

# 木材斷面の 吸音係數와 音響임피던스\*1

洪 秉 和\*2

## Acoustic Absorption Coefficient and Impedance of Wood Sections\*1

Byung Wha Hong\*2

### SUMMARY

The acoustic absorption coefficient and acoustic impedance of 5 species of softwood (so-namoo, sam namoo, gusang namoo, hwaback, sitka spruce) and 5 species of hardwood (Mulgusul namoo, Italian popular, white meranti, red meranti, kalantas) were measured by the standing wave method, which is simple in the setup and gives more accurate result than does any other measuring method.

The dependence of the absorption coefficient and complex acoustic impedance on the wood sections, thickness of the sample itself and the back air gap was investigated experimentally in the frequency range from 200Hz to 1800Hz, and the result are as follows:

1. The acoustic absorption coefficient of wood sections was higher on the cross section than radial and tangential sections.
2. The acoustic absorption coefficient were higher in the frequency range from 400Hz to 600Hz, but decreased in the frequency above 600Hz.
3. The genenal tendency of the variation of the normal acoustic impedance was increased according to the frequency.
4. The acoustic absorption coefficient was increased in 3 to 7mm-thick sample and decreased in 9mm-thick sample.
5. The higher acoustic absorption coefficient was shown in the case with the backing air gap than in the case without the gap.

### 1. 緒 論

木材는 各種 細胞와 組織으로 構成되어 있는

異方性 物質이기 때문에 斷面에 따라 各種 物理 및 機械的 性質이 크게 다르게 된다.

吸音率 測定方法에는 殘響室法과 管内法이 있

\*1. 接受 1989年3月30日, Received March 30, 1989.

\*2. 慶尙大學校農科大學 College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-300, Korea.

는데 音波가 試料面에 入射하는 條件 즉 垂直入射, 斜入射, 亂入射 등 3가지로 分類된다. 斜入射 吸音率은 흡음의 해석에 利用되기도 하고 실용면에서 응용될 수 있는 可能性은 있으나 현재까지 일반화된 測定法이 개발되어 있지 않다.

亂入射 吸音率의 測定은 殘響室을 利用해야 하는 제약이 따르나 垂直入射 吸音率은 入射條件이 限定된다는 단점은 있으나 裝置와 方法이 비교적 간편하며 精密度가 높고 試料가 적어도 된다는 좋은 利點이 있다.

따라서 木材의 構造와 物理的 性質 등을 감안하여 木質材料의 吸音研究에 管内法에 의한 定狀波法이 가장 적당하다고 생각되어 垂直入射 吸音率 測定에 적용하였다.

最近 건축물의 현대화와 生活環境의 향상에 따른 多樣한 욕구로 音響施設에 관한 必要性이 증가되어 建築構造物의 音響環境 및 遮音特性 등에 관한 研究가 있으며<sup>1)</sup> Watanabe<sup>2)</sup> 등은 木材의 垂直入射吸音率에 대하여, 鄭<sup>3)</sup>은 스티로폼의 吸音率과 音響임피던스에 대하여 定狀波裝置를 이용한 측정 結果를 發表한바 있고, 崔<sup>4)</sup> 등은 경계조건별 정상음과의 현시장치 개발 및 응용에 대하여 報告한바 있다.

音響기기 제작으로 유명한 덴마크의 Brüel & Kjaer 社의 吸音率 測定機인 Standing wave apparatus를 이용하여 針葉樹, 闊葉樹 各各 5個樹種을 供試材로 하여 斷面別, 두께別, 그리고 空氣層別로 吸音率과 音響임피던스를 測定 分析하여 그 結果를 報告하고져 한다.

## 2. 理論的 背景

### 2.1 吸音率

그림 1과 같이 定狀波管内에 놓여 있는 材面에 垂直으로 入射한 音波의 壓力은 다음과 같이 주어진다.

$$P_i = A \cos(Wt + KW)$$

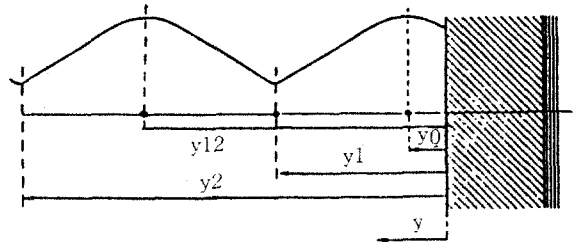


Fig 1. The standing wave pressure pattern in the standing wave tube.

試片에서 反射時의 位相變化를 무시하면 反射된 音波의 音壓은

$$P_r = B \cos [W(t - 2y/v) + Kx]$$

로 주어지고 임의의 시각, 位置에서 合成된 音壓은

$$P(y,t) = (A+B)\cos Kx \cos wt + (B-A)\sin Kx \sin wt$$

이므로 이는 定狀波의 形成을 나타내는 식이 된다. 따라서 y=0 즉 試片에서 合成된 音壓은

$P = (A+B)\cos wt$ 로서 Pmax가 되고 y=λ/4에서 P=(A-B)cos wt로서 Pmin이 된다.

試片의 吸音率 α (absorption coefficient)는 試片에 入射된 總에너지에 대한 吸收된 에너지의 比로서 정의되고 에너지는 音壓의 제곱에 비례하므로

$$\alpha = \frac{A^2 - B^2}{A^2} = 1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2 = 1 - r^2$$

로 된다. 여기서 r은 B/A이다.

한편 定狀波管内의 Pmax와 Pmin은 周波數分析機 2120에서 데시벨 단위로 쉽게 측정할 수 있으며 이를 파스칼 단위의 音壓 값으로 환산한다.

정상과 비 n은

$$n = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{A+B}{A-B}$$

로 기술되고 또한  $\frac{B}{A} = \frac{n-1}{n+1}$ 로 변형되므로 吸音率 α는

$$\alpha = 1 - \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \dots\dots\dots(1)$$

혹은  $\alpha = \frac{4n}{n^2 + 2n + 1}$

로 定狀波 比 n에 의해 결정되며 n에 따른  $\alpha$ 의 變化는 n=1에서  $\alpha = 1$ 로써 最大值가 되고 n의 증가에 따라  $\alpha$ 는 감소된다.

2.2 音響임피던스

音波가 材面에 垂直으로 入射하면 일부는 吸收되고 나머지는 反射한다. 反射에너지는 吸收體의 表面에서 이루어지지 않고 音波가 어느 깊이까지 侵透한 後에 假想的인 面에서 反射된다.

吸收體(材面)內에서 測定한다는 것은 不可하나 音波의 行爲는 試片의 垂直音響임피던스(acoustic impedance:  $Z_n$ )에 의하여 結定될 수 있다. 즉  $Z_n$ 은

$Z_n$ =試片에 作用한 音壓/表面에 垂直方向의 空氣粒子速度로 定意되고, 音壓과 空氣粒子速度가 材面에서 항상 일치되지만은 않으므로 音響임피던스는 複小數로 記述되고 다음 式과 같이된다.

$$Z_n = (\text{저항성 성분}) + j (\text{reaction 성분})$$

따라서 定狀波管에서는

$$Z_n = \frac{P_i + P_r}{V_i + V_r} \text{이고}$$

한편 P,V는 媒質인 空氣의 特性임피던스  $\rho c$ 와 관련된다. (c는 音速, v는 空氣粒子의 速度,  $\rho$ 는 空氣密度) 溫度 20°C 標準大氣壓 1013m bar에  $\rho$ 는 1.21kg/m<sup>3</sup>이고, c는 343m/s이므로  $\rho c$ 는 415rayls이다. 그러므로

$$P_i = \rho c v_i$$

$$P_r = \rho c (-v_r)$$

따라서

$$Z_n = \left( \frac{P_i + P_r}{V_i - V_r} \right) \cdot \rho c = \left( \frac{1 + P_r/P_i}{1 - P_r/P_i} \right) \cdot \rho c \dots\dots(2)$$

한편  $P_i = A \exp(j2\pi ft) \dots\dots\dots(3)$

$$P_r = B \exp[j(2\pi ft - 2\pi f \frac{2\pi}{C} + \Delta)] \dots\dots(4)$$

로 기술되고 여기서  $\Delta$ 는 反射面에서의 位相變化이다. (4)式을 (3)式으로 나누면

$$P_r = \frac{B}{A} P_i \exp[-j(4\pi \frac{y}{\lambda} - \Delta)] \dots\dots(5)$$

이고 試片面 즉  $y=0$ 에서

$$P_r = P_i r \exp(j\Delta) \dots\dots\dots(6)$$

이고 (6)式을 (2)式에 代入하면

$$Z_n = \left[ \frac{1 + r \exp(j\Delta)}{1 - r \exp(j\Delta)} \right] \cdot \rho c$$

$$= [\text{Re}(Z_n) + j \text{Im}(Z_n)] \cdot \rho c \dots\dots\dots(7)$$

이 되고 여기서

$$\text{Re}(Z_n) = \frac{1 - r^2}{1 + r^2 - 2r \cos \Delta} \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{Im}(Z_n) = \frac{2r \sin \Delta}{1 + r^2 - 2r \cos \Delta} \dots\dots\dots(9)$$

이다. 따라서 垂直音響임피던스  $Z_n$ 은 反射率 r, 位相差  $\Delta$ 에 의해 결정된다. 그런데 r은  $(1 - \alpha)^{1/2}$ 에 의해 결정되고, 位相差  $\Delta$ 는 다음에 의해 주어진다.  $P_r$ 는 그림 1에서 보는바와 같이 (5)式에 의하여  $P_r$ 는  $y=y_0$ 에서 즉 位相差  $(4\pi \frac{y_0}{\lambda} - \Delta) = 0$ 에서 最大值를 가지며  $y_0$ 의 부호는  $\Delta$ 의 부호와 같고 음수값  $y_0$ 의 의미는  $P_{max}$ 의 位置가 試片內에 位置함을 뜻한다. 한편  $y=y_1$  즉 位相差  $(4\pi \frac{y_1}{\lambda} - \Delta) = \pi$ 에서  $P_r$ 는 最小値를 가진다. 따라서

$$\frac{4\pi y_1}{\lambda} - \Delta = \pi$$

$$\Delta = \left( \frac{4y_1}{\lambda} - 1 \right) \pi = \left( \frac{2y_1}{y_2 - y_1} - 1 \right) \pi \dots\dots(10)$$

여기에서  $y_2 - y_1 = \frac{\lambda}{2}$ 이다.

dB單位の 測定 값은 關係式

$$dB = 20 \times \log \frac{P \text{ pascal}}{20 \times 10^{-6} \text{ pascal}} \text{에 의해 壓力값}$$

으로 환산한 후 關係式  $n = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{A+B}{A-B}$ 에 의

해 定狀波比를 구한 후에 式 (1)에 의해 吸音係數를 結定하였다. 또한 音響임피던스의 산출은 (10)式에 의해 位相差를 구한 후 式 (7)에 의해 산출하였다.

### 3. 材料 및 方法

#### 3.1 供試材

表 1에서 보는바와 같이 針葉樹(소나무, 삼나무, 구상나무, 화백, 시트카 스프루스) 5個樹種과 闊葉樹(벌구슬나무, 이태리포푸러, 화이트 메란티, 레드 메란티, 카란타스) 5個樹種으로 實驗室內에서 長期間 보관된 氣乾材에서 橫斷面, 徑斷面 그리고 觸斷面別로 두께 3~4mm, 直徑 99mm의 圓板을 製作하였고 두께별은 소나무 觸斷面에서 3, 5, 7, 9mm로 측정하였으며 空氣層은 10, 30, 50, 70, 90mm별로 소나무 4mm 橫斷面 試片으로 測定하였는데 溫度  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 關係濕度  $65 \pm 2\%$ 의 恒溫恒濕室內에서 實驗하였다.

#### 3.2 測定裝置 및 方法

測定裝 Kjaor 그림 2와 같이 音響發生裝置는

Brüel & Kjaor社 製品인 Sine generator Type 1023으로 진동수오차는  $\pm 0.1\text{Hz}$ 를 사용하였고 內徑이 99mm인 3mm 두께의 진동방지를 위한 무거운 鐵製管이며 왼쪽 끝에 試片 부착장치가 붙어있고 오른쪽 끝에는 直徑 7inch, 출력 6W, 저항  $4\Omega$ 인 스피커가 붙어있다. 定狀波管內의 音壓을 檢知하기 위하여 크리스탈형 마이크로폰을 사용했는데 감도는 1000Hz에서 25mv/pa였고 이 마이크로폰은 스피커의 철심에 뚫린 구멍을 통하여 定狀波管內로 挿入되어 圓筒管과 연결되어 있어서 이 圓筒을 통하여 전달된 音壓을 마이크로폰이 감지한다. 또한 音壓이 測定되는 位置는 마이크로폰 운반상자 옆에 부착된 1000mm자로부터 거리를 읽는다. 이 裝置도 B&K社 製品으로 Standing wave apparatus Type 4002를 사용하였다.

한편 定狀波管內에서 마이크로폰에 감지된 音壓은 B&K社의 周波數分析器(Frequency analyze Type 2120)에 연결하였는데 이 分析器에 내장된 증폭기와 협대역 여과기의 3% 통과대역 폭을 거쳐 dB單位の 音壓測定機에 연결하였고, 공급전압은 1V로 고정시켜 200Hz에서 1800Hz 周波數 範圍에서 測定하였다.

Table 1. Ages, specific gravity, moisture contents and width of annual ring of species used in the experiment

Species	Age of trees	Specific gravity		Moisture content(%)	Width of ann. ring
		in air dry( g/cm <sup>3</sup> )	in oven dry( g/cm <sup>3</sup> )		
<i>Pinus densillora</i> S. et Z.	67	0.5006	0.4318	12.0	5.00
<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don.	42	0.4221	0.3807	10.8	3.23
<i>Abies koreana</i> Wilson	48	0.3208	0.2863	12.1	3.62
<i>Chamaecyparis pisifera</i> Endl.	32	0.4601	0.4059	13.4	3.48
<i>Picea sitchensis</i> Carr.	122	0.4332	0.3922	10.4	1.41
<i>Melia azedarach</i> var. <i>japonica</i> Makino	25	0.5574	0.4963	12.3	8.92
<i>Populus euramericana</i> Guinier	10	0.5146	0.4591	12.1	25.21
<i>Shorea bracteolata</i> Dyer.	—	0.5665	0.5088	11.3	—
<i>Shorea acuminata</i> Ryer.	—	0.7574	0.6732	12.5	—
<i>Toona calantas</i> MERR.	—	0.5909	0.5252	12.5	—

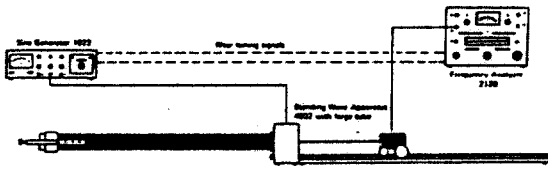


Fig 2. Measuring arrangement for measuring the acoustic absorption coefficient and impedance.

#### 4. 結果 및 考察

##### 4.1 斷面別 吸音係數와 音響임피던스

各 試片의 吸音率은 入射音波의 周波數에 따라 다르게 나타나며 樹種과 斷面に 따라 差異는 있으나 그림 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13과 같이 橫斷面의 吸音係數가 높고 徑斷面과 觸斷面은 비슷한 結果를 나타내는데 이것은 다른 斷面보다 橫斷面이 細胞의 空隙과 內腔이 吸音을 더 하게 하는 작용을 하기 때문이라 생각된다. 그리고 供試材의 대부분이 400Hz에서 600Hz範圍의 周波數에서 吸音係數가 높게 나타나고 그以後는 周波數가 增加함에 따라 吸音係數가 낮아 짐을 볼 수 있는데 Watanabe<sup>6</sup> 등이 삼나무의 吸音率이 300cps부근에서 600cps부근 사이의 周波

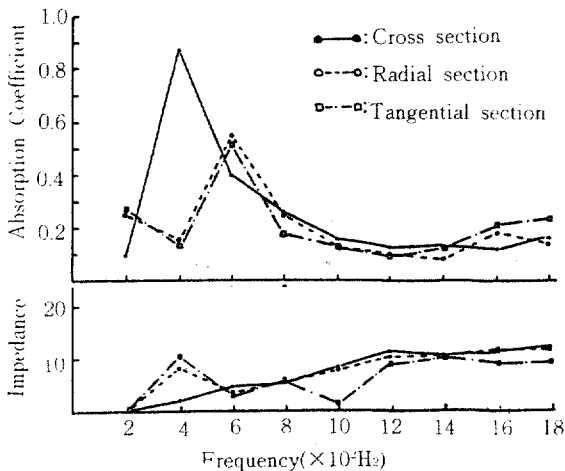


Fig 3. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Pinus densiflora*. (sample thickness 4 mm)

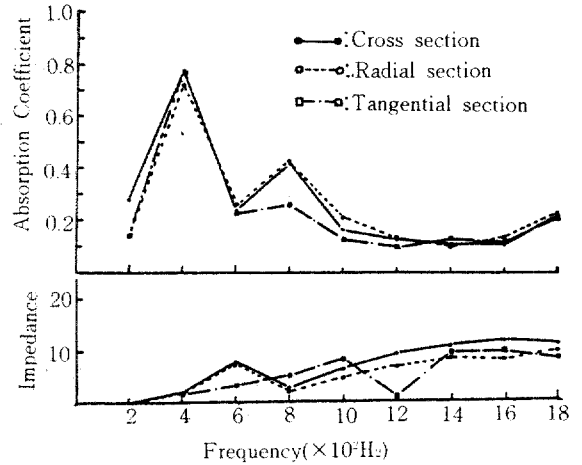


Fig 4. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Chamaecyparis pisifera*. (sample thickness 4 mm)

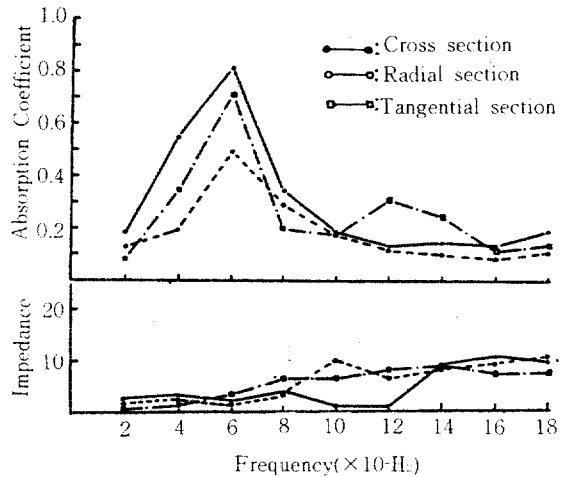


Fig 5. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Cryptomeria japonica*. (sample thickness 4 mm)

數에서 吸音率이 增加된다는 報告와 一致한다.

各 樹種別 吸音係數를 보면 소나무는 400-600Hz에서 最高의 吸音係數를 보이고 화백나무, 멀구슬나무, 화이트 메란티, 레드 메란티, 카란타스는 400Hz에서, 삼나무, 구상나무, 시트카, 스프루스, 이태리 포푸라는 600Hz에서 最高의 吸音係數를 나타내었다.

鄭<sup>3</sup>이 스티로폼판(비중 0.011-0.012)으로 實驗한 結果에 의하면 周波數 增加와 함께 吸音率도 增加됨을 報告한바가 있는데 이것은 木材

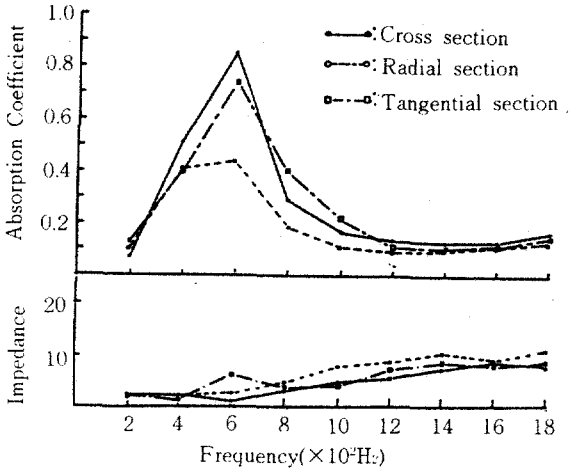


Fig 6. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Abies koreana*. (sample thickness 3 mm)

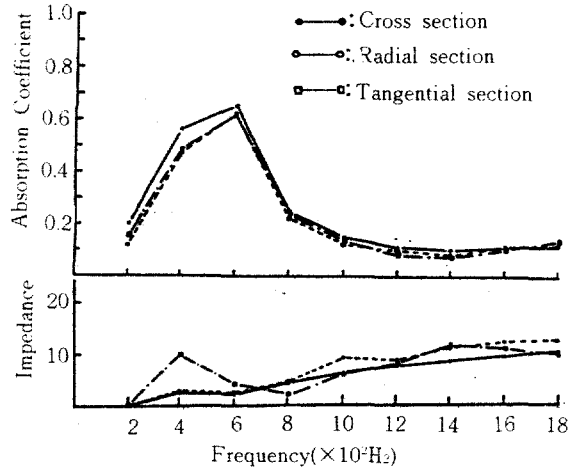


Fig 8. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Populus euramericana* (sample thickness 4 mm)

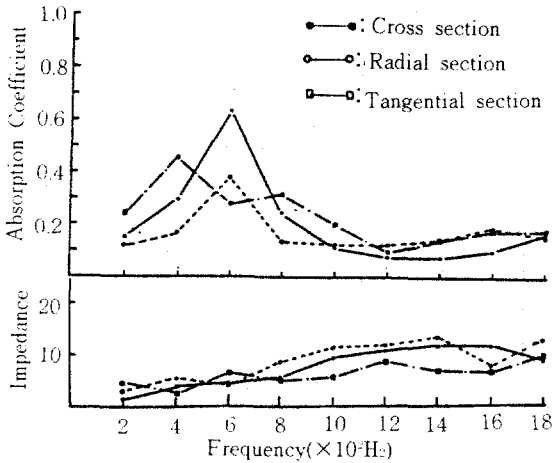


Fig 7. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Picea sitchensis*. (sample thickness 3 mm)

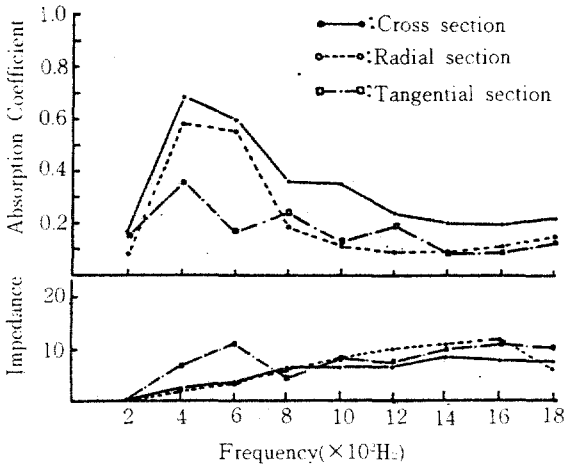


Fig 9. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Melia azedarach var. japonica*. (sample thickness 4 mm)

에 비하여 매우 낮은 比重과 板面에 기인함을 생각할 수 있다. 따라서 樹種別의 最大 吸音係數는 시트카 스프루스와 이태리 포푸라가 0.62로 낮고 그의 수종은 0.7에서 0.9범위로 나타났다.

音響임피던스는 吸音係數와는 반대로 周波數增加와 함께 서서히 直線的으로 增加됨을 볼 수 있는데 斷面別의 뚜렷한 傾向은 없고 그 變異도 극히 적었다.

#### 4.2 試片의 두께에 대한 吸音係數와 音響임피던스

그림 14에서 볼 수 있는바와 같이 소나무의 觸斷面에서 두께 3, 5, 7.9mm의 試片을 製作하여 吸音係數와 音響임피던스를 測定한 結果 周波數 400Hz에서 最大의 吸音係數를 나타내었는데 7mm 두께에서 最大의 吸音係數를 나타내고 5mm, 3mm 두께의 順으로 吸音係數가 떨어지고 가장 두꺼운 9mm의 경우는 가장 낮은 吸音係數를 나타내었다.

이와 같은 結果로 보아 試片의 두께가 두꺼울수록 吸音率은 增加하지만 너무 두꺼우면 吸音

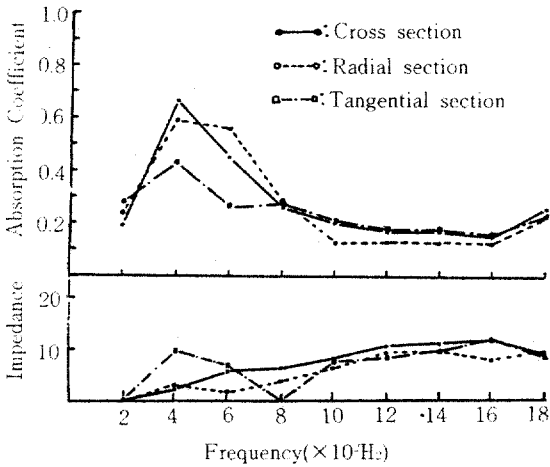


Fig 10. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Shorea bracteolata* (sample thickness 4 mm)

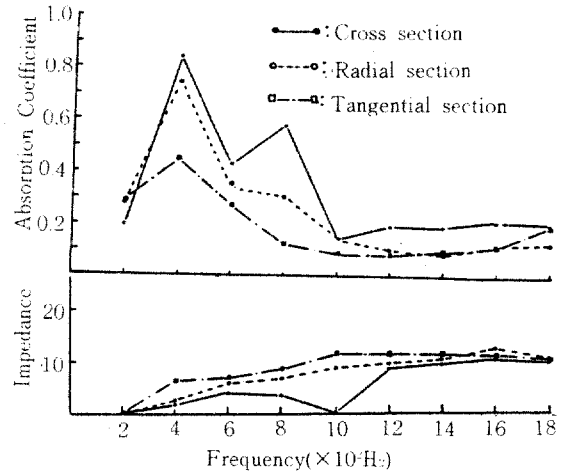


Fig 12. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Toona calantas*. (sample thickness 4 mm)

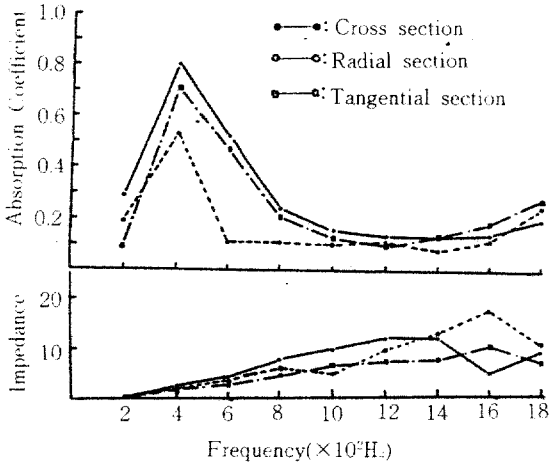


Fig 11. The acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for *Shorea acuminata*. (sample thickness 4 mm)

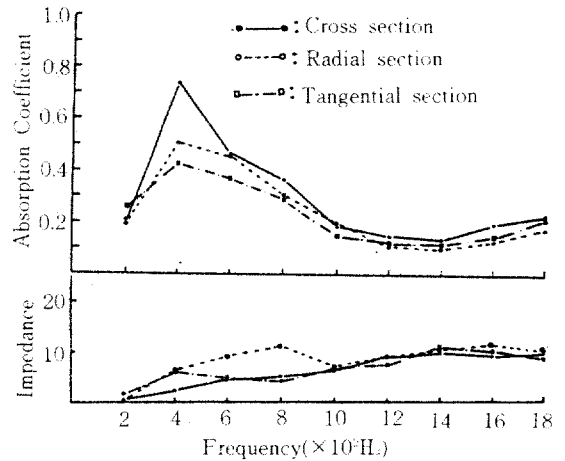


Fig 13. The mean acoustic absorption coefficient and impedance as a function of frequency for sample woods.

률이 떨어짐을 알 수 있다.

두께별 음향임피던스도 각 두께에 큰 변화 없이 완만히 周波數가 增加됨에 따라 증가됨을 볼 수 있는데 1800Hz에서 9mm 두께의 試片이 최고의 임피던스를 나타내었다.

### 4.3 空氣層의 吸音係數와 音響임피던스

吸音材料의 뒷면에 空氣層을 10, 30, 50, 70, 90mm을 두고서 소나무材 4mm 두께의 觸斷面에 周波數 變化에 대한 吸音係數와 音響임피던스

를 測定한 結果는 그림 15와 같은데 最大의 吸音率을 나타내는 400Hz의 경우를 보면 空氣層이 두꺼울 수록 吸音係數가 높게 나타남을 볼 수 있는데 吸音材料 뒷면의 空氣層이 吸音率에 크게 영향을 미침을 알 수 있다.

音響임피던스는 空氣層 두께에 뚜렷한 傾向을 보이지 않으나 周波數가 增加함에 따라 완만히 증가됨을 알 수 있다.

### 5. 結 論

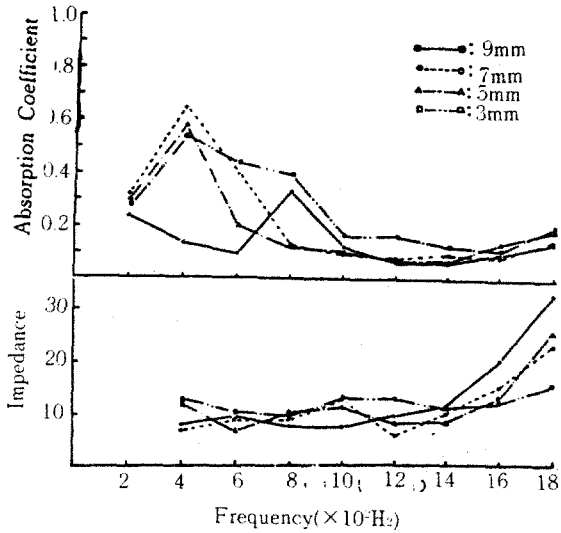


Fig 14. The acoustic absorption coefficient and impedance vs. frequency for *Pinus densiflora* of tangent sectional incident face with the 3, 5, 7, 9mm thickness respectively.

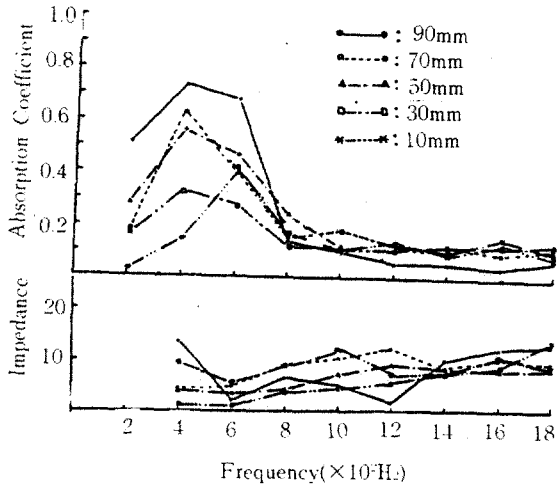


Fig 15. The acoustic absorption coefficient and impedance vs. frequency for *Pinus densiflora* of tangent sectional incident face with the 10, 30, 50, 70, 90mm thickness backing air gap, respectively

針葉樹 5個樹種(소나무, 삼나무, 구상나무, 화백, 시트카 스프루스) 과 闊葉樹 5個樹種(멸구솔나무, 이태리 포푸러, 화이트 메란티, 레드 메란티, 카란타스) 등의 吸音係數와 音響임피던스를 다른 方法에 比하여 測定裝置가 簡便하

고 精確한 結果를 얻을 수 있는 定狀波裝置를 利用하여 測定하였다.

木材斷面別, 試片 두께別 그리고 空氣層別로 吸音係數와 音響임피던스를 周波數 200Hz에서 1800Hz範圍에서 實驗하여 얻은 結果는 다음과 같다.

1. 木材斷面の 吸音係數는 徑斷 및 觸斷面보다 橫斷面이 높았다.
2. 吸音係數는 400Hz에서 600Hz範圍에서 높았으나 600Hz이후에는 감소하였다.
3. 音響임피던스의 일반적인 변이는 周波數가 增加함에 따라 높아졌다.
4. 試片 두께別의 吸音係數는 3mm에서 7mm까지는 增加하였으나 9mm 두께에서는 감소하였다.
5. 空氣層이 없는 경우 보다 空氣層이 두꺼울수록 吸音係數는 커졌다.

參 考 文 獻

1. 차일환. 1976. 음향학개론, 서울 한신문화사, p.285.
2. Choe, Hong-Soo and Ki-Soo Chung. 1987. Demonstration of standing sound waves formed by the various boundary condition and it's application. J. science education. Gyeongsang National Univ., 7 : 57-63.
3. 鄭漢永. 1986. 定狀波裝置에 의한 스티로폼의 吸音率 및 音響 임피던스 측정, 경상대학교 대학원논문, p.1-30.
4. 김홍식·손장열·오재응. 1985. 음향인센터브법을 이용한 차음성능 평가에 관한 연구, 대한건축학회 학술논문집, 5(2) : 221-224.
5. 손장열·김홍식·김하조. 1985. 다목적 실내체육관의 음향환경 개선에 관한 연구, 대한건축학회 학술논문집, 5(1) : 227-230.
6. Watanabe, H., Matsumoto, T., Kinoshita, N. and H. Hayashi. 1967. Acoustical study of woods and wood products. J. Japan wood res. soc., 13(5) : 177-182.