목재공학 39(1): 28~32, 2011
Mokchae Konghak 39(1): 28~32, 2011

왕대의 3방향에 따른 초음파적 특성*1

강 석 구*2 · 이 화 형*3†

Ultrasonic Properties of *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc depending on Three directions*1

Seog Goo Kang*2 · Hwa Hyoung Lee*3†

요 약

ABSTRACT

This research was carried out to examine the ultrasonic properties of *Phyllostachys bambusoids* Sieb et Zucc depending on three directions for providing the fundamental properties of the Korea traditional flute, Daekeum. The ultrasonic properties of *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc were found to be different from those of wood, because of the distinctive anatomical structure of bamboo tissue. The ultrasonic velocity of peripheral zone showed higher values of all three directions. The ratio of longitudinal velocities to perpendicular velocities showed 1.16 at peripheral zone, 1.70 at central zone, 1.38 at inner zone respectively. The ratio of radial velocities to tangential velocities were measured as 1.286 at peripheral zone, 1.325 at central zone, 0.829 at inner zone respectively.

Keywords: Ultrasonic property, *Phyllostachys bambusoids* Sieb et Zucc, three direction

*1 접수 2010년 8월 13일, 채택 2010년 10월 12일
*2 충남대학교 환경소재공학과. Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
*3 충남대학교 환경소재공학과. Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
† 교신저자(corresponding author) : 이화형(E-mail: hhlee@cnu.ac.kr)

1. 서 론

목재와 함께 인간생활에 널리 이용되어 왔던 대나무는 우리 주위에서 쉽게 구할 수 있는 재료로서 그동안 약용, 식용, 건축재, 펄프제지, 죽세 공예품, 악기 등으로 사용되어 왔다. 특히 악기용으로서의 대나무는 부드럽고 청아하며 동시에 구성진 고유한 음향적 성질을 지니고 있어 삼한시대에 이미 대나무로 피리를 만들어 북, 거문고와 함께 합주를 하였었다. 대금, 중금, 소금은 가로로 부는 횡적인데 비하여 퉁소와 단소는 세로로 부는 종적이다. 또한 대나무를 악기로 사용하는 것으로서 공명통으로 사용하는 해금이 있다. 대나무 악기를 잘 만들기 위하여 악공은 전통적인 제작방법으로 경험에 의하여 재료를 고르는데 많은 신경을 써 왔다. 단소재료는 보통 황죽(黃竹)과 오죽(烏竹) 두 종류의 대나무를 쓰는데, 단단하고 높은 소리를 내는 노란색의 황죽도 좋지만 색도 좋고 깊은 느낌이 있는 거무스름한 오죽도 좋다. 황죽 또는 쌍골죽으로 만든 대금은 우리나라 대표적인 횡죽으로 음고가 안정적이어서 합주할 때 조율의 기준으로 사용하며 독주악기로도 사용된다.

쌍골죽은 왕대나 분죽 등에서 돌연변이로 생긴 대나무인데 단단하고 속살이 두껍기 때문에 내경을 일정하게 파서 음정을 정확히 맞출 수가 있기 때문에 가장 좋은 재료로 치고 있다. 그러나 쌍골죽은 민죽에 비하여 둥그렇지도 않고 뒤틀린 것이 많아 실제 대금을 만들기 위한 쌍골죽은 그리 많지 않다.

대나무를 공명통으로 사용하는 해금은 왕대 뿌리 또는 요즈음은 맹종죽 뿌리를 사용하고 있다. 일반적으로 악기제조업자들은 우수한 향판재를 고르는 간단한 방법으로 경고법을 사용하였는데 목재가 가벼우면서도(밀도 낮음) 맑고 투명한 소리를 내는(탄성계수가 높음) 목재를 선택하였다. 이것은 바로 향판용재의 평가를 위한 과학적인 진동적 성질에 관련된 요소에 의한 평가와 같은 원리라고 할 수 있다. 즉 목재의 음향방사는 목재 내 내부손실이 적고 음향방사 감쇄율이 크면 좋은데 관련된 평가 요소는 간단하게 요약하자면 Q : 내부손실, E : 탄성계수, ρ : 밀도, V : 목재 내 음속으로서 $Q^{-1}/E/\rho$ (Q : 내부손실, E : 탄성계수, ρ : 밀도, V : 목재 내 음속)(Ono, 1983)와 Q^{-1}/E (則元, 1982), E/ρ (탄성계수 대 밀도비, 矢野, 1985), V/ρ(공진비, Holz, 1984; Lee, 1997)로서 값이 크면 좋은 것으로서 향판재 성질의 상대 비교가 가능하다고 요약할 수 있다. 따라서 가벼우면서 탄성계수가 높거나 가벼우면서 목재 내 음속이 빠르면 상대적으로 좋은 향판재라고 할 수 있다. Bucar (1987)는 향판재로 사용하는 가문비나무와 일반용 가문비나무의 차이가 방사방향과 접선방향의 음속의 차이가 많이 나고 있다고 보고 하였으며 이(1997)는 기타나 바이올린 제조 시 연륜폭 1~2 mm 내외의 고른 결을 갖는 변재 부분의 성숙재를 악기의 한가운데 중심부에 위치시키고 판재넓이를 넓게 하기 어려우므로 수심근처의 미성숙재나 심재를 부득이 포함시킬 경우 심재와 미성숙재를 가장자리 부분으로 위치시키는 것은 바로 길이방향과 그 직각방향의 음향전달속도의 비를 가능한 한 균일하도록 하기 위함이라는 것을 밝히고 있다. 이 등(1989)은 섬유평행방향이 섬유직각방향보다 3~4배 빠르며, 방사방향의 음속이 접선방향보다 약간 빠르다고 하였다. 이와 같이 악기로 사용할 때의 재료의 방향에 대한 음향적 성질이 중요한데 이와 관련하여 강 등(1997)은 아세칠화 처리가 대나무재의 길이방향만의 초음파 전달속도에 미치는 영향에 대한 연구 결과를 보고하였다.

본 연구는 대금으로 가장 많이 사용하는 왕대의 3방향에 대한 음속을 측정하여 악기를 위한 기본 자료로서 활용하기 위하여 초음파적 성질을 알아보고자 실시하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 공시 수종

사용된 공시 수종은 전남 담양군 금성면에 생육되고 있는 왕대(*Phyllostachys bambusoides* S et Z.) 3년생을 죽간이 통직하고 외관이 건전한 원죽을 지면 기부에서 벌채하여 운반에 편리하도록 전장을 3등분하여 운반하였다. 실험실에서 5년간 기건시켜 둔 밀

Table 1. Ultrasonic velocity of *Phyllostachs bambusoidies*

Velocity (u/s)	Longitudinal (F = 20803.9)***			Radial (F = 2235.396)***			Tangential (F = 1968.02)***		
	mean	SD	DUN	mean	SD	DUN	mean	SD	DUN
Peripheral Zone	5.915	0.079	C	5.724	0.561	C	4.451	0.428	C
Central Zone	5.468	0.038	B	3.751	0.616	B	2.830	0.183	A
Inner Zone	4.726	0.089	A	2.986	0.330	A	3.603	0.290	B

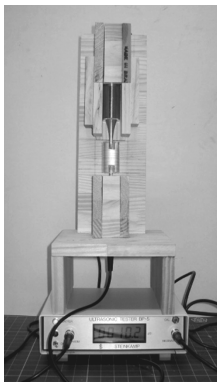

Fig. 1. Ultrasonic test instrument (Steinkamp Co.).

도 0.76, 함수율 6.7%의 기부로부터 3마디 째의 절간부만을 사용하였다.

2.1.2. 음속측정기

얇은 것을 측정하도록 설계된 transmitter와 receiver의 끝이 뾰족하게 된 Steinkamp사의 Ultrasonic Test Instrument (Fig. 1)를 사용하여 시간(μs)을 측정하고 음속은 V = L/T (cm/μs, L : path length, T : transit time)식을 사용하여 결정하였다. 측정할 때마다 calibration cylinder 10 μs로 조정하여 안정화될 때 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 음속측정 및 음향방사

왕대의 3방향에 대한 음속을 측정하기 위하여 시험편의 크기를 길이는 94 mm, 너비는 15 mm, 두께는 8 mm로 채취하여 길이방향, 너비방향, 두께방향으로 초음파측정기를 사용하여 200개씩 시간을 각기 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대나무의 3방향에 따른 초음파 속도

목재는 섬유평행방향에 대한 음속이 3방향 중 가장 높아 4,000~5,000 m/sec인데 반하여 섬유직각방향은 932~1,420으로 섬유직각방향에 대한 섬유길이방향의 비가 3~5배로 매우 높은 것으로 보고하고 있으나(이 등, 1989) 왕대의 경우는 Table 1과 Table 2에서 보는 바와 같이 섬유직각방향에 대한 섬유길이방향의 비가 외주부의 경우 1.16, 중심부가 1.70, 내층이 1.38로서 목재에 비하여 그 비가 상당히 적었다. 또한 접선방향에 대한 방사방향의 음속의 비는 외주부의 경우 1.286, 중심부가 1.325, 내층이 0.829로서 중심부까지는 방사방향이 접선방향보다 음속이 높았으나 내층부에서는 접선방향의 음속이 방사방향보다 높았다. 목재의 경우 Bucur (1987)는 가문비나무 향판재의 경우 1.25, 일반재의 경우 1.39로 보고하였다.

이렇게 차이가 나는 이유로는 왕대를 구성하고 있는 해부학적 구조의 차이에 기인한다고 할 수 있다. 즉 대나무의 경우는 사진 1과 같이 구조적으로 침활엽수의 구조와 달리 수평조직인 방사조직이 없으며 모든 세포가 축방향으로만 배열되어 있고 비대생장을 하는 유관속 형성층이 없이 1차조직으로만 구성

Table 2. Ultrasonic velocity of *Phyllostachs bambusoidies*

Velocity (u/s)	Peripheral Zone (F = 1132352)***			Central Zone (F = 3895.014)***			Inner Zone (F = 3478.837)***		
	mean	SD	DUN	mean	SD	DUN	mean	SD	DUN
Longitudinal	5.915	0.079	C	5.468	0.038	C	4.726	0.089	C
Radial	5.724	0.561	B	3.752	0.616	B	2.986	0.330	A
Tangential	4.451	0.428	A	2.830	0.183	A	3.603	0.290	B

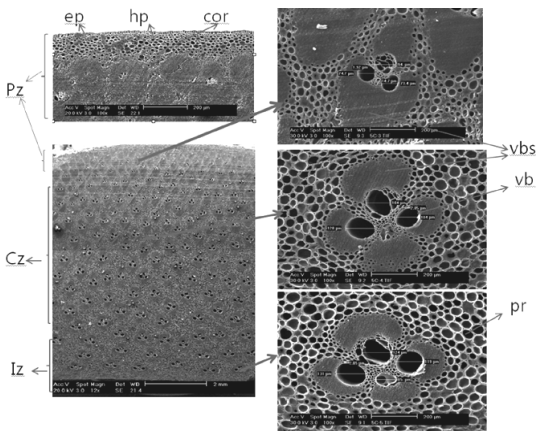

Fig. 2. Cross section view of *P. bambusoides* to show three zones.
(Pz : peripheral zone, Cz : central zone, Iz : inner zone, ep : epidermis, hp : hypodermis, cor : cortex, vbs : vascular bundle sheath, vb : vascular bundle, pr : parenchyma cell).

되어 있다(박 등, 1987). 개개의 유관속은 부제중심주로서 내강이 거의 없을 정도로 비후해지는 후벽섬유의 조직으로 둘러 싸여 있는데 이 후벽섬유의 집단을 유관속초(bundle sheath)라고 한다. 진간의 바깥쪽 즉 표피 쪽은 유관속의 발달이 거의 없이 후벽 섬유속만으로 유관속초가 구성되어 있다. 따라서 이들 후벽섬유 외주부(Peripheral zone)의 음속은 Table 1과 2에서처럼 3방향 모두가 높은 음속을 나타내 목재와는 다른 양상을 보이며 접선방향 , 방사방향, 길이방향 순으로 길이방향의 음속이 가장 높았다. 이 등(1987)은 내층으로부터 유관속초로만 구성되고 있는 표피 쪽 즉 후벽섬유외주부로 갈수록 계속하여 용적밀도수가 증가하는 것으로 보고하고 있는 것도 바로 왕대의 해부학적 구조에 의하여 나타나는 것이다. 외주부와 중심부의 길이방향 음속은 강 등(1997)의 보고치 5,030 u/s보다 높은 치인 5,915 u/s, 5,468 u/s를 각기 나타내나 최내부(Inner zone)의 길이 방향은 4,726 u/s로 이보다 낮았다.

Bucar (1987)는 향판재로 사용되는 가문비나무와 일반용 가문비나무의 차이가 길이방향의 음속보다 방사방향과 접선방향의 음속의 차이가 크다고 보고하였으며 이(1997)는 기타나 바이올린 제조 시 연륜폭 1~2 mm 내외의 고른 결을 갖는 변재 부분의 성숙재를 악기의 한가운데 중심부에 위치시키고 판재 넓이를 넓게 하기 어려우므로 수심근처의 미성숙재나 심재를 부득이 포함시킬 경우 심재와 미성숙재를 가장자리 부분으로 위치시키는 것은 바로 길이방향과 그 직각방향의 음향전달속도의 비를 가능한 한 균일하도록 하기 위함이라는 것을 밝히고 있다. 따라서 방사방향이나 접선방향의 음속도 향판이나 악기에서 매우 중요한 의미를 갖고 있는데 Table 1 및 2에서처럼 대나무의 경우 조직 구조상 특이한 결과가 나왔다. 즉 외주부와 중심부에서는 방사방향이 접선방향보다 높게 나타났으나 최내부는 오히려 접선방향이 방사방향보다 높았다. 이유를 추정하여 보면 대나무의 기본조직인 유세포보다 밀도가 높은 후벽섬유의 비율과 모양에 의하여 음속이 영향을 보다 크게 받게 되는데 일차적으로 기본조직인 유조직을 사이에 두고 비중이 높은 유관속초가 배열되는데 외주부는 유관속초의 분포 비율이 압도적으로 높아 고밀도를 형성하고 있으며 중심부는 외주부보다는 유관속초의 밀도가 떨어지나 내층보다 높고 내층에서는 유관속초의 밀도가 가장 낮게 되는 것이 음속의 차가 나타나는 첫 번째 이유로 들 수 있고 그 다음으로 유관속을 둘러싼 유관속초의 분포 길이가 접선방향/방사방

향의 비가 영향을 주게 될 것으로 이 유관속초의 분포길이가 접선방향/방사방향의 비가 중심부(0.91 ± 0.042)와 최내부(1.60 ± 0.188)가 서로 역전이 되어 Fig. 2처럼 내층에서는 접선방향으로 더 길게 분포되어 있고 유관속초 간에 있는 유조직의 층수가 접선방향보다 방사방향이 더 많은 것이 영향을 주는 것으로 추정된다.

4. 결 론

대금으로 가장 많이 사용하는 왕대의 3방향에 대한 초음파적 성질을 알아본 결과 왕대의 해부학적 성질에 기인하여 목재와는 아주 다른 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 왕대의 섬유직각방향에 대한 섬유길이방향의 음속의 비가 외주부의 경우 1.16, 중심부가 1.70, 내층이 1.38로서 목재에 비하여 그 비가 상당히 적었으며 후벽섬유외주부(Peripheral zone)의 음속은 3방향 모두가 높은 음속을 나타내 목재와는 다른 양상을 보였다.

2) 접선방향에 대한 방사방향의 음속의 비는 외주부의 경우 1.286, 중심부가 1.325, 내층이 0.829로서 중심부까지는 방사방향이 접선방향보다 음속이 높았으나 내층부에서는 접선방향의 음속이 방사방향보다 높았다.

참 고 문 헌

1. Bucur, V. 1987. Varieties of resonance wood and their elastic constants. J. Catgut Acous. Soc. Ser. 1. No. 47: 42~48.
2. Bucur, V. 1995. Acoustics of wood. CRC Press. p. 284.
3. Holz, D. 1984. On some relations between anatomic properties and acoustical qualities of resonance wood. Holztechnologie 25(1): 31~36.
4. Ono, T. and M. Norimoto. 1983. Study on young's modulus and interfriction of wood in relation to the evaluation of wood for musical instruments. Jpn. J. Appl. Phys. 22(4): 611~614.
5. 강호양, 이관영. 1997. 아세칠화 처리가 대나무재의 초음파 전달 속도에 미치는 영향. 목재공학 25(3): 8~15.
6. 박상진, 이원용, 이화형. 1987. 목재조직과 식별. 향문사. 한국. p. 385.
7. 이화형. 1997. 가문비나무의 연륜폭 광협에 따른 성숙재와 미성숙재의 초음파적 특성. 한국가구학회지 8(1): 63~71.
8. 이화형 등. 2008. 신고 목재물리 및 역학. 향문사. 한국. p. 338
9. 이재기, 박상진 1987 담양지방 왕대속 4종의 조직 및 간내 변이성. 목재공학 15(3): 14~23.
10. 則元 京. 1982. 樂器用材の物性(第1報)ピアノ響板材の選別について.木材學會誌 28: 407.
11. 矢野浩之, 山田 正. 1985. 木の音色に關する研究(第1報) 木材半徑方向の音響スペクトルについて. 木材學會誌 31: 719.