

국산재의 응용물성연구Ⅲ: 백합나무, 거제수나무, 오동나무의 수분흡착성 및 열적·전기적·음향적 성질*1

이원희*2† · 박병수*3 · 정성호*3 · 강호양*5 · 황권환*3 · 변희섭*4

Study on Physical Properties of Domestic Species III: Sorption, Thermal, Electrical and Acoustic Properties of *Liriodendron tulipifera*, *Betula costata*, *Paulownia coreana**1

Won-Hee Lee*2† · Byung-Soo Park*3 · Sung-Ho Chong*3 · Ho-Yang Kang*5 ·
Kwon-Hwan Hwang*3 · Hee-Seop Byeon*4

요 약

주요 국산재의 여러 가지 응용물성을 지난 3년에 걸쳐 조사하였다. 전보(강 외 4인 2008, 변 외 5인 2008)에 이어 본보에서는 우리나라의 활엽수 주요 수종인 백합나무, 거제수나무, 오동나무를 재료로 사용하였다. 매년 동일한 장치와 실험조건으로 실험하였기 때문에 모든 수종에 대한 결과를 상호 비교할 수 있었다. 수분흡착성 실험은 80메시 목분을 이용하였으며, 넓은 범위의 상대습도조건에 따른 평형흡수율과 흡착등온선을 구하였다. 열전도율과 열확산율은 열선열전도장치를, 전기의 부피저항률과 저항은 고전기저항계를 이용하여 측정하였다. 정목재와 판목재의 열적·전기적 특성차이가 관찰되었는데 이는 해부학적 차이에 의한 것으로 보인다. 음향적 성질은 음향측정시스템을 사용하여 동적탄성률, 내부마찰을 측정하였다. 본 논문의 결과들은 목재구조물 설계, 휴대용 목재수분계 보정, 음향적 성질 등에 필요한 기본 자료를 제공한다.

* 1 접수 2008년 4월 4일, 채택 2008년 6월 25일

* 2 경북대학교 농업생명과학대학, College of Agriculture and Life Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

* 3 국립산림과학원 임산공학부, Forest Products Division, Korea Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea

* 4 경상대학교 농업생명과학대학, 농업생명과학연구원, College of Agriculture and Life Science, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea.

* 5 충남대학교 농업생명과학대학, College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

† 주저자(corresponding author) : 이원희(e-mail: leewh@knu.ac.kr, lovewood21@hanmail.net)

ABSTRACT

A series of the studies on the applied physical properties of domestic species have been conducted last three years. *Liriodendron tulipifera*, *Betula costata*, *Paulownia coreana* were examined on sorption property, thermal property, electric property, acoustic property. Because the same apparatus and experimental procedures were used for all species, their results can be easily comparable. The experiments for sorption property were conducted with 80 mesh wood powder and resulted in their EMC's and sorption isotherms. The thermal conductivity and diffusivity, and electric resistance and volumetric electric resistivity were measured with a thermal-wire device and a high electric resistance meter. The differences of the thermal and electric properties between quarter- and flat-sawn specimens were observed, which was partially attributed to their anatomical differences. An acoustic measurement system was used to evaluate dynamic MOE and internal friction. This paper provides the useful fundamental data for designing a wood structure, correcting a portable resistance-type moisture meter, and acoustic properties of wood.

Keywords: *Liriodendron tulipifera*, *Betula costata*, *Paulownia coreana*, sorption isotherm, thermal conductivity, thermal diffusivity, electric volume resistivity, electric resistance, acoustic property, dynamic MOE, internal friction

1. 서 론

전보(강 외 4인, 2008; 변 외 5인, 2008)의 국산재 응용물성연구 I 보 및 II 보에 이어서 본 연구에서는 우리나라를 대표하는 활엽수 수종인 백합나무, 거제수나무, 오동나무를 대상으로 수분흡착성 및 열적, 전기적, 음향적 성질을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

모든 실험의 공시재료는 전보(강 외 4인, 2008; 변 외 5인, 2008)와 동일하게 국립산림과학원으로부터 제공받아 동일한 방법으로 실험을 행하였다. 공시목은 백합나무(*Liriodendron tulipifera*), 오동나무(*Paulownia coreana*), 거제수나무(*Betula costata*)로서 음향적 성질 평가에는 정목(길이 300 (L) × 두께 10 (T) × 폭 20 (R) mm) 및 판목(길이 300 (L)

× 두께 × 10 (R) × 폭 20 (T) mm)재를 각각 100개씩 제작하여 경사목리나 할렬 등이 없는 재료를 50개 선택하여 사용하였다. 그리고 전 시험은 항온항습조건(20°C, 65%)에서 실시하였다. 열적성능 평가에는 이들 세종류의 수종을 각각 별채하여 3 cm 판재로 제재하였다. 서울 국립산림과학원 실내에서 3개월 이상 천연건조하여 본 실험 장소로 운반하였다. 판재를 정목과 판목으로 구분하여 대패질한 후에 두께 10 mm, 폭 70 mm, 길이 100 mm으로 잘랐다. 수종별로 정목과 판목의 두 가지 시편을 각각 21개씩 만들었다. 두께를 10 mm로 얇게 만듦으로써 조습이 쉽게 이루어지도록 하였다.

21개 시편을 7개 그룹으로 나누어 실리카와 6종의 포화염수용액이 담긴 데시케이터에 넣어 조습시켰다. 시편들은 6주 후에 충분히 평형에 도달하였다고 생각되었으며 일정시간 경과 후 비닐주머니에 넣고 밀봉하였다. 열전도율, 전기비저항, 전기저항을 측정할 후에 모든 시편을 103 ± 2°C 오븐에서 건조시켜 전건무게를 구하였다.

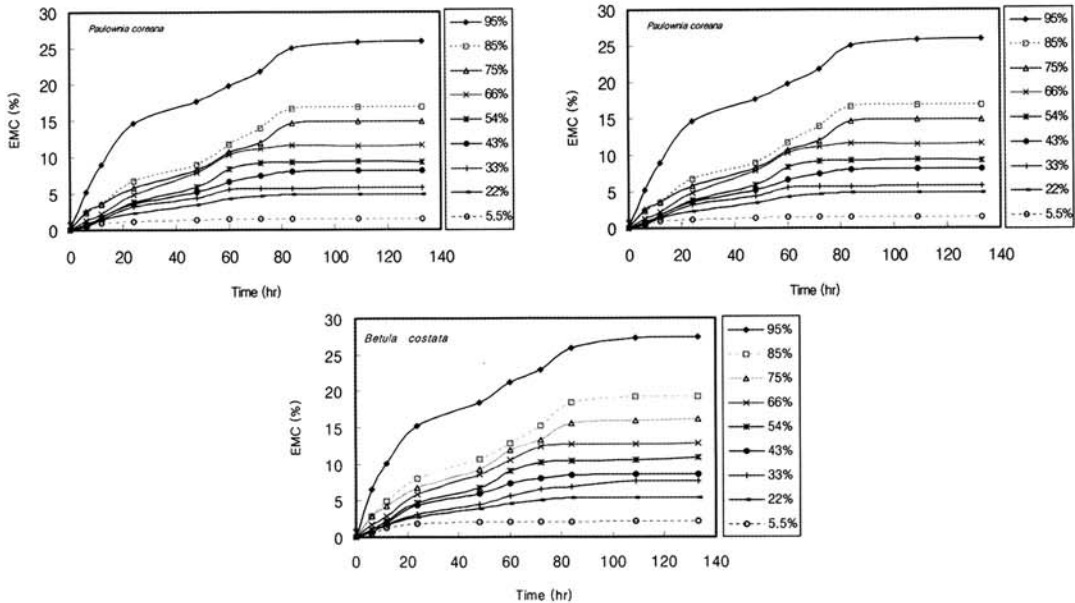


Fig. 1. Moisture vapor sorption curves at various relative humidity conditions in 80 mesh wood powder.

2.2. 실험방법

수분흡착성 측정, 열전도율 측정, 전기저항 측정, 음향특성 측정은 전보(강 외 4인, 2008)와 동일한 방법으로 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 데시케이터법에 의한 평형함수율

Fig. 1은 각 공시수종별 수분흡착곡선을 각 상대습도 상태에서 시간경과에 따른 흡착량으로 표시한 것이다. 활엽수재인 백합나무, 오동나무, 거제수나무의 함수율 경과곡선은 120여 시간이 지나야 평형에 도달함을 알 수가 있었고, 소나무 등의 주요 국산침엽수재보다 수분평형에 이르기까지 약 20여 시간이 더 필요하였다. 또한 상대습도 95%일 때 활엽수재의 흡착 평형함수율이 약 25% 이상인 점에 비하여 침엽수재의 흡착 평형함수율은 낙엽송이 약 17%와 잣나무가 약

15%로 나타나 침엽수가 활엽수에 비하여 상당히 낮은 값을 나타내었다(변 외 4인, 2008). 일반적으로 목재는 수분 평형 상태에서 평형함수율은 공기 중의 온도와 습도조건에 의하여 결정되며, 수종특성은 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 침엽수재의 시료 모두 200메쉬 분말로 만드는 과정에서 생긴 열변성에 의한 흡착력의 저하가 원인이 아닌가 생각되었다. 전보(강 외 4인, 2008; 변 외 4인, 2008)에서 서술한 것과 같이 이론적으로는 같은 온습도 조건하에서는 평형함수율은 목재의 종류에 상관없이 거의 같은 값을 나타낸다고 일반적으로 잘 알려져 있지만, 본 실험 결과에서도 수종간 미묘한 차이가 존재하였으며, 각 수종별 성분구성이나 수분 흡착에 대한 활성도 등 재질상의 차이가 있는 것으로 생각되었다.

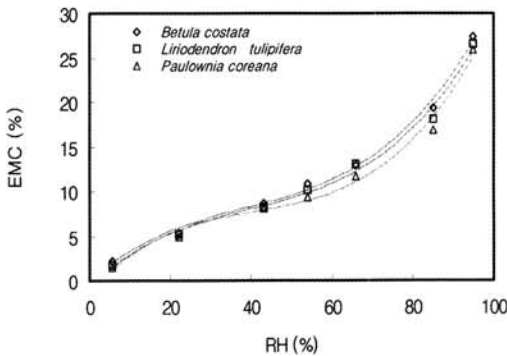
3.2. 수분 흡착등온선

Fig. 2에는 공시목재인 백합나무, 오동나무, 거제수나무의 흡착등온선을 각각 나타내었다. 흡착등온선

Table 1. Specific surface area (S), amounts of monomolecular vapor adsorption (Vm) of each woods

Wood meal	$\frac{C-1}{V_m \cdot C}$	$\frac{1}{V_m \cdot C}$	C	V_m (g/g)	S (m ² /g)
<i>Pinus densiflora</i>	26.060	6.286	5.145	0.030	153.0
<i>Larix kaempferi</i>	21.911	6.482	4.38	0.0352	174.3
<i>Pinus koraiensis</i>	25.608	12.715	3.01	0.0261	129.2
<i>Liriodendron tulipifera</i>	15.518	23691	7.55	0.0559	276.7
<i>Betula costata</i>	16.091	1.9102	9.42	0.0556	275.0
<i>Paulownia coreana</i>	14.758	28677	6.14	0.0567	280.8

G: sorption heat constant

Fig. 2. Moisture vapor adsorption isotherm of *Liriodendron tulipifera*, *Paulownia coreana*, *Betula costata*.

은 일반적으로 알려진 전형적인 역 시그모이드 형에 가까운 형상을 나타냈으며, 지금까지 실험한 소나무재나 낙엽송재, 잣나무재보다는 흡착량에 있어서 비교적 높은 값을 나타내었음을 알 수 있다. 흡착평형량은 상대습도 5%부터 35%의 단분자층을 이룬다고 생각되는 범위에서 거의 직선적으로 서서히 증가하는 경향을 세 수종 전부에서 나타냈으며, 약 55%의 상대습도를 변곡점으로 하여 흡착량의 증가와 더불어 서서히 점증하는 형태를 나타냈다. 또한 침엽수재와는 달리 고습도영역에서 급격하게 수분흡착량이 증가하는 것이 아닌 서서히 직선적으로 증가하는 형태를 보

이면서 섬유포화점 약 30%로 외삽되는 사실이 확인되었다. 일반적으로 활엽수재는 침엽수재의 경우보다 수지의 영향이나 재질상의 차이 때문에 동일 상대습도조건상에서 흡착량이 달라지는 것으로 생각되었다.

3.3. 단분자층 흡착량의 변화와 내부비 표면적의 변화

침엽수재의 흡착량을 기초로 BET plot한 그래프로부터, 이 그래프 상에서 직선상의 부위인 상대습도 약 40% 범위의 직선의 기울기와 절편으로부터 목재의 수분 흡착에 관여한다고 생각하는 내부 비표면적을 BET법에 의거하여 산출하였다. 1에는 전보(강 외 4인, 2008; 변 외 4인, 2008)에서 발표한 국산 주요 침엽수재의 결과를 백합나무, 오동나무, 거제수나무의 단분자층 흡착량과 내부 비표면적의 수종별 차이를 함께 나타내었다. 국산 침엽수 3종의 단분자층 함유율이 약 3%로서 일반적인 목분의 값보다 낮은 값을 나타내었는데, 본 실험의 결과치인 활엽수재에서는 침엽수재의 2배인 약 6%를 나타냈다. 침엽수재의 수지나 표면의 흡착활성 등 고유한 재질특성이 이런 결과를 나타낸 것이 아닌가 판단되었으며, 내부 비표면적은 일반적으로 시트카 스프루스재는 254 m²/g, 슈가메이플이 210 m²/g인 것과 비교해 볼 때 백합나무, 오동나무, 거제수나무 3수종 활엽수재의

Table 2. Linear regression equation and decision coefficient of thermal conductivity and moisture content on *Liriodendron tulipifera*, *Betula costata*, *Paulownia coreana*

Species	Linear regression equation	R ²
<i>Betula costata</i>	$k = 0.0032 (MC) + 0.1453$	0.82
<i>Paulownia coreana</i>	$k = 0.0026 (MC) + 0.0721$	0.82
<i>Liriodendron tulipifera</i>	$k = 0.0035 (MC) + 0.1257$	0.93

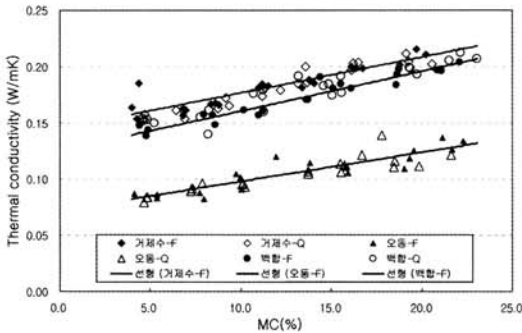


Fig. 3. Relationships between thermal conductivity and moisture content of *Liriodendron tulipifera*, *Betula costata*, *Paulownia coreana*.

비표면적은 이들보다 더 높은 값을 나타내었으며, 따라서 습기의 흡착 및 탈착에 있어서 실내공간의 습도 조절능력이 뛰어난 것으로 평가할 수 있겠다.

3.4. 열전도율(k)과 열확산률(a)

열전도율은 함수율에 따라 증가함을 보였다. 수분의 열전도율이 목질보다 크기 때문에 수분량이 많을수록 열전도율이 증가한다. 수종별로는 거제수나무, 백합나무, 오동나무 순으로 열전도율이 크다(Fig. 3). 이 순서는 밀도와 일치한다. 각 수종의 20% 밀도(함수율 20% 때 부피-중량 기준)는 거제수나무, 오동나무, 백합나무가 각각 $903 \pm 17 \text{ kg/m}^3$, $313 \pm 23 \text{ kg/m}^3$, $576 \pm 23 \text{ kg/m}^3$ 이었다. 밀도가 크면 동일한 함수율에서 포함하는 수분이 더 많고 목질의 양도 많기 때문에 높은 열전도율을 가진다고 할 수 있다.

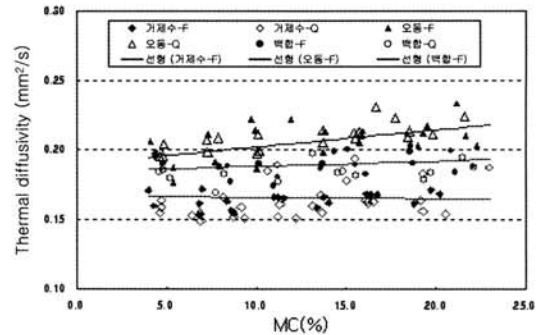


Fig. 4. Change of thermal diffusivity of *Liriodendron tulipifera*, *Betula costata*, *Paulownia coreana* as a function of moisture content.

한 수종 내 정목재와 판목재의 차이는 적으므로 Fig. 3에 판목재의 선형회귀만 표시하였으며 이것들의 선형회귀식은 Table 2와 같다. 이 식을 이용하면 함수율 15%일 때 거제수나무, 오동나무, 백합나무의 열전도율은 각각 0.193, 0.111, 0.178 W/mK 이다.

열확산률은 함수율에 따라 약간 증가하거나 변화가 없었다(Fig. 4). 수종간 차이는 열전도율보다 덜 분명하고 다른 경향을 보이고 있다. 밀도가 제일 작은 오동나무가 가장 열확산률이 높고, 밀도가 가장 큰 거제수나무가 가장 낮았다. 그러나 이것을 일반적인 목재 밀도와 열확산계수의 관계라고 할 수 없다. 식 (2)에서 열전도율(k)과 목재 비열(c)이 일정하다면 열확산률(a)은 목재 밀도(ρ)에 반비례한다고 할 수 있으나 Fig. 3과 같이 열전도율도 목재 밀도에 따라 변한다. 전년도에 실험한 소나무, 잣나무, 낙엽송은 소나무의 열확산률이 가장 높았고 낙엽송이 그 다음 잣나무가 가장 낮

Table 3. Linear regression equation and decision coefficient of thermal diffusivity and moisture content on *Liriodendron tulipifera*, *Betula costata*, *Paulownia coreana*

Species	Linear regression equation	R ²
<i>Betula costata</i>	$a = -0.0001 (MC) + 0.167$	0.00
<i>Paulownia coreana</i>	$a = 0.0012 (MC) + 0.190$	0.26
<i>Liriodendron tulipifera</i>	$a = 0.0004 (MC) + 0.1846$	0.07

Table 4. Linear regression equation and decision coefficient of electric resistivity and moisture content on *Liriodendron tulipifera*, *Betula costata*, *Paulownia coreana*

Species	Linear regression equation	R ²
<i>Betula costata</i>	$\log(R) = -0.4796 (MC) + 9.0089$	0.9576
<i>Paulownia coreana</i>	$\log(R) = -0.5618 (MC) + 10.042$	0.9590
<i>Liriodendron tulipifera</i>	$\log(R) = -0.4062 (MC) + 8.4037$	0.9859

았다. 밀도는 낙엽송, 소나무, 잣나무 순이었다.

한 수종 내 정목재와 판목재의 차이는 적으므로 Fig. 4에 판목재의 선형회귀만 표시하였으며 이것들의 선형회귀식은 Table 3과 같다. 결정계수가 0.27 이하로 매우 낮으나 이 식을 이용하면 함수율 15%일 때 거제수나무, 오동나무, 백합나무의 열확산률은 각각 0.166, 0.208, 0.191 mm²/s 이다. 열확산률은 감촉과 관계 있으므로 거제수나무가 오동나무보다 감촉이 좋다고 할 수 있다.

3.5. 전기비저항

측정된 비저항의 지수값은 함수율에 대해 높은 직선상관을 나타냈다(Fig. 5). 정목재와 판목재 간에 차이가 없었다. 따라서 Fig. 5와 Table 4의 선형회귀식은 정목재와 판목재를 합하여 수종별로 하나만 구하였다. 선형회귀의 기울기는 오동나무가 가장 크고 그 다음이 거제수나무, 백합나무 순이나 Fig. 5에 나타난 바와 같이 수종간 큰 차이가 없다.

3.6. 전기저항

전기저항은 비저항과 달리 로그값이 함수율과 종

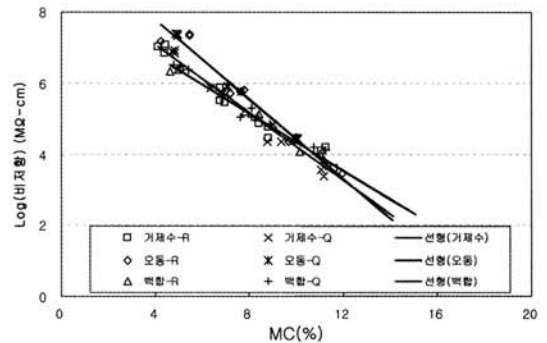


Fig. 5. Linear regression and relationships between electric resistivity and moisture content on *Liriodendron tulipifera*, *Betula costata*, *Paulownia coreana*.

은 선형관계를 보이지 않았다. 반면 전기저항과 함수율을 모두 로그를 취하였더니 보다 나은 직선상관을 보였다. 그럼에도 불구하고 전년도에 실험한 침엽수 수종인 소나무, 잣나무, 낙엽송의 전기저항이 측정방향에 상관없이 함수율에 대해 높은 선형상관을 나타내는 데 비해 올해 사용된 활엽수종은 상관정도가 떨어진다(Figs. 6~8). 이는 활엽수의 조직이 침엽수보다 복잡한 때문으로 생각된다. 또 측정방향

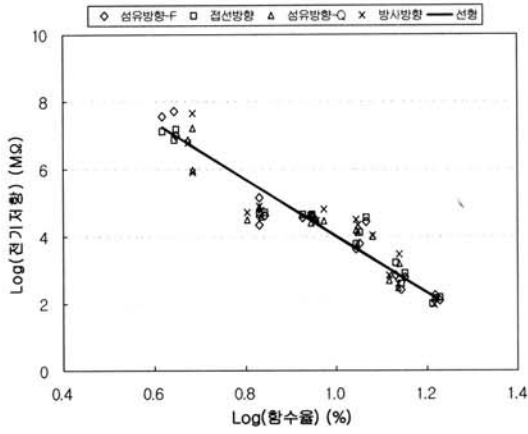


Fig. 6. Linear regression and electric resistance of *Betula costata* as a function of moisture content.

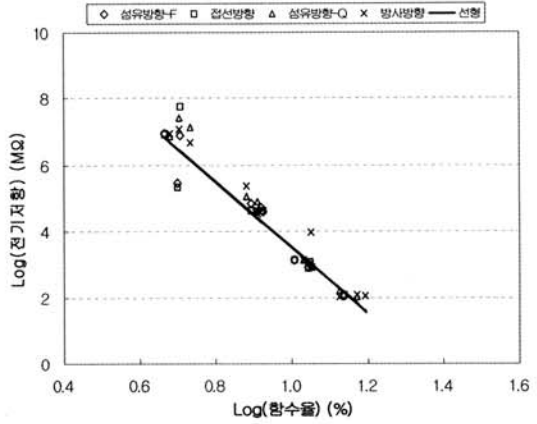


Fig. 8. Linear regression and electric resistance of *Liriodendron tulipifera* as a function of moisture content.

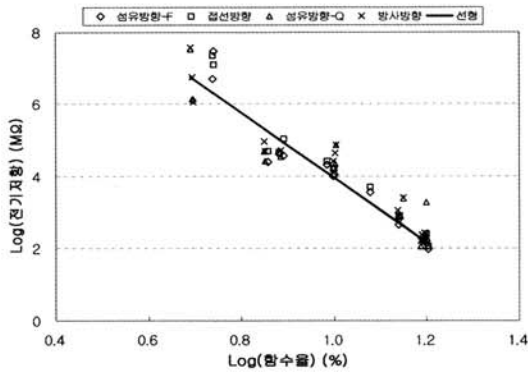


Fig. 7. Linear regression and electric resistance of *Paulownia coreana* as a function of moisture content.

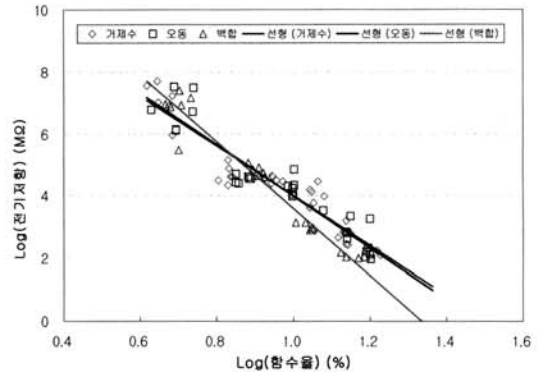


Fig. 9. Linear regression and electric resistance of the parallel to the grain of *Betula costata*, *Paulownia coreana*, *Liriodendron tulipifera* as a function of moisture content.

(섬유방향과 섬유직각방향, 또는 방사방향과 접선방향)에 따른 유의차도 인정되지 않았다.

저항식 목재를 사용할 때 일반적으로 섬유방향으로 측정하므로 섬유방향 전기저항값만 골라 세 수종을 한 그래프에 선형회귀와 함께 표기하였다(Fig. 9). 선형회귀식은 Table 5와 같다.

함수율에 따른 전기저항의 기울기는 백합나무가 가장 크고, 그 다음이 오동나무, 거제수나무 순이다. 결정계수는 앞에서 언급한대로 침엽수재만큼 높은

값을 나타내지는 않았다.

3.7. 밀도 및 동적 탄성을

Table 6에 백합나무, 오동나무 및 거제수나무의 밀도, 내부마찰, 동적 탄성을 및 음향교환효율 등을 나타내었다. Table 6과 Figs. 10, 11에서 보는 바와

Table 5. Linear regression equation and decision coefficient of electric resistance and moisture content of *Betula costata*, *Paulownia coreana*, *Liriodendron tulipifera*

Species	Linear regression equation	R ²
<i>Betula costata</i>	$\log(R) = -7.9997 \log(MC) + 12006$	0.8909
<i>Paulownia coreana</i>	$\log(R) = -8.2694 \log(MC) + 12276$	0.8956
<i>Liriodendron tulipifera</i>	$\log(R) = -10.739 \log(MC) + 14339$	0.9473

Table 6. Acoustic properties of *Liriodendron tulipifera*, *Paulownia coreana*, *Betula costata*

Species	Type		ρ (g/cm ³)	Q^{-1} ($\times 10^{-2}$)	E (10^{11} dyn/cm ²)	E/ρ (10^{11} dyn/cm ²)	ACE1 (10^8)	ACE2 (10^{-1})
<i>Liriodendron tulipifera</i>	Quarter-sawn	Mean	0.522	1.287	0.814	1.557	0.614	3.951
		SD	0.035	0.242	0.167	0.283	0.156	0.768
	Flat-sawn	Mean	0.528	1.254	0.917	1.744	0.656	3.746
		SD	0.034	0.200	0.104	0.219	0.163	0.671
<i>Paulownia coreana</i>	Quarter-sawn	Mean	0.301	0.816	0.605	2.012	1.870	9.309
		SD	0.016	0.118	0.051	0.133	0.298	1.438
	Flat-sawn	Mean	0.291	0.729	0.582	2.002	2.206	10.986
		SD	0.017	0.134	0.065	0.164	0.521	2.258
<i>Betula costata</i>	Quarter-sawn	Mean	0.692	0.955	1.637	2.367	0.761	3.202
		SD	0.029	0.166	0.121	0.180	0.151	0.508
	Flat-sawn	Mean	0.703	0.972	1.649	2.348	0.727	3.100
		SD	0.023	0.145	0.128	0.174	0.125	0.484

Notes: S.D: standard deviation, Q^{-1} : internal friction, ρ : density, E : dynamic modulus of elasticity, E/ρ : specific dynamic modulus of elasticity, ACE1: acoustic converting efficiency $\sqrt{E/\rho^3}/Q^{-1}$, ACE2: acoustic converting efficiency $1/(\sqrt{\rho E} \times Q^{-1})$.

같이 백합나무, 오동나무, 거제수의 정목 및 판목제의 평균 밀도는 각각 0.522 ± 0.035 , 0.528 ± 0.034 와 0.301 ± 0.016 , 0.291 ± 0.017 및 0.692 ± 0.029 , 0.703 ± 0.023 (g/cm³)이다. 또한 백합나무, 오동나무, 거제수의 정목 및 판목제의 평균 동적 탄성률은 각각 0.814 ± 0.167 , 0.917 ± 0.104 와 0.605 ± 0.051 , 0.579 ± 0.067 과 1.637 ± 0.121 과 1.640 ± 0.146 ($\times 10^{11}$ dyn/cm²)이다. 또한 밀도와 동적 탄성률관계에서 밀도가 증가함에 따라 동적탄성률이 증

가하는 것으로 보고(Suzuki, 1980; 洪, 1985; 강 등, 2008; 변 등, 2008)되고 있지만 백합나무판목, 거제수나무 정목제에서는 유의성이 나타나지 않았다.

3.8. 내부마찰

Fig. 11에 밀도와 내부마찰과의 관계를 나타내었다. Table 1과 Fig. 3에 따르면 백합나무, 오동나무, 거제수나무 정목 및 판목제의 내부마찰은 각각

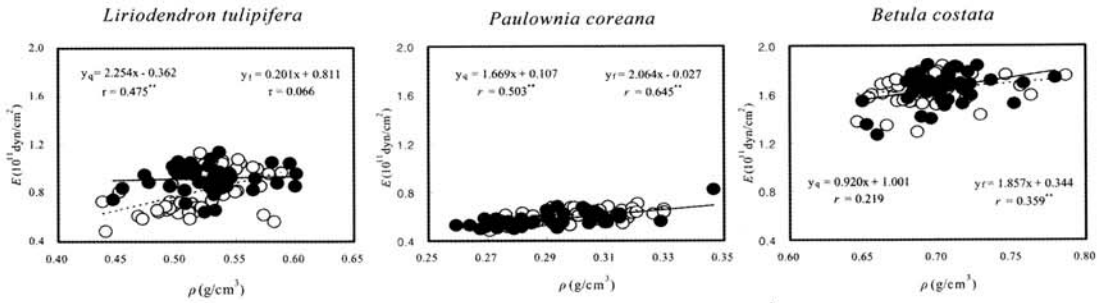


Fig. 10. Relationships between density (ρ) and internal friction (Q^{-1}).
Legend; yq (---, ○): quarter-sawn, yf (—, ●): flat-sawn.

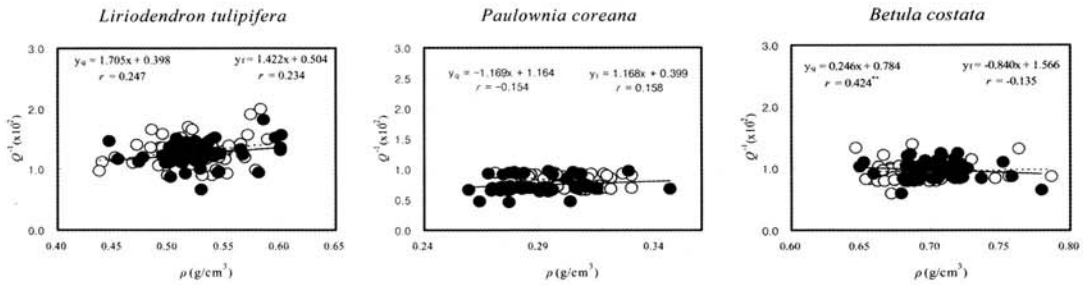


Fig. 11. Relationships between density (ρ) and internal friction (Q^{-1}).
Legend; See legend in Fig. 10.

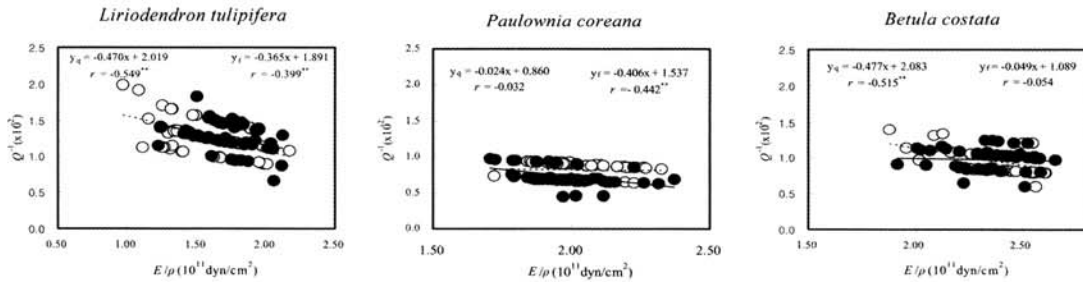


Fig. 12. Relationships between specific dynamic modulus of elasticity (E/ρ) and internal friction (Q^{-1}).
Legend; See legend in Fig. 10.

$1.287 \pm 0.242 (\times 10^{-2})$, $1.254 \pm 0.200 (\times 10^{-2})$ 와 $0.816 \pm 0.118 (\times 10^{-2})$, $0.729 \pm 0.134 (\times 10^{-2})$ 과 $0.955 \pm 0.166 (\times 10^{-2})$ 와 $0.972 \pm 0.145 (\times 10^{-2})$ 의 값을 나타내었다. 3수종 중에서 오동나무의 내부마찰 값이 가장 낮아 악기용재로서는 내부마찰이 낮아야

적당한 것으로 알려져 있는 사실과 일치한다. 또한 일반적으로 밀도가 증가할수록 내부마찰이 감소하는 경향을 나타낸다고 알려져 있지만 백합나무, 오동나무, 거제수나무 3수종의 정목 및 판목 중에서 거제수나무 정목을 제외한 나머지 경우에는 밀도와

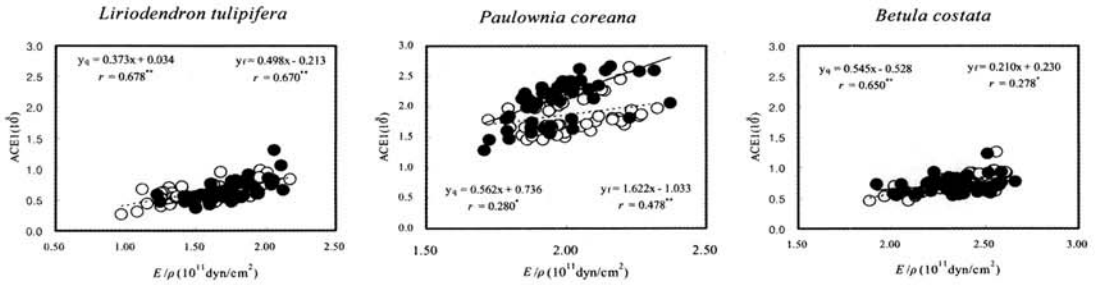


Fig. 13. Relationships between specific dynamic modulus of elasticity (E/ρ) and acoustic converting efficiency (ACE1).

Note; ACE1: $\sqrt{E/\rho^3} / Q^{-1}$.

내부마찰 간에 기존의 연구결과(홍, 1985; 矢野, 1992)와 달리 유의성이 나타나지 않았다. 이것은 연륜 폭이나 밀도 등의 편차가 큰 것에 기인하는 것으로 생각된다.

Fig. 12에 내부마찰과 비동적 탄성률과의 관계를 나타내었다. 백합, 오동, 거제수나무 정목 및 판목재는 비동적 탄성률이 증가할수록 내부마찰이 감소하는 경향을 나타내었지만 유의성이 인정되지 않는 경우도 나타났다. 악기용재의 물성연구에서 비동적 탄성률이 증가할수록 내부마찰이 감소하는 경향을 나타낸다는 보고(Norimoto, 1982; 변, 1997)와 일치하지 않는 부분도 있는데 이것은 내부마찰의 경우에서와 같이 재료 재질의 편차에 기인하는 것으로 생각된다. 그리고 일반적으로 악기용재를 선별할 때는 비동적 탄성률이 큰 것을 선별하는 것이 좋다고 알려져 있다.

3.9. 음향교환률

Table 6과 Fig. 13으로부터 백합나무, 오동나무, 거제수나무 정목 및 판목재의 음향교환률 $\sqrt{E/\rho^3} / Q^{-1}$, $1/(\sqrt{\rho E} \times Q^{-1})$ 값은 각각 $0.614 \pm 0.156 (\times 10^8)$, $3.951 \pm 0.768 (\times 10^{-4})$ 및 $0.656 \pm 0.163 (\times 10^8)$, $3.746 \pm 0.671 (\times 10^{-4})$ 과 $1.870 \pm 0.298 (\times 10^8)$, $9.309 \pm 1.438 (\times 10^{-4})$ 및 $2.206 \pm 0.521 (\times 10^8)$, $10.986 \pm 2.258 (\times 10^{-4})$ 과 $0.761 \pm 0.151 (\times 10^8)$, $3.202 \pm 0.508 (\times 10^{-4})$ 및 $0.727 \pm 0.125 (\times 10^8)$,

$3.100 \pm 0.484 (\times 10^{-4})$ 이었다. 또한 오동나무는 백합나무와 거제수나무에 비하여 약 3배정도로 높은 음향교환률을 나타내어 악기용재로 적합한 것이 확인되었다. 이상의 결과로부터 백합나무, 거제수나무는 악기용재로 적합하지 않고 악기재로 사용하기 위해서는 음향특성을 향상시키기 위한 재질개량 등의 처리가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

활엽수 3수종(거제수나무, 오동나무, 백합나무)의 열전도율, 열확산률, 전기비저항, 전기저항을 정목재와 판목재로 구분하여 측정하였다. 본 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 활엽수재인 백합나무, 오동나무, 거제수나무의 함수율 경과곡선은 120여 시간이 지나야 평형에 도달함을 알 수가 있었고, 상대습도 95%일 때 활엽수재의 흡착 평형함수율이 약 25% 이상인 점에 비하여 침엽수재의 흡착 평형함수율은 낙엽송이 약 17%와 잣나무가 약 15%로 나타나 침엽수가 활엽수에 비하여 상당히 낮은 값을 나타내었다.

2) 흡착평형량은 상대습도 5%부터 35%의 단분자층을 이룬다고 생각되는 범위에서 거의 직선적으로 서서히 증가하는 경향을 세 수종 전부에서 나타났으며, 약 55%의 상대습도를 변곡점으로 하여 흡착량의 증가와 더불어 서서히 점증하는 형태를 나타냈다.

3) 국산 침엽수 3종의 단분자층 함수율이 약 3%로서 일반적인 목분의 값보다 낮은 값을 나타내었지만, 거제수나무, 백합나무, 오동나무에서는 국산 침엽수재의 2배인 약 6%를 나타내어 실내공간의 습도 조절능력이 아주 뛰어난 재료임을 알 수 있었다.

4) 열전도율은 함수율에 따라 증가하였으며 거제수나무, 백합나무, 오동나무 순으로 크게 나타났다. 이는 밀도의 순서와 일치한다.

5) 본 연구에서 얻은 열전도율과 함수율의 관계식에 의하면 함수율 15%일 때 거제수나무, 오동나무, 백합나무의 열전도율은 각각 0.193, 0.111, 0.178 W/mK 였다.

6) 열확산률은 열전도율과 달리 함수율에 따라 약간 증가하거나 변화가 없었다. 함수율 15%를 기준하면 거제수나무, 오동나무, 백합나무가 각각 0.166, 0.208, 0.191 mm²/s 였다.

7) 함수율에 따른 전기비저항의 선형회귀식과 결정계수는 아래와 같다.

Species	Linear regression equation	R ²
<i>Betula costata</i>	log(R) = -0.4796 (MC) + 9.0089	0.9576
<i>Paulownia coreana</i>	log(R) = -0.5618 (MC) + 10.042	0.9590
<i>Liriodendron tulipifera</i>	log(R) = -0.4062 (MC) + 8.4037	0.9859

8) 함수율에 따른 전기저항의 선형회귀식과 결정계수는 아래와 같다.

Species	Linear regression equation	R ²
<i>Betula costata</i>	log(R) = -7.9997 log(MC) + 12.006	0.8909
<i>Paulownia coreana</i>	log(R) = -8.2694 log(MC) + 12.276	0.8956
<i>Liriodendron tulipifera</i>	log(R) = -10.739 log(MC) + 14.339	0.9473

9) 백합나무, 오동나무 및 거제수나무의 정목 및 판목재의 동적탄성률은 각각 0.814, 0.917 (×10¹¹

dyne/cm²)과 0.605, 0.582 (×10¹¹ dyne/cm²) 및 1.637, 1.649 (×10¹¹ dyne/cm²)로 거제수나무, 백합나무, 오동나무 순의 값으로 오동나무의 동적 탄성률이 가장 낮았다.

10) 백합나무, 오동나무 및 거제수의 정목 및 판목재의 내부마찰은 1.287 (×10⁻²)과 1.254 (×10⁻²), 0.816 (×10⁻²)과 0.729 (×10⁻²), 0.955 (×10⁻²)과 0.972 (×10⁻²)의 값으로 오동나무재가 가장 낮은 값을 나타내었다.

11) 백합나무, 오동나무 및 거제수의 정목 및 판목의 음향교환률 $\sqrt{E\rho^3}/Q^1$, $1/(\sqrt{\rho E} \times Q^1)$ 값은 각각 0.614 (×10⁸), 3.951 (×10⁻⁴) 및 0.656 (×10⁸), 3.746 (×10⁻⁴)과 1.870 (×10⁸), 9.309 (×10⁻⁴) 및 2.206 (×10⁸), 10.986 (×10⁻⁴)과 0.761 (×10⁸), 3.202 (×10⁻⁴) 및 0.727 (×10⁸), 3.100 (×10⁻⁴)으로 오동나무재의 음향교환률은 매우 높았다.

참 고 문 헌

1. 강호양, 변희섭, 이원희, 박병수, 박정환. 2008. 국산재의 응용물성연구 I: 소나무의 수분흡착성 및 열적·전기적·음향적 성질. 목재공학 36(3): 70~84.
2. 변희섭, 강호양, 이원희, 박병수, 정성호, 박정환. 2008. 국산재의 응용물성연구 II: 잣나무 낙엽송의 수분흡착성 및 열적·전기적·음향적 성질. 목재공학 36(4): 1~10.
3. 변희섭, 홍병화. 1997. 피아노향관용 아가티스재의 동역학적 성질. 한국가공학회지. 8(1/2): 10~15.
4. 정우양, 박선행. 1999. 바이올린용 소재의 진동모드 해석에 관한연구-절삭방향 및 밀도에 따른 공진주파수의 변화. 목재공학. 27(3): 1~6.
5. 홍병화. 1985. 響板用 오동나무재의 動力學的 性質. 목재공학. 13(3): 34~40.
6. Brunauer, S., P. H. Emmett, and E. Teller, 1938. J. Amer. chem. Soc. 60, 309~319.
7. Bucur, V. 1995. Acoustic of Wood. CRC Press. pp. 14~44.
8. Gillis, Christopher M, W. Stephens, and P. Peralta. 2001. Moisture meter correction factors for four Brazilian wood species. Forest Products Journal 51(4): 83~86.
9. Chirkova, J, I. Irbe, B. Andersons, and I. Andersone.

2006. Study of the structure of biodegraded wood using the water vapour sorption method. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 58: 162~167.
10. Kataoka, A. and T. Ono. 1976. The dynamic mechanical properties of Sitka spruce used for sounding boards. *J. Japan Wood Res.* 22(8): 436~443.
11. Olek, W., J. Weres, and R. Guzenda. 2003. Effects of Thermal Conductivity Data on Accuracy of Modeling Heat Transfer in Wood. *Holzforschung* 57(3): 317~325.
12. Rice, Robert, W. and R. K. Shepard 2004. The thermal conductivity of plantation grown white pine (*Pinus strobus*) and red pine (*Pinus resinosa*) at two moisture content levels. *Forest Products Journal* 54(1): 92~94.
13. Suleiman, B. M., J. Larfeldt, B. Leckner, and M. Gustavsson. 1999. Thermal conductivity and diffusivity of wood. *Wood Science and Technology* 33: 465~473.
14. 岡野 健. 1991. 木材の音響的性質. *木材學會誌*. 37(11): 991~998.
15. 矢野浩之, 山田 正. 1989. ピアノ響板用シトカスプルース材放射方向の音響特性. *木材學會誌*. 31(3): 222~230.
16. 矢野浩之, 松岡一郎, 椋代純輔. 1992. バイオリン用材の音響的性質. *木材學會誌*. 38(2): 122~127.
17. Norimoto, M. 1982. Structure and properties of wood used for musical instruments I (On the selection of wood used for piano sound boards). *J. Japan Wood Res. Soc.* 28(7): 407~413.