

전통악기 음향판의 양면도장이 음향성에 미치는 영향^{*1}

鄭希錫^{*2} · 俞泰慶^{*2} · 權周瑢^{*2}

Effects of Double Surfaces Finishing on Acoustical Properties of Soundboard for Traditional Musical Instruments^{*1}

Hee-Suk Jung^{*2} · Tae-Kyung Yoo^{*2} · Joo-Yong Kwon^{*2}

ABSTRACT

Acoustical properties of chestnut and paulownia woods have been determined in four film thicknesses of oriental lacquering and cashew varnishing on double surfaces of soundboard to elucidate effects of finishing. Accelerometer was attached to the specimen at one third position from one end, and specimen was hit by the impact hammer at one third position from opposite end. Data were processed by vibration analyzer.

The ratio of axial-to-transverse sound velocity of untreated specimens of chestnut and paulownia were 3.25 and 5.34, respectively. Natural frequency, specific Young's modulus, acoustical coefficient, sound velocity, damping of sound radiation(DSR) and acoustical converting efficiency(ACE) decreased by oriental lacquering and cashew varnishing for both species. Damping of internal friction of chestnut decreased by oriental lacquering and cashew varnishing, but that of paulownia increased. Natural frequency, specific Young's modulus, acoustical coefficient, sound velocity, and DSR decreased with increased film thickness of both finishing materials. However, damping of internal friction and ACE showed irregular tendency with increased film thickness. Acoustical properties of cashew varnished chestnut specimen were better than those of oriental lacquered specimen. Acoustical properties of oriental lacquered paulownia specimen were better than those of cashew varnished specimen.

Keywords : natural frequency, specific Young's modulus, acoustical coefficient, damping of internal friction, sound velocity, damping of sound radiation, acoustical converting efficiency

^{*1} 접수 1998년 6월 30일 Received June, 30, 1998.

본 논문은 1997년도 한국과학재단 핵심전문연구과제(과제번호 971-0607-055-2) 지원에 의한 연구 결과의 일부임.

^{*2} 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

1. 서 론

목재는 특유한 음향성을 지니고 있기 때문에 각종 악기의 음향판으로 사용되어 왔다. 피아노와 바이올린 등의 서양악기에는 가문비나무와 단풍나무 등이 사용되어온 반면, 우리 고유의 가야금과 장구 등의 전통악기에는 오동나무와 밤나무가 사용되었다. 악기는 다양한 기후조건하에서 옥내의 어디서나 연주가 되는데, 목재는 흡습성 재료이기 때문에 주위의 습도와 온도가 변함에 따라 흡습과 방습에 의해 함수율이 변동될 수 있다. 이에 따라 동적영률과 밀도가 변동하므로 음질에도 영향을 줄 수 있고 악기의 수명도 단축되는 것으로 여겨진다. 따라서 좋은 재료를 선택하더라도 오랫동안 고유의 음질을 유지할 수 있는 처리가 필요하다. 서양악기용 음향판은 소재 자체의 음향성은 물론이고 도장과 각종 약제 주입 처리에 의한 흡습성의 예방, 치수안정성 및 음향성의 개량에 대한 연구가 이루어지고 있으나, 우리 전통악기의 음향판에 대해서는 오동나무 소재 자체의 음향성이 일부 밝혀져 있을 뿐, 도장처리에 의한 음향성의 변화에 관한 연구는 전무한 실정이고, 악기도 재래식 방법에 의해 단순하게 제작되어 이용되고 있다. 악기에 도장처리를 하는 것은 외관을 아름답게 하고 표면을 보호하는 데 목적이 있었으나, 내적으로는 음향판의 흡습성을 낮추고 치수안정성을 높이는 효과를 가져오게 되었다. 서양 악기의 경우에는 니스칠 등 방수처리를 하여 오랫동안 음질을 유지하고 있으나, 우리 전통악기는 고가의 제품일지라도 방수처리가 미흡하여 제작 후 수년이 지나면 음향성이 저하되고 있다. 그러므로 전통악기에 적합한 도장과 그 처리효과의 구명은 음향적으로나 경제적인 면에서 필요하다.

한편 우리는 뛰어난 칠기문화를 보유하고 있고, 옷칠은 주로 목기와 가구에 적용되어 왔었다. 옷의 도막은 산화반응으로 중합 경화되며 방습성, 광택도, 내구성 및 내약품성 등 여러 장점을 지니고 있고 특히 지나치게 brittle하지 않으며, 침투력이 강해 소재의 탄성을 증가시키는 것으로 알려져 있기 때문에 음향판에 옷칠을 적용한다면 어떠한 효과가 있을 것으로 기대되어진다. 또한 자연산 옷의 생산 감소로 인하여 카슈(cashew) 열매의 껍질에서 추출한 카슈는 옷의 대용으로 이용되어 왔다.

전통악기용 국산재의 음향성에 관하여 홍(1985)은 향판용 오동나무재의 동역학적 성질(동적영률, 내부

마찰, 종파속도 및 음향계수 등)을 보고하였고, 姜 등(1988)은 참오동나무 등 국내 활엽수 6수종의 전단탄성계수, 동적 영률과 내부마찰 값 등 음향적 특성을 보고하였다. 姜 등(1991)은 참오동나무의 섬유방향과 방사방향의 동적 영률과 내부마찰값 등의 음향판의 특성을 보고하였으며, 유 등(1997)은 함수율이 증가함에 따라 참오동나무재 음향판의 공진진동수와 음속은 감소하고, 내부마찰값은 증가함을 보고하였다. 도장처리가 향판재의 음향특성에 미치는 영향에 대한 보고로서 Schelleng(1968)은 온도와 습도가 목재의 음향성에 미치는 영향을 예방하기 위해서는 도장이 필요하나 과도한 도장은 진동을 억제시키고 공진 크기를 줄인다고 보고하면서 “not too soft, not too hard, not too much”라고 조언하였다. 小林 등(1975)은 향판용 목재에 폴리우레탄수지 등 4종의 도료를 도포한 진동실험의 결과, 도료의 종류와 도포량에 따라 음향성이 달라지고 이방성이 감소됨을 보고하였고, Minato 등(1995)은 바이올린 도장용 cellulose nitrate varnish와 shellac을 목재 스트립에 적용하여 도료가 경화하는 동안에 음향성이 변화함을 보고하였으며, 정 등(1998)은 밤나무와 오동나무의 옷과 카슈 편면도장처리에 의한 음향성의 변화를 보고하였다.

본 연구는 전통악기용 밤나무와 오동나무 음향판에 대하여, 옷과 카슈 양면도장처리함으로써 습도의 영향을 덜받고 음향성의 변화에 미치는 효과를 알고자, 이들 도료의 도포량에 따라 무처리재와 처리재 간의 고유진동수, 비동적영률, 음향계수, 내부마찰값, 음속, 음방사감쇠와 음전환효율 등의 음향성을 비교하여 도장에 의한 전통 악기의 개량성 여부를 평가하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험편의 조건

공시수종은 국산 밤나무(*Castanea crenata* S. et Z.)와 만주산 오동나무(*Paulownia* spp.)를 사용하였다. 횡단방향과 섬유방향 시험편의 형상은 그림 1과 같고, 횡단방향 시험편의 크기는 10×20×300mm(절선방향×섬유방향×방사방향)이고, 수량은 수종별로 10개씩 사용하였다. 또한 무처리, 옷과 카슈 도장처리 섬유방향 시험편의 크기는 횡단면이 10×20mm이고, 섬유방향의 길이가 400mm인 목리가 통직하고 겹결이

Table 1. Moisture content and density of specimens used.

Species	Specimen	Moisture content(%)	Density(g/cm ³)
Chestnut	Untreated	14.6(0.45)	0.59(0.035)
	Oriental lacquered	14.4(0.49)	0.59(0.034)
	Cashew varnished	14.6(0.41)	0.59(0.025)
Paulownia	Untreated	11.8(0.24)	0.29(0.026)
	Oriental lacquered	11.1(0.44)	0.30(0.019)
	Cashew varnished	11.5(0.32)	0.30(0.020)

* Values in parentheses refer to standard deviation.

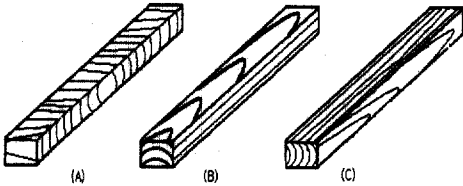


Fig. 1. Shape of specimen by grain direction.
(A): Specimen for transversal direction.
(B) and (C): Specimen for axial direction.

없는 것을 선별하여, 수종과 처리(무처리, 옷과 카슈도장처리)별로 각각 골은결(柁目)과 널결(板目) 5개씩 합계 10개씩 사용하였다. 이들 모든 시험편은 온도 20℃, 상대습도 65%인 평형습수율 12% 조건에서 항량에 도달할 때까지 조습처리하였다. 수종과 처리별 습수율과 밀도는 표 1과 같다.

2.2 도장처리

사용한 옷은 2등급의 정제옷으로서 밀도가 1.02g/cm³이고, 백등유와 5:1로 혼합한, 점도 121.5 cPs인 희석액을 사용하였으며, 카슈(cashew)는 동방카슈칠공업사에서 제조한 밀도 0.99g/cm³인 흑색 카슈를 신나와 5:1로 혼합한 점도 99.0 cPs인 희석액을 사용하였다.

시험편의 양면에 붓을 이용하여 옷과 카슈를 목리 방향으로 각각 1회 도포하고, 2회 도포부터는 1회 도포와 같은 방식으로 도장 횟수 4회까지 반복 도포하였다. 평균 도막두께는 도포된 도료의 무게를 도료의 비중과 도포면적으로 나누어 구하였고, 도포횟수별 도막두께는 표 2와 같다. 옷 도장처리재는 온도 20℃와 상대습도 90%의 항온항습기에서 24시간 양생한 후, 전술한 평형습수율 조건으로 조습처리하여 음향성을 측정하였다.

Table 2. Film thickness by number of finishing application.

Species	Finishing material	Film thickness(μm)			
		One	Two*	Three*	Four*
Chestnut	Oriental lacquer	58	108	136	162
	Cashew varnish	48	78	154	176
Paulownia	Oriental lacquer	64	126	168	200
	Cashew varnish	60	96	174	194

* Cumulative film thickness by No. of finishing application.

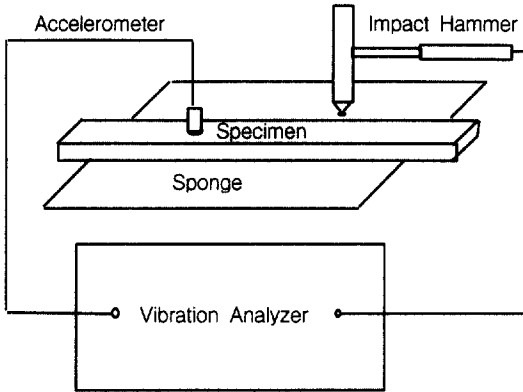


Fig. 2. Diagram of apparatus for vibration analysis.

2.3 음향성

무처리재와 도장처리재의 음향성은 그림 2와 같이 시험편의 한쪽 끝에서 1/3지점에 가속도계를 부착하고, 다른쪽 1/3지점을 충격해머로 가진하여 진동분석기로 1차공진진동수와 자유진동감쇠곡선을 구한 데이터를 이용하여 비동적영률, 음향계수(K), 내부마찰, 음속, 음방사감쇠(damping of sound radiation) 및 음전환효율(acoustic converting efficiency) 등을 다음식 (1)~(6)과 같이 구하였다.

$$\text{비동적영률}(\text{dyne/cm}^2) = \left(\frac{2lf_0}{n}\right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{음향계수}(K) = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{내부마찰}(Q^{-1}) = \frac{\alpha T}{\pi} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{음속}(\text{m/s}) = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{음방사 감쇠}(\text{cm}^5/\text{dyne} \cdot \text{sec}^3) = V/\rho \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{음전환 효율}(\text{cm}^5/\text{dyne} \cdot \text{sec}^3) = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho^3}}}{Q^{-1}} \dots\dots\dots (6)$$

- l : 시험편의 길이 (cm) f_0 : 공진진동수 (Hz)
- n : 공진진동수의 차수 E : 동적 영률(dyne/cm²)
- ρ : 시험편 기건밀도(g/cm³) Q^{-1} : 내부마찰
- T : 진동의 주기(sec) α : 자유감쇠 방정식의 계수
- V : 음속(m/s)

3. 결과 및 고찰

3.1 수종과 목리방향별 음향성의 변화

밤나무와 오동나무 무처리재의 목리 방향에 따른 음향성은 그림 3에 나타난 것과 같이, 밤나무의 섬유방향과 횡단방향의 공진진동수는 각각 685와 374Hz, 비동적영률은 각각 2.88×10^{11} 과 0.27×10^{11} dyne/cm², 음향계수는 각각 377과 128, 내부마찰값은 각각 3.64×10^{-2} 와 6.31×10^{-2} , 음속은 각각 5359와 1647m/s, 음방사감쇠는 각각 0.913×10^6 과 0.300×10^6 cm⁵/dyne · sec³, 음전환효율은 각각 2.08×10^7 과 0.36×10^7 cm⁵/dyne · sec³으로 나타났다. 오동나무의 섬유방향과 횡단방향의 공진진동수는 각각 740과 247Hz, 비동적영률은 각각 3.34×10^{11} 과 0.12×10^{11} dyne/cm², 음향계수는 각각 1168과 246, 내부마찰값은 각각 3.86×10^{-2} 과 6.24×10^{-2} , 음속은 각각 5760과 1078m/s, 음방사감쇠는 각각 1.984×10^6 과 0.403×10^6 cm⁵/dyne · sec³, 음전환효율은 각각 2.94×10^7 과 0.34×10^7 cm⁵/dyne · sec³으로 나타났다.

두 수종간의 음향성을 비교하면 횡단방향의 공진진동수는 밤나무가 더 높고, 섬유방향의 경우에는 오동나무의 것이 더 높게 나타났다. 양방향에서 음향계수는 오동나무가 높은 값을 나타내었다. 또한 횡단방향의 내부마찰은 밤나무가 더 적은 반면, 섬유방향의 경우는 오동나무가 더 적었으며, 두 수종 모두 횡단방향의 내부마찰에 의한 감쇠가 컸었다. 밤나무와 오동나무 섬유방향 대 횡단방향 간의 음속의 비는 각각 3.25와 5.34로 나타났다. 양방향에서 음방사감쇠는 오동나무가 높게 나타났으며, 섬유방향의 음전환효율은 오동나무가 높게 나타났다. Tsoumis(1991)는 가문비나무의 바이올린 앞음향판은 섬유방향 대 횡단방향의 음속의 비율이 클수록 좋고, 단풍나무의 경우 음속의 비율이 작을수록 뒷 음향판에 더 좋다고 제시한 바에 따르면, 오동나무는 밤나무보다 앞음향판에, 그리고 밤나무는 오동나무보다 뒷음향판에 적절한 것으로 평가되었다.

3.2 수종별 도장처리에 의한 음향성의 변화

밤나무의 무처리재, 윗과 카슈 도장처리 횡수(도포량)별 음향성의 변화는 그림 4와 같이, 윗 도장처리재의 공진진동수는 2회 도장까지 감소하다가 3회 도장에서 증가한 후 4회 도장에서 다시 감소하였는데 도포량이 증가함에 따라 일반적으로는 감소하는

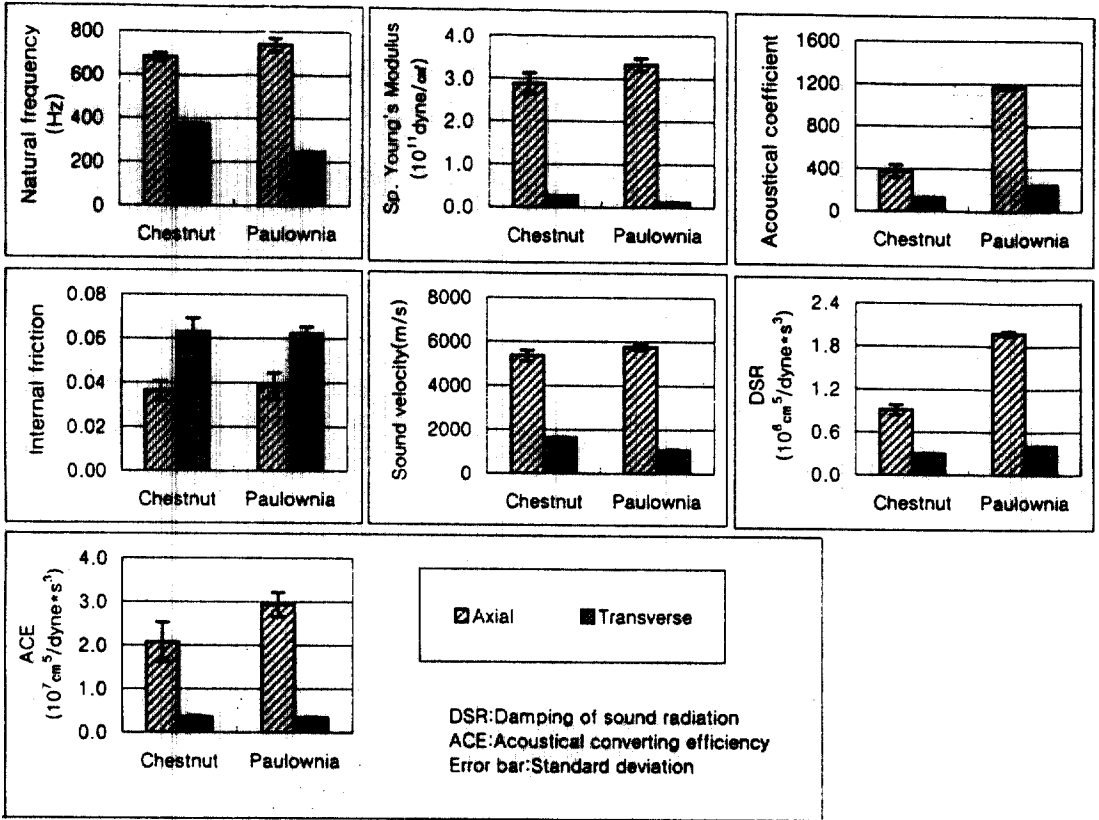


Fig. 3. Acoustical properties by grain direction for chestnut and paulownia woods.

향을 나타내었다. 카슈 도장처리재의 경우도 옷 도장처리재의 것과 유사한 경향을 나타내고 있으나, 옷 도장처리재의 것보다 감소 정도가 완만하였다.

옷 도장처리재의 비동적영률은 일반적으로는 무처리재에 비하여 감소하는 경향을 나타내었는데, 1회 도장 이후 2회 도장에서 급격히 2.64×10^{11} dyne/cm² 수준으로 감소하였다가 3회 도장에서 증가한 후 4회 도장에서 약간 감소하였다. 카슈 도장처리재의 경우에는 1회 도장에서 약간 증가하였으나 2회 도장부터는 도포량이 증가함에 따라 완만히 감소하는 경향을 나타내었다.

옷 도장처리재의 음향계수는 2회 도장에서 359 수준으로 감소하였다가 3회 도장에서 약간 증가한 후 4회 도장에서 다시 감소하였다. 그러나 카슈 도장처리재의 경우에는 도포량이 증가함에 따라 거의 직선적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

옷 도장처리재의 내부마찰값은 1회 도장처리재는 무처리재의 경우와 비슷하였으나 2회 도장에서 4.68×10^{-2} 로 최대값을 나타내었고, 2회 도장에서부터 감소하기 시작하여 4회 도장에서 3.13×10^{-2} 로 최소값을 나타내었다. 카슈 도장처리재는 1회 도장에서 감소하였으나 그 이후에는 옷도장처리재와 유사한 경향을 나타내었다.

옷 도장처리재의 음속은 2회 도장에서 5113% 수준으로 감소하였다가 3회 도장에서 증가한 후 4회 도장에서는 약간 감소하였다. 카슈 도장처리재의 경우에는 1회 도장에서 5363%로 무처리재의 것보다 약간 증가하였다가 2회 도장부터는 완만히 감소하는 경향을 나타내었다.

옷 도장처리재의 음방사감쇠는 2회 도장에서 0.870×10^6 cm⁵/dyne·sec³까지 감소하여 최소값을 나타내었다가 3회 도장에서 증가한 후 다시 감소하였다.

전통악기 음향판의 양면도장이 음향성에 미치는 영향

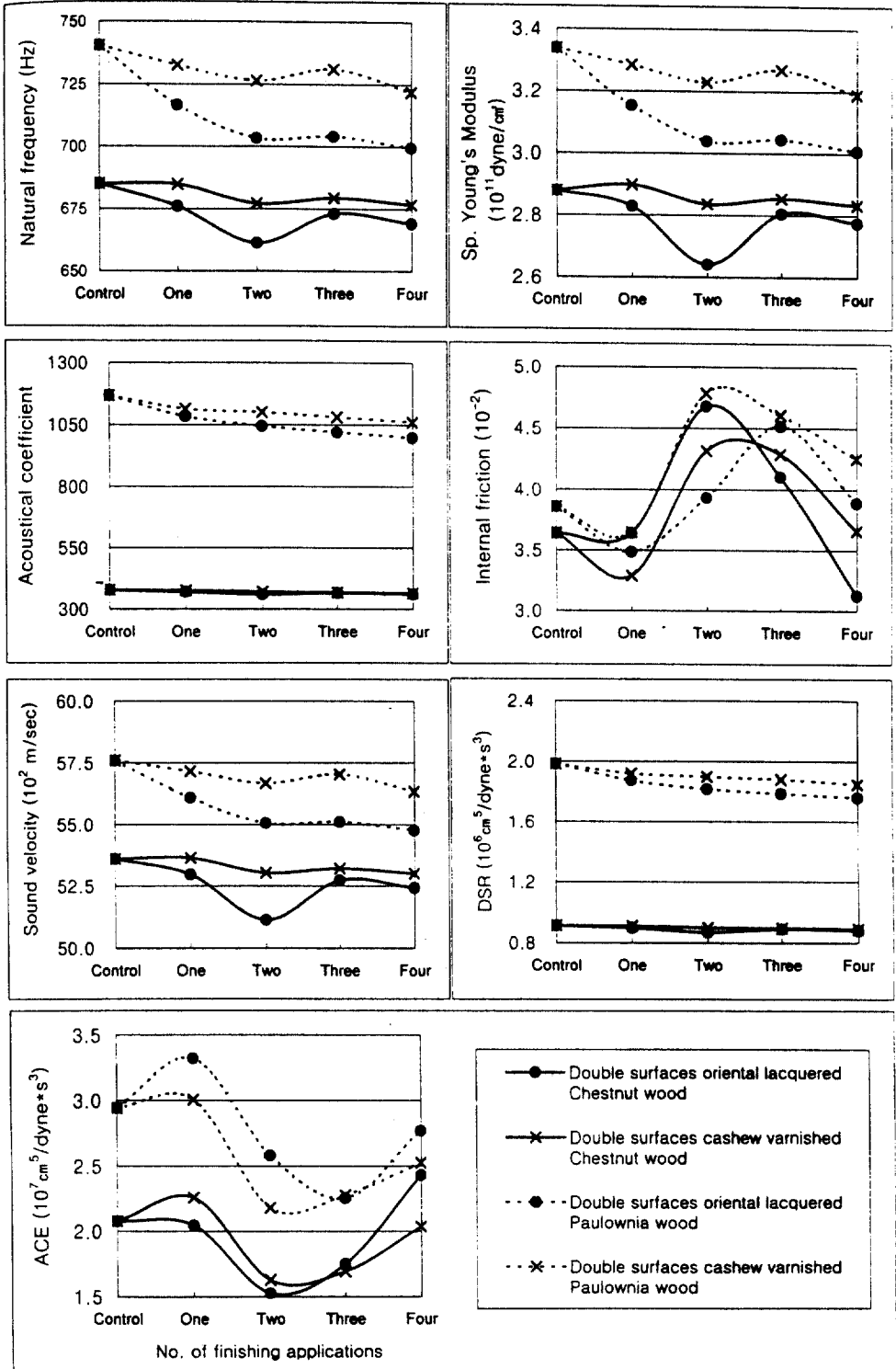


Fig. 4. Acoustical properties by number of finishing application for chestnut and paulownia woods.

카슈 도장처리재의 경우는 도포량이 증가할수록 감소하여 4회 도장에서 최소값을 나타내었다.

옷 도장처리재의 음전환효율은 2회 도장에서 $1.53 \times 10^7 \text{cm}^5/\text{dyne} \cdot \text{sec}^3$ 까지 감소하여 최소가 된 후 3회 도장부터 증가하여 4회 도장에서 $2.43 \times 10^7 \text{cm}^5/\text{dyne} \cdot \text{sec}^3$ 으로서 무처리재의 것보다 높아졌다. 카슈 도장처리재의 경우는 1회 도장에서 무처리재의 경우보다 높았으나 2회 도장에서부터 감소하였다가 3회 도장부터 증가하였다. 본 연구 결과는 정 등(1998)이 밤나무 옷 편면 1회 도장처리재의 음향계수와 음방사감쇠가 급속히 감소한 이후 거의 일정하게 유지되었고, 카슈처리재는 거의 변화를 나타내지 않았다는 보고 내용을 제외한 다른 음향적 성질은 대부분 부합하고 있었다.

오동나무의 옷과 카슈 도장처리 횟수별 음향성의 변화는 그림 4와 같이, 옷 도장처리재의 공진진동수는 도포량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 카슈 도장처리재도 옷 도장처리재의 것과 유사한 경향을 나타내었으나 감소 정도가 완만하여 모든 도장횟수에서 옷도장처리재보다 높은 값을 나타내었고, 3회 도장에서 약간 증가한 후 다시 감소하는 경향을 보였다.

옷 도장처리재의 비동적영률은 2회 도장까지 감소하다가 3회 도장에서 약간 증가한 후 4회도장에서 다시 감소하였다. 카슈 도장 처리재의 경우에도 옷 도장처리재의 것과 유사한 경향을 나타내었으나, 옷 도장 처리재의 것보다 감소 정도가 완만하였다.

옷 도장처리재의 음향계수는 옷 도포량이 증가할수록 곡선적으로 감소하였고, 카슈 도장처리재의 경우에도 같은 경향을 나타내었는데, 옷 도장 처리재보다 감소 정도가 완만하였다.

옷 도장처리재의 내부마찰값은 1회 도장에서 최소값을 나타내었으며, 2회 도장부터는 증가하여 3회 도장에서 최대가 되었다가 4회 도장에서 무처리재와 비슷한 수준이 되었다. 카슈 도장처리재의 경우에는 1회 도장에서 최소값을 나타내었고, 2회 도장에서 최대가 된 후 계속 감소하였다.

옷 도장처리재의 음속은 도포량이 증가할수록 음속이 감소하였고, 카슈 도장처리재의 경우에도 비슷한 경향을 나타내었으나 옷 도장처리재보다는 감소 정도가 완만하였다.

옷 도장처리재의 음방사감쇠는 도포량이 증가할수록 곡선적으로 감소하였다. 그러나 카슈 도장처리재는 옷 도장처리재보다 완만하게 감소하였다.

옷 도장처리재의 음전환효율은 1회 도장에서 $3.32 \times 10^7 \text{cm}^5/\text{dyne} \cdot \text{sec}^3$ 로서 최대로 나타났으며, 3회 도장까지 감소하였다가 4회 도장에서 다시 증가하였다. 카슈 도장처리재의 경우에는 1회 도장에서 $3.01 \times 10^7 \text{cm}^5/\text{dyne} \cdot \text{sec}^3$ 로서 무처리재의 것보다 높게 나타났으나, 2회 도장에서 크게 저하된 이후 3회 도장부터 증가하였다. 본 연구 결과는 정 등(1998)이 오동나무 옷 편면도장처리재의 공진진동수, 비동적영률, 음향계수, 음속 및 음방사감쇠는 카슈 편면도장처리재의 것보다 모든 도포량에서 더 높게 나타났다는 보고 내용을 제외한 기타 음향적 성질은 비슷한 경향을 나타내었다. 종합적으로 고찰할 때, 옷과 카슈 도장에 의한 밤나무와 오동나무의 음향성은 유지 또는 저하되는 경향을 나타내었으나 수분관리 측면에서 보면 유리할 것으로 여겨진다. 또한 양면 도장 효과는 편면 도장의 경우보다 우수하였으며, 밤나무의 카슈 도장처리재는 옷 도장처리재보다 우수하였으나 오동나무의 경우는 옷 도장처리재가 우수하였다.

4. 결 론

밤나무와 오동나무의 섬유방향과 횡단방향 음속의 비율은 각각 3.25와 5.34로서 오동나무는 전통악기의 앞음향판에, 그리고 밤나무는 뒷음향판에 적절한 것으로 평가되었다.

이들 수종의 옷과 카슈 도장처리재의 공진진동수, 비동적영률, 음향계수, 음속, 음방사감쇠와 음전환효율은 무처리재의 것보다 감소하였고, 밤나무의 내부마찰은 감소하였으나, 오동나무의 경우에는 증가하였다. 또한 도포량이 증가함에 따라 공진진동수, 비동적영률, 음향계수, 음속 및 음방사감쇠는 감소하는 경향을 나타내었고, 내부마찰과 음전환효율은 일정한 경향을 나타내지 않았다. 도료간에 있어서 카슈 도장처리재는 옷 도장처리재보다 공진진동수, 비동적영률, 음향계수, 음속, 음방사감쇠가 우수하였으며, 내부마찰과 음전환효율에 있어서는 저하되었다.

밤나무 카슈처리재의 음전환효율은 옷처리재의 것보다 우수하였으나 오동나무의 경우 반대 경향을 나타낸 것을 제외한 기타 음향적 성질은 수종간에 유사한 경향을 나타내었다. 수종간에 있어서 음향성의 변화는 오동나무가 밤나무보다 더 뚜렷하였고, 도료간에 있어서는 옷칠처리재가 카슈처리재보다 더 뚜렷하게 나타났다. 밤나무와 오동나무의 음향성은 옷

전통악기 음향판의 양면도장이 음향성에 미치는 영향

과 카슈처리에 의해 유지 또는 저하되는 경향을 나타내었으며, 밤나무의 카슈 도장처리재는 옷 도장처리재보다 우수하였으나 오동나무의 경우는 옷 도장처리재가 우수하였다.

참 고 문 헌

1. Minato, K., T. Akiyama., R. Yasuda, and H. Yano. 1995. Dependence of Vibrational Properties of Wood on Varnishing during Its Drying process in Violin Manufacturing. *Holzforschung*. 49 : 222~226
2. Schelleng, J.C. 1968. Acoustical Effects of Violin Varnish. *J. Acoust. Soc. Am.* 44: 1175~1183
3. Tsoumis, G. 1991. Science and Technology of Wood. Van Nostrand Reinhold: 204~207
4. 小林 純・監倉高義. 1975. 響板用木材の振動特性に及ぼす塗装の影響. *木材工業*. 30(9): 400~402
5. 姜旭・鄭希錫. 1988. 響板用慣行樹種과代替可能樹種の自由振動的性質에 관한研究. *목재공학*. 16(3): 48~64
6. 姜春遠・鄭希錫. 1991. 振動試驗에 의한代替響板樹種の音響的性質의評價에 관한研究. *목재공학*. 19(1): 71~80
7. 정희석・유태경・권주용. 1998. 전통악기 음향판의 편면도장에 의한 음향성의 변화. *한국목재공학회 '98학술발표논문집*: 102~107
8. 유태경・정희석. 1997. 함수율과 밀도가 참오동나무재의 음향특성에 미치는 영향. *목재공학*. 25(2): 61~66
9. 홍병화. 1985. 響板用 오동나무材의動力學的性質. *목재공학*. 13(3): 34~40