

소나무 壓縮應力材의 動 彈性率과 內部摩擦*1

洪 秉 和*2. 卞 熙 燮*2

Dynamic MOE and Internal Friction of Compression Woods in *Pinus densiflora* *1

Byung-Wha Hong*2 · Hee-Seop Byeon*2

ABSTRACT

A study was conducted to evaluate the dynamic mechanical properties (modulus of elasticity, resonant frequency and internal friction) of compression wood in *Pinus densiflora*. Vibration method was used for estimation of dynamic modulus of elasticity and the values were compared to those of static bending modulus of elasticity.

The results obtained are as follows:

1. The dynamic modulus of elasticity of compression wood decreased, whereas that of normal wood increased, with increasing specific gravity.
2. The resonant frequency of compression wood decreased, whereas that of normal wood increased, with increasing specific gravity.
3. The internal friction of compression wood increased with increasing specific gravity.
4. The correlation coefficients between dynamic and static moduli of elasticity in compression and normal woods were high.

Keywords: Compression wood, *Pinus densiflora*, internal friction, dynamic elasticity

1. 緒 論

壓縮應力材는 正常材에 비하여 여러가지 特性을 가지는데 組織的인 構造 뿐만 아니라 物理的인 性質이나 化學的인 性質도 매우 다르다. 이러한 應力材가 형성되는 원인은 응력분포에 대한 반응으로 형성되는 것이 아니고 屈地性 그리고 그 밖의 生長特性에 원인이 있는 指向性 運動과 관련하는

것으로 생각되며 직접적으로는 植物生長 調節物質, 특히 IAA나 TIBA(anti auxin)과 같은 生長 호르몬의 작용이 주목되어 이러한 生理的 舉動을 통해서 壓縮應力材의 形成機構 解明에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한 壓縮應力材는 正常材와 비교해서 細胞間隙이 많고 假導管의 길이가 짧으며 細胞壁 中層의 피브릴 傾斜角은 약 45°로 매우 크고 中層 外周部の 리그닌양은 매우 많으며 細胞壁

*1 접수 1994년 11월 28일 Received November 28, 1994

*2 경상대학교 농과대학 College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

전체의 리그닌 양도 많다. 특히 가도관벽에는 나선상의 세포벽의 쪼름이 생겨 크게 재질을 나쁘게 한다(Onaka, 1949).

이와 관련된 연구는 Suzuki(1968, 1969)가 몇종의 침엽수재의 세포벽 구조와 탄성계수 및 강도적 성질과의 관계를 연구한 것을 비롯하여 삼나무의 세포벽 구조와 영계수와의 관계를 보고 한 바 있고, Ueda(1972, 1973)는 은행나무와 일본사시나무 및 들메나무재의 인장응력재의 기계적 성질에 관하여, 그리고 그는 *Abies sachalinensis*와 은행나무재를 공시재로 정상재와 압축응력재의 휨 탄성계수와 剪斷剛性率을 실험한 결과, 휨 탄성률은 정상재가 압축응력재에 비하여 크게 높고, 剪斷剛性率은 반대로 압축응력재가 높다는 연구 결과를 발표한 바 있다. Preme(1960)은 *Pinus resinosa*의 생재와 기건재의 비중에 대한 強靱성을 조사한 결과 압축응력재의 비중증가에 대한 강인성의 증가는 적었다는 보고 외에 많은 연구가 있다(Onaka, 1949; Timell, 1986). 그러나 動的인 방법에 의한 特性評價에 대한 보고는 찾아보기가 어렵다.

따라서 본 연구는 지금까지의 정적 탄성율과 동적 탄성율과의 관계를 究明하기 위하여 소나무(*Pinus densiflora*) 壓縮應力材의 특성을 兩端自由振動法을 사용하여 動力學的 性質을 중심으로 검토하고자 한다.

2. 材料 및 方法

2.1 供試材 및 試驗片 製作

供試材는 表 1에서 보는 바와 같이 소나무(*Pinus densiflora*)의 樹齡 50年 以上된 기건상태의 壓縮應力材와 正常材를 供試材로 하였다. 試片은 두께 10mm, 폭 20mm, 길이 300mm의 크기로 壓縮應力材는 50개 정상재는 60개 製作하여 그 중에서 缺陷이 없는 試片에서 壓縮應力材에서 14개, 正常材에서 19개를 選定하여 溫度 20°C, 關係濕度 65%로 調整된 恒溫恒濕槽內에서 48時間 處理한 試

Table 1. Characteristics of tested woods.

Scientific name	Type of wood	D.B.H(cm)	Tree age	Specific Gravity Lower	Specific Gravity Upper	Locality
<i>Pinus densiflora</i>	Compression wood	34	58	0.545	0.746	Jiri Mt.
	Normal wood	46	65	0.444	0.709	"

片을 供試材로 사용하였다.

2.2 動的彈性率과 內部摩擦의 測定

測定裝置는 試片의 兩端 밑면에 軟鐵片을 붙여 일단은 勵振하고 다른 일단은 檢出하는 전자적 방법을 적용한 양단 자유진동장치를 이용한 共振法에 따라 osilloscope에 나타나는 共振曲線으로부터 共振周波數, 動的 彈性率과 內部摩擦을 결정하였다. 發振機는 덴마크 B&K사 제품의 sine generator type 1023을 사용하였으며, 周波數 측정은 universal counter time을 사용하고 osilloscope는 미국 HEWLETT.BACKARD사에서 제작한 1740A (100MHz)을 사용하였다. 측정은 발진기 출력과 검출기 출력을 각각 음극선 osilloscope에 연결하여 발진기의 여진주파수를 낮은 쪽에서 점

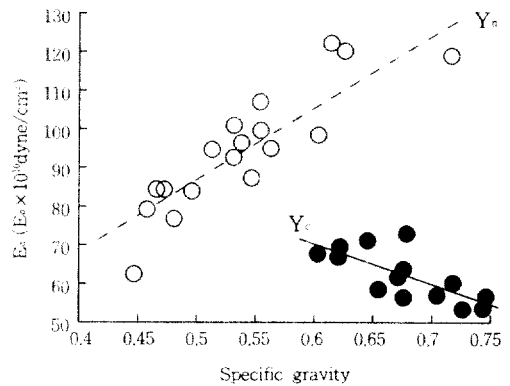


Fig. 1. Relationships between static modulus of elasticity and specific gravity of compression wood and normal wood in *Pinus densiflora*.

Legend: ○, --- : Normal wood

●, --- : Compression wood

Notes: E_s is static modulus of elasticity

Y_n is regression line for normal wood.

Y_c is regression line for normal wood.

$Y_n = 238X - 33, r = 0.896^{**}$,

$Y_c = -94X + 126, r = -0.688^{**}$

** : significant at 1% level.

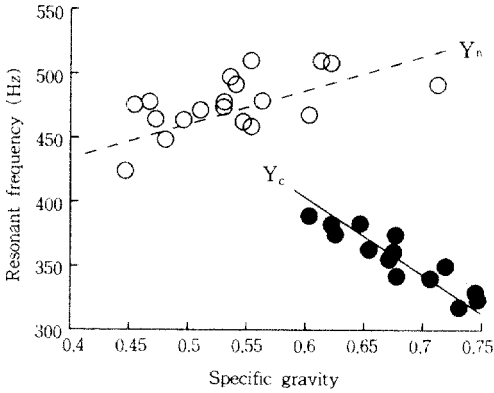


Fig. 2. Relationships between resonant frequency and specific gravity of compression wood and normal wood in *Pinus densiflora*.

Legend: The same as shown in Fig. 1.

Notes: $Y_n = 377X + 191$, $r = 0.571^{**}$,

** : significant at 1% level.

$Y_c = -612X + 767$, $r = -0.923^{**}$

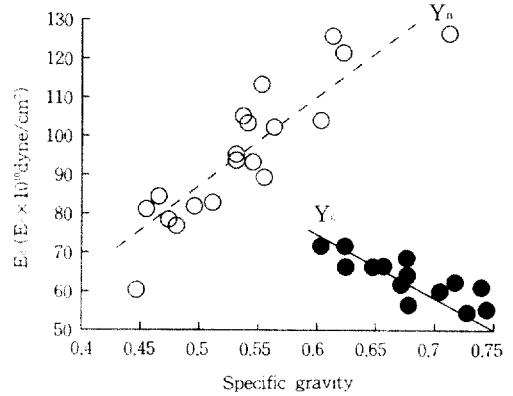


Fig. 3. Relationships between dynamic modulus of elasticity and specific gravity of compression wood and normal wood in *Pinus densiflora*.

Legend: The same as shown in Fig. 1.

Notes: E_d is dynamic modulus of elasticity.

$Y_n = 238X - 32$, $r = 0.896^{**}$,

** : significant at 1% level.

$Y_c = -111X + 137$, $r = -0.809^{**}$

차 높은 쪽으로 올려 검출기 출력이 최대의共振曲線을 그릴 때 共振周波數와 内部摩擦을 결정하였다.

2. 3 動的 彈性率과 内部摩擦의 計算

共振周波數(f), 動的 彈性率(E) 그리고 内部摩擦(Q^{-1}) 등은 다음과 같은 식에 의하여 계산되었다.

$$f = f_0(1 \times a^2 / l^2) \text{ ----- (1)}$$

여기서 f_0 는 周波數 카운터의 수치, α 는 振動형식에 따라 결정되는 정수로서 8.2, a 는 試片의 두께, l^2 는 試片의 길이를 나타낸다.

$$E = 48\pi^2 \rho l^4 f^2 / m^4 a^2 \text{ ----- (2)}$$

여기서는 比重, m 은 기본진동의 경우 4.73으로 하고, l 는 시편의 길이, a 는 試片의 두께를 나타낸다.

内部摩擦은 진동 1사이클 중에서 물체의 내부에서 손실되는 에너지 즉 動的損失을 진동에너지로서 除함으로써 구하여지는 다음 식에 의해 내부마찰을 구하였다.

$$Q^{-1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta E}{E} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \text{ ----- (3)}$$

여기서 Δf 는 共振曲線의 半값의 폭, f_0 는 共振周波數이다.

2. 4 靜的 彈性率 測定法

靜的 彈性率 測定은 動的 彈性率 및 内部摩擦의 測定과 동일한 조건에서 動的 彈性率과 内部摩擦을 측정할 試片의 스패를 28cm로 하여 中央集中方式의 3點 荷重 방식에 의해서 측정했다.

3. 結果 및 考察

3. 1 壓縮應力材와 正常材의 比重

壓軸應力材는 正常材에 비하여 比重이 크다는 연구보고는 옛날부터 수없이 많이 보고되고 있다. 본 실험에서 比重을 측정한 결과 표 1에서 보는 바와 같이 壓縮應力材는 0.545에서 0.746의 범위로 평균 0.656이었으나. 정상재는 0.444에서 0.709의 범위로 평균 0.537로 兩材의 비가 1.22였다. 이러한 결과는 수많은 연구자의 결과와 일치하나 일본의 소나무材에 대한 壓縮應力材와 正常材의 비교를 소개하면 Onaka(1949)는 기건재 때의 壓縮應力材와 正常材의 比重이 각각 0.84와 0.64라 하고 전건재의 比重을 각각 0.62와 0.54라 보고한 것

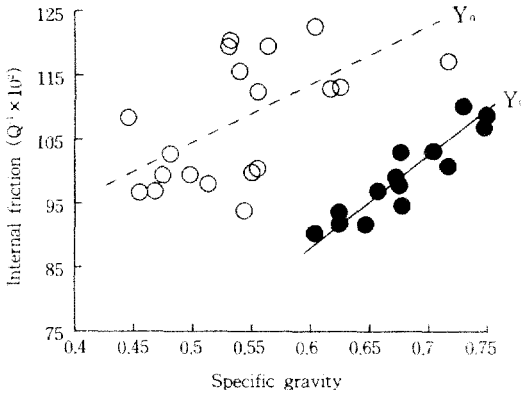


Fig. 4. Relationships between internal friction and specific gravity of compression wood and normal wood in *Pinus densiflora*.

Legend: The same as shown in Fig. 1.
 Notes: $Y_n = 70X + 73, r = 0.352$
 $Y_c = 84X + 43, r = -0.696^{**}$,
 ** : significant at 1% level.

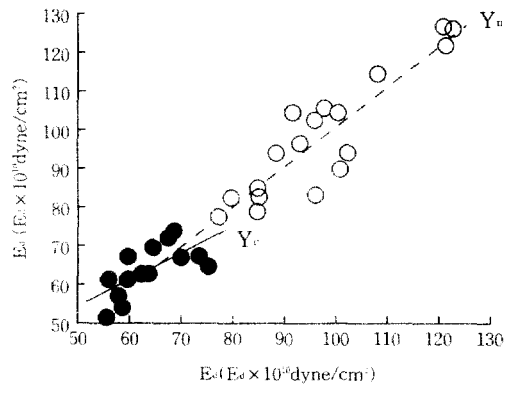


Fig. 5. Relationships between dynamic modulus of elasticity and static modulus of elasticity of compression wood and normal wood in *Pinus densiflora*.

Legend: The same as shown in Fig. 1.
 Notes: E_s is static modulus of elasticity,
 E_d is dynamic modulus of elasticity.
 $Y_n = 1.05X - 4.5, r = 0.933^{**}$,
 ** : significant at 1% level.
 $Y_c = 0.683X + 20.1, r = -0.680^{**}$

과 비교하면 약간 낮은 값을 보이거나 壓縮應力材와 정상재의 比重의 경향은 같은 것으로 나타났다.

3.2 靜的 彈性率과 比重과의 關係

그림 1에 壓縮應力材와 正常材의 靜的 彈性率과 比重과의 關係를 나타낸다. 正常材는 比重이 증가하면 靜的 彈性率도 증가하지만 壓縮應力材는 그와 반대로 比重이 증가하면 靜的 彈性率은 낮아지는 경향을 보인다. 정상재와 比重의 關係에서 1% 수준에서 유의성이 인정되며 상관계수도 0.886으로 매우 높다. 壓縮應力材의 靜的 彈性率과 比重과의 關係에서도 1% 수준에서 유의성은 인정되지만 상관계수가 -0.688로 正常材와 比重의 關係에서의 값보다 약간 낮은 負의 값을 나타낸다. 壓縮應力材의 比重이 증가하면 靜的 彈性率은 낮아지는 경향을 보인 원인은 正常材보다 壓縮應力材는 假道管의 길이가 짧고 세포간극이 많으며 마이크로피브릴의 경사각이 크고 세포벽의 裂紋 등에 의한 복합적인 작용으로 생각된다.

3.3 共振周波數와 比重과의 關係

그림 2에 壓縮應力材와 正常材의 共振周波數와 比重과의 關係를 나타낸다. 正常材는 比重이 증가함에 따라 共振周波數도 증가하지만 壓縮應力材의 경우는 比重이 증가함

에 따라 共振周波數가 감소하는 경향을 나타낸다. 正常材 및 壓縮應力材의 共振周波數와 比重과의 상관계수는 각각 0.571, -0.923을 나타내어 둘다 1% 수준에서 유의성은 인정되지만 壓縮應力材는 높은 負의 상관계수를 나타내는데 이것은 靜的 彈性率과 比重과의 關係에서 언급한 것과 같은 원인으로 생각 된다.

3.4 動的 彈性率과 比重과 關係

그림 3은 壓縮應力材와 正常材의 動的 彈性率과 比重과의 關係를 나타낸다. 이것은 共振周波數와 比重과의 關係 및 靜的 彈性率과 比重과의 關係에서의 유사한 경향을 나타내어 정상재는 比重이 증가하면 動的 彈性率도 증가하나 壓縮應力材는 그와 반대로 比重이 증가하면 動的 彈性率은 낮아지는 경향을 보인다. 正常材와 比重의 關係에서 1% 수준에서 유의성이 인정되며 상관계수도 0.896으로 매우 높다. 壓縮應力材의 靜的 彈性率과 比重과의 關係에서도 1% 수준에서 유의성이 인정되고 상관계수가 -0.901로 正常材와 比重의 關係에서의 값과 같이 매우 높은 값을 나타내고 負의 값을 나타낸다. 그런데 정상재의 共振周波數와 比重과의 關係에서 0.571의 상관계수로 비교적 낮

은 상관 관계를 나타낸 반면 동적 탄성율과 비중과의 상관계수는 0.896으로 상관관계가 높아졌다. 이것은 動的 彈性率을 계산하기 위해서는 比重 등을 이용하기 때문에 계산치가 보정된 때문으로 생각된다.

3.5 內部摩擦과 比重과의 關係

그림 4에서 보는 바와 같이 壓縮應力材와 正常材의 內部摩擦과 比重과의 관계를 나타낸다. 正常材의 內部摩擦은 比重의 증가에 따라 약간 증가하는 경향을 나타내지만 5% 수준에서도 유의성이 인정되지 않는 낮은 상관관계를 나타낸다. 그런데 壓縮應力材의 內部摩擦과 比重과의 경우는 正常材의 內部摩擦과 比重과의 관계에서보다 높은 상관관계를 나타내어 1% 수준에서 유의성이 인정되는 0.696의 상관계수를 나타낸다. 이는 比重이 증가함에 따라 細胞壁의 裂目과 마이크로피브릴 경사각이 크고 세포간극도 많으며 가도관의 길이가 짧은 것 등의 복합작용으로 內部摩擦이 커지는 것으로 생각된다.

3.6 動的 彈性率과 靜的 彈性率과의 關係

그림 5는 壓縮應力材와 正常材의 靜的 彈性率과 動的 彈性率과의 관계를 나타낸다. 壓縮應力材 및 正常材의 靜的 彈性率과 動的 彈性率은 밀접한 상관관계를 나타내어 상관계수도 매우 높은 각각 0.933과 0.680을 나타내었다. 이러한 결과로부터 壓縮應力材나 正常材 다같이 兩端自由振動法에 의한 彈性率 측정이 가능할 것으로 판단된다.

4. 結 論

소나무 壓縮應力材와 正常材를 供試材로 兩端自由振動裝置를 利用한 動的 彈性率, 共振周波數, 內部摩擦 등과 中央集中式 荷重에 의한 靜的 彈性率 測定結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 動的 彈性率은 比重이 增加할수록 壓縮應力材는 낮아졌으나 正常材는 增加하였다.
2. 共振周波數는 比重이 增加할수록 壓縮應力材는 減少하였으나 正常材는 增加하였다.

3. 壓縮應力材의 內部摩擦은 比重이 增加할수록 增加하였다.
4. 壓縮應力材 및 正常材의 靜的 彈性率과 動的 彈性率과의 상관관계는 다같이 높았다.

參 考 文 獻

1. Onaka, F. 1949. Studies on compression wood and tension wood. Mokuzai Kenkyu, Wood Res. Inst. Kyoto Univ. : 1, 88, Transl. For. Prod. Lab. Can. :93(1956), 99
2. Perem, E. 1960. The effect of compression wood on the mechanical properties of white spruce and red pine. For. Prod. Lab. ,Can. Tech. Note :13, 22
3. 島地 謙 外 6人. 1992. 木材の構造. 文永堂. 東京: 194~195
4. Suzuki, M. 1968. The relationship between elasticity and strength properties and cell structures of coniferous wood. Gov. For. Exp. Sta. Bull. 212:149
5. Suzuki, M. 1969. Relation between Young's modulus and the cell-wall structures of Sugi(*Cryptomeria japonica* D. Don.). *Mokuzai Gakkaishi* 15:278~284
6. Timell, T. E. 1986. Compression wood in gymnosperms. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, P. :470~596
7. Ueda K. 1973. Studies on the mechanical properties of reaction woods. 2. The elastic constant of Ichō(*Ginkgo biloba* L.), Yamanarashi(*Populus sieboldii* Miq.) and Yachidamo(*Fraxinus mandshurica* var. *japonica* Maxim). *Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ.* 30:379~388
8. Ueda K, Y. Ijima and T. Yokoyama. 1972. Studies on the mechanical properties of reaction woods. 1. The elastic constant of Todomatsu Abies sp. *Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ.* 29:327~334