

바이올린用 素材의 진동모드 解析에 관한 연구^{*1}
제1보. 절삭방향 및 밀도에 따른 공진 주파수의 변화

鄭 雨 陽^{*2} · 朴 善 行^{*2}

**Studies on the Vibrational Modal Analysis
of Solid Woods for the Violin Making^{*1}**

**Part 1. Effect of Cutting Direction and Density
on Resonant Frequency of Woods**

Woo-Yang Chung^{*2} · Sun-Haeng Park^{*2}

ABSTRACT

European spruce and maple were to be estimated as raw material of violin family instruments with linear modal analysis to provide the information data for the design of their bodies. Wood specimens cut in different direction were excited by impact hammer to measure the resonant frequency with typical vibrational modes.

In spite of lower density than maple, European spruce showed the excellent acoustical properties with higher resonant frequency. And edge-grained spruce had more even frequencies than flat-grained ones to be more acceptable as front plate of violin. Resonant frequency was positively correlated with wood density of each specimen and the coefficients of edge-grained specimens were higher than those of flat-grained specimens of both wood species.

Keywords : violin, spruce, maple, modal analysis, resonant frequency, density, cutting direction

- 요 약 -

복잡한 구조를 지니는 바이올린 동체 설계 및 음질 평가를 위한 기본정보를 마련코자 바이올린 주요소재인 European spruce 및 European maple의 強制振動에 의한 線型 槓振動모드를 조사하고 소재밀도 및 절삭방향에 따른 진동모드별 共振주파수 변위를 분석하였다. 연구 결과 저비중재임에도 불구하고 spruce가 maple에 비해 더 높은 共振주파수를 지니므로써 보다 우수한 음향특성을 지니는 것으로 나타났다. 또 spruce의 경우 접선방향으로 절삭된 판목재에 비해 방사방향 절삭된 정목재의 주파수 편차가 작아 균일한 음질을 위해서는 前板 주요부품 가공시 정목판재를 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 그리고 두 수종 공히 소재밀도와 共振주파수간의 관계는 양의 상관관계를 나타냈으며, 절삭방향별로는 정목재의 상관계수가 판목재에 비해 높게 나타났다.

*1 접수 1999년 5월 29일, Received May, 29, 1999

본 연구는 産業資源部의 지원으로 수행중인 工業基礎技術開發연구의 일부임.

*2 全南大學校 林産工學科 (Department of Forest Products & Technology, Chonnam National University, 500-757 Kwangju, Korea)

1. 서 론

17세기이래, 수세기 동안 전승되어온 名器바이올린 제작자들의 경험에 의하면 밀도대비 음전달속도비가 커서 동적탄성 및 음방사율이 좋을 뿐 아니라 섬유방향의 剛性이 횡단방향에 비해 적어도 10배 이상인 특성을 지니는 spruce가 전통적으로 가장 우수한 響板材로 알려져 있다(Haines, 1979). 즉, 바이올린 제작시는 spruce재를 연륜에 직각방향으로 절삭하여 바이올린 前板(front)의 중심부에 연륜폭이 좁은 성숙재가 오도록 하고 단단한 추재부가 상판의 아치와 수직이면서 중심선과 나란하도록 배열하는 것이 바람직하며 背板(back)은 tiger maple 등 주로 maple재를 이른바 “curly” 문양을 지니는 정목판재 또는 판목판재를 들로 갈라 접착하여 사용하는 바, 이러한 curly-grain 재(정목재)는 미관 뿐 아니라 섬유방향 대 횡단방향의 강성비가 약 4 정도로 악기용재 치고는 비교적 등방성 재료로서 거동하는 것으로 알려져 있다. 이렇듯 소재의 품질은 외관 뿐 아니라 악기의 음질을 좌우하는 요소이기 때문에 제작자들에게는 매우 중요하지만 밀도 및 이방성 등 목재특유의 소재품질의 변이 때문에 일률적인 기계가공은 바람직하지 않고 다양한 물리적 인자에 따라 악기제작자들이 제조방법을 달리해야한다(Bonamini 등, 1991; Bucur, 1998).

M. E. McIntyre and J. Woodhouse(1988)는 소재로부터 제조되는 고도의 아치를 지니는 실제 바이올린 판을 서술하기 위해서는 9개의 탄성관련계수(3개의 영률, 3개의 전단계수 및 3개의 프와송 비) 및 9개의 해당 감쇠상수를 고려해야 하며, 이 감쇠상수들은 可聽범위내의 진동주파수에 의해 유의적으로 변한다고 보고하면서도 천연재료인 목재의 특성상 모든 물성을 정확히 측정하는 데에는 매우 큰 어려움이 있음을 언급한 바 있었다.

총 18개의 탄성 및 감쇠상수에 대한 요구도에 따라 선택할 수 있는 측정법으로는 static deformation, low frequency vibration 및 ultrasonic에 의한 3가지 방법이 알려져 있다. static deformation 측정법은 감쇠상수를 구할 수 없고, 목재의 크리이프

현상 때문에 그다지 바람직하지 못하므로 平板시편을 이용하는 low frequency vibration법이 진동과 관련된 감쇠상수를 구하기 위한 유일하게 신뢰할 수 있는 방법으로 알려져 왔으나 이 방법 역시 몇몇 상수들이 측정의 정확도에 예민하기 때문에 논란의 여지가 있어왔다(Dunlop, 1989).

이러한 음향특성과 관련된 소재의 物性에 대한 측정기술상의 어려움을 극복하기 위해 많은 연구가 시도되어 오던 중 최근에는 센서기술의 향상 및 관련 이론의 도움으로 強制振動에 대한 반응함수로서의 재료의 捩振動모드 및 공명주파수 측정에 의한 악기용 소재의 음향학적 재질평가와 그러한 재질을 지니는 소재로 복잡하게 만들어진 악기들에 대한 모델링 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구조물로서의 악기의 SDM(stiffness, damping 및 mass) modification simulation 해석의 실용성이 입증되고 있다.

이에 본 연구에서는 복잡한 구조를 지니는 바이올린 동체 설계 및 음질 평가를 위한 기본정보를 마련코자 바이올린용 前板 및 背板用 주요소재인 European spruce(*Picea* spp) 및 European maple (*Acer* spp)의 強制振動에 의한 線型 捩振動모드를 조사하고 모드별 共振주파수의 특성을 밀도별 및 절삭방향별로 분석함으로써 두 樹種의 振動특성을 비교하고 소재선별 및 가공인자로서의 밀도 및 절삭방향의 중요도를 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 실험에서는 前板(front plate)과 背板(back plate)을 비롯하여 Bridge, Bassbar, Sound post 등 바이올린의 주요 부품(part) 제작에 사용되고 있는 European spruce(M.C:11.5%)와 European maple (M.C:9.3%) 소재(flitch)를 구입하여 절삭방향별[방사방향(R) 및 접선방향(T)]로 각각 10개씩 총 40개의 1cm×2cm×30cm 크기의 시편을 제작하여 밀도 및 진동 특성을 측정하였다.

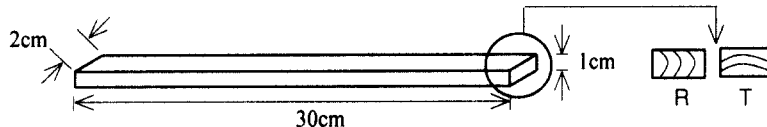


Fig. 1. Dimension and cutting direction of specimens.

2.2 소재의 밀도 측정

수중별 및 절삭방향별로 시편의 길이, 폭, 두께 및 무게를 측정하여 밀도를 구하였다.

2.3 진동 실험장치 및 방법

바이올린의 주요소재의 共振주파수와 진동모드를 측정하기 위해 DYTRAN사의 5.3mV/g의 감도를 갖는 accelerometer와 94.3mV/LBF의 감도를 갖는 impact hammer를 사용하여 측정하였다(Fig. 2. 참조). 시편의 자유진동을 위해 공중에 매달았으며 자유진동에 영향을 최소화하기 위해 고무줄을 이용하여 지지대에 고정시켰다. 각 시편은 총 9개의 등분점을 설정하였으며 본 실험에서는 Accelerometer를 3번 점에 고정시키고 Impact Hammer로 1번 점부터 차례로 5번씩의 충격을 가해 진동을 측정하였다. 이를 DYTRAN사의 Power unit로 받아들여 FFT software를 이용하여 진동분석 system으로 보낼

데이터를 만들었다.

본 실험에서는 바이올린 音域(약 200Hz~1800Hz)을 포함하고 인간이 가장 민감하게 들을 수 있는 음역(1~4kHz)을 고려해 측정주파수 범위를 0~4kHz로 설정하였다. 데이터를 받아들이기 위해 앞서 진동 분석 system은 시편에 대한 모델링을 요구하는데 본 실험에서는 9개의 등간격 점을 지니는 선형모델을 취하였다. FFT System으로부터 데이터를 받아들여 각 시편의 첫 측정점 데이터의 band를 잡아 Autofit시키면 각 시편의 mode의 거동이 동화상으로 표시되었다(Randall, 1987).

3. 결과 및 고찰

3.1 소재별 기본 진동 모드 현상 및 해당 주파수

Fig. 3은 접선방향으로 절삭된 European spruce

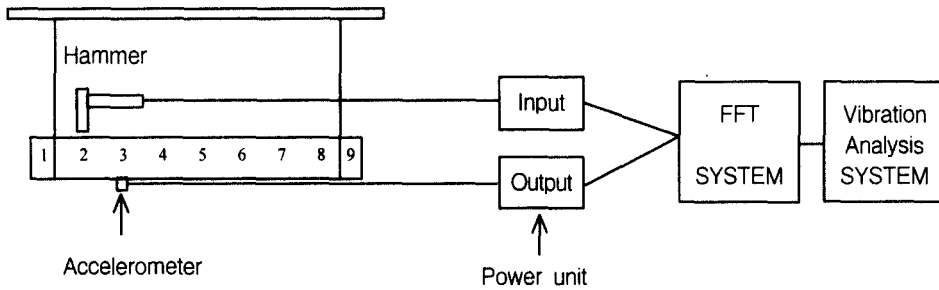


Fig. 2. Schematic diagram of vibration modal test.

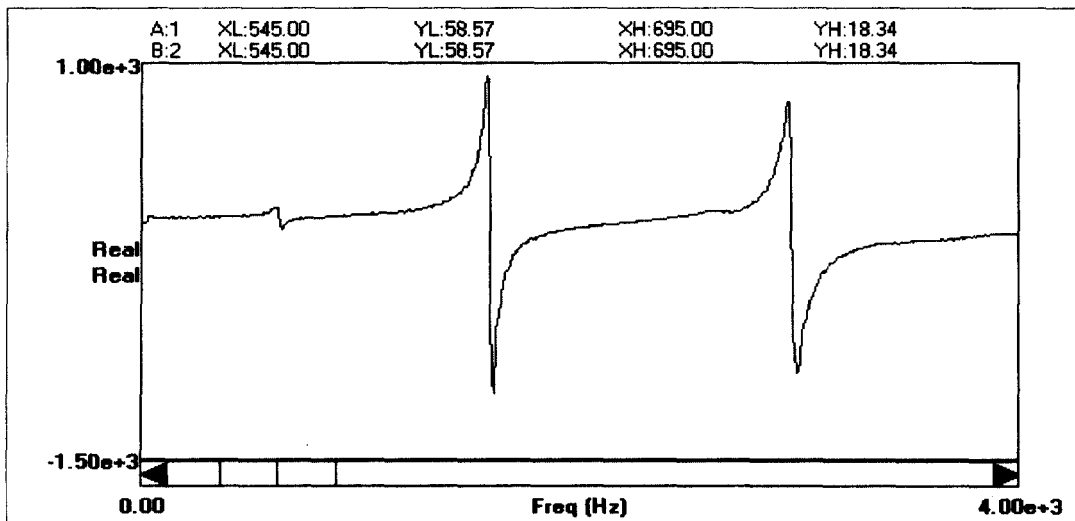


Fig. 3. A frequency response function graph of a flat-grained spruce specimen.

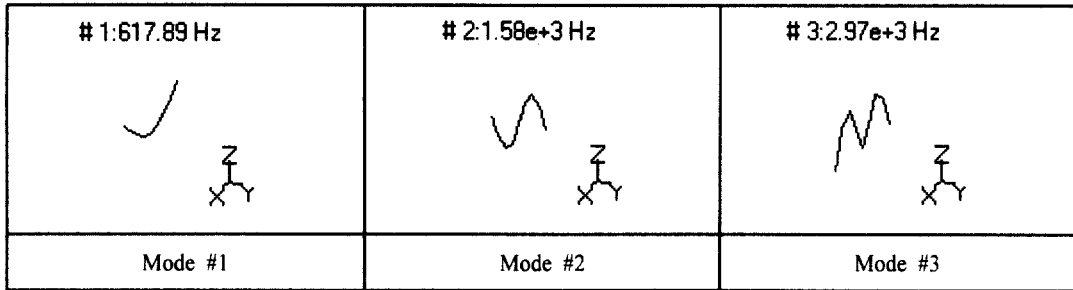


Fig. 4. Fundamental vibration mode of same spruce specimen.

Table 1. Average density and resonant frequency for each bending mode of European spruce specimen

Specimen	Density(g/cm ³)	(S.D)	Mode	Frequency(Hz)	(S.D)
Edge-grain	0.425	(0.028)	1	605.35	(13.89)
			2	1559.00	(41.49)
			3	2909.00	(57.05)
Flat-grain	0.430	(0.029)	1	608.13	(48.36)
			2	1564.00	(110.67)
			3	2929.00	(178.91)

Table 2. Average density and resonant frequency for each bending mode of European maple specimen

Specimen	Density(g/cm ³)	(S.D)	Mode	Frequency(Hz)	(S.D)
Edge-grain	0.612	(0.024)	1	539.65	(36.95)
			2	1411.00	(89.37)
			3	2663.00	(152.19)
Flat-grain	0.636	(0.047)	1	552.59	(21.37)
			2	1452.00	(48.26)
			3	2779.00	(102.03)

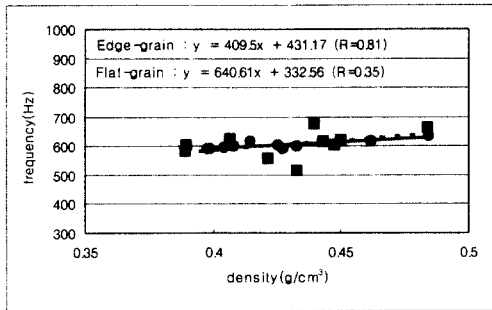
시편(Sample No. 7)에 대한 진동실험 결과로 나타난 *frf 진동특성도인 바, 共振주파수는 Mode #1에서 617.89Hz, Mode #2에서 1580Hz, Mode #3에서 2980Hz로 나타났다. 한편 Fig. 4는 동일 시편에 대한 선형 모델의 진동모드형태를 나타낸 것으로 이러한 양상은 수종과 방향에 무관하게 모든 시편에서 유사하게 나타났다.

Table 1과 Table 2는 각각 European spruce와 European maple의 절삭 방향별 평균 밀도와 각 모드별 평균 주파수(표준편차)를 요약한 것이다.

European spruce의 경우 각 모드별 평균 주파수가 판목재에서 약간 높게 나타났는데 이는 판목재의 밀도가 정목재보다 다소 높았던 데에 기인한 것으로 판단된다. 주파수에 대한 표준편차를 보면 정목재인 경우가 판목재에 비해 적어 정목재의 음향적 특성이 상대적으로 균일한 것으로 나타났는데, 이로 인해 바이올린 前板은 spruce재를 방사방향으로 절삭하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

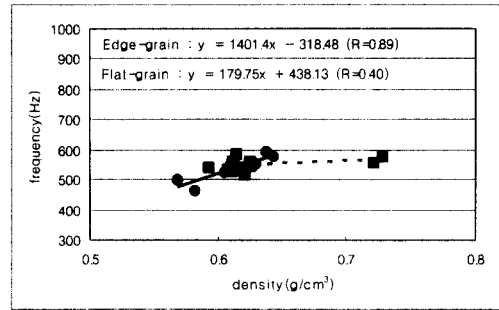
European maple의 경우에도 각 모드별 평균 주파수가 판목재에서 높게 나타났는데 이 또한 접선

바이올린용 素材의 진동모드 解析에 관한 연구



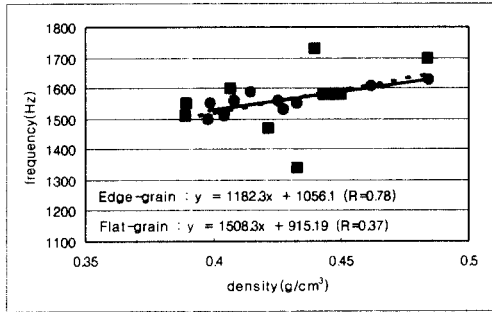
● --- ● Edge-grain ■ --- ■ Flat-grain

(a) Mode #1



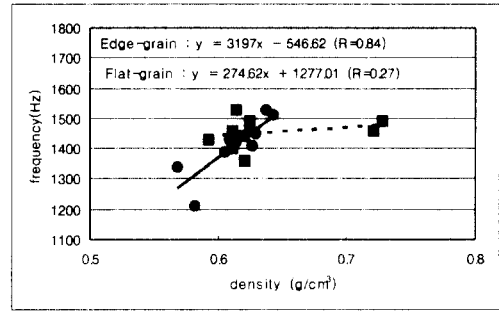
● --- ● Edge-grain ■ --- ■ Flat-grain

(a) Mode #1



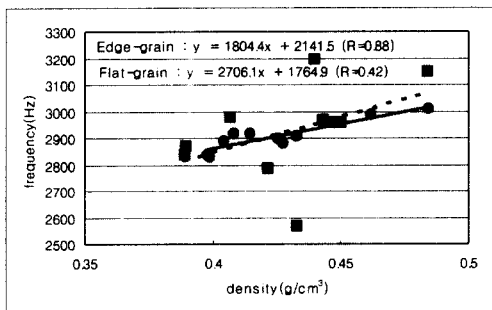
● --- ● Edge-grain ■ --- ■ Flat-grain

(b) Mode #2



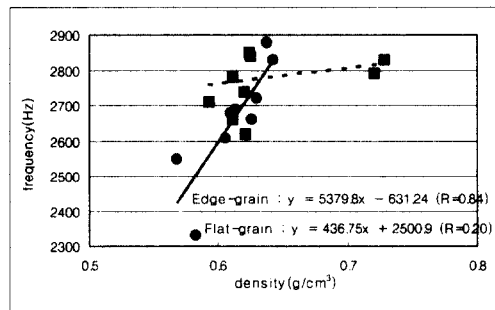
● --- ● Edge-grain ■ --- ■ Flat-grain

(b) Mode #2



● --- ● Edge-grain ■ --- ■ Flat-grain

(c) Mode #3



● --- ● Edge-grain ■ --- ■ Flat-grain

(c) Mode #3

Fig. 5. Relation between density and frequency at each mode of spruce specimen.

Fig. 6. Relation between density and frequency at each mode of maple specimen.

방향의 밀도가 더 높았기 때문이라고 판단된다. 표준 편차를 비교해 보면 spruce와는 반대로 정목재의 경우가 판목재에 비해 크게 나타났지만 maple의 경우 바이올린 背板용 소재로서 음향성 보다는 외관 및 구조적 특성이 더 영향을 미치기 때문에 미관상 더 아름다운 정목판재(curly-grain)를 사용하는 것이 바람직 하나 판목재를 사용한 경우도 많으므로 제작 여건 및 수요자의 요구를 고려하여 설계 사양을 결정해야 할 것이다.

3.2 밀도 및 절삭방향에 따른 주파수

Fig. 5는 European spruce의 각 모드별 밀도와 共振주파수와의 관계를 절삭방향별로 나타내 비교한 그래프이다. 소재밀도와 共振주파수와의 상관관계는 두 방향 다 양의 상관 관계로 나타났지만 정목재가 판목재에 비해 밀도에 대한 주파수의 상관관계가 높게 나타났다. 따라서 일반적으로 정목판재를 주로 사용하는 전판의 경우, 소재 선정 및 가공시에 밀도에 대한 세심한 고려가 필요 할 것으로 판단된다.

Fig. 6는 European maple의 각 모드별 밀도와 共振주파수와의 관계를 절삭 방향별로 비교한 그래프로서 European spruce와 마찬가지로 두 방향 다 양의 상관 관계가 나타나고, 정목재인 경우에 상관관계가 더 높게 나타났다. 이와 같은 양상은 밀도와 추체울간의 상관관계를 분석한 鄭동(1998)의 연구를 통해서도 예측할 수 있듯이 연륜배열 특성상 정목재가 판목재에 비해 밀도에 민감했던 것으로 사료된다.

4. 결 론

주파수 반응함수를 이용한 악기용 소재의 선형진동모드 해석을 통해 기존 악기용재의 음향특성을 구명하고 소재 밀도 및 절삭방향에 따른 진동모드별 共振주파수 변이를 분석함으로써 악기용 소재선별 및 가공특성상의 최적조건을 결정하기 위해 수행된 본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 유럽産 가문비나무 및 단풍나무 기본 휨 진동모드형태는 동일하였으나 모드별 주파수 값은 고비중재인 단풍나무에 비해 저비중재인 가문비나무의 값이 더 커 동적탄성 등 음향특성이 우수한 것으로 판명되었다.

둘째, 절삭방향별 평균 共振주파수는 양樹種 공히 정목재에 비해 밀도가 약간 높았던 판목재의 값이 조금 높게 나타났으나 前板용재인 가문비나무의 경우 판목재의 주파수 편차가 너무 커 균일한 음질을 위해서는 반드시 정목재의 사용이 요망된다.

셋째, 兩 數種 모두 소재밀도와 共振주파수 간에 양의 상관관계를 나타냈으며, 특히 동체가공시 주로 사용되는 정목판재의 경우가 판목재보다 더 높은 상관계수를 나타냄으로써 소재선별 및 품질관리시 밀도에 특히 유의하여야 할 것이다.

이상과 같은 주요소재에 대한 휨 진동특성 결과는 조립 전 바이올린 판재 및 조립 완성품의 진동특성 분석을 위한 기초자료로도 활용될 수 있으며 궁극적으로는 악기 동체설계 및 제작에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료되는 바 향후 이에 대한 후속 연구를 추진할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 鄭雨陽·홍병화. 1998. 바이올린용 주요 소재의 품질관리를 위한 음향학적 연구. '98 한국목재공학회 학술발표 논문집. pp.108~113.
2. Bonamini, G., Chiesa, V and Uzielli, L. 1991. Anatomical features and anisotropy in spruce wood with indented rings, J. Catgut Acoust. Soc. 2d ser. 1(8): 12~16.
3. Bucur, V. 1988. Wood structural anisotropy estimated by acoustic invariants. IAWA Bull. n. s. 9(1): 67~74.
4. Dunlop, J. I. 1989. The acoustic properties of wood in relation to stringed musical instruments, Acoustics Australia. 17(2): 37~40.
5. Haines, D. W. 1979. On musical instrument wood. Catgut Acoust. Soc. Newsletter 33: 19~23.
6. McIntyre, M. E and Woodhouse, J. 1988. On measuring the elastic and damping constants of orthotropic sheet materials. Acta Metall. 36(6): 1397~1416.
7. Randall, R. B. 1987. Frequency Analysis. Brüel & Kjær. pp 16~77.