

징악기의 RIM 깊이에 따른 음향 증폭 및 음향 지속 시간에 관한연구

손정호, 최성명, 배명진
송실대학교 정보통신공학과

A study on the sound amplification and delay by rim's depth of Jing.

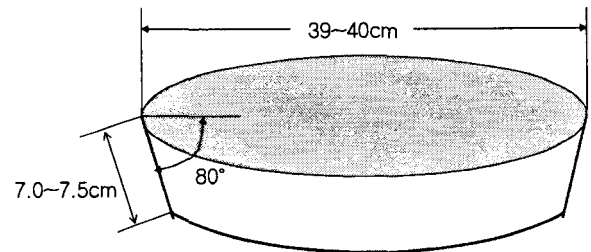
Jung-Ho Sohn, Seung-Ypung Choi, Myung-Jin Bae
Dept. Information and Communication, Sooung Sil University
sohnjh@kbs.co.kr

요약

한국의 전통국악기 가운데 대중들에게 가장 친근한 악기 가운데 사물놀이 악기이다. 징, 장구, 쟁과리, 북, 이 사물 악기 가운데도 특히 징악기는 소리가 웅장하고 부드러우며 감싸주는 멋이 있다. 징의 구조는 직경 39~40cm인 둥근 원판과 림(Rim:전두리)으로 되어 있다. 재질은 동과 주석을 78:22의 비율로 합금한 유기(놋쇠) 제품으로 만들 때는 방짜유기로 만든다. 본 논문에서는 우선 파동방정식에 의해서 수리적으로 징의 기본 주파수를 구하고, 만곡 면으로 된 원판을 지지하고 있는 징의 Rim 두께와 깊이에 따라 징악기 소리의 세기를 나타내는 진폭과 소리 여운의 지속 시간을 변동시키는 관계를 본 연구 논문에서 밝히고자 한다.

또한 징악기의 고유 특성 주파수를 컴퓨터 프로그램으로 측정하여, 징악기의 정체성을 음향학적으로 규명하고, 나아가서는 본 실험결과를 통해서 한국전통문화의 현대화에 이바지하며, 한국 문화의 우수성을 밝히고자 한다.

1.2 징 악기의 기능과 구조



<그림1> 징의 모양

1. 서론

1.1 징 악기 개략

징 악기는 사물놀이 연주악기 가운데 하나이다. 사물이란 불교에서 사용하는 범종, 목어, 운판, 법교를 가리키는 말이며 현재는 쟁과리, 징, 장구, 북 4개의 전통민속 악기를 칭하며, 이 4개의 악기를 갖고 연주하거나 상모를 돌리는 행위를 사물놀이 연주라고 한다.

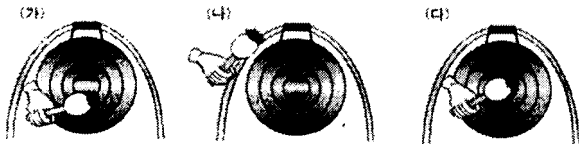
본 연구에서는 한국의 오랜 역사와 전통 속에 한국인에게 사랑 받아오고 있는 징 악기 소리의 특징인 웅장하면서 부드러우며 아름다운 여운의 소리에 대하여 과학적으로 규명하기 위해서 징악기의 울림통 즉 공명통 역할을 하는 징의 RIM(전두리)의 깊이와 징 악기 소리의 지속 시간에 관한 관계를 물리화학적으로 계산해내고,

모든 악기들이 연속적으로 소리를 내려면 악기가 2개의 부분으로 나누어져 있어야 한다. 마찬가지로 한국의 징도 악기의 구조가 간단하면서도 2개 부분으로 나누어져 있다. 예를 들면 바이올린의 줄처럼 음파를 만드는 부분과 음파를 받아 공명을 일으키는 몸통이 있듯이 징 악기도 울림판과 공명 태두리(RIM)로 구성되어 있다. 징 악기는 소리가 웅장하고 부드러우며 우리들에게 아주 친근한 오랜 전통악기로 농악과 무악 그리고 승가에서 사용 시에는 징이라고 부르고 궁중 제례악에 사용 시는 대금이라 부르는 악기로 농악이나 무악 등에서는 장

단의 첫 박에서 많이 쓰고 종묘 제례악에서는 음악의 끝을 알릴 때 사용된다. 징의 구조는 직경이 39~90cm인 둥근 만곡면으로 된 원판과 7.5~7.5cm의 길이의 전두리(Rim)로 되어 있다. 전두리의 두께는 가장자리가 약 3.7~3.8mm이고, 가운데가 2.0mm, 그리고 맨 안쪽이 1.5mm이다. 그리고 징의 원판과 전두리와의 각도는 약 80° 정도이고 원판의 만곡면은 가운데가 약 2.5mm이고 가장자리가 약 0.85~1.0mm이다. 전두리 가까이에서 1~1.3mm로 원판의 안쪽이 두텁다. 일반적으로 징 악기의 제작은 방짜유기(놋쇠)로 만든다.

2. 본론

2.1 징 악기의 타법



<그림2> 징악기의 정타법

징 악기는 음악적인 역할이나 소리의 특성상 다른 타악기에 비해 적은 점수를 치는 것으로 치는 점수간 사이가 길다. 따라서 다른 타악기를 칠 때와는 달리 준비동작과 치는 동작을 여유 있게 행한다. 위의 <그림2>는 징의 기본 타법으로 (가)의 징체를 잡은 손(팔)을 울림판 반대편 대각선 방향으로 약간 돌려 올려 징과의 거리를 약 40~50cm가 되도록 한다. 손목을 밖으로 꺾어 (나)와 같은 준비동작에서 멈추지 않고 채를 잡은 손을 징의 방향으로 이동, 울림판 가까이 도달했을 때 손목을 안으로 바르게 꺾어 (다)와 같이 채의 방울이 울림판 정 가운데 닿도록 친다. 이때 징의 호흡법은 한번 치는 길이를 한 호흡으로 상·하 호흡을 하는 것이 기본이다. 징을 치는 순간을 내린 호흡으로 하여 다시 쳐야 하는 순간까지를 한번의 호흡으로 잡으며, 이때 길이의 반은 호흡을 내린 상태로 하고 나머지 반은 들어 주는 호흡으로 한다. 한편 들어주는 호흡에서 채를 잡은 손은 다음 치기 위한 준비동작을 한다. 따라서 징의 경우는 한 장단의 머리에 치는 경우가 보편적이다.

2.2 징 악기의 음향 주파수 계산

2.2.1 징 악기 주파수에 관한 기존 연구 조사

한국국악기에 대한 연구 서적이거나 논문은 별로 없는 상태이며, 아래와 같이 몇 편의 연구 보고서가 있다.

- 징악기의 중심 주파수 측정(서울대학교 멀티미디어 연구실)
- 징악기 소리와 인간의 목소리 주파수 비교 연구(숭실대학교 음성통신연구실)
- 징악기의 재질 성분별 주파수 분석 측정(숭실대학교 음성통신연구실)

2.2.2 징 악기 주파수의 수학적 계산

징악기의 화학 물리 성분은 납청유기사의 경우 순동 16% 주석 4.5%로 합금의 비는 동 78% 주석 22%으로 혼합된 놋쇠이다. 이 합금의 재질은 일반 공업용의 금속 재질 가운데는 없고 이와 유사한 재질은 CAD No. 913(81Cu-18Sn)가 있다.

2.2.3 원형 박막 타악기의 진동 모드에 의한 주파수 계산

현악기와 같이 1개의 줄로 되어 있는 악기의 주파수는 1차원 계산으로 쉽게 기본 주파수를 구할 수 있으나 징이나, 장구와 같은 악기는 2차원 평면상에서 진동하는 진동판에 의한 음파이므로 그 주파수를 구하는 것이 복잡하며 주위 환경의 많은 요소들이 등장함으로 계산 값이 정확하게 되지 않는다. 그러나 2차원 파동방정식을 통해서 징악기의 화학물리적 성분을 이용하여 수학적으로 계산 하여 보았다.

$$\frac{\partial^2 \mu}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mu}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \mu}{\partial \theta^2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

원형박막을 중앙을 쳐서 이동시키면 박막의 변위 μ 는 r 에만 의존하고 θ 에는 의존하지 않는다. 따라서 이 경우 원형박막의 변위 μ 는 r 과 t 만의 함수 $\mu(r, t)$ 가 되므로 θ 가 들어있는 항은 삭제된다.

$$\frac{\partial^2 \mu}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mu}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (2)$$

극 좌표계를 사용하면 변수를 2개로 분리하여, 편미분 방정식을 풀어서 $\mu(r, t)$ 을 구하면 된다. 그러면 경계 조건을 만족시키는 해(고유함수)

$$\mu_m(r, t) = W_m(r) G_m(t) \\ \mu_m(r, t) = (a_m \cos \lambda_m t + b_m \sin \lambda_m t) J_0(k_m r) \dots \dots (3)$$

$$f_{mn} = \frac{\lambda_m}{2\pi} = \frac{c \times a_m}{2\pi R} = \frac{c}{2\pi R} \sqrt{\frac{T}{\sigma s}} \dots \dots (4)$$

징의 경우는 Circular Free Plate로서 다음 식에 의해서 기본 주파수를 계산할 수 있다.

$$f_{mn} = \frac{0.412t}{R^2} \sqrt{\frac{T}{\rho(1-\sigma^2)}} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 t = 두께 [cm]
 R = 판반경 [cm]
 ρ = 밀도 [gr/cm³]
 σ = 포아송비
 T = 영률 [dyne/cm³]

낫쇠 징악기의 재원에서 직경 40cm이고 두께가 0.15cm일 때 이상적인 징악기의 기본주파수는

$$f_{mn} = \frac{0.412 \times 0.015}{0.2^2} \sqrt{\frac{110 \times 10^9}{8530(1-0.37^2)}} = 66.36[\text{Hz}]$$

두께가 0.2cm일 때 기본주파수는 88.47[Hz] 이다.

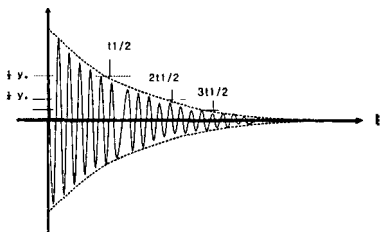
2.3 징악기의 RIM의 폭(깊이)에 따른 음향 증폭도 및 지속 시간 측정

2.3.1. 공명주파수 측정 분석

첫째로 분석용 음원은 현재 한국인들이 많이 사용하는 사물 징 악기를 사용하였다.

- 1) Rim이 완전한 징의 소리
- 2) Rim이 1/2로한 징의 소리
- 3) Rim이 없는 상태의 징소리

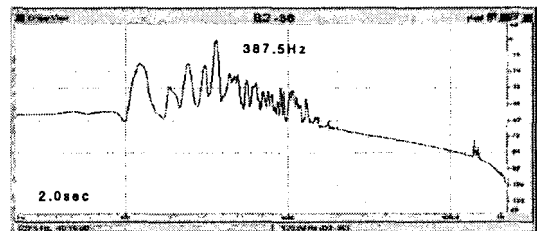
의 3가지 종류 소리로 나누어서 측정하였다. 음원의 픽업 시 마이크의 위치는 음원과 1.5m 떨어진 곳에 마이크 높이 1.5m 의 스탠드에 고정하여 스튜디오의 반사율을 줄이기 위하여 스튜디오 중앙에 설치하였다.



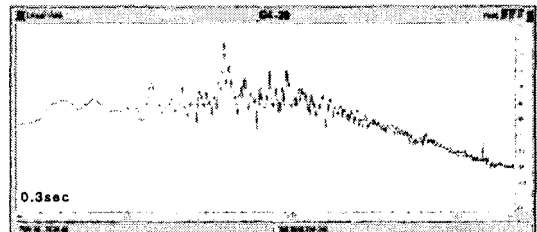
<그림3> 타악기 음향 파형의 감쇄 모양

특히 마이크의 높이는 인간의 귀의 높이와 심장의 위치를 고려하여 1.5m를 취했으며 이는 낮은 주파수의 소리가 인간의 신체에 미치는 영향이 심장으로 통한 감각이 중요한 것을 감안했다.

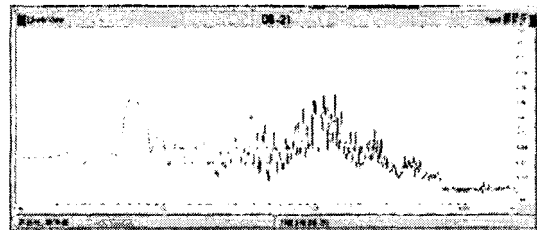
둘째로 분석의 초점은 징 악기를 1타 한 후 징소리의 파형을 시간 축으로 했다. 최고 증폭도를 기점으로 하여 1/2씩 파형이 감쇄되는 시점 2초, 3초, 3.5초, 4초, 6초, 10초, 20초 지점 등 7개 지점으로 분류하고 각 구간에서 스펙트럼 상에 나타나는 기본주파수, 제2고주파수, 제3고주파수 위주로 측정하였다.



<그림4> 징의 온전한 RIM 주파수 분석표



<그림5> 징의 RIM 1/2 주파수 분석표



<그림6> RIMLESS 징소리주파수 분석표

<표1> 온전한 RIM(전두리)의 음향주파수 특성

주파수(Hz) \ 시간(sec)	100-200	201-300	301-400	401-500	501-700	701-1000	1001-2000
2초지점	118.4	236.8	355.2	441.4	645.9	710.5	1071
3초지점	118.4	236.8	366.0	441.4	613.6	947.4	1119
3.5초지점	118.4	247.6	366.0	441.4	613.6	958.2	1076
4초지점	118.4	247.6	366.0	441.4	613.6	742.8	1076
6초지점	118.4	247.6	366.0	441.4	613.6	872.0	1076
10초지점	118.4	247.6	366.0	441.4	613.6	742.8	1173
20초지점	118.4	247.6	312.2	462.9	516.7	958.2	1044

<표2> 반RIM(반전두리)의 음향주파수 특성

주파수(Hz) \ 시간(sec)	100-200	201-300	301-400	401-500	501-700	701-1000	1001-2000
0.3초지점	139.9	215.3	387.5	409.1	522.1	737.5	1135
0.7초지점	139.9	215.3	387.5	414.5	656.7	737.5	1211
1.3초지점	139.9	215.3	387.5	436.0	570.6	737.5	1625
2.0초지점	139.9	279.9	387.5	436.0	570.6	915.1	1189
2.5초지점	139.9	279.9	387.5	436.0	570.6	915.1	1184
3.5초지점	139.9	279.9	344.5	436.0	570.6	915.1	1184
5.0초지점	139.9	279.9	344.5	436.6	570.6	915.1	1184

<표3> RIMLESS 음향주RIM파수 특성

주파수(Hz) \ 시간(sec)	20-200	201-300	301-400	401-500	501-700	701-1000	1001-2000	2001-5000
0.2초지점	64.59	166.8	337.7	462.9	683.6	726.7	1162	2820
0.35초지점	59.21	172.2	339.1	473.7	543.7	990.5	1372	2793
0.7초지점	59.21	172.2	382.2	473.7	543.7	952.9	1157	2260
1.0초지점	59.21	172.2	376.8	473.7	538.3	990.5	1157	2793
2.0초지점	59.21	172.2	382.2	473.7	538.3	990.5	1157	2503
3.0초지점	59.21	183.1	382.2	419.8	538.3	990.5	1372	2336
5.0초지점	-	-	-	-	-	-	-	-

2.3.2 정악기의 RIM의 길이 변화에 따른 주파수 및 지속시간 변화

2.3.2.1. FULL RIM의 경우 주파수 측정 결과

대표적인 사물 징 악기의 기본주파수는 118.4Hz이며, 2배음 236.8Hz, 3배음 355.2Hz와 366.0Hz를 대표주파수로 하고 있다. 그러므로 사물 징의 대표주파수 범위는 118.4~366.0Hz 사이를 갖고 있으며 주요 주파수 대역폭은 248.2Hz이다. <표1>참조. 징 악기를 정타한 후 0-0.5초 구간에는 고주파음이 많다. 0.5-1.0초 구간에는 고주파음 2kHz 이상 주파수는 decay 된다. 1.0-2.0초 구간에서는 1kHz 이상 주파수는 decay된다. 2.0-3초 구간에서는 400Hz 이상의 주파수가 decay된다. 4초 이후는 전구간이 30dB 이상이 감쇄되어 여운으로 20초 이상 진행된다.

2.3.2.2 HALF RIM의 경우 주파수 측정 결과

Half Rim 징 악기의 기본주파수는 139.9Hz로 시작해서 2배음 279.9Hz, 2.8배음 387.5Hz, 3.1배음 436Hz, 4배음 570.6Hz, 5.27배음 737.5Hz, 주요 포먼트 주파수가 139.9~915.1Hz까지 넓게 분포되어 있다. 주요 포먼트 분포 대역 주파수 대역폭이 776Hz이다. Half Rim 징악기의 기본 주파수는 Full Rim 징 악기의 기본주파수 주파수 보다 21.5Hz 높은 것이 특징이다. 징 악기의 소리는 Full Rim의 소리보다 지속시간이 1/2로 줄어든다. 지속시간은 5초 이후 10초까지 진행된다<표2>참조

2.3.2.3 RIMLESS의 경우 주파수 측정 결과

기본 주파가 59.21Hz로서 3배음 172.2Hz 6.5배음 382.2Hz 8배음 473.7Hz, 9배음 538.3Hz 19.5배음 1157Hz, 38배음 2260Hz로 분포되어 있으며 주요 포먼트

주파수의 범위는 59Hz에서 1372Hz로 1312Hz의 대역폭을 갖고 있다. <표3>참조

위에서 설명한 3가지의 경우를 비교해볼 때 RIMLESS 징악기의 경우 제1포먼트 주파수가 1157Hz로 매우 높은 값을 갖고 있다. 그리고 또한 기본 주파수가 59.21Hz는 3가지 경우를 모두 포함하여 기본 주파수로 Full Rim 징악기의 기본 주파수의 1/2 이 되는 주파수인데 이주파수가 징악기의 울림판 주파수로서 RIM을 진동시켜서 온전한 징의 기본주파수를 만들어 낸다고 볼 수 있다. 파동방정식에서 구한 값은 66.35[Hz]와 비교하면, 10% 정도의 오차가 있다 이는 공기저항과 기타 요인에 의해서 10% 내지 20%가 감소되는 것으로 알려져 있다.

3. 결론

징 악기의 공명테두리인 RIM의 두께와 폭의 넓이에 따라서 징 소리의 진폭(음의 강약)과 소리의 지속시간이 조절되었다.

<표4> 징의 RIM의 폭에 따른 주파수 및 지속시간 변화

구 분	주요 포먼트	지속 시간
Full Rim	118.4-366.0	20초
Half Rim	139.9-387.5	10초
Rimless	990.5-1372	5초

첫째로 징의 RIM을 1/2로 자른 후 실험결과 음의 강약과 지속시간은 1/2로 줄어들었으며, RIM을 완전히 제거한 후 실험결과는 소리의 강약과 지속시간이 약 1/4로 줄어들었다.

둘째로 징의 RIM은 1kHz 근방의 징의 울림판 주파수를 118Hz까지 끌어내려서 우람차고 부드러우며 그리고 길게 감사는 여운을 만든다는 사실을 증명하게 되었다. 즉 징의 RIM은 징의 포먼트 주파수를 저음으로 변화시키면서, 소리를 또한 지속시키는 역할을 하고 있었다.

참고문헌

- 1 손정호, 배명진 "사물놀이 악기 소리와 인간목소리 주파수대역" *전자공학회지* 제31권6호, pp.719-730 Jun,2004.
- 2 손정호 최성영 배명진 "재질성분에 따른 징 악기의 음향분석" *제16회 신호처리합동학술대회논문집제16권1호*
- 3 최병삼 "사물놀이 배우기" 징, 학민사,2003.5.25.
- 4 Donald E. Hall "Musical Acoustics" 3rd Edition, Books/Cole
- 5 Lawrence E. Kinseler/Austin R. Frey/ Alan B. Coppers/James V. Sanders "Fundamentals of Acoustics" 3rd Edition Wiley.