

木材의 吸音과 音響임피던스에 미치는 含水率의 影響*1

洪 秉 和*2

Effect of Moisture Content on Acoustic Absorption and Impedance of Wood*1

Byung-Wha Hong*2

ABSTRACT

The effect of moisture content on acoustic absorption coefficient and impedance of the woods of *Pinus densiflora*, *Chamaecyparis pisifela*, *Cryptomeria japonica*, *Abies koreana*, *Melia azedarach* var. *japonica*, *Shorea bracteolata* and *Shorea acuminata* was investigated by standing wave method.

The results obtained are summarized as follows:

The acoustic absorption coefficient increased with increasing moisture content, but acoustic impedance decreased with increasing moisture content.

Keywords : Acoustic absorption coefficient, acoustic impedance, standing wave method, moisture content

1. 緒 論

樂器의 響板材를 위시하여 樂器의 部材로서 木材를 이용할 경우 樂器의 音響的 性質은 水分의 影響을 크게 받을 뿐만 아니라 각종 건축용 內裝材의 경우에도 含水率 變化에 따른 吸音에 미치는 影響이 크다.

吸音에 대한 研究 動向은 Watanabe¹⁾ 등은 버드나무 등 6개 수종을 供試材로 垂直入射 吸音率을 측정한 결과 최대의 흡음을 나타내는 周波數는 대체로 200~500 cps 부근이라고 하였고, 洪²⁾은 針葉樹 5 樹種과 闊葉樹 5 樹種에 대하여 木材斷面別로 200~1800 Hz 범위의 吸音率을 측정한 결과 橫斷面의 吸音率이 높고 400~600 Hz 범위에서 최대

의 吸音을 나타낸다고 하였으며, 鄭³⁾은 스티로폼의 吸音率과 音響임피던스에 대하여, 趙⁴⁾는 建築資材인 A, L, C를 재료로 흡음율과 음향임피던스를 측정한 바 있다. 또한 崔⁵⁾ 등은 경계조건별 정상음과의 현시장치 개발 및 응용에 대하여 報告한 바 있다. 그러나 木材의 吸音에 미치는 含水率의 影響에 대한 研究 報告는 찾아보기 어렵다.

定狀波 吸音率 測定裝置인 Standing wave apparatus를 이용하여 소나무, 화백, 삼나무, 구상나무 등 침엽수 4개 수종과 활엽수인 멸구슬나무, 화이트 메란티, 레드 메란티 3개 수종 등 7개 수종을 供試材로 400~600 Hz 범위의 흡음율이 높은 周波數에서 含水率 變化에 따른 吸音率의 測定 結果를 報告코져 한다.

*1 接受 1994年 3月 21日 Received March 21, 1994

本 論文은 1993年度 慶尙大學校 研究獎學財團 學術研究費에 의하여 遂行되었음.

*2 慶尙大學校 農科大學 College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

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

Species	Age of trees	Specific gravity in air dry(g/cm ³)	Specific gravity in oven dry(g/cm ³)	Moisture content(%)	Width of ann. ring(mm)
<i>Pinus densiflora</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>Melia azedarach</i> var. <i>japonica</i> Makino	25	0.5574	0.4963	12.3	8.92
<i>Shorea bracteata</i> Dyes.	-	0.5665	0.5088	11.3	-
<i>Shorea acuminata</i> Ryer.	-	0.7574	0.6732	12.5	-

2. 材料 및 方法

2. 1 供試材

表 1 에서 보는 바와 같이 침엽수(소나무, 화백, 삼나무, 구상나무) 4 수종과 활엽수(멸구슬나무, 화이트 매란티, 레드 매란티) 3 수종의 長期間 보관된 氣乾材를 방사단면재를 2~5 mm 두께로 切削하여 直徑 99 mm의 圓板을 만들어 1週日間 물속에 浸漬하여 飽水시켜 含水율의 소실에 따른 흡음율과 음향임피던스를 측정하였다. 그리고 定狀波管内의 試料 뒷면의 空氣層은 25 mm로 하고 측정주파수는 600 Hz로 固定하였다.

2. 2 理論的인 背景

理論的인 背景은 前報²⁾에 이미 게재하였기로 본 논문에서는 생략한다.

2. 3 測定裝置 및 方法

測定裝置는 그림 1과 같이 定狀波管은 길이가 1000 mm이며 內徑이 99 mm이고 振動防止를 위하여 두께 3 mm의 무거운 鐵製管(A)과 왼쪽 끝에 試料 附着裝置가 붙어 있고 (B) 오른쪽 끝에는 直徑 7inch, 出力 6w, 抵抗 4 인 스피커가 붙어 있다 (C).

音波가 入射되는 試片의 반대쪽에 空氣層(backing air gap)을 둘 수 있는데 공기층이 두꺼울수록 吸音率이 높으나, 본 실험에서는 25 mm의 공기층을 두어 흡음율을 측정하였다. 정상파관내의 音壓을 檢知하기 위하여 크리스탈형 마이크로폰이 사용되었는데(D) 그의 感度는 1000 Hz에서 25 mv/pa였고 이 마이크로폰은 스피커의 철심에 뚫은 구멍을 통하여 전달된 음압을 마이크로폰이 감지하도록 되어있다. 音壓이 측정되는 위치를 알기 위한 裝置로 마이크로폰 운반상자 옆에 1 m짜리 자를 부착하여 위치를 읽을 수 있다(E).

音波發生裝置는 B & K 社(덴마크)의 모델 번호 1023 sine generator를 사용하였는데 振動數 誤差는 0.1 Hz 이내였고 供給電壓은 1.6V로 고정시켰다. 한편 마이크로폰의 출력은 B & K 社의 周波數 分析器(frequency analyze type 2120)에 內裝된 增幅器와 狹帶域 여과기(통과대역폭 3%)을 거쳐 dB單位の 音壓測定器에 연결하였다. dB單位로 測定된 값은 관계식¹⁾

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

에 의하여 pascal 단위로 환산한 후 관계식

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

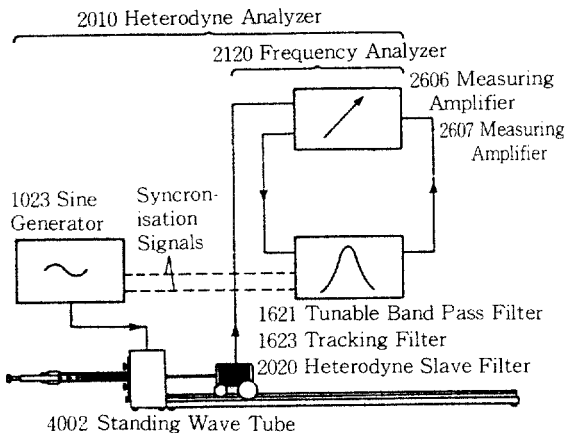


Fig. 1. The arrangement of measuring instruments for use with the standing wave tube.

에 의하여 定狀波比를 구한 후 관계식에 따라 吸音率과 音響임피던스를 算出하였다.

3. 結果 및 考察

3. 1 吸音에 대한 含水率의 影響

各 試驗材에 대한 氣乾狀態의 試片에서 100 ~ 1800 Hz 범위의 흡음율역에서 높은 흡음율을 나타낸 400 ~ 600 Hz 부근의 音域에서 600 Hz로 고정하고 含水율을 변화에 따른 흡음율을 針葉樹 4 種

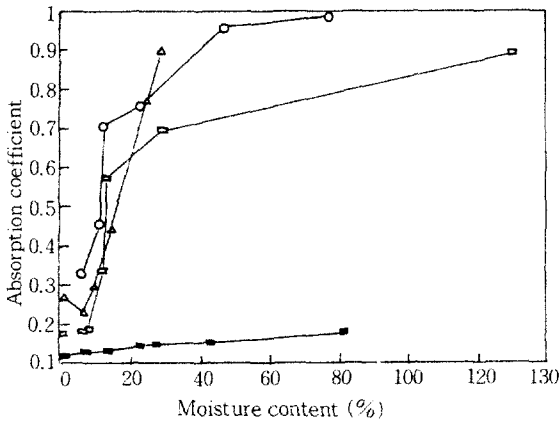


Fig. 2. Relationships between acoustic absorption coefficient and moisture content for softwood. (○: *Pinus densiflora*, ■: *Chamaecyparis pisifera*, □: *Cryptomeria japonica*, △: *Abies koreana*)

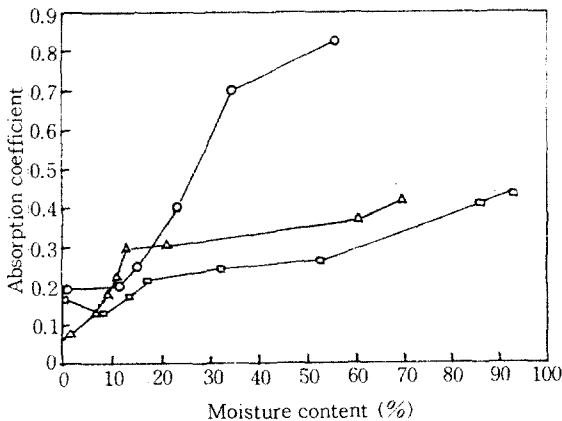


Fig. 3. Relationships between acoustic absorption coefficient and moisture content for hardwood. (□: *Melia azedarach* var. *japonica*, △: *Shorea bracteolata*, ○: *Shorea acuminata*)

과 闊葉樹 3 種으로 구분하여 측정한 결과, 그림 3과 같은 결과를 얻었다.

그림 2의 針葉樹材에서 보는 바와 같이 섬유포화점까지는 소나무, 삼나무, 구상나무 다 같이 含水率의 增加와 함께 급격한 吸音率의 증가를 나타내나, 화백의 경우는 흡음율이 매우 낮은 값을 보이는 것은 특이한 현상으로 나타났다. 이와 같은 현상은 木材面의 粗滑度에 따라 音波의 入射 및 反響에 영향을 미치는데 화백은 상기 3 樹種에 비하여 光澤이 날 정도로 平滑하고 그외 목재의 조직이 치밀하고 연륜폭이 좁은 구조에 기인하는 것으로 생각된다.

각 수종별의 含水率 증가에 따른 吸音率을 보면 소나무의 경우 含水율 1.3%에서 78.1% 범위에서 吸音係數는 0.262에서 0.986으로 매우 높는데 비하여 화백의 경우 비슷한 含水율 범위에서 吸音係數는 0.0117에서 0.176 범위로 매우 낮은 값을 보이고 있다. 또 삼나무의 경우 6.2%에서 29.1%의 낮은 含水율 범위에서 흡음계수 0.327에서 0.893을 나타내고 구상나무는 6.5%에서 130.1% 범위에서 흡음계수는 0.179에서 0.893으로 소나무, 삼나무, 구상나무는 같은 경향을 보이나 화백만은 침엽수 중에서 가장 낮은 값을 나타내어 목재조직적인 면에서 재검토되어야 하리라 생각된다. 흡음과 깊은 연관을 갖고 있는 공극과 세포간격도 含水율 못지않게 영향을 주는 洪²⁾이 木材斷面別 吸音率 測定에서 밝힌 바 있는 橫斷面이 가장 높은 吸音率을 나타내는 결과로도 공극의 영향이 방사단면과 점선 단면보다 크다는 것을 알 수 있다.

활엽수의 吸音率은 그림 3에서 보는 바와 같이 멸구술나무의 경우 含水율 0.4%에서 93%의 含水율 범위에서 흡음계수 0.167에서 0.434를 나타내고 레드메란티의 경우는 1.5%에서 69.4%의 含水율 범위에서 0.076에서 0.415였으며 화이트 메란티의 경우 0.5%에서 56.3%의 含水율 범위에서 0.171에서 0.823의 흡음계수를 나타내지만 등 수종간에 差異를 나타내지만 공시수종 다 같이 含水율 增加에 따라 흡음계수도 增加되는 傾向을 나타내고 있다.

Sasaki¹⁾ 등은 木材의 音響的 性質에 미치는 水分의 影響에 대한 연구에서 纖維方向의 比動的 率, 力學的 損失正接, 음향방사감세율, 고유음향저항, 에너지의 손실 관계 등을 양단자유진동법으로 조사한 결과 수분이 크게 영향을 주는 것으로 報告하고 있고, Watanabe¹⁾ 등은 木材의 垂直入射 吸音率에 대한 연구에서 木材의 吸音率은 音波가 橫斷面

Table 2. Linear regression equation for estimating acoustic absorption coefficient and impedance in relation to moisture content of species

Species	Acoustic absorption coefficient		Acoustic impedance	
	Linear regression equation	R ²	Linear regression equation	R ²
<i>Pinus densiflora</i>	$\hat{Y}=0.268+0.111X$	0.9161**	$\hat{Y}=2.439-0.251X$	-0.9001**
<i>Chamaecyparis pisifera</i>	$\hat{Y}=0.115+0.008X$	0.9323**	$\hat{Y}=4.823-0.193X$	-0.8014**
<i>Cryptomeria japonica</i>	$\hat{Y}=0.302+0.169X$	0.8676**	$\hat{Y}=2.372-0.663X$	-0.8726**
<i>Abies koreana</i>	$\hat{Y}=0.034+0.299X$	0.9668**	$\hat{Y}=3.232-0.984X$	-0.8952**
<i>Melia azedarach</i> var. <i>japonica</i>	$\hat{Y}=0.129+0.031X$	0.9756**	$\hat{Y}=4.084-0.024X$	-0.9161**
<i>Shorea bracteolata</i>	$\hat{Y}=0.112+0.132X$	0.9651**	$\hat{Y}=4.951-0.695X$	-0.9550**
<i>Shorea acuminata</i>	$\hat{Y}=0.161+0.038X$	0.8714**	$\hat{Y}=4.585-0.024X$	-0.6844**

*: Significant at 5%, **: Significant at 1%.

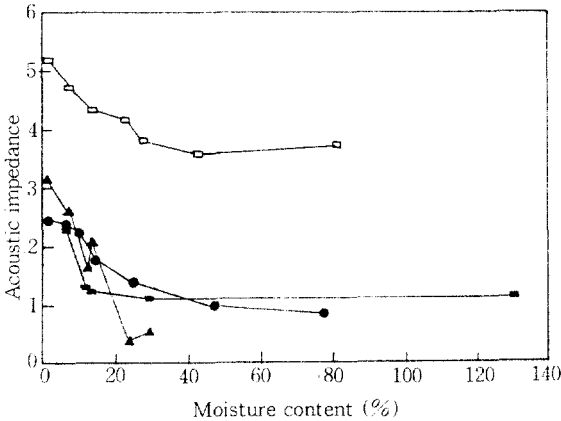


Fig. 4. Relationships between acoustic impedance and moisture content for softwood. (●: *Pinus densiflora*, □: *Chamaecyparis pisifera*, ■: *Cryptomeria japonica*, ▲: *Abies koreana*)

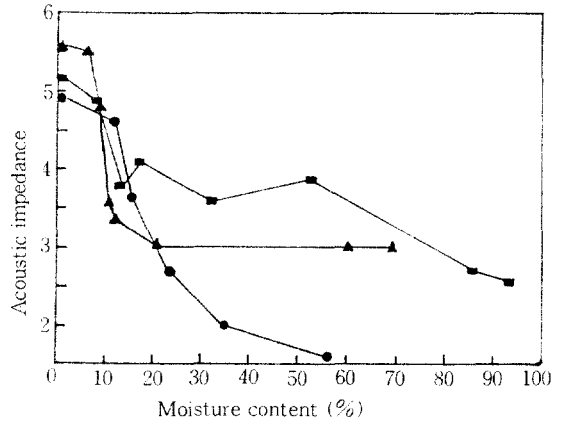


Fig. 5. Relationships between acoustic impedance and moisture content for hardwood. (■: *Melia azedarach* var. *japonica*, ▲: *Shorea bracteolata*, ●: *Shorea acuminata*)

에 入射할 때에 흡음율을 최대로 나타내고 接線斷面과 半徑斷面에 入射할 때의 흡음율이 最小을 나타낸다고 하는 것과 일치한다. 그러나, 含水率 變化에 대한 吸音의 影響에 대한 研究報告는 찾아 보기 어렵다.

表 2 는 각 樹種別 吸音과 音響임피던스에 대한 直線回歸式과 相關係數를 나타낸 것으로 含水率 增加와 함께 다 같이 흡음계수와 음향임피던스는 높은 相關關係를 나타내고 있다.

3. 2 音響임피던스에 대한 含水率의 影響

音波가 材面에 垂直으로 入射하면 一部分은 吸收되고 나머지는 反射한다. 反射에너지는 吸收體의

表面에서 이루어지지 않고 音波가 어느 깊이까지 浸透한 후에 假想的인 面에서 反射된다. 이것을 材面內에서 測定한다는 것은 不可能하나 音波의 行爲는 試片의 垂直音響임피던스에 의하여 결정될 수 있다.

木材의 含水率 증가에 따른 음향임피던스를 다른 연구보고가 없기에 비교할 수는 없으나, 供試 樹種을 침엽수와 활엽수별로 구분하여 音響임피던스를 측정된 결과는 그림 4, 5 에서 보는 바와 같이 침엽수재의 경우 소나무, 삼나무, 구상나무는 흡음율과 반대의 경향으로 含水率이 增加함에 따라 音響임피던스는 減少하는 傾向을 보였는데 화백의 경우는 吸音에서는 가장 낮은 값을 보이던

것이 흡음임피던스에서는 상기 3 樹種보다 높은 흡음임피던스를 나타내는 것은 특이하다 하겠다. 각 樹種別의 흡음임피던스를 보면 소나무가 0.833에서 2.423, 화백이 3.721에서 5.176, 삼나무가 0.529에서 2.272, 구상나무가 1.091에서 3.141을 나타내고 있다.

闊葉樹의 경우도 침엽수의 경우와 마찬가지로 흡수율이 증가하면 흡음임피던스가 감소하는 경향을 나타내었는데 각 闊葉樹의 樹種別의 흡음임피던스의 값을 보면 멸구슬나무가 2.555에서 5.148, 화이트 메란티가 1.562에서 5.128 그리고 레드 메란티가 3.004에서 5.669로 나타나 樹種에 따라 차이를 보였으나, 전체적으로 볼때 흡수율의 증가와 함께 흡음임피던스는 減少하는 경향을 나타내었다.

4. 結 論

木材의 吸音率에 미치는 含水率의 影響을 調査하기 위하여 소나무, 화백, 삼나무, 구상나무, 멸구슬나무, 화이트 메란티, 레드 메란티의 7個 樹種을 供試材를 이용하여 定狀波裝置로 周波數 600 Hz에서 含水率 變化에 따른 吸音係數와 吸音임피던스를 測定한 結果는 木材의 含水率이 增加함에 따라 吸音係數는 增加하였으나 吸音임피던스는 減少는 경향을 나타내었다.

參 考 文 獻

1. Watanabe., H., T. Matsumoto., N. Kinoshita and H. Hayashi. 1967. Acoustical study of woods and wood products. *J. Japan wood res. soc.* 13(5):177~182
2. Hong, B. W. 1989. Acoustic absorption coefficient and impedance of wood section. *Mokchae Konghak* 17(2):26~33
3. Jung, H. Y. 1986. Acoustic absorption coefficient and impedance of Styroform measured by standing wave apparatus. Gyeongsang National Univ. Graduate school of edu. : 1~30
4. Cho, K. L. 1991. Acoustic absorption coefficient and impedance of Autoclaved Lightweight Ceramics measured by standing wave apparatus. Gyeongsang National Univ. Graduate school of edu. : 1~54
5. Choe, H. S and K. S. Chung. 1987. Demonstration of standing sound waves formed by the various boundary condition and it's application. *J. Sci. Edu. Gyeongsang National Univ.* 7:57~63
6. Saaki T, M. Norimoto, T. Yamada and R. M. Rowell. 1988. Effect of moisture on the Acoustical properties of wood. *Mokuzai Gakkaishi* 34(10):794~803