

바이올린用 소재의 진동모드 해석에 관한 연구

제2보. 소재 연륜폭 및 절삭방향이 브릿지의 공진주파수에 미치는 영향

Studies on the vibrational modal analysis of solid woods for the violin making

정 우 양

바이올린用 소재의 진동모드 해석에 관한 연구

제2보. 소재 연륜폭 및 절삭방향이 브릿지의 공진주파수에 미치는 영향

정 우 양*

Studies on the vibrational modal analysis of solid woods for the violin making

II. Effect of annual ring width and cutting direction on the resonant frequency
of the bridges

Woo-Yang Chung*

목 차

- | | |
|------------|----------|
| 1. 서 론 | 4. 결 론 |
| 2. 재료 및 방법 | 5. 참고 문헌 |
| 3. 결과 및 고찰 | |

ABSTRACT

European maple is famous for the optimum solid wood for making bridge which is the most important part in violin acoustics. This study was carried out to investigate the variation of main features, i. e. annual ring width and cutting direction of costly imported violin bridge blanks and to examine the effect of these features of the blanks on the vibrational characteristics of bridge blanks.

Imported violin bridge blanks had somewhat large variation in major macroscopical and physical properties and there was little relationship between annual ring density and weight of maple blanks. Resonant frequency of violin bridge blanks had some positive correlation with weight, however, damping having negative relationship with frequency was seldom affected by any physical properties of the maple blanks. Deviation from the radial cutting of tail side(ray direction from top toward feet on the edge of bridge blank) lowered the resonant frequency. Consequently, weight and ray direction should be taken for the critical quality decisive factors(QDF) of incoming bridge blanks by not only inspectors also luthiers who tune the bridge by shaping and are responsible for the final timbre quality of this complicate instrument.

Key words : european maple, violin bridge, vibration, modal analysis, annual ring width, cutting direction, resonant frequency, damping, bridge blank

*전남대학교 산림자원조경학부 Division of Forest Resources and Landscape Design, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

1. 서론

바이올린계 현악기에 사용되는 브릿지의 기능은 연주된 현에 의해 발생된 진동에너지를 가급적 내부손실 없이 前板(front plate)에 전달함으로써 해당악기로 하여금 연주자가 원하는 音質을 발생하도록 함에 있으며 현악기 부품(parts)들 中 최종음질에 미치는 영향도는 일반적으로 알려진 바 보다도 훨씬 중요한 부품이다^{14),19)}. 이 브릿지는 현의 引張에 의한 垂直압축력(static force), 연주時 활(bow)의 작용으로 인한 좌우진동(rocking in plane) 그리고 bassbar 및 sound post에 작용에 의한 비틀림 및 휨(twisting and bending out of plane)등 매우 다양한 진동특성을 지니게 되는 바^{13),16)}, 이러한 진동역학적 거동은 본질적으로 브릿지 소재의 구조적 및 물리적 특성에 의해 주된 영향을 받게 될 것이며^{1),2)} 바이올린계 현악기 내에서도 악기의 크기가 커질 경우, 동일한 재질(동일한 樹種)로 만들어졌다 하더라도 그 형상에 의해 브릿지의 剛性이 달라질 터이므로 악기의 최종음질의 調律을 책임져야하는 제작자(luthiers)들은 이러한 재질 및 형상에 의한 진동특성 차이에 대해 정확한 해석을 선행해야 할 것이다.¹⁰⁾

따라서 본 연구에서는 위에서 언급한 브릿지原材(bridge blanks)의 구조, 물리화학적 차이와 형상적 차이가 그들의 진동특성에 미치는 영향을 구명함으로써 受入素材(incoming materials)에 대한 적절한 품질관리 및 악기의 최종음질에 대한 과학적 조율을 위한 정보를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 供試 브릿지原材(bridge blank)

국내 악기재료 수입업체로부터 표준형(4/4) 바이올린용 bridge blank(독일 Teller社) 200개를 구입하여 공시재료로 사용하였다.

2.2 기초재질(QDF)조사

총 200개의 바이올린용 bridge blank tail

side上的 연륜밀도 및 edge 에서의 방사조직 주행방향(ray direction) 그리고 무게를 측정하여 bridge blank의 품질을 평가할 수 있는 이른바 '품질결정인자(QDF; quality decisive factors)'로 채택하였다.^{9),11),15)}

2.3 Bridge blank의 진동특성 분석

2.3.1 진동특성 측정 시스템

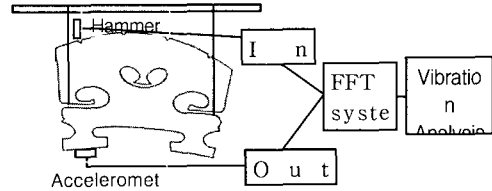


Fig. 1. Schematic diagram of the impacting vibration test for bridge.

2.3.2 충격 진동시험(vertical impact vibration test)

bridge blank의 재질특성이 바이올린계 현악기용 bridge blank의 공진주파수 및 내부손실률(damping)에 미치는 영향을 구명하기 위해 bridge blank 상단에서 하향충격을 가해 공진주파수 및 damping을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. 바이올린 브릿지의 재질 변이

아래 Table 1은 200개의 수입 바이올린용 브릿지의 연륜밀도, 무게 및 방사조직의 주행각도를 나타낸 것인 바, 각 재질특성에 있어서 적지 않은 변이를 나타내고 있어 품질결정인자로서 진동특성의 균일성에 많은 영향을 미칠 것으로 예측되었다.

Table 1. Macroscopical properties of violin bridge blanks as QDF

Item	Min. - Max.	Mean	S. D.
Weight(gram)	2.288 ~ 3.862	2.95	0.233
No. of annual ring	11 ~ 67	23.8	7.41
Direction of rays(deg)	-12 ~ 20	0.94	4.899

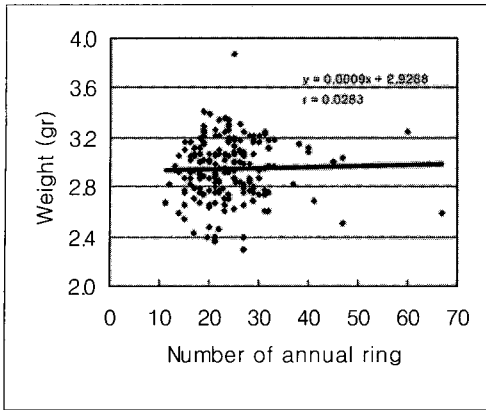


Fig. 2. Relationship between annual ring density and weight of violin blanks.

한편 위 Fig. 2는 바이올린 브릿지용 소재의 연륜밀도와 제작된 blank의 무게와의 상관관계를 나타낸 것으로서 연륜밀도와 blank의 무게는 그다지 상관관계가 없는 것을 보여주고 있는데 이는 대표적 산공재인 단풍나무의 특성이며 따라서 연륜밀도와 브릿지의 중량에 의한 진동특성 분석에는 차이가 있을 것으로 사료된다.

3. 2. 브릿지의 품질결정인자와 공진주수

Violin bridge blank의 연륜밀도와 무게 간에 상관관계가 약하여 QDF로서 진동특성에 미치는 이들의 영향을 개별적으로 분리하여 분석하였다.

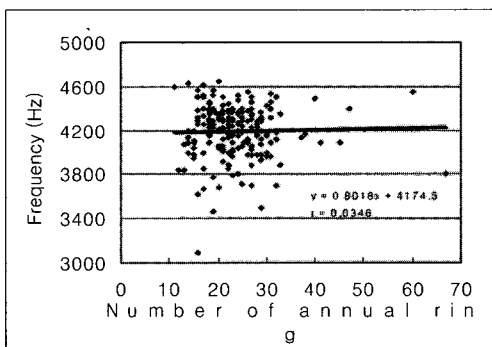


Fig. 3. Relationship between annual ring density and frequency of maple blanks.

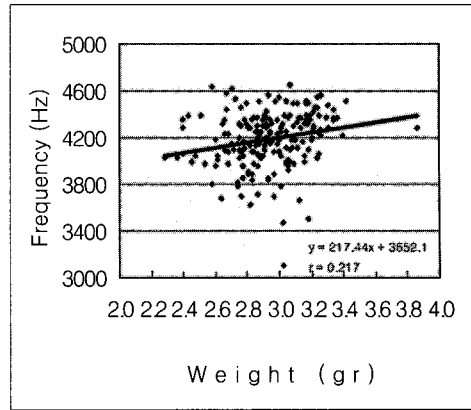


Fig. 4. Relationship between weight and frequency of maple violin blanks.

위 Fig. 3 및 Fig. 4에 의하면 바이올린 브릿지의 외관상의 품질인자인 연륜 밀도가 진동특성에 미치는 영향은 미미한 반면, 무게의 영향은 비교적 높은 것으로 나타 났는 바, 이는 무게가 더 나가는 bridge blank가 높은 剛性を 지니는 데에 기인한 것으로 판단되며 따라서 바이올린 제작 시에 참고하여야 할 품질 결정인자는 연륜폭이 아니라 브릿지의 중량임을 알 수 있다.

3. 3. 브릿지의 품질결정인자와 내부손실률

바이올린의 음향특성을 결정하는 가장 중요한 부재중의 하나인 브릿지는 현의 진동에너지를 고스란히 바이올린 전판(front)에 전달하여야 한다.

이러한 내부에너지 손실의 원인은 재료의 균일성, 치밀성 등에 의해 좌우되는 바, 이 실험을 통해 단풍나무의 내부손실을 및 QDF와의 상관관계를 조사하고자 하였으며 아래 Fig. 5 및 Fig. 6은 violin bridge blank의 연륜밀도와 중량에 따라 측정된 내부손실율을 나타낸 그림이다.

내부손실률(damping)에 있어서는 일반적인 예상과는 달리 연륜밀도와 무게 등 이른바, 물리적인 품질결정인자(QDF)들에 의해 거의 영향을 받지 않음으로써 maple 소재의 안정된 에너지 전달특성을 나타내었으며 이러한 결과는 향후 현악기 bridge 제조용 대체수종의 개발에 있어서도 우선적으로 고려해야 할 사항으로 사료되는 바이다.

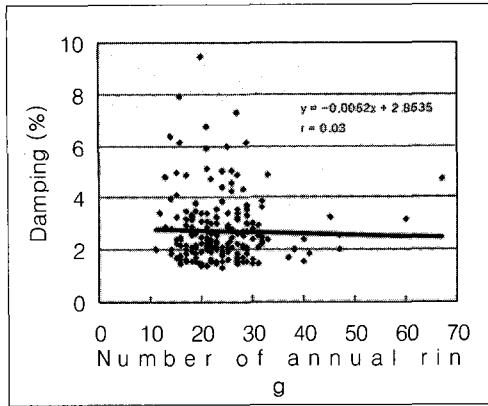


Fig. 5. Relationship between annual ring density and damping of maple blanks.

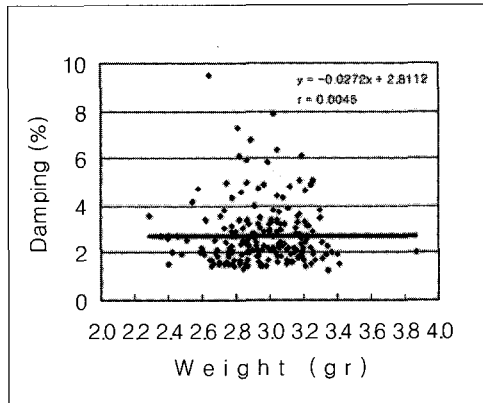


Fig. 6. Relationship between weight and damping of maple violin blanks.

3. 4. 방사조직의 주행방향이 공진주파수 및 내부손실률에 미치는 영향

바이올린을 비롯한 활현악기의 연주에 있어 대부분의 현진동 에너지 전달이 이루어지는 bridge의 측면(edge)상에서의 방사조직의 주행방향은 bridge의 강성에 직접적인 영향을 미칠 것으로 기대되기 때문에 본 연구에서 또 하나의 진동특성 결정인자로 채택하였으며, 아래 그림 Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 절삭 각도가 正방사방향(true radial direction)에서 벗어날 경우 공진주파수가 현저히 낮게 나타남으로써 bridge blank 조가공 및 최종 부착가공시 각별한 주의가 요망된다 하겠다.

그러나 Fig. 8에 나타난 바와 같이 내부손실률에 있어서는 앞서 검토되었던 QDF(연륜 밀도 및 중량)들의 경우에서와 마찬가지로 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타남으로써 산공재인 단풍나무의 에너지 전달에 있어서의 장점을 여실히 증명하고 있다.

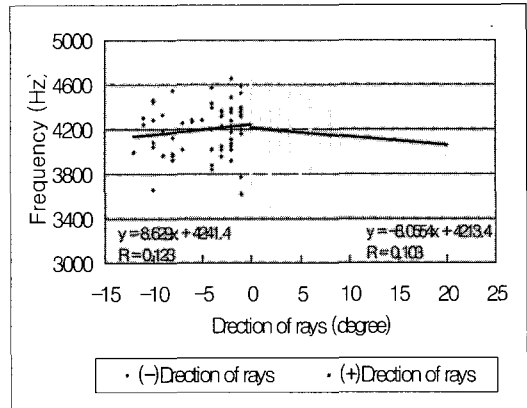


Fig. 7. Relationship between ray direction and frequency of bridge blanks.

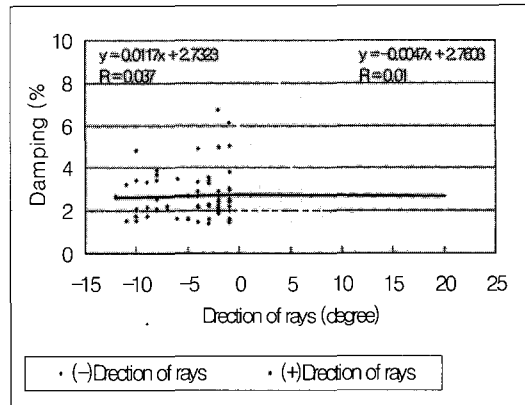


Fig. 8. Relationship between ray direction and damping of bridge blanks.

4. 결론

국내 바이올린 제작업자들에 의해 전량 고가에 수입되고 있는 유럽산 단풍나무(European hard maple)로 된 바이올린 브릿지용 원재(violin bridge blank)는 연륜폭, 중

량 및 절삭방향 등 외관상 쉽게 구별되는 각종 물리적 특성을 나타내는 바, 본 연구에서는 이들 외관상의 특성들이 브릿지 원재의 진동특성에 미치는 영향을 주파수 반응함수를 이용해 분석함으로써 악기소재 수입업자이나 제작자들을 위한 품질결정인자를 제공하고 하였다. 본 연구를 통해 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

1. 고가에 수입되고 있는 유럽산 단풍나무 재질의 바이올린 브릿지 원재(blank)의 주요 육안적 특징 및 물리적 특성은 기대와는 달리 그 변이가 매우 컸다.
2. 산공재인 단풍나무(hard maple)로 만들어진 브릿지 원재의 연륜밀도와 중량 간에는 상관관계가 매우 작았다.
3. 브릿지 원재의 공진주파수는 중량에 따라 증가하는 양의 상관관계를 보였으나 내부 손실률은 어떠한 물리적 특성과의 상관관계가 낮은 것으로 나타났다.
4. 릿지 측면 상에서 관측이 가능한 방사조직이 원재 기준면(tail side)과 이루는 각도 편차가 클수록 공진주파수가 비교적 크게 감소함으로써 절삭각도가 중요한 품질결정인자(QDF)임을 알 수 있었다.

결론적으로, 브릿지 원재의 중량과 방사조직 각도가 자체 검사원들이 주의하여 관리해야 할 주요 품질결정인자임을 알 수 있었으며 제조과정에서 브릿지 원재의 세밀한 가공 및 연주 음에 대한 주관적 판단을 통해 바이올린의 최종 음질을 조율하는 악기제작자(luthier)들도 이에 유의하여 브릿지 마감가공을 하여야 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. Bonamini, G., V. Chieas., and L. Uzielli. 1991. Anatomical features and anisotropy in spruce wood with indented

- ring. *J. Catgut Acous. Soc.* 2nd ser. 1(8):12~16.
2. 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.
3. Chung, W. Y. and S. H. Park. 1999. Studies on the vibrational modal analysis of solid woods for the violin making. Part 1. Effect of cutting direction and density on resonant frequency of woods. *J. of the Korean Wood Science and Technology.* 27(3): 1~6.
4. Chung, W. Y. and S. H. Park. 2001. Studies on the Acoustical Characteristics of Violin Bridges and SDM Simulation. *J. of the Korean Society of Furniture Design Technology.* 12(1): 47~56.
5. Dunlop, J. I. 1989. The acoustic properties of wood in relation to stringed musical instruments. *Acoustics Australia.* 17(2) 37~40.
6. Dunlop, J. I. and M. Shaw. 1991. Acoustical properties of some Australian wood. *J. Catgut Acoust. Soc.* 2nd ser. 1(7): 17~20.
7. Gibson, L. J. and M. F. Ashby. 1988. *Cellular solids: Structure & Properties.* Pergamon Press. 307.
8. Haines, D. W. 1978. On musical instrument wood. *J. Catgut Acoust. Soc. Newsletter.* 31:23~32.
9. Henry A, Strobel. 1999. *Book of the strobel series for violin makers.* Henry A. Strobel.
10. Hutchins, C. M. 1962. The physics of violins. *Sci. Am.* 78~186.
11. James Beament. 1997. *The violin explained.* Oxford University Press Inc.

33~69.

12. McIntyre, M. E. and J. Woodhouse. 1988. On measuring the elastic and damping constants of orthotropic sheet materials. *Acta Metall.* 36(6): 1397~1416.
13. Minnaert, M. G. J. and C. C. Vlam. 1937. The vibrations of the violin bridge. *Physica.* 4(5): 361~372.
14. Müller, H. A. 1979. The function of the violin bridge. *Catgut Acou. Soc. Newsletter.* 31:19~22.
15. Ossman, B. 1999. Violin making. Fox Chapel Publishing Co. Inc.
16. Randall, R. B. 1987. Frequency analysis. *Brüel & Kjær.* 16~77.
17. Rodgers, O. E. 1988. The effect of the elements of wood stiffness on violin plate vibration. *J. Catgut Acoust. Soc.* 2nd ser. 1(1):2~8.
18. Thompson, R. 1979. The effect of variations in relative humidity on the frequency response of violin plates, *Catgut Acoust. Soc. Newsletter.* 32:25~27.
19. Trott, W. J. 1987. The violin and its bridge, *J. Acoust. Soc. Am.* 81(6): 1948~1954.