로서 가장 작게 나타났으며 Melapi와 Cottonwood의 값은 각각 10.415×10^3 , 14.444×10^3 으로서 참오동나무와 피나무 경우보다 훨씬 크게 나타났다.

국내수종별 K 값의 평균과 표준편차는 참오동나무(2.225 ± 0.468) $\times 10^8$, 피나무(1.359 ± 0.219) $\times 10^8$, 다릅나무(0.837 ± 0.234) $\times 10^8$, 리기다소나무(0.826 ± 0.190) $\times 10^8$, 느릅나무(0.720 ± 0.202) $\times 10^8$, 들메나무(0.679 ± 0.159) $\times 10^8$, 물푸레나무(0.550 ± 0.102) $\times 10^8$ 順으로 크게 나타나 국내 전통약기 용재로 쓰이고 있는 참오동나무와 피나무의 K 값이 다른 수종에 비해 큰 사실이 규명되었다.

이 사실은 홍(1983)¹⁰⁾의 보고내용과 일치하나 本研究의 K 값이 홍이 조사한 K 값보다 크게 나타났는데 그 이유는 측정방법의 차이에 기

Table 8. Comparison of dynamical properties of domestic and imported wood

Species	V	Q ⁻¹ ($\times 10^3$)	K ($\times 10^{-8}$)
	m/sec		
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	4,827 ± 351	8.795 ± 1.725	2.225 ± 0.468
<i>Tilla amurensis</i> Rupr.	5,027 ± 348	9.121 ± 1.493	1.359 ± 0.219
<i>Macckia amurensis</i> Rupr.	4,755 ± 547	10.022 ± 2.378	0.837 ± 0.234
<i>Pinus rigida</i> Miller	4,849 ± 263	9.500 ± 1.634	0.826 ± 0.190
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> Nakai	4,648 ± 278	9.847 ± 2.004	0.720 ± 0.202
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	5,100 ± 368	10.333 ± 2.525	0.679 ± 0.159
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	4,469 ± 377	10.910 ± 1.806	0.550 ± 0.102
Total	4,382 ± 422	9.775 ± 2.026	1.058 ± 0.590
<i>Picea sitchensis</i> Carr	5,685 ± 201	7.331 ± 0.991	1.826 ± 0.259
Melapi (<i>Shorea</i> (<i>Anthoshorea</i>) spp.)	4,932 ± 184	10.415 ± 3.274	1.026 ± 0.271
Cottonwood (<i>Populus</i> spp.)	5,062 ± 251	14.444 ± 4.572	0.772 ± 0.267

V : Sound velocity

Q⁻¹ : Internal friction

인한 것으로 생각된다.

도입수종인 Sitka spruce 의 K 값은 1.826×10^6 으로 참오동나무보다 약간 적게 나타났으며 현재 악기회사에 피아노 響板材에 사용하는 Sitka spruce 代替수종으로 가능하다고 생각되는 Melapi 와 Cottonwood 의 K 값은 각각 1.026×10^6 , 0.772×10^6 으로서 참오동나무와 피나무의 K 값보다 적은 것을 알 수 있으므로 Sitka spruce 대체수종으로써 참오동나무와 피나무가 고려될 수 있다고 생각된다.

그러나 이상의 연구는 보의 진동으로부터 얻은 결과이고 실제로 쓰이는 피아노 響板을 제조하기 위해서는 대경목이 필요하고 또한 板材內의 밀도의 균일성 등을 고려하지 않고 얻은 결과이므로 앞으로 이밖의 인자에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

4.3.2. K 값에 미치는 영향인자

樂器用材로서의 적합성을 나타내는 K 값에 영향을 미치는 인자를 알아보기 위해 K 값과 여러 인자와의 상관관계를 표 9에 나타내었다.

연륜폭과 K 값과의 상관관계는 피나무만 5% 수준에서 유의성이 있었으며 상관계수는 0.3152이었다.

밀도와 K 값과의 상관관계는 Melapi 와 Cottonwood 가 각각 5%와 1% 수준에서 유의성이 있었으며 상관계수는 0.2930, 4.6334이었고 리기다소나무는 상관계수가 -0.5915로 음의 상관관계가 있었으며 5% 수준에서 유의성이 있었다.

이상의 결과로부터 연륜폭과 밀도가 K 값에 미치는 영향은 일정하지 않고 수종에 따라 상이함을 알 수 있었다.

또한 橫振動의 率과 縱波速度와 K 값간의 상관관계는 예상한 바와 같이 모두 陽의 상관관계가 있었으나 그 크기는 수종에 따라 일정하지 않았다.

그러나 내부마찰과 K 값간의 상관관계는 모든 수종에서 고도의 상관관계를 나타내어 K 값에 가장 크게 영향을 미치는 것은 내부마찰임을 알 수 있었다.

내부마찰에 영향을 미치는 인자를 알아보기 위해 표 10에서 살펴보면 연륜폭과 내부마찰은 대체적으로 陰의 상관관계가 있었으나 통계적 유의성은 없었다. 밀도와 내부마찰, 횡진동동적영율과 내부마찰간의 상관관계도 대체적으로 陰의 상관관계가 있었으나 그 크기는 수종에 따라서 일정하지 않았다.

Table 9. Correlation coefficient related with K value

Species	K - W	K - d	K - E _T	K - V	K - Q ⁻¹
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	-	-0.2027	0.3714	0.5769**	-0.8579**
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	0.3152*	0.3015	0.5522**	0.6296**	-0.9090**
<i>Macckia amurensis</i> Rupr.	0.2882	0.4007	0.6813**	0.7440**	-0.9196**
<i>Pinus rigida</i> Miller	0.1655	-0.5915*	0.3849	0.6229*	-0.9304**
<i>Ulmus davidiana</i> var. japonica Nakai	0.0765	0.1519	0.3962	0.4376*	-0.9407**
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	-0.1694	-0.1455	0.6167**	0.6636**	-0.8790**
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	0.1853	0.2530	0.6038**	0.6864**	-0.9221**
<i>Picea sitchensis</i> Carr.	0.0886	-0.3329**	0.2158	0.4091**	-0.8998**
Melapi (<i>Shorea</i> (<i>Anthoshorea</i>) spp.)	-	0.2930	0.5580**	0.5498**	-0.9391**
Cottonwood (<i>Populus</i> spp.)	-0.2321	0.6334**	0.1066	0.2724*	-0.9179**

* Significant at 5% level

** Significant at 1% level

W : Width of annual ring; d : Density

Table 10. Correlation coefficient related with internal friction and transverse dynamic Young's modulus

Species	$Q^{-1}-W$	$Q^{-1}-d$	$Q^{-1}-E_T$	$Q^{-1}-V$	E_T-d
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steudel	-	-0.2068	-0.3699	-0.3654	0.5300**
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	-0.1019	-0.4685**	-0.5382**	-0.5295**	0.8612**
<i>Maackia amurensis</i> Rupr.	-0.2844	-0.5296*	-0.6727**	-0.6834**	0.8774**
<i>Pinus rigida</i> Miller	-0.1161	0.4195	-0.1771	-0.3480	0.0144
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> Nakai	-0.2469	-0.4046	-0.5433*	-0.5071*	0.7188**
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	0.0013	-0.0755	-0.4370*	-0.3944**	0.2278
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	-0.2764	-0.4712*	-0.6348**	-0.6216**	0.8103**
<i>Picea sitchensis</i> Carr.	-0.0092	-0.0314	-0.1710	-0.1384	0.2732*
Melapi (<i>Shorea</i> (<i>Anthoshorea</i>) spp.)	-	-0.3587*	-0.6115**	-0.5842**	0.6825**
Cottonwood (<i>Populus</i> spp.)	0.2036	-0.0948	-0.2524	-0.3544**	0.8725**

* Significant at 5% level

** Significant at 1% level

그리고 橫振動動的영률과 밀도의 경우 고도의 陽의 상관관계가 존재하였으나 리기다소나무와 들메나무의 경우는 통계적 유의성이 없었다.

이상의 결과는 Kataoka(1976)¹⁷⁾가 Sitka spruce의 動的영률은 밀도가 증가함에 따라 증가하고 내부마찰은 밀도가 증가할수록 감소한다는 보고와 Ono(1981, 1983)^{26, 27)}가 밀도와 動的영률, 밀도와 内部摩擦은 대개 각각 陽과 陰이 상관관계가 있으나 그 크기는 수종과 재질에 따라 일정하지 않다고 한 보고와 잘 일치하고 있다.

이상의 상관관계를 살펴본 바에 의하면 樂器用材는 밀도에 비해 영률이 크고 내부마찰이 작아야 되는데 同一수종내에서 밀도와 영률은 일반적으로 陽의 상관관계가 있으므로 우선적으로는 악기용재의 특성을 갖는 수종을 선택하는 것이 중요하고 同一수종내에서도 이러한 특성을 갖는 목재를 선별하여 사용하는 것이 필요로 된다.

5. 結 論

響板用 慣行樹種과 代替可能樹種의 自由振

動的性質을 알기 위해 국내산 수종인 참오동나무 외 6수종과 도입수종인 Sitka spruce 외 2수종에 대해 橫振動과 縱振動 및 휨강도시험을 실시하였는데 그 결과는 다음과 같다.

1. 국내 유용 수종별 動的剪斷彈性係數 (G_{11}) 평균치는 다음과 같다
참오동나무: 5.590×10^9 dyne/cm², 피나무: 5.414×10^9 dyne/cm², 다릅나무: 10.044×10^9 dyne/cm², 들메나무: 8.876×10^9 dyne/cm², 느릅나무: 8.677×10^9 dyne/cm², 리기다소나무: 6.331×10^9 dyne/cm², 물푸레나무: 4.666×10^9 dyne/cm²
2. 橫振動動的영률에 대한 動的剪斷彈性係數比 (E_T/G_{11})는 물푸레나무가 24.922로 가장 크고 참오동나무는 7.317로 가장 적었다.
3. 縱振動動的영률은 橫振動動的영률보다 약 3.7%, 靜的영률보다 약 19.8% 정도 크게 나타났다.
橫振動動的영률은 靜的영률보다 약 15.5% 크게 나타났다.
4. 상관관계에 의한 橫振動動的영률의 휨강도 추정값이 靜的영률에 의한 것보다 약간 컸으나 통계적 유의차는 없었다.

5. 橫振動動的의 率은 들메나무 2.002×10^{11} dyne/cm²가 가장 크고 참오동나무 0.601×10^{11} dyne/cm²가 국내유용수종 중 가장 작았으며, 縱波速度는 도입수종인 Sitka spruce가 5685 m/sec로 가장 크게 나타났다.
6. 국내유용수종 중 참오동나무의 내부마찰값이 8.795×10^{-3} 으로 가장 작게 나타났으나 Sitka spruce의 내부마찰값이 7.331×10^{-3} 보다는 더 크게 나타났다.
 内部摩擦은 밀도 및 영률과 대체로 陰의 상관관계에 있었다.
7. K 값은 内部摩擦에 크게 영향을 받으며 국내유용수종 중 참오동나무의 K 값이 2.225×10^8 으로 가장 컸으며 물푸레나무가 0.550×10^8 으로 가장 작게 나타났다.
 참오동나무의 K 값이 Sitka spruce의 K 값보다 크게 나타났으며 참오동나무와 피나무의 K 값은 피아노 산업계에서 Sitka spruce 대체 가능한 수종이라고 생각한 melapi와 cottonwood의 K 값보다 더 크게 나타났다.

參 考 文 獻

1. 安藤由典. 1973. 樂器의 音響學, 音樂의 友社.
2. Blevir, R.D. 1979. Formulus for natural frequency and mode shape. Van Nostrand Reinhold Comp.
3. Chen, Y. 1963. On the vibration of beams or rods carrying a concentrated mass. ASME J. Appl. Meca. 30:310-311.
4. Funck, J.W., D.R. Prestemon and D.W. Benseid. 1979. Modulus of rupture and dynamic and static modulus of elasticity of eastern cottonwood 2 by 4. Forest Prod. J. 29(11): 35-37.
5. Goens, V.E. 1931. Determination of Young's modulus from flexural vibrations. Ann. Physik 11: 649-678.
6. Grant, D.A. 1978. The effect of rotary inertia and shear deformation on the frequency and normal mode equations of uniform beams carrying a concentrated mass. J. Sound and Vib. 57(3): 357-365.
7. Gregory, A.S. 1964. Objectives, needs for nondestructive testing of wood. Forest Prod. J. 14(2): 77-79.
8. Haener, J. and K. Wichita. 1958. Formulus for the frequencies including higher frequencies of uniform cantilever and free-free beams with additional masses at the ends. ASME J. Appl. Mech. 37: 412.
9. Hearmon, R.F.S. 1951. Elasticity of wood and plywood. For. Prod. Res. Lab. Spec. Rept. 7. H.M. Stationery Office, London.
10. —————. 1958. The influence of shear and rotary inertia on the free Flexural vibration of wooden beams. Brit. J. Appl. Phys. 9:381-388.
11. —————. 1966. Theory of vibration testing of wood. Forest Prod. J. 16(8): 29-40.
12. 洪秉和. 1983. 韓國產 響板用材의 振動的의 性質에 關한 研究. 慶尙大學校 論文集 22: 31-59.
13. Jayne, B.A. 1959. Vibrational properties of wood. Forest Prod. J. 9(11): 413-416.
14. Kamioka, H. and A. Kataoka. 1982. Elastic modulus and internal friction of woods by longitudinal resonance method. J. Wood Res. Soc. Japan 28(6): 336-345.
15. Kataoka, A. and T. Ono. 1975. The relations of experimental factors to the vibration and the measuring values of dynamic mechanical properties of wood. I. J. Wood Res. Soc. Japan 21(10): 543-550.
16. —————. 1976. The relations of experimental factors to the vibration and the measuring values of dynamic mechanical properties of wood. II. J. Wood Res. Soc. Japan 22(1): 1-7.
17. —————. 1976. The dynamic mechanical properties of sitka spruce used for sounding board. J. Wood Res. Soc. Japan 22(8): 436-443.
18. Matsumoto, T. 1962. Studies on the dynamic modulus E. and the logarithmic decrement of wood by transverse vibration. Bulletin of the

- Kyushu Univ. For. 36:1-86.
19. Miller, D.G. 1962. Selection efficiencies of nondestructive strength tests. *Forest Prod. J.* 12(8): 358-362.
 20. Nakao, T., T. Okano and I. Asano. 1984. Measurement of the anisotropic-shear modulus by the torsional-vibration method for free-free wooden beams. *J. Wood Res. Soc. Japan* 30(11): 878-885.
 21. _____ 1985. Theoretical and experimental analysis of flexural vibration of the viscoelastic Timoshenko beam. *ASME J. Appl. Mech.* 52: 728-731.
 22. Norimoto, M. 1982. Structure and properties of wood used for musical instruments. *J. Wood Res. Soc. Japan* 28(7): 407-413.
 23. Ono, T. 1980. The dynamic rigidity modulus and internal friction of several woods in torsional vibration. *J. Wood Res. Soc. Japan* 25(3): 139-145.
 24. _____. 1981. Relationship of the selection of wood used for piano soundboards to the dynamic mechanical properties. *J. Soc. materials Sci. Japan.* 30(334): 719-724.
 25. _____. 1983. On dynamical properties in the trunks of woods for musical instruments. *Hozforschung.* 37: 245-250.
 26. _____, and A. Kataoka. 1979. The frequency dependence of the dynamic Young's modulus and internal friction of wood used for the sound boards of musical instruments. *I.J. Wood Res. Soc. Japn* 25(7): 461-468.
 27. _____. 1979. The frequency dependence of the dynamic Young's modulus and internal friction of wood used for the sound boards of musical instruments. II. *J. Wood Res. Soc. Japan* 25(8): 535-542.
 28. Orosz, I. 1977. Relationships between transverse free vibration MOE and other properties as affected by knots. *Forest Prod. J.* 27(1): 23-27.
 29. Pellerin, R.F. 1965. A vibrational approach to non-destructive testing of structural lumber. *Forest Prod. J.* 15(3): 93-101.
 30. Rayleigh, L. 1945. *Theory of sound.* 2nd ed. Vol. 1. Macmillan, London. Reprinted, Dover, New York.
 31. Timoshenko, S.P. 1921. On the correction for shear of the differential equation for transverse vibration of prismatic bars. *Philosophical Magazine.* 21: 744-746.
 32. Tonosaki, M., T. Okano and I. Asano. 1983. Vibrational properties of sitka spruce with longitudinal vibration and flexural vibration. *J. Wood Res. Soc.* 29(9): 547-552.