

유럽産 바이올린用材의 比重과 年輪幅이 素材의 音響的 성질에 미치는 영향*1

鄭雨陽*2 · 洪秉和*3

Effect of specific gravity and annual ring width on the acoustical
properties of European lumber used in violin making*1

Woo-Yang Chung*2 · Byung-Wha Hong*3

ABSTRACT

This study was carried out to analyze the relationship between basic physical properties and acoustical characteristics of imported violin wood and to offer the information on raw material procurement and incoming-material quality control to domestic violin makers which have purchased most raw materials from European exporting countries at high expense.

Equilibrium moisture content of European spruce with lower specific gravity after the prolonged storage was rather higher than that of European maple with higher specific gravity. The specific gravity of spruce increased with decreasing annual ring width, however, that of maple decreased with decreasing ring width due to the relatively smaller portion of latewood in narrower annual ring. Increasement in specific gravity enhanced the dynamic Young's modulus of both wood species, but influenced the vibration energy loss by internal friction differently between two species. For dynamic MOE, quarter-sawn spruce was higher than the flat-sawn, but maple showed the reverse directional characteristics.

Consequently, it would be well for violin makers to establish the standard for materials and quality control system to assure the quality of their violin products.

Keywords : Violin, Acoustics, Quality control, Specific gravity, Annual ring width, Resonance frequency, Internal friction. European spruce, European maple

*1 本 研究는 産業資源部 施行 '98 工業基盤技術開發事業에 의한 研究費支援에 의해 수행되었음.

*2 全南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

*3 慶尙大學校 農科大學 College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-702, Korea

1. 緒 論

바이올린은 비교적 부가가치가 큰 목제품인 擦絃樂器類(bow instruments)중에서도 음악애호가들의 관심과 사랑을 가장 많이 받는 악기로서 전세계적으로 널리 보급되어온 高級文化製品이다. 16-17세기에 만들어져 오늘날까지도 여전히 그 명성을 유지하고있는 Stradivarius, Amati, Guarnerius 등 이른바 '名器'들이 지니고 있는 아름다운 외관과 신비한 音質의 비밀은 21세기를 눈앞에 둔 오늘날까지 수많은 연구자 및 과학자들의 노력에 불구하고 그 실체가 완전히 드러나지 않고 있다. 뿐만 아니라 그러한 名器들의 뒤를 잇는 명품의 출현이 아직까지 이루어지지 않고 있는 바, 이에 대해서는 良質의 素材 및 精確한 加工의 어려움이나 제작기법의 단절 등 그 원인이 다양하게 거론되고 있다.(Bonamini 등, 1991; Bucur 등, 1992)

美國特許 및 相關文헌에 의하면 바이올린製品의 音質 및 그 永續性은 木種別 素材, 胴體구성 및 마감도료의 음향특성 등에 의해 좌우되는 것으로 알려져 있다. 즉, 바이올린 제조업자는 樂器特有의 음향특성을 고려한 胴體設計에 의거하여, 良質의 素材선정과 精確한 部材加工 및 組立 그리고 적합한 표면도장에 이르기까지의 全工程에 걸쳐 완벽한 목재가공기술을 보유해야하며 이와 병행하여 時宜適切하고 체계적인 品質관리를 수행해야만 원하는 제품을 생산할 수 있게된다.

국내에서 만들어지고 있는 바이올린제품의 등급은 초보자용으로 기계에 의해 대량생산되는 工場製品, 제한적인 기계사용을 거친 후, 숙련공에 의해 한정된 수량만큼 제조되는 半手工品 그리고 전문교육을 받은 숙련된 匠人(masters)에 의해 제작되는 手製作品 등 크게 3등급으로 분류할 수 있다. 1950년대 후반에 가내공업 형태로 시작된 바이올린 생산공장들은 1980년대의 수출호조로 전성기를 구가해 왔으나 1990년대 중반이후 인건비의 상승등 내부요인과 저가의 수입품의 유입 등 외부요인의 복합작용으로 기업경쟁력을 상실한 상태이며 手製作品 역시 외제악기를 선호하는 매니아들의 고질적인 소비패턴과 IMF 외환위기 이래 불어닥친 原資材가가의 앙등으로 인해 어려움

을 겪고 있는 바, 이렇게 악화된 바이올린제조업체 및 手製作者들의 경영여건을 타개하기 위해서는 우선 바이올린 제품의 品質향상을 통한 생산성의 제고가 필수적일 것이다.

이에 本연구에서는 國內 바이올린 제조업체 및 手製作品제작자들로 하여금 자신들이 생산하는 바이올린製品에 대한 品質保證(Quality Assurance)을 확신시키는 品質管理體系(quality control system) 구축할 수 있게 하기 위한 첫 단계로서 바이올린 주요부재용 유럽産 素材의 함수율과 年輪密度를 조사하고 그에 수반된 音響특성의 변화양상을 구명함으로써 바이올린 제조현장에서의 최종제품의 品質효과적 受入資材(incoming material)관리를 위한 정보를 제공코자하였다.(Bucur, 1988; Dunlop, 1989; Dunlop 등, 1991)

2. 材料 및 方法

前板(front plate) 및 背板(back plate)등 部材의 두께가 매우 얇은 바이올린용 素材로는 일반적으로 고지대, 추운 날씨, 척박한 땅에서 자란 목재가 共鳴특성이 좋고, 사용중 各種응력등에 강한 특성을 지녀 유리하며, 또한 팽팽한 絃引張力에 견디기 위해서는 인공건조재보다는 천연건조재(8-10년)가 좋은 것으로 알려져 있다.(Fryxell, 1990; Haines, 1979)

Table 1은 바이올린의 部材別 주요기능 및 소재 특성을 나타내고 있는 바, 本연구에서는 강원도所在 바이올린業體로부터 前板(front plate)과 背板(back plate)등 바이올린의 主要部材용재인 유럽産 가문비나무(*Picea spp.*)와 단풍나무(*Acer spp.*) 素材(flitch木)를 구입하여 1cm(T) x 2cm(R) x 30cm(L) 크기의 음향특성 측정용 시편<楛目시편>을 300개씩 조제하여 각각 함수율, 비중 및 平均年輪폭을 조사한 후, 연륜폭에 따라 저, 중, 고밀도 그룹별로 구분하여 음향적 특성을 측정하였다. 또 연륜방향에 따른 음향특성의 차이를 구명하기 위해 兩樹種에 대해 1cm(R) x 2cm(T) x 30cm(L) 규격의 시편<板目시편> 100개 썩을 추가로 조제하여, 동일한 요령으로 실험하였다.

Table 1. Main function and material of the wooden parts of violin

Part	Function	Material
Front plate - arching - hollowing - sound hole - purfling	primary resonating vibration - to resist to lateral push and distribute it(aesthetic) - different thickness accord. to wood density - to communicate inside air and affect flexibility(pattern) - to protect wear and crack continuation(aesthetic)	Spruce
Back plate	transmitted resonating vibration	Maple
Rib(6)	vibration transmission & secondary vibration	Maple
Neck	tend to warp and twist when subjected to moisture	Maple
Bass bar	to allow right foot of bridge to displace larger area of the front when amplifying the lower notes and reinforce the belly	Spruce
Sound post	to reinforce the belly on the treble side, to affect the vibrational behavior and to counteract the force from string	Spruce
Scroll	no real function, except maybe to hang it up by(aesthetic)	Maple
Bridge	to support the strings and to transmit vibrations	Maple
Finger board	to provide surface to stop the string against and affect whole instrument resonance with own vibrating	Ebony
Block (end, corner)	remain as a structural reinforcement on the interior	Spruce Madica
Lining(12)	good joint & strengthen rib structure	Basswood

音響특성은 兩端자유진동법을 적용, 一端은 勵振하고 다른 一端은 檢出하는 공진법에 따라 發振器出力과 檢出器출력을 각각 陰極線 오실로스코프에 연결하여 발진기의 勵振주파수를 낮은 쪽에서 점차 높은 쪽으로 올려 檢出器出力이 최대의 共振曲線을 그릴 때에 共振周波數(f_0)를 측정하여 斷面補正式 <식(A)>에 의해 보정한 후, 다시 <식(B)>에 의해 動的 영률을 계산하였으며, <식(C)>에 의해서 내부마찰을 계산하였다. (Fig. 1 및 Table 2 참조)

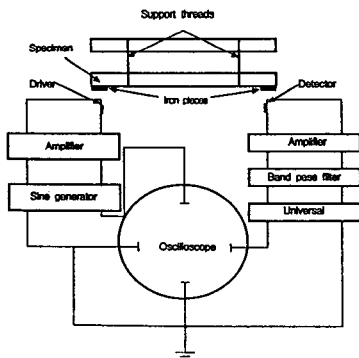


Fig. 1 Block diagram of acoustical experiment for violin wood specimens.

Table 2. Formulas for calculation of dynamic Young's modulus and internal friction

Formula description	definition
(A) $f = f_0(1 + \alpha a^2/L^2)$	α : 8.2 (fixed number accord. to vibration type) a : specimen thickness L : specimen length
(B) $E = 48 \pi^2 \rho L^4 f^2 / m^4 a^2$	ρ : specific gravity of specimen m : 4.73 (constant for basic vibration)
(C) $Q^{-1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta E}{E} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta f}{f_0}$	Δf : half width of resonant curve

3. 結果 및 考察

3. 1. 소재별 함수율, 비중 및 연륜폭의 분포
바이올린 제조업체에서 약 3년전에 氣乾상태로 수입하여 簡易乾燥場(dry shed)에서 보관중이던 유럽産 가문비나무 및 단풍나무 시편 각각 300개에 대한 함수율, 비중 및 연륜폭의 측정 결과는 아래

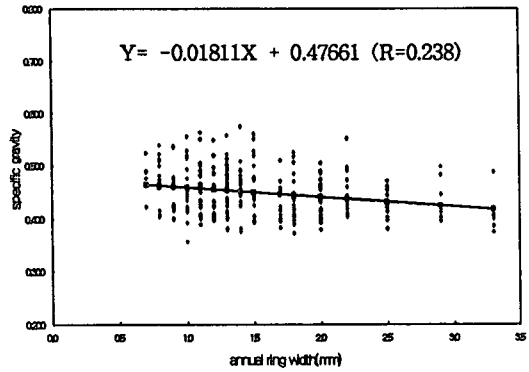
Table 3과 같다. 표에 의하면 같은 大氣條件에서 보 관되어 왔음에도 불구하고, 가문비나무가 단풍나무에 비해 평균함수율이 약 2% 정도 높은 것으로 나타났 는 바, 이는 저비중재인 가문비나무가 단풍나무에 비해 상대적으로 흡착 표면적이 큰 데에 기인한 것 으로 판단된다.(Fryxell, 1990) 한편 함수율이나 비 중은 변동계수가 10% 이내로 매우 안정된 분포를 나타내었으나 평균연륜폭의 變動(CV: 40% 내외)은 매우 크게 나타남으로써 바이올린用 소재의 품질 평가에 있어 주요한 변이인자가 될 것으로 사료되 는 바이다.(Bucur, 1987; Caldersmith, 1988)

Fig. 2는 소재의 年輪幅과 비중과의 관계를 나타 내고 있는 바, 가문비나무의 경우 연륜폭이 증가 함에 따라 비중이 감소하고 있으나 단풍나무는 年輪幅이 증가함에 따라 오히려 비중이 증가함을 알 수 있다. 이는 침엽수의 경우 일반적으로 연륜폭 이 커지면 추재율이 상대적으로 적어지지만 활엽 수 특히 산공재인 경우 상대적으로 오히려 추재율 이 증가한 데에 기인한 것으로 판단된다.

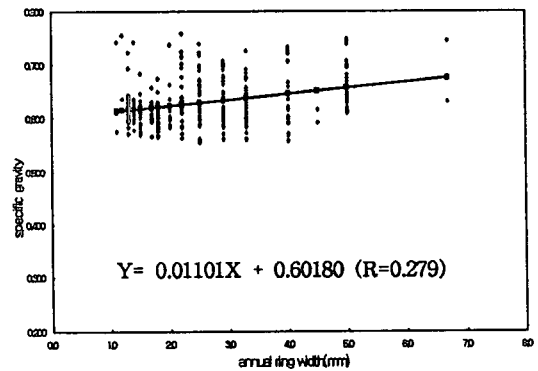
3. 2. 소재의 비중과 음향적 특성과의 관계

Fig. 3은 유럽産 가문비나무와 단풍나무의 비중 변화에 의한 동적탄성계수(dynamic MOE)를 나타 내는 그림으로 가문비나무의 경우 비중이 단풍나 무에 비해 상당히 낮았음에도 불구하고, 평균 동적탄 성계수가 단풍나무의 그것에 비해 결코 낮지 않으며 兩樹種 공히 비중이 증가함에 따라 소재의 동 적탄성계수가 꾸준히 증가하고 있음을 볼 수 있 다. 특히 가문비나무는 상관계수가 0.8을 상회할 정도로 매우 높은 상관관계를 나타냄으로써 높은 탄성도가 요구되는 바이올린의 前板用 소재임을 감안할 때, 비중에 대한 정밀한 품질관리가 요구

된다 할 것이다.(Müller, 1986)



(a) European spruce

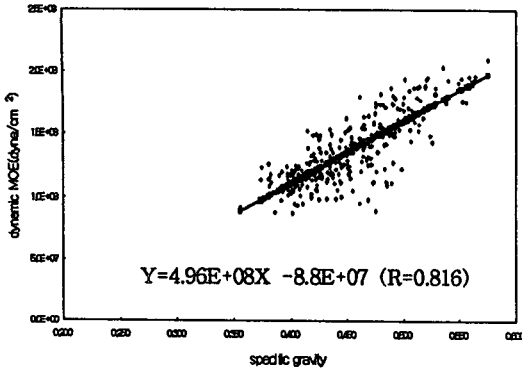


(b) European maple

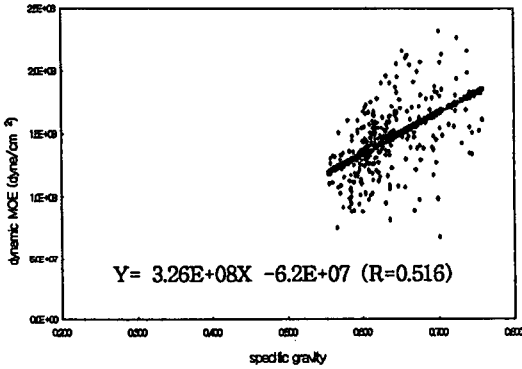
Fig. 2 Relationship between annual ring width and specific gravity.

Table 3. Average moisture content, specific gravity and annual ring width of specimens

species	Moisture Content(%)	Specific gravity	Ring width(mm)
	Mean(SD : CV)	Mean(SD : CV)	Mean(SD : CV)
European spruce(<i>Picea spp</i>)	11.53(0.889 : 7.71)	0.449(0.0433 : 9.64)	1.53(0.571 : 37.32)
European maple(<i>Acer spp</i>)	9.33(0.878 : 9.41)	0.631(0.0446 : 7.07)	2.65(1.130 : 42.64)



(a) European spruce



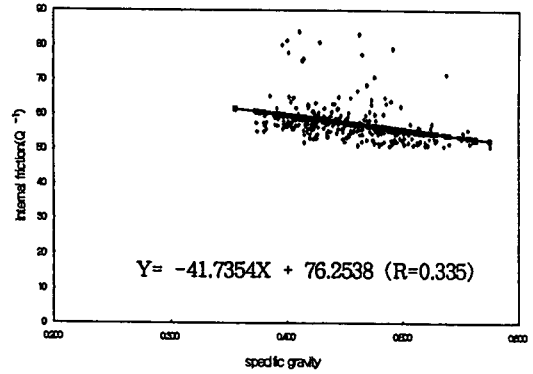
(b) European maple

Fig. 3 Effect of specific gravity on the dynamic Young's modulus(MOE).

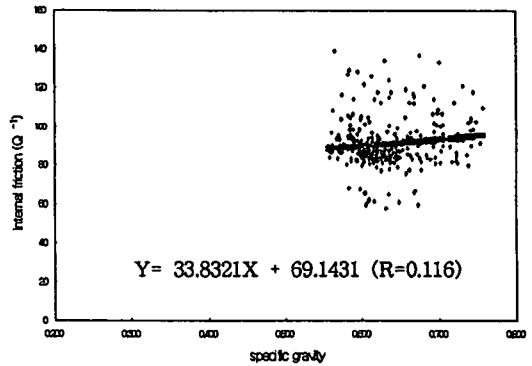
한편, 아래 Fig. 4는 비중이 바이올린용 소재의 내부마찰에 미치는 영향을 나타내고 있는 바, 단풍나무의 내부마찰이 가문비나무에 비해 훨씬 높아 바이올린의 공명 및 발음구조상 바람직한 결과를 나타냈음을 알 수 있다.(McIntyre 등, 1988; Schleske, 1990)

유럽산 가문비나무의 경우는 비중이 증가함에 따라 어느 정도 내부마찰이 감소함으로써 소재내 진동에 따른 에너지 손실이 감소함을 나타내었으나, 단풍나무의 경우는 오히려 내부마찰이 미세하나마 증가하고 있음을 볼 수 있는데, 이는 상대적으로 재질이 균일한 단풍나무의 재료특성으로 볼 때, 純진동에너지에 대한 내부손실 에너지의 비율의 차이가 미미했 던 것으로 판단되지만 이에 대한 보다 확실한 究明이 요구된다. (사실 단풍나

무의 경우 상관계수는 0.116으로 거의 무관하다고 볼 수 있다)



(a) European spruce

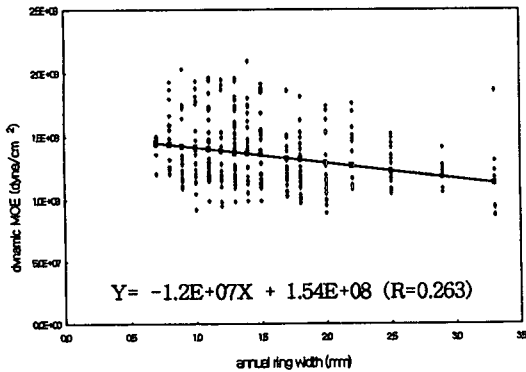


(b) European maple

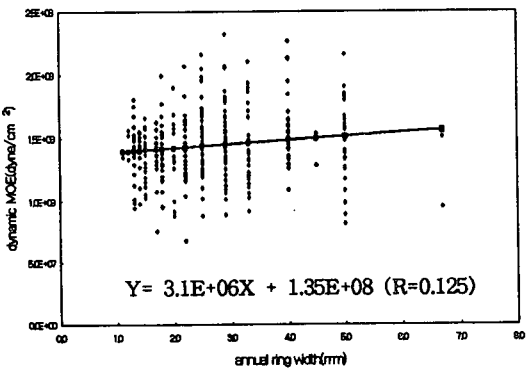
Fig. 4 Effect of specific gravity on the internal friction(Q-1) of solid wood.

3.3. 소재의 연륜폭과 음향적 특성과의 관계

아래 Fig. 5는 바이올린용 소재의 연륜폭이 동적탄성계수에 미치는 영향을 나타내고 있다. 위 그림을 보면 유럽産 가문비나무의 경우, 연륜폭이 증가함에 따라 동적탄성계수가 분명하게 감소하고 있으나, 단풍나무의 경우는 미세하나마 오히려 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 兩樹種의 연륜폭과 비중과의 관계 또 전술한 비중과 동적탄성계수와의 관계로부터 이미 예측할 수 있는 결과로 볼 수 있으며 내부마찰의 경우도 흡사할 것으로 판단된다.



(a) European spruce



(b) European maple

Fig. 5 Effect of annual ring width on the dynamic Young's modulus(MOE).

3.4. 梘目材와 板目材간 음향적 특성의 차이

아래 Table 4는 兩樹種의 평균 동적탄성계수와 내부마찰을 절삭방향별로 비교한 것이다. 동적탄성계수의 경우, 유럽産 가문비나무는 梘目시편에 비해 板目시편이 낮아졌으나 단풍나무는 오히려 상승함으로써 정목시편의 경우 거의 비슷했던 가문비나무에 비해 훨씬 큰 값을 나타내었는 바, 이는 두 수종간 세포구성 및 춘추재 전이양상의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 주로 가도판 세포로 구성되고 춘추재 전이가 명확한 가문비나무는 활엽수재로 세포구성이 다양하고 춘추재 전이가 불명확한 단풍나무에 비해 상대적으로 절삭방향에 따른 동력학적 거동차이가 분명하여 정목시편의 동적탄성계수가 판목시편에 비해 다소 컸던 것으로 사료된다.

한편 내부에너지 손실율은 비중이 높은 단풍나무가 훨씬 큰 것으로 나타났으나 兩樹種 공히 방향별 차이는 거의 없는 것으로 밝혀졌다. (Schumacher, 1988)

한편 板目시편에 있어서 연륜폭에 따른 소재의 음향특성을 조사한 결과는 Table 5에 정리하였는 바, 특이한 점은 단풍나무의 동적탄성계수의 경우, 정목시편에 대한 직선의 기울기가 陽이었으나 그 평균값이 증가되었던 판목시편에서는 기울기가 음으로 나타나고 있는 점이다.

Table 4. Difference in acoustical properties between radial and tangential specimens

species	Dynamic Young's modulus(dyne/cm ²)		Internal friction(x 10 ³)	
	quarter-sawn(SD)	flat-sawn(SD)	quarter-sawn(SD)	flat-sawn(SD)
European spruce(<i>Picea spp</i>)	1.349E+08(2.634E+07)	1.263E+08(2.581E+07)	57.518(5.392)	58.618(4.782)
European maple(<i>Acer spp</i>)	1.435E+08(2.815E+07)	1.557E+08(3.264E+07)	90.491(13.048)	90.451(14.478)

Table 5. Regression equations of annual ring and acoustical properties of specimens

species		annual ring width to dynamic MOE	annual ring width to internal friction
Spruce	quarter-sawn	Y= -1.2E+07X + 1.5E+08 (R=0.263)	Y= 1.7343X + 54.8653 (R=0.184)
	flat-sawn	Y= -0.9E+07X + 1.4E+08 (R=0.252)	Y= 1.0319X + 56.9974 (R=0.152)
Maple	quarter-sawn	Y= 3.1E+06X + 1.3E+08 (R=0.125)	Y= 2.4124X + 83.7036 (R=0.201)
	flat-sawn	Y= -3.9E+06X + 1.6E+08 (R=0.126)	Y= 4.6469X + 79.4335 (R=0.333)

4. 結 論

주요 木材原資材의 거의 全量을 독일, 이태리 등 유럽의 輸入先으로부터 고가에 구매하고 있는 국내 바이올린製造業體(또는 手製作者)의 품질향상을 통한 경쟁력 확보방안의 일환으로 原資材구입 및 受入資材관리에 필요한 QC정보를 제공하기 위해 主要素材의 기본물성과 음향적 특성과의 관계에 대한 분석을 수행한 결과, 얻은 주요결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 장기간의 보관상태에서의 平衡함수율은 저비중재인 유럽産 가문비나무가 상대적으로 비중이 높은 단풍나무보다 높았다.

둘째, 연륜폭이 증가할수록 가문비나무는 비중이 저하되었으나, 散孔활엽수재인 단풍나무의 비중은 상대적 秋材率의 증가로 인해 오히려 상승하였다.

셋째, 양수중 공히 비중이 증가함에 따라 동적탄성계수가 분명하게 상승하였으나, 진동에 의한 내부에너지 손실율은 가문비나무와 단풍나무가 서로 다른 재질특성을 띄었다.

넷째, 동적탄성계수의 방향별(R/T)차이는 가문비나무의 경우, 정목재에 비해 판목재가 낮았으나, 단풍나무의 경우는 오히려 판목재가 더 커 양수종간 재질적 차이를 보여주었다.

궁극적으로, 바이올린제조업체(또는 手製作者)는 자신들이 제작한 바이올린製品의 품질보증을 위해서 이들 主要素材의 연륜밀도 및 비중等 주요특성에 대한 정확한 품질관리체계(예; 표준화)를 구축하여 나가야 할 것이다.

5. 參考文獻

1. Bonamini, G., V. Chieas and L. Uzielli. 1991. Anatomical features and anisotropy in spruce wood with indented rings, *J. Catgut Acoust. Soc.* 2nd ser., 1(8):12-16.
2. Bucur, V. 1987. Varieties of resonance wood and their elastic constants, *J. Catgut Acoust. Soc.* 47:42-48.

3. Bucur, V. 1988. Wood structural anisotropy estimated by acoustic invariants, *IAWA Bull.* n. s., 9(1):67-74.
4. Bucur, V., A. Saied and J. Attal. 1992. Identification of wood anatomical elements by acoustic microscopy, *J. Catgut Acoust. Soc.* 2nd ser., 2(1):41.
5. Caldersmith, G. W. 1988. Vibration theory and wood properities II. *J. Catgut Acoust. Soc.* 2nd ser., 1(2):10.
6. Dunlop, J. I. 1989. The acoustic properties of wood in relation to stringed musical instruments, *Acoustics Australia* 17(2):37-40.
7. Dunlop, J. I. and M. Shaw. 1991. Acoustical properties of some Australian woods, *J. Catgut Acoust. Soc.* 2nd ser., 1(7):17-20.
8. Fryxell, R. 1990. Further studies of "moisture breathing" by wood, *J. Catgut Acoust. Soc.* 2nd ser., 1(5):37-38.
9. Haines, D. W. 1979. On musical instrument wood. *J. Catgut Acoust. Soc. Newsletter* 31: 23-32.
10. McIntyre, M. E. and J. Woodhouse. 1988. On measuring the elastic and damping constants of orthotropic sheet materials, *Acta Metall* 36(6): 1397-1416.
11. Müller, H. A. 1986. How Violin makers choose wood and what the procedure means from a physical point of view, paper presented at Catgut Acoustical Society International Symposium on Musical Acoustics, Hartford, CT.
12. Schleske, M. 1990. Speed of sound and damping of spruce in relation to the direction of grains and rays, *J. Catgut Acoust. Soc.* 2nd ser., 1(6):16-20.
13. Schumacher, R. T. 1988. Compliances of wood for violin top plates, *J. Acoust. Soc. Am.*, 84(4):1223-1235.