

韓國産 竹材의 動力學的 性質*¹

洪 秉 和*²

Dynamic Mechanical Properties of Bamboos in Korea*¹

Byung Wha Hong*²

Summary

This study was carried out to investigate the fiber length, fiber width and fiber thickness on the longitudinal direction by the parts of culm and also specific gravity in air dry, dynamic mechanical properties and internal frictions by the internode and the node in *Phyllostachys bambusoides*, *Phyllostachys nigra* var. *henonis* and *Phyllostachys edulis* which were grown in Korea.

The results obtained were as follows;

1. The variations of fiber length and fiber width on the longitudinal direction had a tendency to increase slightly from the butt and then to decrease toward the top, but there was not a definite variation for fiber thickness according to the parts of culm.

2. The specific gravity in air dry of internode was increased from the butt toward the top, but the specific gravity in air dry of node was not correlations with the parts of culm.

3. Dynamic Young's modulus of internode on the longitudinal direction was increased according to the heights of culms within each species, and there were in order of *P. edulis*, *P. nigra* var. *henonis* and *P. bambusoides*.

4. Correlation coefficients between the specific gravity and the dynamic Young's modulus were 0.837 in *P. bambusoides*, 0.871 in *P. nigra* var. *henonis* and 0.935 in *P. edulis* and there was also highly significant for dynamic Young's modulus between the specific gravities in air dry.

5. There were not correlations between the internal frictions and the parts of internode.

1. 緒 論

대나무는 繁殖速度가 빠르고 輪伐期가 짧아 農村經濟向上에 寄與하는 特殊樹種이다. 竹材는 引

張 및 曲強度가 매우 높고 振動性, 彈力性, 割裂性, 通直性 등의 特性을 가지며 또 多量의 厚膜纖維는 竹펄프 原料로서 利用되고 있다.

이와같은 特性 때문에 옛날부터 建築材料와 大

*1. 接受 2月 5日 Received February 5, 1988.

이 論文은 1987年度 文教部學術研究助成費에 의해 研究되었음.

*2. 慶尙大學校農科大學 College of Agri., Gyeongsang National University, Chinju Korea.

筍, 尺八, 橫笛, 笙 등의 樂器材料로 利用되었으며 竹細工과 竹材合板, 家具, 名種 室內裝飾材料 등으로 使用되고 있다.

竹材의 強度는 竹稈의 部位에 따라 差異를 나타내는데 基部에서 技條部 쪽으로 향하여 比重이 증가될 뿐 아니라 強度가 높게 되는 것으로 알려져 있다.

이와 관련된 報告로서는 Espiloy, Z. B¹¹ 등이 필리핀産 Buho 竹材의 몇가지 物理 및 機械의 性質에 대하여 報告한 바 있고 Wang¹⁶⁾ 등은 硬化積層竹材의 性質에 대하여, 馬⁹⁾ 등은 層積竹材의 實際 應用에 대하여 研究한 바 있다. 그 외에 몇몇 報告가 있으나^{12, 13, 14)} 動力學的 性質에 대한 報告는 없다. 木材에 대한 動力學的 性質에 관한 研究는 많이 報告되었는데^{3, 4, 5, 10, 11, 15)} 特히 Kataoka¹⁵⁾ 등이 提案한 兩端自由振動法을 적용하여 一端은 勵振하고 다른 一端은 檢出하는 共振法으로 왕대, 솜대, 죽순대를 供試材로 하여 動力學的 性質에 대한 實驗結果를 報告하였다.

2. 材料 및 方法

2.1. 材料

2.1.1. 供試竹材의 形狀

供試材는 全南 潭陽과 慶南 晋州 및 東萊에서 正常的으로 生長한 3年生으로 數十本에서 大, 中, 小로 區分하여 中程度 크기의 竹材를 各地域別로 一本씩 왕대 (*Phyllostachys bambusoides* S. et. Z) 와 솜대 (*Phyllostachys nigra* var. *henonis* stapf) 그리고 죽순대 (*Phyllostachys edulis* A. & C. Ri-

were) 등 3竹種에서 각각 3本을 竹稈의 基部에서 採取하여 供試材料로 使用하였는데 그 特徵은 表 1과 같고 마디별 平均 節間長과 平均直徑을 測定하였으며 또한 各 竹種別로 竹稈의 部位에 따른 節間材의 두께와의 關係를 調查하였다.

2.1.2. 試片製作 및 纖維解離

各 竹種別로 마디와 節間的 比重을 測定하기 위하여 各 마디와 各 節間的 中央部位에서 1cm의 円板을 採取하여 block를 만들어 氣乾比重 測定用 試料로 하였는데 氣乾比重을 적용한 것은 動的 彈性率 測定 試片이 氣乾材이므로 物性變化를 주지 않기 위하여 氣乾比重을 測定하였다.

動的 彈性率 測定用 試片은 各 節間別로 一定 方向에서 1~2cm 幅으로 割裂하여 試片 兩端에 두께 0.2mm, 幅 10mm, 길이 6mm의 鐵片을 接着劑로 붙여 動的 彈性率과 內部摩擦을 測定하였다. 또한 維管束鞘의 纖維長과 幅 및 膜厚를 測定하기 위하여 稈軸方向으로 基部의 첫 節間部位에서 3節間씩 왕대, 솜대는 30節間까지 그리고 죽순대는 39節間까지 길이 1cm, 幅 5mm의 試片을 만들어 Schurz's solution으로 纖維를 解離시켜 各 節間마다 100個씩 測定하여 그 變異를 구하였다.

2.2. 實驗方法

2.2.1. 實驗裝置

測定裝置는 그림 1과 같이 勵振과 檢出을 電子的方法을 使用한 兩端自由振動法을 適用하여 一端은 勵振하고 다른 一端은 檢出하는 共振法에 따라 發振器出力과 檢出器 出力을 各 陰極線 oscilloscope에 연결하여 發振器 周波數를 낮은 쪽

Table 1. Characteristics of sample bamboos

| Species | Locality | Age (Years) | Height (m) | Diameter of internodal butt (cm) | Number of node | M.C. in a.r dry (%) |
|--|----------|-------------|------------|----------------------------------|----------------|---------------------|
| <i>Phyllostachys bambusoides</i> | Damyang | 3 | 7.60 | 3.8 | 45 | 12.0 |
| | Chinju | 3 | 7.98 | 4.7 | 49 | 11.8 |
| | Dongrae | 3 | 7.90 | 4.3 | 44 | 11.6 |
| <i>Phyllostachys nigra</i> var. <i>henonis</i> | Damyang | 3 | 9.18 | 4.1 | 47 | 11.4 |
| | Chinju | 3 | 9.77 | 4.3 | 48 | 11.8 |
| | Dongrae | 3 | 11.90 | 5.2 | 45 | 11.5 |
| <i>Phyllostachys edulis</i> | Damyang | 3 | 10.24 | 8.8 | 50 | 11.7 |
| | Chinju | 3 | 11.41 | 8.3 | 51 | 11.6 |
| | Dongrae | 3 | 11.62 | 8.5 | 51 | 11.4 |

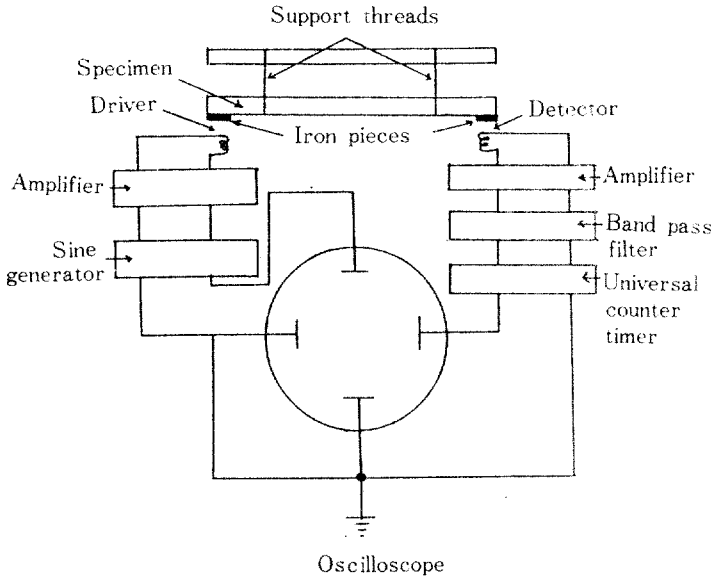


Fig. 1 Block diagram of experimental apparatus.

에서 높은 쪽으로 올려 檢出器 出力이 最大의 共振曲線을 그릴 때에 動的영률과 內部摩擦을 測定 하었는데 使用된 發振器는 Denmark B & K社 製品인 sine generator 1023을 사용하고 周波數測定은 universal counter time을 사용하였으며 美國 HEWLETT BACKARD社 製品인 1740 A(100MHz)의 oscilloscope를 使用하였다.

2.2.2. 計算式

共振周波數와 動的영률 및 內部摩擦등은 다음 式들에 의하여 計算되었다.

共振周波數는

$$f = f_0(1 + \alpha a^2/L^2) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 f : 共振周波數, f₀: 周波數카운터의 數值, α : 振動形式에 따라 決定되는 定數로서 8.2 임, L : 試片의 길이.

動的영률은

$$E = 48 \pi^2 \rho v^4 f/m^4 a^2 \dots\dots\dots (2)$$

여기서 ρ : 比重, m : 基體振動的의 경우 4.73 임.

內部摩擦은 振動 1 cycle中에서 物體의 內部에서 損失된 에너지를 振動에너지로 除함으로써 얻 어지는데 그 式은 다음과 같다.

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

3. 結果 및 考察

3.1 形狀의 變異

竹稜의 높이에 따른 節間長의 變異는 그림 2와 같은데 竹種에 따라 약간의 差異는 있으나 基部와 先端部는 짧은데 왕대는 11節間材에서 最長에 達하고 숨대는 15節間材에서 最長에 達하며 죽순대는 22節間材에서 最長에 達하여 대나무의 크기와 生育地의 條件에 따라 일률적으로 말하기는 어려우나 竹高 1/2 以上에서 가장 긴 節間長에 이르고 볼 수 있다.

節間的 直徑은 그림 3에서 보는 바와 같이 죽순대, 숨대, 왕대 順으로 直徑이 先端部를 向하여 줄어듦을 볼 수 있는데 이 直徑의 경우도 대나무의 크기에 따라 變異가 크리라 생각된다.

節間材의 두께는 그림 4와 같이 죽순대가 가장 두껍고 왕대, 숨대는 비슷한 두께를 보이나 基部가 가장 두껍고 先端部를 向하여 直線의으로 줄어듦을 볼 수 있는데 이 두께의 경우도 대나무의 크기에 따라 그 變異가 크리라 생각된다.

3.2 纖維의 變異

纖維는 樹體를 強固하게 할 뿐 아니라 材의 比重, 硬度, 強度 등에 깊은 關聯을 가지므로 纖維의 길이, 幅, 膜厚를 測定하였는데 纖維長과 幅 및 膜厚의 變異는 그림 5와 表 2, 3, 4에서 보는 바와 같이 竹種과 竹稜의 部位에 따른 약간의 差異는 있으나 基部에서 부터 3~9節 사이에서 最長에 達한 後에 先端部를 向하여 점점 減少하는 傾向을 나타 내었는데 이러한 結果는 Liese W., Macdonald R. G.⁶⁾ 李⁷⁾ 등의 研究 結果와 一致한다.

纖維 幅의 경우도 竹種에 따라 差異는 있으나 纖維長과 같은 傾向을 보였으며 膜厚는 一定한 傾向을 볼 수 없으나 木纖維에 비하여 膜이 두꺼운 厚膜纖維임을 觀察할 수 있었다.

3.3 各節間材 및 마디別의 比重

그림 6, 7, 8과 같이 竹種別 節間部位에 따른 氣乾比重의 變異는 節間材에서는 竹稜의 基部에서 上部로 向하여 3竹種 다 같이 比重이 增加되었으나 마디의 氣乾比重은 部位와는 相關이 없었다. 3竹種의 節間材의 平均氣乾比重의 最小, 最大 및 平均比重을 보면 왕대가 最小 0.7841, 最大 1.019, 平均 0.8855이고 숨대가 最小 0.7125, 最大 1.

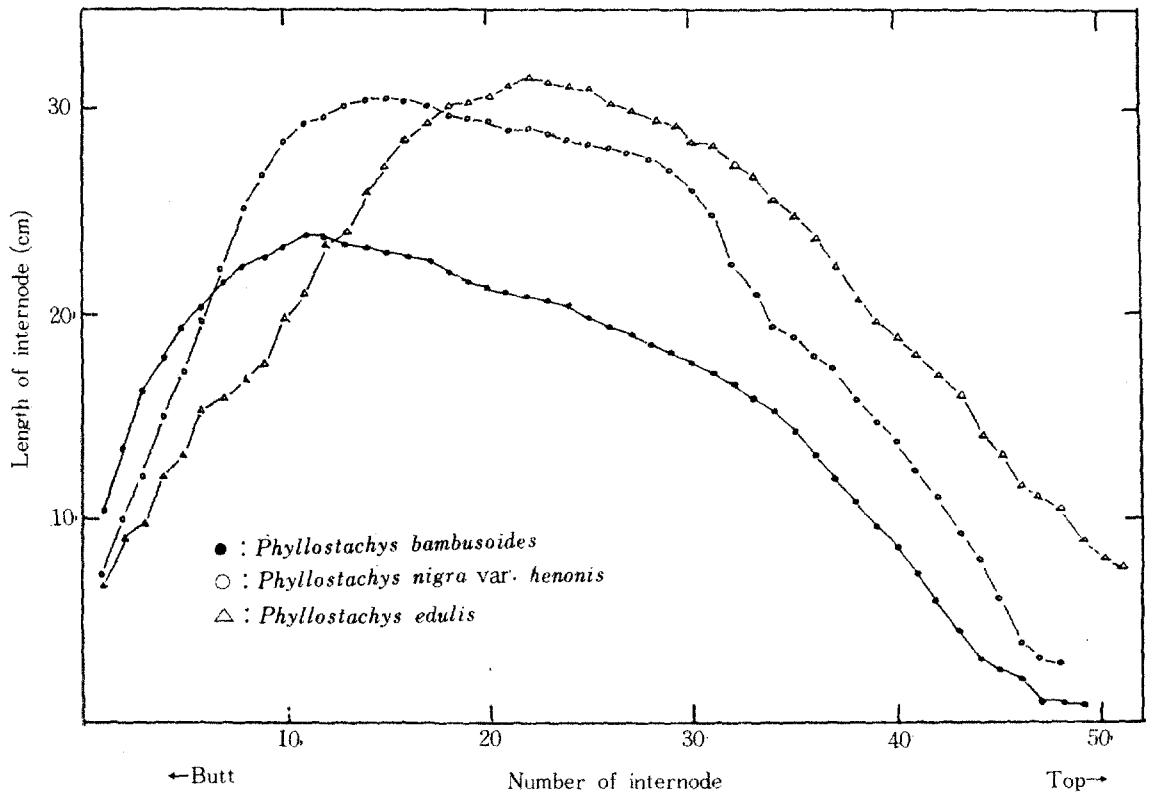


Fig. 2. Average length of internode according to number of internode.

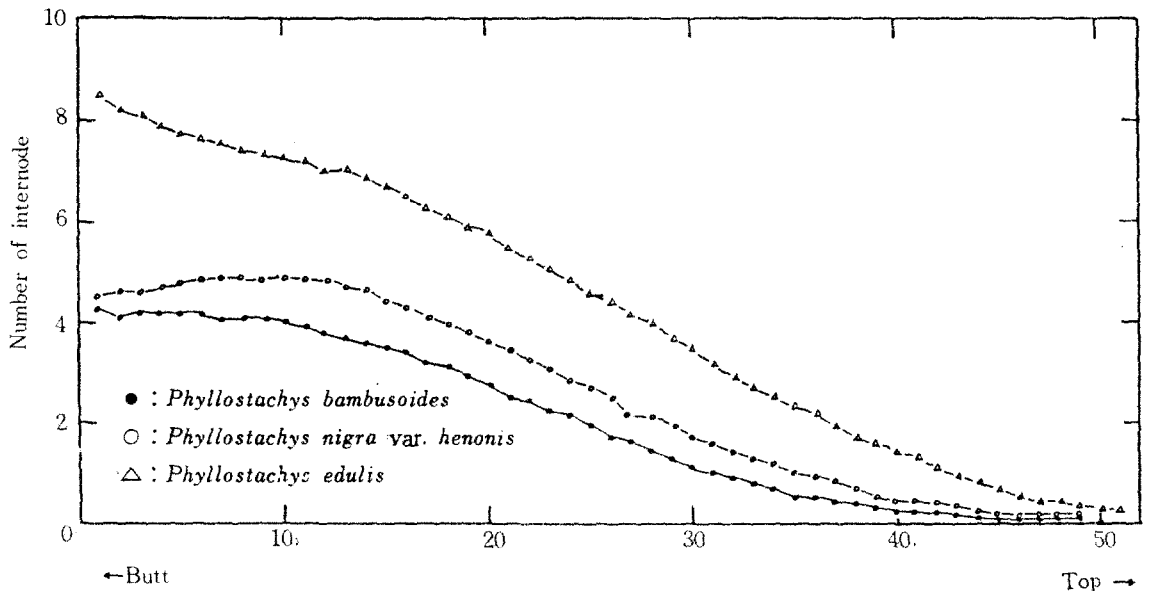


Fig. 3. Average diameter of internode according to number of internode.

0830, 平均 0.8504였으며 죽순대는 最小 0.7411, 最大 1.0487, 平均 0.9312로 죽순대가 가장 높고 왕대, 숨대 順으로 낮아졌다.

竹種別로 氣乾比重과 節間部位와의 相關係數를 보면 왕대가 0.917, 숨대가 0.911 그리고 죽순대가 0.963으로 節間部位와 氣乾比重 사이에 3竹種

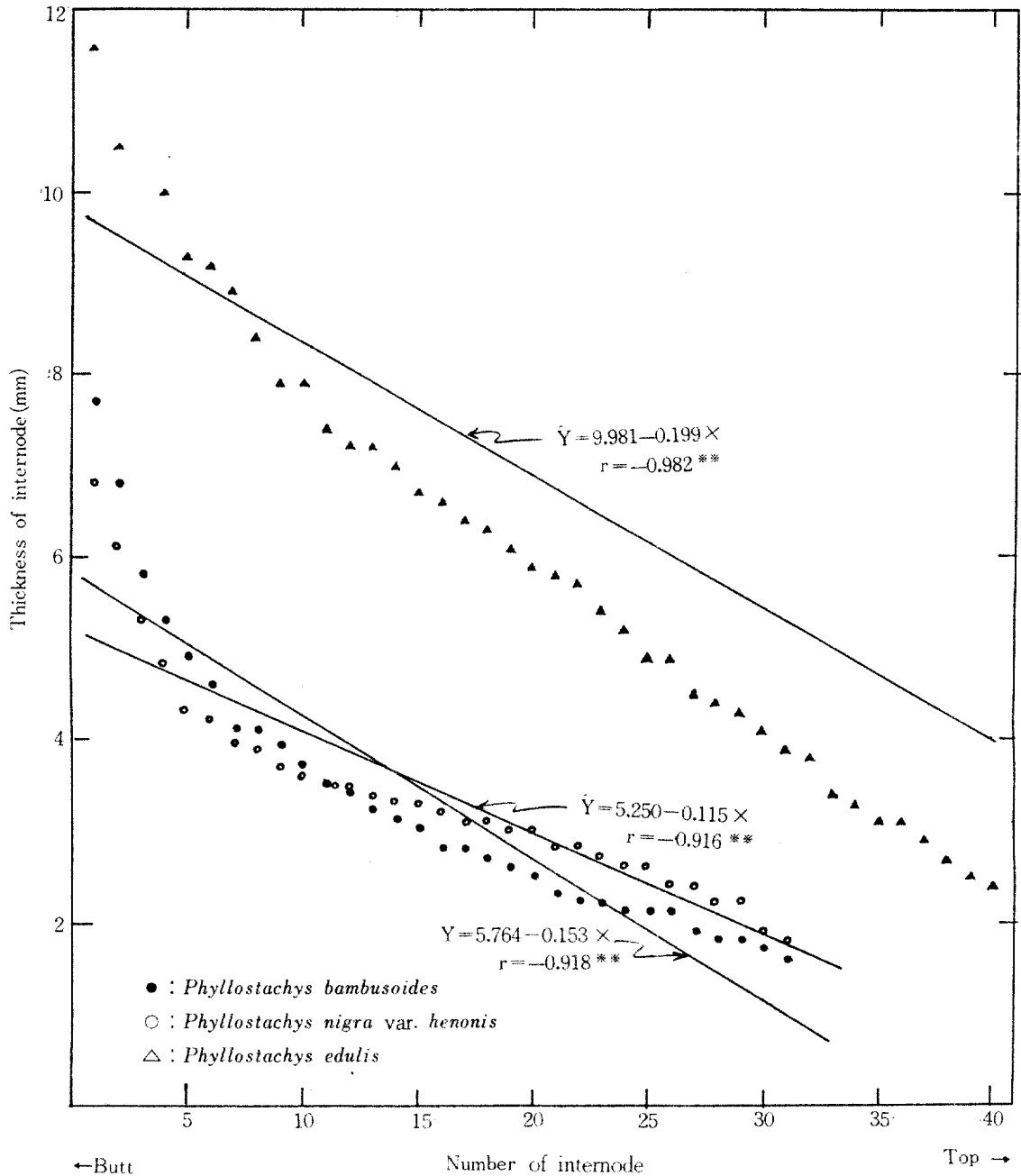


Fig. 4. Relationship between thickness of internode and number of internode for species.

다 같이 높은 相關을 보였다.

필립핀의 Espiloy, Z. B.¹⁾ 등은 *Schizostachyum lumampao*(Blco). MERR의 竹材의 全乾比重을 基部, 中部, 上部로 나누어 測定한 結果 基部가 平均 0.394, 中部가 0.458, 上部가 0.531이라 報告한 바 있다. 日本材料學會는¹⁾ 竹材의 同一斷面에서는 表皮側, 中間部, 髓腔側의 順으로

比重이 낮아지며 왕대, 솜대, 죽순대 등 6種의 竹材의 全乾比重의 最小値는 0.53, 最大値는 0.99, 平均은 0.81이라 報告한 바 있다. 우리나라產 竹材와 日本產 竹材의 比重은 비슷한 結果를 보이지만 熱帶產인 필립핀產 竹材와는 顯격한 差異를 보이는 것은 生育地의 條件과 竹種에 起因된 것으로 생각된다. 그리고 마디는 部位에 따라 比重의 一定

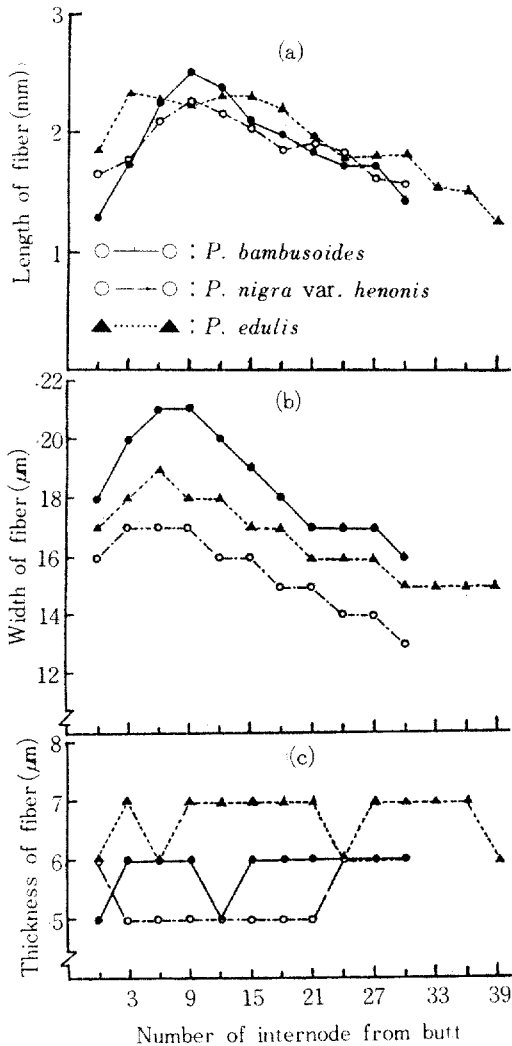


Fig. 5. Variations of fiber length, width and thickness from butt toward top.

(a): Length, (b): Width, (c): Thickness

한 變異를 찾을 수 없으나 節間材는 上部로 향하여 比重이 增加함은 竹材의 特性이라 하겠다.

3.4. 節間材의 動的彈性率

그림 9, 10, 11과 같이 基部 節間材에서 先端部를 향할 수록 3竹種 다 같이 動的彈性率이 增加함을 볼 수 있는데 이는 節間材의 比重이 基部에서 上部로 향할 수록 增加하기 때문이라 생각한다.

Espiloy, Z. B.¹⁾ 등은 필리핀産 Buho 竹材에 대하여 基部, 中部, 上部로 나누어 靜的強度試驗을 실시한 結果에 의하면 平均彈性係數는 基部가 363.0(Lb/in² × 1000), 中部가 700.0(Lb/in²

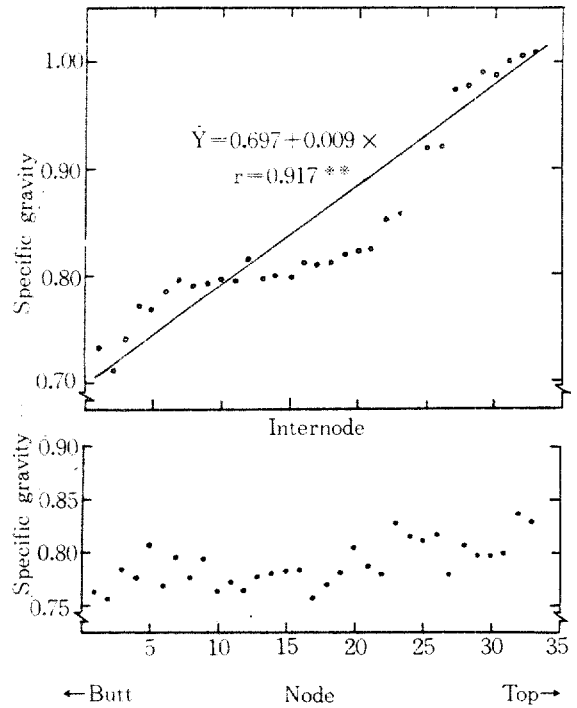


Fig. 6. Relationship between specific gravity in air dry, internode (upper) and node (below) of *Phyllostachys bambusoides*.

× 1000) 그리고 上部가 1593.0 (Lb/in² × 1000)으로 基部에서 上部로 향하여 크게 彈性係數가 增加됨을 報告한 바 있다. 本 實驗에서도 測定 가능한 試片에서 動的彈性率을 測定한 結果 왕대가 基部 3節間材에서 最小 값인 1.620×10^{13} (dyne/cm²) 이고 最大 값인 31節間材에서 9.214×10^{13} (dyne/cm²) 였으며 平均 3.731×10^{13} (dyne/cm²) 이고 筍대가 基部 4節間材에서 最小 값인 1.276×10^{13} (dyne/cm²) 이고 最大 값인 31節間材에서 8.974×10^{13} (dyne/cm²) 로 平均 3.029×10^{13} (dyne/cm²) 였으며 죽순대가 基部 6節間材에서 最小 값인 1.061×10^{13} (dyne/cm²) 이고 最大 값인 39節間材에서 4.194×10^{13} (dyne/cm²) 로 平均 1.927×10^{13} (dyne/cm²) 였다.

竹種別로는 왕대, 筍대, 죽순대의 順으로 動的 彈性率이 낮아 졌으며, 왕대, 筍대에 비하여 平均 氣乾比重이 높았던 죽순대의 動的 彈性率이 크게 떨어짐을 볼 수 있는데 이는 複雜한 組織構造에 起因한다고 생각된다.

3竹種에 대한 節間部位에 따른 動的 彈性率과의 相

Table 2. Variations of fiber length of *Phyllostachys bambusoides*

| Internodal number from butt | Range of length (μm) | Mean (μm) | Standard deviation | C.V. (%) |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------|----------|
| 1 | 700-2276 | 1263.5 | 279.9 | 22.1 |
| 3 | 1109-2334 | 1721.0 | 281.8 | 16.4 |
| 6 | 1237-3034 | 2245.4 | 394.2 | 17.6 |
| 9 | 1692-3501 | 2522.3 | 423.8 | 16.8 |
| 12 | 1634-3384 | 2391.3 | 378.0 | 15.8 |
| 15 | 1225-3209 | 2089.9 | 353.6 | 16.9 |
| 18 | 1225-3034 | 1969.5 | 383.9 | 19.5 |
| 21 | 1050-2684 | 1829.0 | 340.4 | 18.6 |
| 24 | 934-2451 | 1716.1 | 366.3 | 21.3 |
| 27 | 934-2964 | 1726.5 | 382.3 | 22.1 |
| 30 | 864-2276 | 1412.0 | 328.7 | 23.3 |

Table 3. Variations of fiber length of *Phyllostachys nigra* var. *henonis*

| Internodal number from butt | Range of length (μm) | Mean (μm) | Standard deviation | C.V. (%) |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------|----------|
| 1 | 910-2567 | 1656.6 | 366.8 | 22.1 |
| 3 | 920-2686 | 1676.9 | 347.5 | 21.3 |
| 6 | 1225-3268 | 2092.7 | 319.8 | 15.3 |
| 9 | 1284-3034 | 2257.6 | 390.8 | 17.3 |
| 12 | 1400-2918 | 2156.6 | 352.7 | 16.4 |
| 15 | 1377-3034 | 2081.7 | 382.6 | 18.4 |
| 18 | 1202-3034 | 1850.7 | 386.3 | 20.9 |
| 21 | 1167-2626 | 1909.4 | 299.1 | 15.7 |
| 24 | 1284-2567 | 1846.9 | 287.1 | 15.5 |
| 27 | 957-2451 | 1622.6 | 313.9 | 20.7 |
| 30 | 757-2509 | 1569.2 | 354.7 | 22.6 |

關關係를 보면 왕대의 相關係數는 0.843이였고 솜대는 0.735, 그리고 죽순대는 0.834로 높은 相關을 나타내었는데 木材인 Sitka spruce 에 대하여 Kataoka¹⁵⁾는 動的영率이 1.256×10^{11} (dyne/cm²)라고 發表한 數值에 비하여 竹材는 木材에 비하여 높은 動的彈性率을 갖고 있음을 알 수 있으며 이는 竹材의 特性이라 생각된다.

3.5. 比重과 動的彈性率과의 相關

表 5는 氣乾比重과 動的영率과의 相關을 分析한 結果인데 竹種別로 6節間材에서 31節間材 사이의 平均 比重과 平均 動的영率은 왕대가 각각 0.8923

(g/cm³)과 3.967×10^{11} (dyne/cm²) 이고 솜대가 0.8546(g/cm³)과 3.173×10^{11} (dyne/cm²) 이며 죽순대가 0.9200(g/cm³)과 1.171×10^{11} (dyne/cm²) 였다.

각 竹種別 比重과 動的영率과의 相關係數를 보면 왕대가 0.837, 솜대가 0.871, 그리고 죽순대가 0.935로 다 같이 높은 相關을 보였다.

3.6. 節間材의 內部摩擦

3竹種에 대하여 內部摩擦을 測定한 結果는 그림 12와 같다. 이 結果에서 竹種에 따라 약간의 差異를 보이나 節間的 部位에 따른 相關은 없었다.

Table 4. Variations of fiber length of *Phyllostachys edulis*

| Internodal number from butt | Range of length (μm) | Mean (μm) | Standard deviation | C.V. (%) |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------|----------|
| 1 | 1167-2800 | 1863.6 | 357.2 | 19.2 |
| 3 | 1319-3209 | 2340.1 | 426.8 | 18.2 |
| 6 | 1459-3267 | 2248.3 | 424.7 | 18.9 |
| 9 | 1284-3116 | 2239.4 | 427.1 | 19.1 |
| 12 | 1342-3501 | 2330.1 | 542.8 | 23.3 |
| 15 | 1482-3268 | 2319.9 | 449.0 | 19.4 |
| 18 | 1225-3361 | 2204.9 | 541.3 | 24.6 |
| 21 | 1050-3093 | 1981.3 | 471.9 | 23.8 |
| 24 | 934-2976 | 1793.2 | 421.4 | 23.5 |
| 27 | 875-2684 | 1808.6 | 378.5 | 20.9 |
| 30 | 992-2684 | 1842.2 | 373.9 | 20.3 |
| 33 | 934-2451 | 1545.7 | 378.2 | 24.5 |
| 36 | 934-2334 | 1507.4 | 367.5 | 24.4 |
| 39 | 700-2276 | 1263.9 | 326.5 | 25.8 |

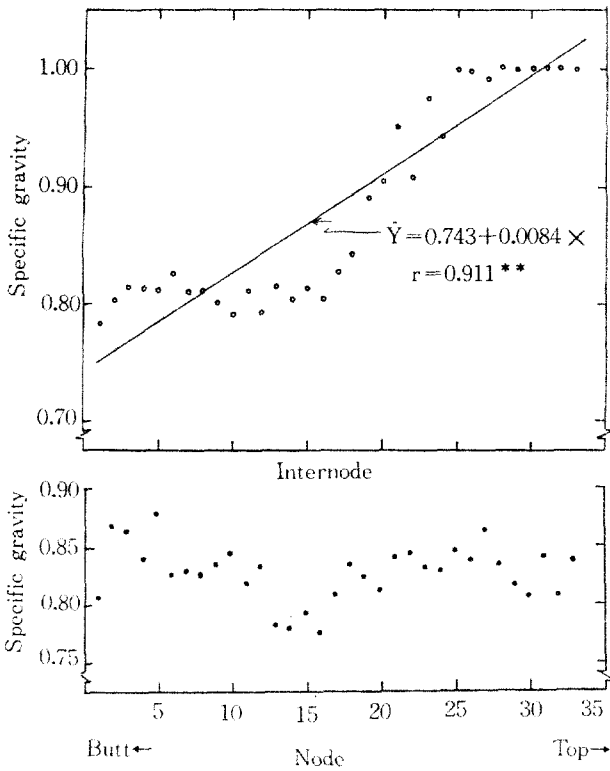


Fig. 7. Relationship between specific gravity in air dry, internode and node for *Phyllostachys nigra* var. *henonis*.

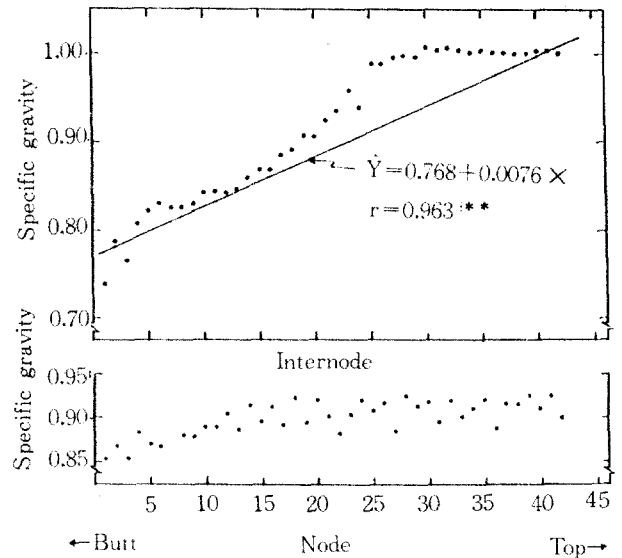


Fig. 8. Relationship between specific gravity in air dry, internode and node for *Phyllostachys edulis*.

竹種別로 内部摩擦의 最小, 最大, 平均을 보면 왕대가 最小 3.2×10^{-3} 에서 最大 10.5×10^{-3} 으로 平均 5.24×10^{-3} 이고 숨대는 最小 4.0×10^{-3} 에서 最大 12.1×10^{-3} 으로 平均 8.92×10^{-3} 이 었으며 죽순대는 最小 4.6×10^{-3} 에서 最大 14.1×10^{-3} 으로 平均 $8.02 \times$

10³이었는데 왕대가 가장 낮고 죽순대, 솜대 順으로 높았다.

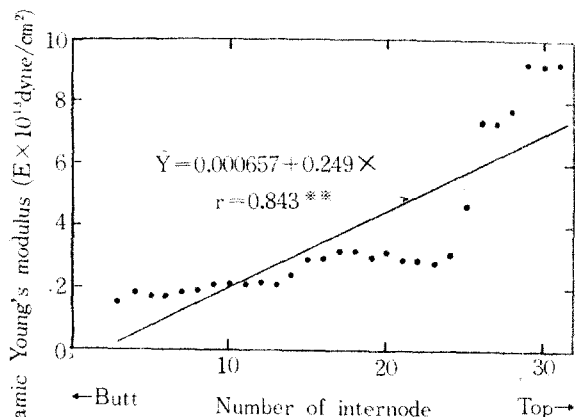


Fig. 9. Relationship between dynamic Young's modulus and internode for *Phyllostachys bambusoides*.

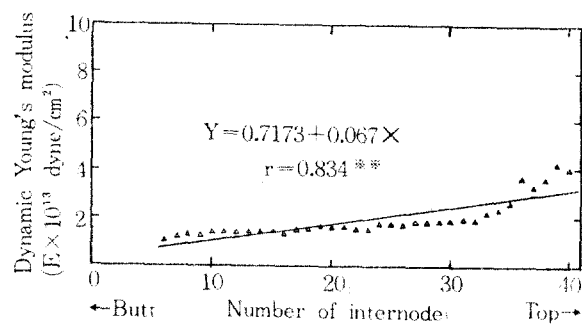


Fig. 11. Relationship between dynamic Young's modulus and internode for *Phyllostachys edulis*.

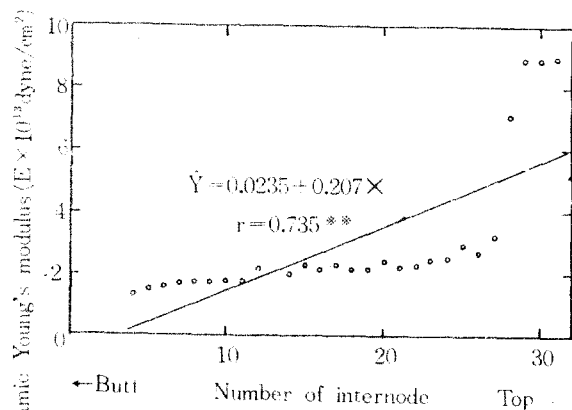
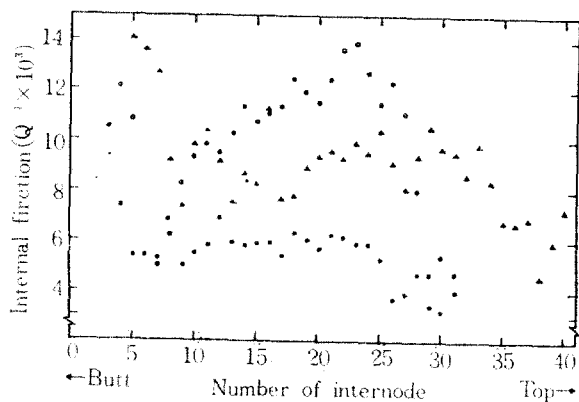


Fig. 10. Relationship between dynamic Young's modulus and internode for *Phyllostachys nigra var. henonis*.



- : *Phyllostachys bambusoides*
- : *Phyllostachys nigra var. henonis*
- ▲ : *Phyllostachys edulis*

Fig. 12. Relationship between internal friction and internode for species.

Table 5. Relationship between specific gravity and dynamic Young's modulus of species

| Species | Specific gravity in air dry | | | Dynamic Young's modulus ($E \times 10^{11}$ dyne/cm ²) | | | Regression equation | Correlation |
|---|-----------------------------|------|-------|---|-------|-------|--------------------------------|-------------|
| | Min. | Max. | Mean | Min. | Max. | Mean | | |
| <i>Phyllostachys bambusoides</i> | 0.79 | 1.03 | 0.892 | 1.726 | 9.214 | 3.967 | $\hat{Y} = -0.7755 + 0.0294 X$ | 0.837 ** |
| <i>Phyllostachys nigra var. henonis</i> | 0.79 | 1.01 | 0.855 | 1.602 | 8.974 | 3.717 | $\hat{Y} = -0.7680 + 0.0273 X$ | 0.871 ** |
| <i>Phyllostachys edulis</i> | 0.83 | 1.09 | 0.920 | 1.061 | 1.924 | 1.526 | $\hat{Y} = -0.3869 - 0.3493 X$ | 0.935 ** |

4. 結 論

우리나라産 왕대, 솜대, 죽순대를 供試材로 하여 竹稈의 部位에 따른 纖維의 길이, 幅, 膜厚와 節間材와 마디材別 氣乾比重 및 動的彈性率과 內部摩擦을 測定한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 纖維의 軸方向 變異는 길이와 幅은 基部에서 처음 약간 增加하다가 先端部를 향하여 減少하는 傾向이었으나 膜厚는 厚膜으로 部位에 따른 一定한 變異는 없었다.

2. 節間材의 氣乾比重은 왕대가 0.78에서 1.02 範圍로 平均 0.89이고 솜대는 0.71에서 1.08 範圍로 平均 0.85였으며 죽순대는 0.74에서 1.05 範圍로 平均 0.93으로 基部에서 先端部를 향하여 增加하였으나 마디의 氣乾比重은 竹稈의 部位와는 相關이 없었다.

3. 節間材의 軸方向의 動的영率は 基部에서 先端部를 向하여 增加하였는데 竹種別로는 왕대, 솜대, 죽순대의 順으로 낮아졌다.

4. 動的彈性率과 比重사이의 相關係數는 왕대가 0.837, 솜대가 0.871 그리고 죽순대가 0.935로 다 같이 높은 相關을 나타내었다.

5. 內部摩擦은 竹稈의 節間部位에 따른 相關은 없었다.

引 用 文 獻

- Espiloy, Z. B., A. D. Valmonte and A. L. Tongacan, 1979. Some physical and mechanical properties of buho(*Schizostachyum lumampao*(Blco).Merr.) FORPRIDECOM, NADB. College, p. 1-13.
- Heck, G. E. 1956. Properties of some bamboo cultivated in the Western Hemisphere. FPL. Report No. D1765. USDA Forest Service, Wisconsin, U. S. A.
- 洪秉和. 1983. 韓國産 響板用材의 振動的 性質에 關한 研究. 慶尙大學校 論文集, 22:31--59.
- Kataoka, A. and T. One. 1975. The relations of experimental to the vibration and the measuring values of dynamic mechanical properties of wood(I). J. Japan wood res. soc., 21(10):534-550.
- Kataoka, A. and T. One 1976. The relations of experimental to the vibration and the measuring values of dynamic mechanical properties of wood(II). J. Japan wood res. soc., 22(1):1-7.
- Liese, W. 1986. Proceedings of 18th IUFRO World Congress. Division 5:475-484.
- 李載棋, 朴相珍. 1987. 潭陽地方 왕대屬 4種의 組織 및 稈內 變異性. 木材工學 15(3):14-23.
- 馬子斌, 崔 勇, 鄒哲宗. 1976. 層積竹材 實際應用及其品質 改進之研究. 臺灣省林業試驗所, 試驗報告, 298:1-8.
- Macdonald, R. G. and J. N. Franklin. 1969. Pulp and Paper Manufacture. Vol. II :34-35.
- Matsumoto, T. 1956. Studies on the measurement of the dynamic modulus E of wood by the transverse vibration. J. Fac. Agri., Iwate univ. 3:46-61.
- Matsumoto, T. 1962. Studies on the dynamic modulus E and the logarithmic decrement of wood by transverse. Bull. of the kushu univ. for. 36:1-86.
- 日本材料學會 木質材料部門委員會. 1982. 木材工學辭典. 工業出版, p.371-373.
- 吳順昭. 1974. 以竹材機械性質決定 竹材輪伐期之 研究. 台大森林系合作 研究報告, 4:1-49.
- Sakhar, A. C. and B. S. Rawat. 1956. Strength tests on Bamboo. Indian Forester Leaflet No. 147.
- Suzuki, M. 1980. Relationship between specific gravity and decrement of dynamic Young's Modulus with water. J. Japan wood res. soc., 26(5):299-304.
- Wang Song-Yung. 1982. Studies on the manufacturing conditions and physical, mechanical properties of compreg bamboo. The experimental forest of national Taiwan univerty. 137:1-42.