

국산재의 응용물성연구 II: 잣나무 낙엽송의 수분흡착성 및 열적·전기적·음향적 성질*¹

변희섭*^{2†} · 이원희*³ · 박병수*⁴ · 정성호*⁴ · 강호양*⁵

Study on Physical Properties of Domestic Species II: Sorption, Thermal, Electrical and Acoustic Properties of *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi**¹

Hee-Seop Byeon*^{2†} · Won-Hee Lee*³ · Byung-Soo Park*⁴ · Sung-Ho Chong*⁴ ·
Ho-Yang Kang*⁵

요 약

주요 국산재의 여러 가지 응용물성을 매년 3수종씩, 3년에 걸쳐 조사하였다. 전보에 이어 우리나라의 침엽수 대표 수종인 잣나무 및 낙엽송을 사용하였다. 매년 동일한 장치와 실험조건으로 실험하였기 때문에 모든 수종에 대한 결과를 상호 비교할 수 있었다. 수분흡착성 실험은 목분을 이용하였으며, 넓은 범위의 상대습도조건에 따른 평형흡수율과 흡착등온선을 구하였다. 열전도율과 열확산률은 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 1월 21일, 채택 2008년 4월 1일

*² 경상대학교 농업생명과학대학, 농업생명과학연구원. College of Agriculture and Life Science, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

*³ 경북대학교 농업생명과학대학. College of Agriculture and Life Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

*⁴ 국립산림과학원 임산공학부, Forest Products Division, Korea Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea

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

† 주저자(corresponding author) : 변희섭(e-mail: hsbyeon@gnu.ac.kr, woodhsb@daum.net)

ABSTRACT

A series of the studies on the applied physical properties of domestic species have been conducted last three years. *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi* were two of the three species examined for the first year. 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 20- and 80-mesh wood powder and resulted in their EMCs and sorption isotherms at various RH conditions. 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 in the thermal and electric properties between quarter- and flat-sawn specimens were observed, which were 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: *Pinus koraiensis*, *Larix kaempferi*, sorption isotherm, thermal conductivity, thermal diffusivity, electric volume resistivity, electric resistance, acoustic property, dynamic MOE, internal friction.

1. 서 론

전보(강호양 등, 2008)의 국산재 응용물성연구 I 에 이어서 본 연구에서는 소나무와 더불어 우리나라를 대표하는 침엽수 수종인 잣나무 및 낙엽송을 대상으로 수분흡착성 및 열적, 전기적, 음향적 성질을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

모든 실험의 공시재료는 전보(강호양 등, 2008)와 동일하게 국립산림과학원으로부터 잣나무(*Pinus koraiensis*)와 낙엽송(*Larix kaempferi*)을 분양받아 분 동일한 방법으로 실험을 행하였다.

2.2. 실험방법

수분흡착성 측정, 열전도율 측정, 전기저항 측정,

음향특성 측정은 전보(강호양 등, 2008)와 동일한 방법으로 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 데시케이터법에 의한 평형함수율

일반적으로 목재는 수분 평형 상태에서 평형함수율은 공기 중의 온도와 습도조건에 의하여 결정되며, 수종특성은 없는 것으로 알려져 있다. Fig. 1 에 서 침엽수재인 낙엽송과 잣나무의 함수율경과 곡선을, 이 그림으로부터 침엽수재는 수분평형에 이르기 까지 약 100여 시간이 경과하여 평형에 도달함을 알 수가 있다. 또한 침엽수재의 흡착 평형함수율은 상대습도 95%일 때, 낙엽송이 약 17%와 잣나무가 약 15%로 나타나 활엽수재에 비하여 상당히 낮은 값을 나타내었다. 이것은 소나무재와 마찬가지로 침엽수재의 시료 모두 200매쉬 분말로 만드는 과정에서 생긴 열변성에 의한 흡착력의 저하가 원인이 아닌가 생각되어진다.

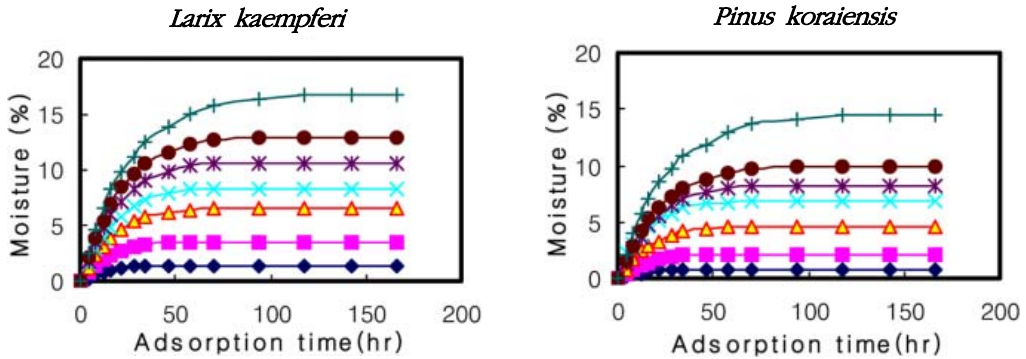


Fig. 1. Moisture vapor sorption curves at various relative humidity conditions in 80 mesh wood powder. Legend : ◆ 11%, ■ 33%, ▲ 54%, × 66%, * 76%, ● 85%, | 95%

결과적으로는 이론적으로 같은 온습도 조건하에서는 목재는 거의 같은 평형함수율을 나타낸다고 일반적으로 잘 알려져 있지만, 본 실험 결과에서 보는 바와 같이, 동일한 온습도 환경조건에서 낙엽송재의 흡착속도가 잣나무재에 비해 더 컸으며 평형함수율의 값은 잣나무재보다 낙엽송재가 약 15% 정도 더 높았으며, 차이가 나타남을 분명하게 알 수 있었다. 이것은 두 수종간의 수분흡착에 대한 재질상의 차이가 아닌가 생각되었다.

3.2. 수분 흡착등온선

Fig. 2에는 낙엽송과 잣나무재의 흡착등온선을 각각 나타내었다. 흡착등온선은 일반적으로 알려진 역시그모이드 형이 아닌 완만하게 증가하는 거의 직선형에 가까운 형상을 하고 있으며, 낙엽송재보다 잣나무재에서 오히려 더 흡착량이 낮은 것을 알 수 있다. 지난해 소나무재의 경우와 비교해 봐도 거의 같은 결과가 얻어졌으며 수종간 재질 차이가 흡착량에 영향을 준 것이 아닌가 생각되었다. 흡착평형량은 상대습도의 증가와 더불어 서서히 점증하는 형태를 나타냈으며, 단분자층을 이룬 연후에 일정습도범위에서 안정되는 값을 나타내지 않고 지속적으로 물분자가 증착되어 모관응축에 이르는 현상을 나타내는 것으로 밝혀졌다. 일반적으로 침엽수재의 경우, 활

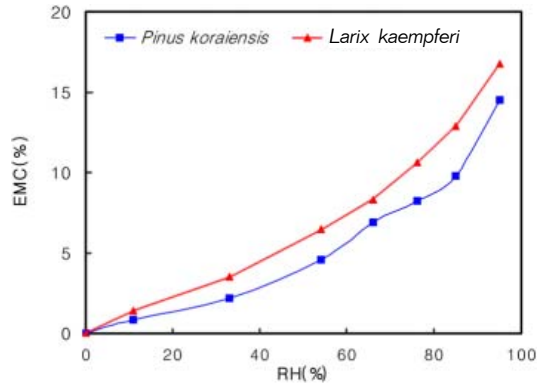


Fig. 2. Moisture vapor adsorption isotherm of *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*.

엽수재와는 다르게 수지의 영향 때문인지 흡착평형에 이르는 흡착량이 매우 낮은 값을 나타내었다.

평형 흡착량은 일반적으로 잘 알려져 있는 목재의 일반 평균보다 매우 낮게 나타났으며 상대습도 약 80% 이후부터 모관응축에 이르는 급격한 흡착량의 증가가 예상되어진다.

3.3. 단분자층 흡착량의 변화와 내부비표면적의 변화

침엽수재의 흡착량을 기초로 BET plot한 그래프로부터, 이 그래프 상에서 직선상의 부위인 상대습

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

Wood meal	$\frac{C-1}{V_m \cdot C}$	$\frac{1}{V_m \cdot C}$	C	Vm (g/g)	S (m ² /g)
<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

*C: sorption heat constant

Table 2. Thermal conductivities and diffusivities of quarter- and flat-sawn *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi* specimens

	<i>Pinus koraiensis</i>		<i>Larix kaempferi</i>	
	Quarter-sawn	Flat-sawn	Quarter-sawn	Flat-sawn
Replication	28	26	20	23
EMC (%)	120 ± 0.3	7.9 ± 0.3	120 ± 0.3	13.1 ± 0.4
density (kg/m ³)	459 ± 26	408 ± 19	575 ± 27	583 ± 19
Thermal conductivity (W/m · k)	0.123 ± 0.005	0.114 ± 0.007	0.165 ± 0.019	0.164 ± 0.020
Thermal diffusivity (mm ² /s)	0.162 ± 0.006	0.179 ± 0.009	0.173 ± 0.019	0.167 ± 0.020

도 약 40% 범위의 직선의 기울기와 절편으로부터 목재의 수분 흡착에 관여한다고 생각되는 내부 비표면적을 BET법에 의거하여 산출하였다. 전보에는 가열처리에 의해 소나무재의 수분흡착량이 감소는 것은 열에 의한 부분적인 열화 및 결정화도의 증가 때문에 수분흡착량이 저하되는 것으로 추정되었다(高分子學會, 1972).

Table 1에는 국산 주요 침엽수재의 단분자층 흡착량과 내부 비표면적의 수종별 차이를 나타내었다. 국산 침엽수 2종의 단분자층 흡수율이 약 3%로서 일반적인 목분의 값보다 낮은 값을 나타내었다. 물론 수종별 차이가 약간 있는 것이 일반적이지만, 열변성의 우려가 없는 시험편 조제가 이런 결과를 가져온 것으로 판단이 된다.

내부 비표면적은 일반적으로 시트카 스프루스재는 254 m²/g, 슈가메이플이 210 m²/g, 알과 셀룰로오스가 157 m²/g, 면이 139 m²/g, 셀로판이 288 m²/g에 비추어 볼 때, 본 실험목재의 비표면적은 약간 낮은 값으로 나타나긴 했지만, 흡탈착에 있어서 실내공간의 습도조절능력에는 문제가 없을 것으로

평가할 수 있겠다.

3.4. 열전도율(κ)과 열확산률(α)

채취한 부위가 달라 같은 수종이라도 정목재와 판목재의 평형흡수율이 달랐다(Table 2). 잣나무는 직경이 작았기 때문에 정목재는 수피 근처, 판목재는 수 근처에서 각각 얻었다. 따라서 정목재의 평형흡수율이 판목재보다 높았다. 낙엽송은 정목재와 판목재를 모두 수 주위를 피해 얻을 수 있었으므로 평형흡수율 차이가 매우 적다. 밀도도 평형흡수율과 마찬가지로 잣나무는 차이가 있으나 낙엽송은 없었다.

정목재와 판목재의 열전도율을 t-검정한 결과 잣나무는 고도의 유의차를 나타냈으나 낙엽송은 유의차가 없었다. 이 또한 채취 부위가 상이한 때문으로 생각된다.

따라서 수종간 열전도율과 열확산율을 정목재만을 비교하는 것이 바람직하다. 낙엽송의 평균 열전도율이 0.165 W/m k로 잣나무보다 높았다. 열전도율과 밀도는 정의 상관을 가진다고 볼 수 있다.

Table 3. Electric resistivities and resistances of quarter- and flat-sawn *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi* specimens

		<i>Pinus koraiensis</i>		<i>Larix kaempferi</i>	
		Quarter-sawn	Flat-sawn	Quarter-sawn	Flat-sawn
Relication		28	26	20	23
EMC (%)		13.0 ± 03	9.2 ± 03	13.1 ± 03	13.9 ± 03
Density (kg/m ³)		464 ± 26	411 ± 19	582 ± 27	588 ± 21
Electric resistivity (MΩ-cm)		2,044 ± 467	3,978 ± 3,420	2,207 ± 476	2,075 ± 897
Electric resistance (MΩ)	Longitudinal direction	1,002 ± 575	33,987 ± 18,484	1,070 ± 412	473 ± 139
	Radial and tangential direction	1,042 ± 461	76,784 ± 116,820	956 ± 292	564 ± 149

잣나무는 판목재의 열확산률이 정목재보다 높았으나 낙엽송은 정목재가 더 높았다. 수종 간 정목재를 비교하면 낙엽송이 잣나무보다 높았다.

3.5. 전기비저항과 전기저항

두 수종의 전기비저항은 t-검정 결과 모두 정목재와 판목재 간에 고도의 유의차를 나타냈다(Table 3). 그러나 그 차이는 수종별로 달랐다. 잣나무는 판목재가 큰 값을 나타냈으며 낙엽송은 정목재가 큰 값을 나타냈다. 한편 잣나무는 정목재와 판목재간 전기비저항의 차이가 큰데 반해 낙엽송은 적었다. 잣나무의 판목재의 낮은 밀도가 이 같은 차이를 나타내는 것 같다. 특히 잣나무 판목재의 표준편차는 매우 커서 측정치의 신뢰도가 낮다. 따라서 수종간 비교를 위해서는 각 수종의 정목재 값을 사용하는 것이 바람직하다.

전기저항은 전기비저항과 측정하는 방법이 다르지만 전기비저항과 같이 잣나무는 판목재, 낙엽송은 정목재의 측정치가 높았다. 잣나무 판목재의 전기저항은 정목재보다 33~70배 높은 값을 나타냈는데 이는 함수율에 의한 것보다 채취 부위가 다른 때문인 것 같다. 각 수종 정목재의 전기저항을 비교하면 수종간, 섬유방향과 섬유직각방향 간 유의차가 인정되지 않음을 알 수 있다.

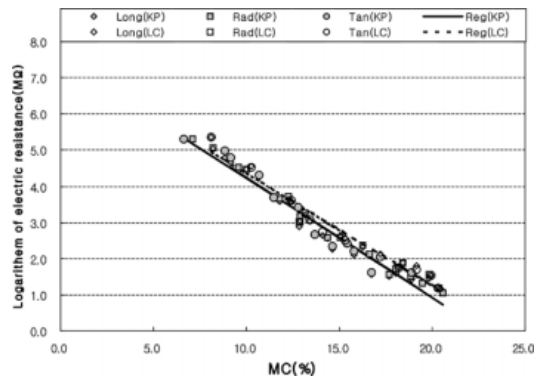


Fig. 3. Relationship between electrical resistance and moisture content in the longitudinal, radial and tangential directions of quarter- and flat-sawn *Pinus koraiensis* (KP) and *Larix kaempferi* (LC) specimens

3.6. 함수율에 따른 전기저항

잣나무와 낙엽송의 섬유방향, 섬유직각방향의 전기저항을 아래 Fig. 3에 표시하였다. 수종 내 방향별 차이가 거의 없어 전체 값에 대한 직선 회귀를 구하였다.

위 그래프의 회귀식을 정리하면 아래 표 4과 같다. 회귀식의 기울기는 잣나무가 낙엽송보다 크게 나타났으나, 그 차이는 매우 적다.

Table 4. Linear regressions between electrical resistance (R) and moisture content (MC) in the longitudinal, radial and tangential directions of quarter- and flat-sawn *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi* specimens

Species	Linear regression equation	R ²
<i>Pinus koraiensis</i>	log (R) = -0.3305 MC + 7.5355	0.9684
<i>Larix kaempferi</i>	log (R) = -0.3118 MC + 7.4829	0.9692

Table 5. Acoustic properties of *Larix kaempferi*, *Pinus koraiensis*

Species	Type		N_G	ρ (g/cm ³)	Q^{-1} ($\times 10^{-2}$)	E (10^{11} dyn/cm ²)	E/ρ (10^{11} dyn/cm ²)	$(\sqrt{E/\rho^3}/Q^{-1})$ (10^8)	$1/(\sqrt{\rho E}Q^{-1})$ (10^{-4})
<i>Larix kaempferi</i>	Quarter-sawn	Mean	20	0.544	1.199	1.024	1.881	0.679	3.604
		SD	0.4	0.026	0.160	0.124	0.193	0.108	0.414
	Flat-sawn	Mean	36.6	0.596	1.017	1.337	2.244	0.808	3.584
		SD	0.7	0.013	0.177	0.125	0.193	0.161	0.562
<i>Pinus koraiensis</i>	Quarter-sawn	Mean	22	0.414	1.002	0.942	2.273	1.251	5.487
		SD	0.5	0.011	0.215	0.058	0.123	0.240	0.937
	Flat-sawn	Mean	23	0.412	0.963	0.931	2.257	1.245	5.501
		SD	0.5	0.010	0.197	0.052	0.116	0.46	1.009

Notes; S.D. Standard deviation, Q^{-1} : Internal friction, N_G : Number of growth ring per cm, ρ : Density, E dynamic modulus of elasticity, E/ρ : Specific dynamic modulus of elasticity.

3.7. 밀도 및 동적 탄성률

피아노 향판용재의 선별기준으로 섬유방향의 음속이 크고, 적은 진동에도 명확하게 반응할 수 있고, 가볍고(저밀도), 통직목리로 연륜수가 cm당 4~8개가 적당하고, 웅이나 사주목리 등의 결점이 없는 것 등으로 알려져 있다(岡野, 1991; Buccur, 1995). 또한 좋은 향판용재로써의 조건은 섬유방향에 대한 비동적 탄성률의 값이 높고 내부마찰의 값이 낮은 것이 밝혀져 있다. 이러한 성질은 음향특성과 관련해서 음향교환율과 대응시켜 검토해 섬유방향에 대해서는 음향교환률의 값이 높은 것이 악기용재로 적합하다고 田中(1987), 矢野(1992) 등이 보고하였다.

Table 5에 낙엽송, 잣나무재의 밀도, 내부마찰, 동적 탄성률 및 음향교환효율 등을 나타내었다. Table 5와 Fig. 4, 5에서 보는 바와 같이 낙엽송, 잣나무 정목재 및 판목재의 평균 밀도는 각각 낙엽송 0.544 ± 0.026 , 0.596 ± 0.013 , 잣나무 0.414 ± 0.011 , 0.412

± 0.010 이다. 잣나무재의 밀도는 피아노용 악기용재로 많이 사용되고 있는 시트카 스프루스재의 값 0.427 (Kataoka, 1976)과 0.457 (변, 1997)과 비슷한 값을 나타내었으나 낙엽송재의 값은 시트카 스프루스재의 값보다 높은 값을 나타내었다.

낙엽송, 잣나무재 정목 및 판목재의 cm당 평균 연륜수는 각각 낙엽송 2.0, 3.6 잣나무 2.2, 2.3으로 낙엽송판목재의 연륜수가 많았지만 향판용재로 많이 사용되는 시트카 스프루스재보다는 적었다.

잣나무 정목 및 판목재의 동적탄성률 값은 변이 보고(변, 1997)한 시트카스프루스재의 1.274 ± 0.072 ($E \times 10^{11}$ dyne/cm²) 값보다도 훨씬 낮은 0.942 ± 0.058 , 0.931 ± 0.052 ($\times 10^{11}$ dyne/cm²)을 나타내었지만 낙엽송 정목재의 값은 시트카스프루스재의 값보다 낮은 1.024 ± 0.124 ($\times 10^{11}$ dyne/cm²)를 나타내었고 판목재는 1.337 ± 0.125 ($\times 10^{11}$ dyne/cm²)의 높은 값을 나타내었다.

또한 밀도와 동적 탄성률관계에서 밀도가 증가함

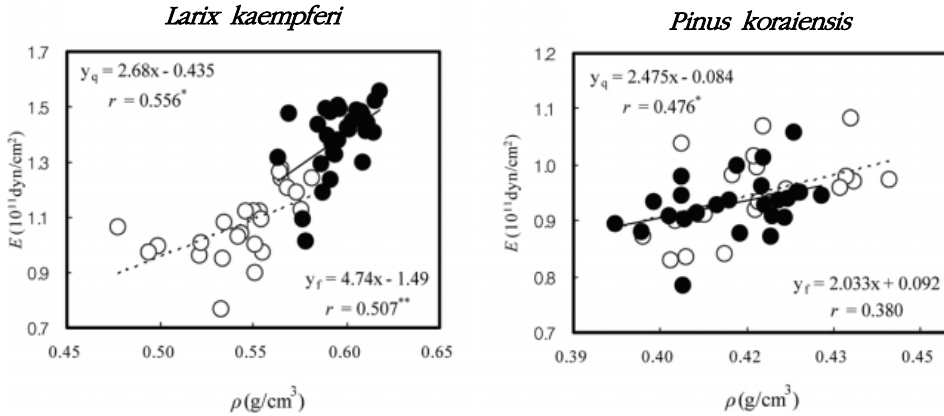


Fig. 4. Relationship between density (ρ) and dynamic modulus of elasticity (E).
 Legend; y_q (---, ○): Quarter-sawn, y_f (—, ●): Flat-sawn.

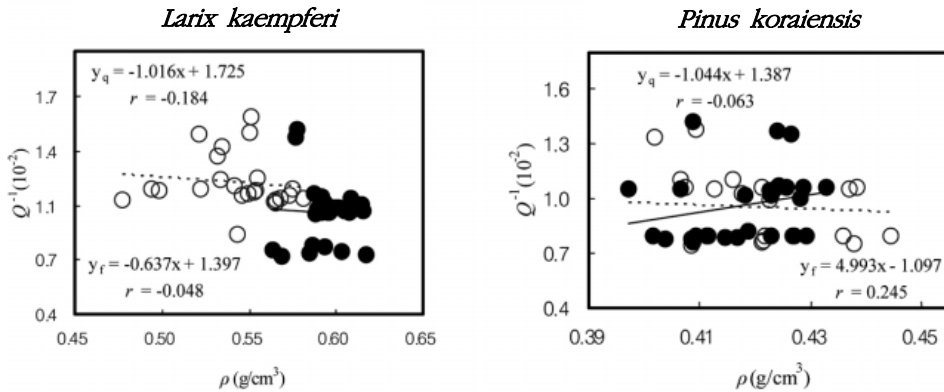


Fig. 5. Relationship between density (ρ) and internal friction (Q^{-1}).
 Legend; See legend in Fig. 4.

에 따라 동적탄성률이 증가하는 경향을 나타내었는데 이것은 Suzuki (1980), 洪(1985) 등의 연구 결과와 일치하였으나 잣나무 판목재는 유의성이 인정되지 않았다.

3.8. 내부마찰

Fig. 5에 밀도와 내부마찰과의 관계를 나타내었다. Table 5와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 낙엽송, 잣나무 정목 및 판목재의 내부마찰은 각각 낙엽송 1.184 ± 0.149 ($Q^{-1} \times 10^{-2}$), 0.976 ± 0.120 ($Q^{-1} \times$

10^{-2}), 잣나무 0.978 ± 0.187 ($Q^{-1} \times 10^{-2}$), 0.897 ± 0.123 ($Q^{-1} \times 10^{-2}$) 로 현재 약기재로 사용되고 있는 재료보다 높은 값을 나타내었다. 변(1997)은 시트카 스프루스 및 아가티스재의 내부마찰 값이 각각 0.816 ± 0.153 ($Q^{-1} \times 10^{-2}$), 0.848 ± 0.149 ($Q^{-1} \times 10^{-2}$)로 보고 하였다. 또한 Kataoka (1976)는 시트카 스프루스의 내부마찰 값이 0.635 ± 0.88 ($Q^{-1} \times 10^{-2}$)로 보고 하였다.

낙엽송, 잣나무 정목 및 판목재에서는 밀도와 내부마찰간에는 유의성이 인정되지 않아 일반적으로 밀도가 증가할수록 내부마찰이 감소하는 경향을 나타

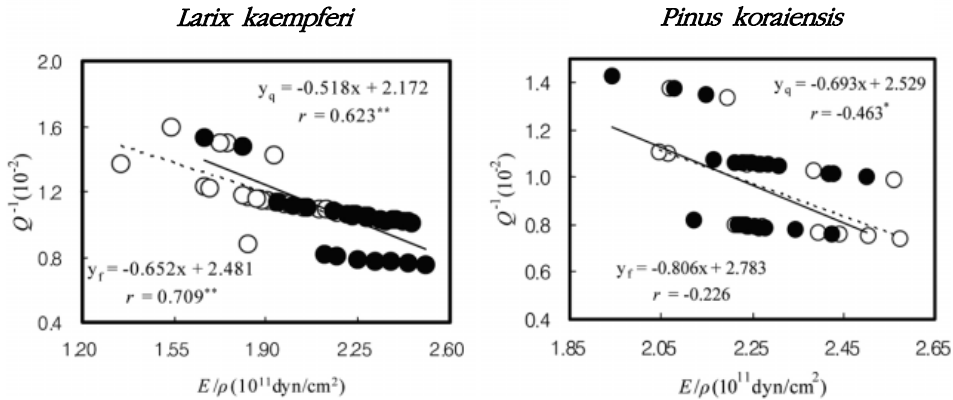


Fig. 6. Relationships between specific dynamic modulus of elasticity (E/ρ) and internal friction (Q^{-1}). Legend : See legend in Fig. 4.

낸다는 기존의 연구결과(홍, 1985; 矢野, 1992)와 배치되는 결과를 나타내었다. 이 결과는 연륜폭이나 밀도 등의 편차가 큰 것에 기인하는 것으로 생각된다.

Fig. 6에 내부마찰과 비동적 탄성률과의 관계를 나타내었다. 낙엽송, 잣나무 정목 및 판목재는 비동적 탄성률이 증가할수록 내부마찰이 감소하는 경향을 나타내어 Norimoto (1982)와 변(1997)이 약기용재의 물성연구에서 피아노 향판재의 선별에 대한 연구결과와 일치하였다. 그리고 일반적으로 약기용재를 선별할 때는 비동적 탄성률이 큰 것을 선별하는 것이 좋다고 알려져 있다.

3.9. 음향교환률

약기용재의 역할이 현으로부터 전달되는 진동의 증폭이라고 생각하면 약기용재에 있어서는 먼저 현의 진동을 음으로 교환하는 효율 즉 음향교환효율을 측정하면 약기용재의 특성을 추측할 수 있다. 그래서 음향교환효율의 지표로서 田中(1987)와 矢野(1992) 등이 음향교환률의 지표로서 $\sqrt{E/\rho^3}/Q^{-1}$ 의 값과 $1/(\sqrt{\rho E} \times Q^{-1})$ 의 값이 효과적인 것을 보고 하였다. 낙엽송, 잣나무 정목 및 판목재의 음향교환률 $\sqrt{E/\rho^3}/Q^{-1}$, $1/(\sqrt{\rho E} \times Q^{-1})$ 값은 각각 낙엽송 $0.679 \pm 0.108 (\times 10^8)$, $3.604 \pm 0.414 (\times 10^{-4})$ 및 $0.808 \pm$

$0.161 (\times 10^8)$, $3.584 \pm 0.562 (\times 10^{-4})$, 잣나무 $1.251 \pm 0.240 (\times 10^8)$, $5.487 \pm 0.937 (\times 10^{-4})$ 및 $1.245 \pm 0.246 (\times 10^8)$, $5.501 \pm 1.009 (\times 10^{-4})$ 로 잣나무가 낙엽송재보다는 높게 나타났지만 矢野(1992)가 발표한 바이올린용 시트카 스프루스재의 $\sqrt{E/\rho^3}/Q^{-1}$ 의 값과 $1/(\sqrt{\rho E} \times Q^{-1})$ $2.09 \pm 0.29 (\times 10^8)$, $7.48 \pm 1.12 (\times 10^{-4})$ 값과 비교하여 상당히 낮은 값을 나타내었다.

이상의 결과로부터 낙엽송 및 잣나무재를 음향적 성질을 향상시키기 위한 재질개량 등의 처리를 하지 않고는 약기용재로 사용 하는 것은 부적절할 것으로 생각된다.

4. 결 론

국산재의 응용물성연구 1차년도에 수행한 잣나무 낙엽송재의 수분흡착성 및 열적, 전기적, 음향적 성질 조사에서 얻은 결론은 아래와 같다.

- 1) 동일한 온습도 환경조건에서 낙엽송재의 흡착속도가 잣나무재에 비해 더 컸으며 평형함수율의 값은 잣나무재보다 낙엽송재가 약 15% 정도 더 높았으며, 차이가 나타남을 분명하게 알 수 있었다.
- 2) 흡착평형량은 상대습도의 증가와 더불어 서서히 점증하는 형태를 나타냈으며, 단분자층을 이룬

연후에 일정습도범위에서 안정되는 값을 나타내지 않고 지속적으로 물분자가 증착되어 모관응축에 이르는 현상을 나타내는 것으로 밝혀졌다.

3) 낙엽송과 잣나무재의 비표면적은 일반적인 값보다 약간 낮게 나타나긴 했지만, 흡탈착에 있어서 실내공간의 습도조절능력에는 문제가 없을 것으로 평가할 수 있겠다.

4) 잣나무 정목재와 판목재의 평균 열전도율은 각각 0.123 W/m k, 0.114 W/m k이고 낙엽송 정목재와 판목재는 각각 0.165 W/m k, 0.164 W/m k였다. 낙엽송이 잣나무보다 밀도가 높기 때문에 열전도율도 높은 것으로 이해된다.

5) 잣나무 정목재와 판목재의 평균 열확산률은 각각 0.162 mm²/s, 0.179 mm²/s이고 낙엽송 정목재와 판목재는 각각 0.173 mm²/s, 0.167 mm²/s였다. 정목재는 낙엽송, 판목재는 잣나무가 높으므로 경향이 일정하지 않다. 이는 정목재와 판목재의 채취부위가 달랐기 때문으로 생각되나 두 수종 간 값 차이가 크지 않으므로 열확산률이 비슷하다고 할 수 있다.

6) 정목재의 전기저항은 수종 간, 섬유방향과 섬유직각방향 간 유의차가 인정되지 않았다.

7) 전기저항과 함수율 회귀식의 기울기는 잣나무가 낙엽송 보다 크나 그 차이가 매우 적었다.

8) 낙엽송, 잣나무정목 및 판목재의 동적탄성률은 낙엽송 1.024, 1.337 ($\times 10^{11}$ dyne/cm²), 잣나무 0.942, 0.931 ($\times 10^{11}$ dyne/cm²)으로 일반 약기용재로 사용되는 수종에 비하여 낮은 값을 나타내었다.

9) 낙엽송, 잣나무정목 및 판목재의 내부마찰은 1.199 ($\times 10^{-2}$), 1.017 ($\times 10^{-2}$)과 1.002 ($\times 10^{-2}$), 0.963 ($\times 10^{-2}$)의 값으로 약기용재로 사용하고 있는 수종의 값보다 높았다.

10) 낙엽송, 잣나무정목 및 판목재의 음향교환률 $\sqrt{E/\rho^3}/Q^{-1}$, $1/(\sqrt{\rho E} \times Q^{-1})$ 값은 각각 낙엽송 0.679 ($\times 10^8$), 3.604 ($\times 10^{-4}$) 및 0.808 ($\times 10^8$), 3.584 ($\times 10^{-4}$), 잣나무 1.251 ($\times 10^8$), 5.487 ($\times 10^{-4}$) 및 1.245 ($\times 10^8$), 5.501 ($\times 10^{-4}$) 으로 약기용재로 사용하고 있는 수종의 값보다 낮았다.

참고문헌

- 강호양, 변희섭, 이원희, 박병수, 박정환. 2008. 국산재의 응용물성연구 I: 소나무의 수분흡착성 및 열적·전기적·음향적 성질. 목재공학. 36(3): 70~84.
- 변희섭, 홍병화. 1997. 피아노향판용 아가티스재의 동역학적 성질. 한국가구학회지. 8(1/2): 10~15.
- 홍병화. 1985. 響板用 오동나무재의 動力學的 性質. 목재공학. 13(3): 34~40.
- Brown, J. H. et al. 1963. Mechanism of electrical conduction in wood. Forest Products Journal. 13(19): 455~459.
- Brunauer, S. *The Adsorption of Gases and Vapours*. Clarendon Press, Oxford and Princeton University Press, Princeton (1945).
- Brunauer, S, Emmett, P. H, and Teller, E. 1938. J. Amer. chem. Soc. 60: 309~319.
- Bucur, V. 1995. Acoustic of Wood. CRC Press. P. 14~144.
- 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.
- 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.
- James, W. L. 1963. Electric moisture meters for wood. USDA Forest Service Research Note FPL-08, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- 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.
- Kollmann, F. and W. A. Cote. 1984. Principles of Wood Science and Technology. Springer-Verlag, New York.
- Lin, R. T. 1967. Review of the electrical properties of wood and cellulose. Forest Products Journal. 17(7): 61~66.
- Milota, M. and R. Gupta. 1996. Moisture meter correction factors for dahurian larch from the Russian Far East. Forest Products Journal. 46(6): 91~93.
- Milota, M. R. 1996. Calibration of moisture meters for western hardwood species. Forest Products

- Journal. 46(1): 39~42.
- 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.
- Olek W., J. Weres, and R. Guzenda. 2003. Effects of Thermal Conductivity Data on Accuracy of Modeling Heat Transfer in Wood. Holzfor-schung. 57(3): 317~325.
- 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.
- Shupe, Todd F, Q. Wu, and I. Hartley. 2002. Calibration of moisture meters for southern hardwoods. Forest Products Journal. 52(7/8): 59~62.
- Siau, J. F. 1984. Transport Processes in Wood. Springer-Verlag, New York.
- Skaar, C. 1964. Some factors involved in the electrical determination of moisture gradient in wood. Forest Products Journal. 14(6): 239~243.
- Steinhagen, H. P. 1977. Thermal properties of wood, green or dry, from -40 to 100°C. A literature review. USDA Forest Service General Technical Report FPL-9, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Suleiman, B. M., J. Larfeldt, B. Leckner, and M. Gustavsson. 1999. Thermal conductivity and diffusivity of wood. Wood Science and Technology 33: 465~473.
- 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.
- USDA Forest Service FPL. 1999. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Forest Prod. Soc., Madison, WI.
- Uyemura, T. 1960. Dielectrical properties of woods as the indication of the moisture. Rep. Bul. Govt. For. Expt. Sta. No.119: 95~172, Tokyo, Japan.
- Wenger, Gene and P. Bois. 1997. Evaluation of Electric Moisture Meters on Kiln-Dried Lumber. Forest Products Journal. 47(6): 60~62.
- 岡野 健. 1991. 木材の音響的性質. 木材學會誌. 37(11): 991~998.
- 高分子學會(編). 1972. 高分子と水分.(고분자와 수분) 幸書房(Japan).
- 鈴木孝臣, 金子克美. 1995. 非晶質固體中のナノスペースの構造解析. 비결정질 고체중의 나노스페이스의 구조해석). 表面. 33(3): 157~163 (Japan).
- 伏谷賢美. 1985. 木材の物理. 文永堂. 33~34 (Japan).
- 盛岡良雄. 1990. 多孔体の細孔徑分布と細孔の網目構造-吸着法による解釋-(다공체의 세공경분포와 세공의 망목 구조-흡착법에 의한 해석-). 表面. 28(8): 598~607 (Japan).
- 矢野浩之, 山田 正. 1989. ピアノ響板用シトカスプルー材放射方向の音響特性. 木材學會誌. 31(3): 222~230.
- 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.
- 田中千秋, 中尾哲也, 高橋 徹. 1987. 木材の音響特性. 木材學會誌. 33(10): 811~817.