

일반논문-04-09-4-13

징악기의 RIM 깊이에 따른 음향 증폭 및 음향 지속 시간에 관한 연구

손정호^{a)*}, 배명진^{a)}A Study on the Sound Amplitude and Decaying Time of the Jing
Depending on the Depth of RimJung-ho Sohn^{a)*} and Myung-Jin Bae^{a)}

요 약

징은 한국의 전통국악기 가운데 대중들에게 가장 친근한 사물놀이 악기중의 하나이다. 이 사물 악기 가운데 징 악기의 소리는 웅장하고 부드러우며 아름다운 긴 여운의 소리를 갖고 있어서, 사물놀이 연주 시 다른 사물악기들의 연주음을 감싸주는 역할을 한다. 징의 재질은 동과 주석을 78:22의 비율로 합금한 유기(놋쇠) 제품으로 만들 때는 방짜유기로 만든다^[1]. 구조는 직경 39~40cm인 둥근 원판과 깊이가 7.0~7.5cm로 된 림(Rim:전두리)으로 되어 있다. 징 악기를 연주 할 때 원판의 가운데를 치면 이를 지지하고 있는 RIM이 함께 공명을 일으켜서 만곡면의 원판 소리보다 낮은 주파수의 소리를 낸다. 그래서 징은 RIM의 두께와 깊이에 따라서 새로운 공명 주파수를 만들고 음의 지속시간도 변화 시키고 있다. 즉 본 실험 연구 결과, 온전한 Rim의 징소리의 주요 주파수 범위는 118~336[Hz]로서 약 20초간 지속되며, Rim을 반으로 째른후의 징소리의 주파수는 139.9~387.5[Hz]로 높아지고, 울림이 10초간 지속되며, Rim을 완전히 제거된 징소리의 주파수는 990.5~1,372[Hz]로 점 점 높아지며 소리의 지속 시간은 5초로 줄어들었다. 본 논문에서는 만곡 면으로 된 원판을 지지하고 있는 징의 Rim 두께와 깊이의 따라 징소리의 세기를 나타내는 진폭과 징소리 긴 여운의 지속 시간이 변동되는 관계를 알 수 있었다.

Abstract

Jing(gong) is one of the most well known Korean traditional Samulnori instruments to the general public. Samulnori is consisted of four instruments, them being : the jing, the janggu (hour-glass drum), the kkwaenggwari, and the buk(drum). Of the four instruments, the jing with its deep, and yet soft and beautiful long lingering sound embraces the sounds of the other three. The jing is a brassware instrument, a compound of 78% copper and 22% tin. A high quality brassware is used when the jing is made. The jing is shaped with a 39-40cm circular plate and a rim that gives 7.0-7.5cm of depth to the instrument. Even with its most simple structure, when the circular plate is hit during performance, the rim which supports the circular plate gives resonance to the sound making low-frequency sounds. Therefore the range of the representative frequency of the full rim jing is between 118.4~366.0[Hz], the lingering sound lasts for more than 20 seconds afterwards. When the jing with half of its rim cut off is hit the basic frequency is 139.9~387.5[Hz]. And the sound lasted for ten more seconds. The jing of its rimless frequencies are distributed between 990.5~1,372[Hz]. And the lingering sound lasts for 5seconds afterwards. Therefore, different thickness and depth of the rim may give new resonance frequencies and alter the longing time of the sound. This thesis paper will try to reveal the relationship between the thickness or depth of the rim (which holds the bending circular plate) and the frequency or the lasting time of the sound.

Keywords : Samulnori, kkwaenggwari, buk, jing, janggu

a) 숭실대학교 정보통신공학과
Information and Telecommunication Dept., Soong Sil Univ.

I. 서론

징 악기는 사물놀이 연주악기가운데 하나이다. 사물이란 불교에서 사용하는 범종, 목어, 운판, 법고를 가리키는 말이며 현재는 쟁과리, 징, 장구, 북 4개의 전통 민속 악기를 칭하며, 이 4개의 악기를 갖고 연주하거나 상모를 돌리는 행위를 사물놀이 연주라고 한다.

본 연구에서는 사물놀이 악기 가운데, 징 악기에 대해서 연구한 결과 이다. 징 악기는 한국인들만 사용하는 합금법에 의해서 만들어진 방짜유기(놋쇠) 악기이다. 방짜유기란 구리와 주석을 78:22의 비율을 합금한 놋쇠를 불에 달구어서 망치로 두들겨서 원하는 물건의 형태를 만드는 방법으로, 단조라고도 한다. 이렇게 두들겨서 만든 유기 제품들은 일반 주물 제품 보다 단단하고 강도가 높아지는 관계로 수명이 길어진다. 특히 타악기인 징 악기의 경우에 특별한 음의 울림 효과를 낼 수 있다. 징 악기의 소리는 웅장하면서 부드러우며 아름답고 긴 여운의 소리에 갖고 있는 악기이며, 징 악기는 한국인들의 오랜 역사와 전통 속에서 함께 해온 악기이다. 또한 징 악기는 특별히 전수 받은 일부 장인들에 의해서 수제품으로 만들어 지고 있다. 그래서 징악기의 미래를 위해 악기특성의 표준화 작업이 필요하다고 생각되었다. 우선 징악기의 공명효과를 과학적으로 규명하기위해서 징악기의 울림통 역할을 하는 징의 RIM(전두리)의 깊이와 징 악기 소리의 지속 시간에 관한 관계를 물리화학적으로 계산해내고, 또한 징악기의 고유 특성 주파수를 최신 컴퓨터소프트웨어로 측정하여 분석 하였다.

징은 RIM의 두께와 깊이에 따라서 새로운 공명 주파수를 만들고 음의 지속시간도 변화 시키고 있다. 즉 본 실험 연구 결과, 온전한 Rim의 징소리의 주요 주파수 범위는 118~336[Hz]로서 약 20초간 지속되며, Rim을 반(半)으로 찢은 후의 징소리의 주파수는 139.9~387.5[Hz]로 높아지고, 울림이 10초간 지속되며, Rim을 완전히 제거된 징소리의 주파수는 990.5~1,372[Hz]로 점 점 높아지며 소리의 지속 시간은 5초로 줄어들었다. 본 징악기의 실험 연구 결과는 징악기의 만곡 면으로 된 원판을 지지하고 있는 Rim 두께와 깊이가 커질수록 징소리의 세기를 나타내는 진폭이 커지고 징소리 울림의 지속 시간이 길어짐을 알 수 있었다.

이는 한국의 전통국악기의 하나인 징 악기의정체성을 음향학적으로 규명하고, 나아가서는 본 실험결과를 통해서 한국전통문화의 현대화와 한국전통악기의 현대화 사업에 이바지하는데 있다.

II. 징악기의 RIM 깊이에 따른 음향 증폭 및 음향 지속 시간 측정 분석

1. 징 악기의 개략

1.1 징 악기의 기능과 구조

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 징악기도 울림판과 공명 테두리(RIM)로 구성되어 있다.

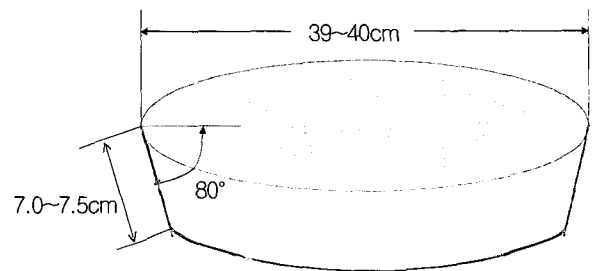


그림 1. 징의 모양
Fig. 1. The structure of the jing.

한국인들에게는 아주 친근한 오랜 전통악기이다. 농악과 무악 그리고 승가에서 사용 시에는 징이라고 부르고 궁중 제례악에 사용 시는 대금이라 부르는 악기로 농악이나 무악 등에서는 장단의 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 약0.85~1.0mm이다. 전두리 가까이에서 1~1.3mm 로 원판의 안쪽이 두텁다. 일반적으로 징 악기의 제작은 방짜유기(놋쇠)로 만든다. 방짜유기란 망치로 두들겨서 모양을 만든다는 뜻이다.

1.2 징 악기 음향 측정 방법

본 연구와 실험에서는 징 악기의 재질 성분에 대해서 물

리화학적 성분을 분석하고, 이 재료 성분에 의한 물리적인 주파수를 산출하였다. 그리고 실제의 징 악기의 음을 녹음하여 최신 컴퓨터 소프트웨어인 Cool Edit를 사용하여 상세히 분석 하였다. 분석 방법은 3가지로, 첫 번째로 온전한 징 악기의 소리를 녹음하여 분석하고, 두 번째로 징악기의 공명부분인 RIM(전두리 또는 테두리)을 1/2로 잘라낸후 녹음하여 분석하고, 세 번째로 RIM전체를 잘라내어 징 악기의 원판만 가지고 녹음하여 분석하였다. 즉 RIM의 사이즈(깊이)의 크기에 따라 3가지로 녹음된 징의 음원을 시료로 사용하였다.

1.3 징 악기의 타법

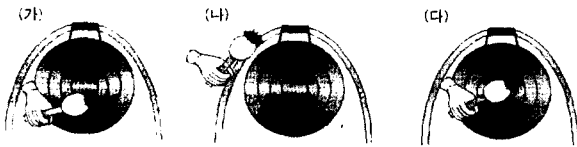


그림 2. 징악기의 정타법¹⁴⁾
Fig. 2. Playing the Jing

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 <그림 2>는 징의 기본 타법으로 (가)의 징체를 잡은 손(팔)을 울림판 반대편 대각선 방향으로 약간 들어 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 한 번의 호흡으로 잡으며, 이때 길이의 반은 호흡을 내린 상태로 하고 나머지 반은 들어주는 호흡으로 한다. 한편 들어주는 호흡에서 채를 잡은 손은 다음 치기 위한 준비동작을 한다. 따라서 징의 경우는 한 장단의 머리에 치는 경우가 보편적이다.

2. 타악기의 진동 모드에 의한 주파수 계산

2.1 징 악기 물리화학적 성분

징악기의 화학 물리 성분은 대체로 순동 16냥 주석 4.5냥

으로 합금의 비는 동 78% 주석 22% 으로 혼합된 놋쇠로서 한국인들만이 사용하는 전통적인 놋쇠의 합금법이다. 이와 비슷한 공업용 합금의 재질은 CAD No. 913(81Cu-18Sn)가 있다.

2.2 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. 2차원 파동방정식을 이용해서 징악기의 기본 주파수를 다음과 같이 수학적으로 계산 하였다.

$$\frac{\partial^2 \mu}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mu}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

징 악기는 진동판이 원형이므로 직교좌표계를 사용하는 것보다 극 좌표계를 사용하는 것이 진동수를 계산하는데 편리하다. 직교 좌표계와 극 좌표계는 $x = r \cos \theta$, $y = r \sin \theta$ 과 같은 관계가 있다. 식(1)을 극좌표계로 바꾸면, 좌변은 시간에 대한 미분으로 그대로이고, 우변은 극좌표로 변환하면

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

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.

$$\frac{\partial^2 \mu}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mu}{\partial r} \right) \quad (3)$$

가 된다.

극 좌표계를 사용하면 변수를 2개인 방정식을 풀어서 $\mu(r, t)$ 을 구하면 된다. 원형박막의 반지름 $r=R$ 인 경계면을 갖고 있다면 이때 경계조건은 끝이 고정되어 있으니 까 끝에서 변위 μ 는 영(0)이 되어야 하므로,

모든 $t \geq 0$ 에 대해 $\mu(R, t) = 0$ 이며, 초기조건으로 θ 에 무관하고 r 에만 의존한다.

초기 변위는 $\mu(r, \theta) = f(r)$ 이 되고, 초기속도를 $\frac{\partial \mu}{\partial t} \int_{t=0} = g(r)$ 이라고 놓을 수 있다.

극좌표계로 바뀐 2차원 파동방정식 $\frac{\partial^2 \mu}{\partial t^2} = c^2 (\frac{\partial^2 \mu}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mu}{\partial r})$ 의 2개의 상미분방정식으로 나누고, 편미분방정식의 변수분리법에 의해 경계조건을 만족시키는 파동방정식의 풀이를 구하기 위해 먼저 $\mu(r, t)$ 를 r 과 t 만의 함수의 곱이라고 가정하면,

- 1) 진폭함수 = $W(r)$ 와 시간함수 = $G(t)$ 는
$$\mu(r, t) = W(r)G(t) \tag{4}$$
- 2) 경계조건 만족시키기는 경계조건은 $\mu(R, t) = 0$ 이며, $\mu(r, t) = W(r)G(t)$ 이므로 $\mu(R, t) = W(R)G(t) = 0$ 이어야 한다.

극 좌표계를 사용하면 변수를 2개로 분리하여, 편미분 방정식을 풀어서 $\mu(r, t)$ 을 구하면 된다. 여기서

$$\begin{aligned} G(t) &= 0 && \text{이면,} \\ \mu(R, t) &= 0 && \text{되어 무의미하므로} \\ W(R) &= 0 && \text{이 되어야 한다.} \\ W(r) &= J_0(s) = J_0(kr) \text{ 이니까} \\ W(R) &= J_0(kR) = 0 \end{aligned}$$

따라서 J_0 가 0이 아닌 kR 값을 구하면 J_0 함수가 x 축을 끊을 때 이므로 이들 값들을 a_m (m 은 정수)이라고 하면,

$$kR = a_m, \quad k = k_m = \frac{a_m}{R}$$

이것을 k 대신에 $J_0(kr)$ 에 대입하여 경계조건을 만족시키는 진폭함수 $W_m(r)$ 은

$$W_m(r) = J_0(k_m r) = J_0\left(\frac{a_m}{R} r\right)$$

실제의 a_m 값들은 $a_1=2.4048, a_2=5.5201, a_3=8.6537, a_4=11.7915, a_5=14.9309$ 이다.

시간함수 $G(t)$ 는 $G(t) = a \cos \lambda t + b \sin \lambda t$ 형태로, $\lambda = ck$ 이므로 k 가 경계조건을 만족시키기 위해 $k_m = \frac{a_m}{R}$ 으로 제한되니까, 이때의 λ 를 λ_m ($\because \lambda_m = ck_m = c \frac{a_m}{R}$)이라고 써서 대입하면,

$$G_m(t) = a_m \cos \lambda_m t + b \sin \lambda_m t \quad (G_m = \text{시간함수})$$

이 된다.

그러면 경계조건을 만족시키는 해(고유함수) $\mu_m(r, t)$ 는

$$\begin{aligned} \mu_m(r, t) &= W_m(r)G_m(t) \\ \mu_m(r, t) &= (a_m \cos \lambda_m t + b_m \sin \lambda_m t) J_0(k_m r) \end{aligned} \tag{5}$$

식(5)은 원형대칭의 형태로 진동하는 원형박막의 고유함수이다. 고유 값은 λ_m 이다. 원형박막 진동 u_m 을 m 번째 기준진동이라 부르며 $\frac{\lambda_m}{2\pi}$ 의 주파수를 갖는다.

$$f_{mn} = \frac{\lambda_m}{2\pi} = \frac{c \times a_m}{2\pi R} = \frac{c}{2\pi R} \sqrt{\frac{T}{\sigma s}} \tag{6}$$

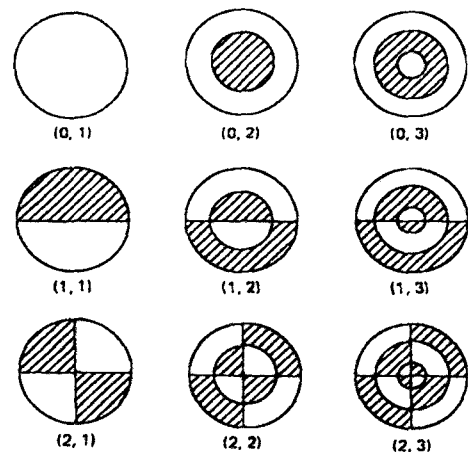


그림 3. 원형박막 타악기의 진동모드^[4]
Fig. 3. Normal modes of a circular membrane with fixed Rim

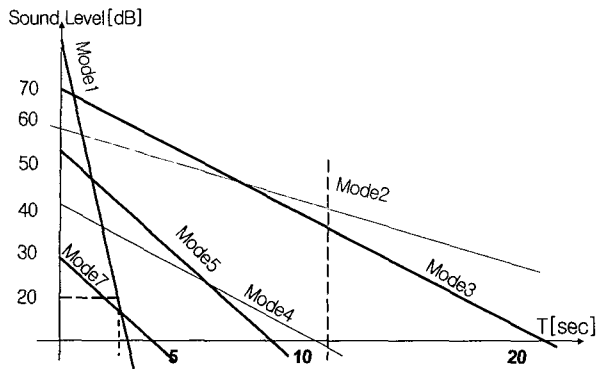


그림 4. 진동모드별 타악기의 음향 지속시간^[4]
 Fig. 4. The damping time of each mode in the percussion instrument

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

$$f_{mn} = \frac{0.412t}{R^2} \sqrt{\frac{T}{\rho(1-\sigma^2)}} \quad (7)$$

여기서

$$R = \text{판 반경 [cm]} \quad t = \text{두께 [cm]}$$

$$\rho = \text{밀도 [gr/cm}^3]$$

$$\sigma = \text{포아 송비}$$

$$T = \text{영율 [dyne/cm}^3]$$

늦쇠 징악기의 재원에서 직경 40cm이고 두께가 0.15cm 일 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.

III. 징악기의 RIM의 폭(깊이)에 따른 음향 증폭도 및 지속 시간 실험 및 분석

1. 공명주파수 측정 분석

첫째로 분석용 음원은 현재 한국인들이 많이 사용하는

사물 징 악기를 사용하였다.

- 1) Rim이 완전한 징의 소리(Full Rim)
- 2) Rim이 1/2로한 징의 소리(Half Rim)
- 3) Rim이 없는 상태의 징소리(Rimless)

의 3가지 종류 소리로 나누어서 측정하였다. 음원의 픽업 시 마이크의 위치는 음원과 1.5m 떨어진 곳에 마이크 높이 1.5m 의 스탠드에 고정하여 스튜디오의 반사음을 줄이기 위하여 스튜디오 중앙에 설치하였다. 특히 마이크의 높이는 인간의 귀의 높이와 심장의 위치를 고려하여 1.5m를 취했으며 이는 낮은 주파수의 소리를 가진 사물악기의 소리가 인간의 신체에 미치는 영향이 심장과 피부로 통한 감각이 중요한 것을 감안했다. 주파수의 측정과 분석을 쉽게 하기 위해서 디지털로 녹음하였으며, 녹음 조건은 Sampling Rate를 44,100로 하고, Resolution은 16 bit, Channel은 Mono로 하였다.

분석의 초점은 징 악기를 1타 한 후 진폭이 1/2 씩 감쇄하는 시간에 따라 파형을 측정하는 지점으로 정하고 각 지정된 시간에서 파형을 측정하여 스펙트럼 상에 나타나는 제1포먼트, 제2포먼트, 제3포먼트 위주로 각각의 기본주파수, 제2고조파, 제3고조파 ... 10고조파까지 가능한 한 상세히 측정 조사하여 분석했다. 악기의 주파수 특성을 분석하기 위해서 장비는 Compaq Evo N-160을 Computer를 사용했으며, 분석 Tool은 Cool Edit Pro를 이용하여 음향 주파수와 스펙트럼을 분석했다. 스펙트럼 분석시 FFT 사이즈는 4096으로, Widow type은 Hamming Window를 사용 했다. 그리고 이번 징 악기의 음향 주파수 특성 분석 결과는 악장들이 만든 수제품이기 때문에 징의 주파수 특성은 징의 제조 숫자만큼이나 조금씩 다르다는 것을 본 조사연구에서 먼저 밝히고자 한다.

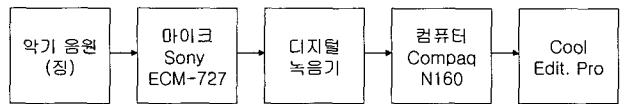


그림 5. 음원 측정 시스템^{[5][6]}
 Fig. 5. Measuring system of the source sound

1.1 Full Rim 징의 주파수 측정 실험

주파수 분석의 초점은 Full Rim 의 징 악기를 1타 한 후 징소리의 파형을 시간 축으로 하여 <그림 6>처럼 징 악기

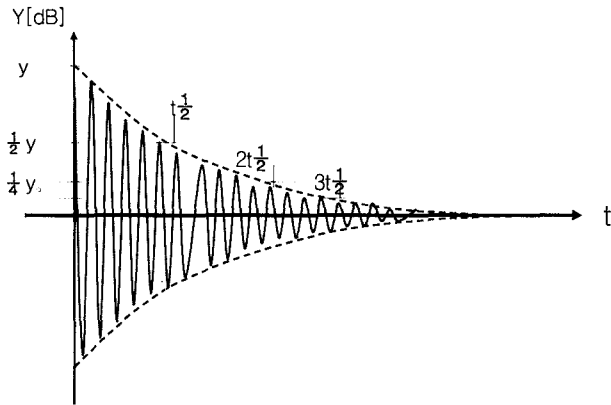


그림 6. 타악기 음향 파형의 감쇄 모양³⁾
 Fig. 6. An Exponentially damped vibration of percussion Instrument

음향의 최고 증폭도를 0dB를 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 제1포제2포만트, 제3포만트 주파수 위주로 100~200[Hz], 201~300[Hz], 301~400[Hz], 401~500[Hz], 501~700[Hz], 701~1,000[Hz], 1,001~2,000[Hz]의 주파수 대역으로 나누어서 각 대역 구간내의 가장 진폭이 두드러진 공명 주파수를 추출하였다. <그림 7>은 징 악기를 1타 후 시간축으로 2초 지점에서의 주파수 스펙트럼으로 가장 두드러진 공명 주파수가 355.2[Hz]로 측정되었다. <표 1>은 Full Rim의 음향 주파수 특성을 음향 지속 시간대 별로 포만트를 측정 한 실험 결과이다.

1.2 Half Rim (1/2)징의 주파수 측정 실험

Half Rim 징을 1타한 후 징악기의 녹음파형을 시간 축에서 분석하면, 징소리의 공명역할을 하는 징의 Rim이 반으

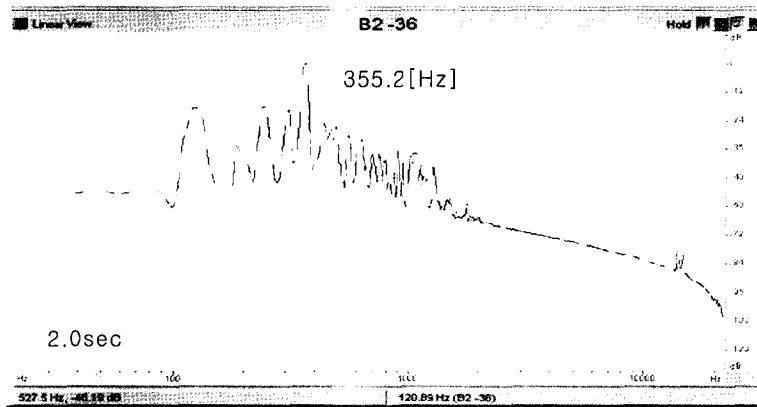


그림 7. 징의 온전한 RIM 주파수 스펙트럼
 Fig. 7. The frequency spectrum of the Full Rim Jingle

표 1. 온전한 RIM(전두리)의 음향주파수 특성
 Table 1. The formant frequency of the Full Rim Jingle

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

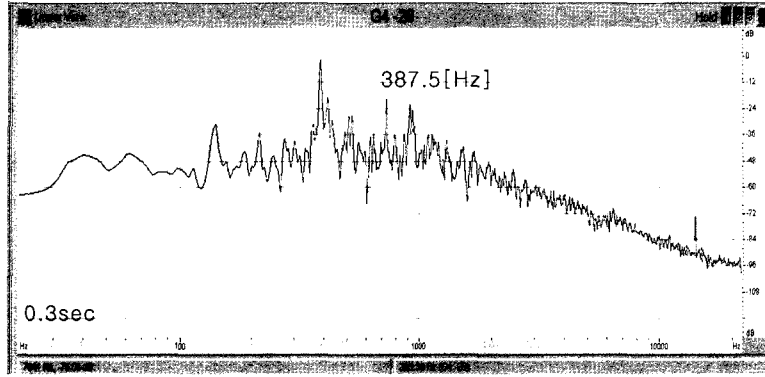


그림 8. Half Rim (1/2) 주파수 스펙트럼
Fig. 8. The frequency spectrum of the Half Rim Jangjuk

표 2. Half Rim(1/2 전두리)의 음향주파수 특성
Table 2. The formant frequency of the Half Rim Jangjuk

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

로 줄어들기 때문에 음향지속 시간이 Full Rim 징의 음향 지속 시간보다 1/2 로 줄어들었다. 그러므로 분석을 위한 주파수의 파형을 시간 축에서 <그림 6>처럼 징 악기 음향의 최고 증폭도를 0dB로 정하고 이를 기점으로 하여 음향 증폭 파형이 1/2씩 감소되는 시점인 0.3초, 0.7초, 1.3초, 2.0초, 2.5초, 3.5초, 5초 지점 등 7개 지점으로 분류하고 각 구간에서 스펙트럼 상에 나타나는 제1포먼트, 제2포먼트, 제3포먼트 주파수 위주로 100~200[Hz], 201~300[Hz], 301~400[Hz], 401~500[Hz], 501~700[Hz], 701~1,000[Hz], 1,001~2,000[Hz]의 주파수 대역으로 나누어서 구간내의 가장 진폭이 두드러진 주파수를 추출하였다. <그림 8>은 Half Rim 징의 0.3초 지점의 음향 스펙트럼이다. 여기서 각 주파수 대역별로 가장 두드러진 공명 주파수는 387.5[Hz]로 측정되어 짐을 알 수 있다.

1.3 Rimless 징의 주파수 측정 실험

Rimless 징은 즉 Rim을 완전히 잘라낸 징을 1타한 후

징악기의 녹음파형을 시간 축에서 분석하면, 징소리의 공명 역할을 하는 징의 Rim이 없어졌기 때문에 음향지속 시간이 Half Rim 징의 음향지속 시간보다 1/2 로 줄어들었다. 그러므로 Full Rim의 징소리 보다는 1/4로 줄어들었다. 그래서 분석을 위한 주파수의 파형을 시간 축에서 Rimless 징의 주파수 파형의 분석을 위한 시점은 Rimless 징 악기의 음향의 최고 증폭도를 0dB로 정하고 이를 기점으로 하여 음향 증폭 파형이 1/2씩 감소되는 시점인 0.2초, 0.35초, 0.7초, 1.0초, 2.0초, 3.0초, 6개 지점으로 분류하고 각 구간에서 스펙트럼 상에 나타나는 제1포먼트, 제2포먼트, 제3포먼트 주파수 위주로 20~100[Hz], 101~200[Hz], 201~300[Hz], 301~400[Hz], 401~500[Hz], 501~700[Hz], 701~1,000[Hz], 1,001~2,000[Hz], 2,001~5,000[Hz]의 8개 주파수 대역으로 나누어서 구간내의 가장 진폭이 두드러진 주파수를 추출하였다. <그림 9>은 Rimless 징의 0.2초 지점 음향 스펙트럼이다. 여기서 각 주파수 대역별로 가장 두드러진 공명 주파수는 1,162[Hz]로 측정되어 짐을 알 수 있다.

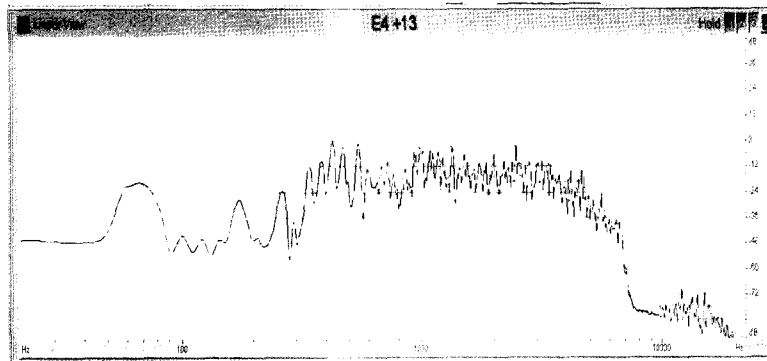


그림 9. RIMLESS 징소리주파수 스펙트럼
Fig. 9. The frequency spectrum of the Rimless Jing

표 3. RIMLESS 음향주파수 특성
Table 3. The formant frequency of the Rimless Jing

주파수(Hz) \ 시간(sec)	20-100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-700	701- 1000	1001- 2000	2001- 5000
0.2초지점	64.59	172.2	258.3	387.5	452.1	549.0			2820
0.35초지점	59.21	172.2	376.3		419.8	549.0		1356	2487
0.7초지점	59.21	172.2	258.3	376.8		549.0	990.5		2314
1.0초지점	59.21	172.2	269.1		473.7	549.0	990.5		2487
2.0초지점		172.2	236.8	382.2	473.7	538.3	936.6		2449
3.0초지점		183.1	236.8	387.5	419.8	538.3	839.7		2454

2. 공명 주파수 측정결과

2.1 FULL RIM의 주파수 측정 결과

대표적인 징 악기의 기본주파수는 118.4Hz이며, 2배음 236.8Hz, 3배음 355.2Hz와 366.0Hz를 대표주파수로 하고 있다. 그러므로 징 악기의 대표주파수 범위는 118.4~366.0Hz 사이를 갖고 있다. 주요 주파수 대역폭은 248.2Hz이다. <표 1>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. 소리의 특징은 웅장하고 부드러우며 20초 이상의 아름다운 여운을 갖고 있다.

2.2 HALF RIM의 주파수 측정 결과

징악기의 공명부분인 RIM을 반으로 잘라내고, 정타하면

(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 온전한(Full Rim) 징 악기의 기본주파수 주파수 보다 21.5Hz 높아진다. 이러한 결과는 징 악기의 RIM이 만곡면 울림판과 공명을 일으켜서 새로운 공명 주파의 소리는 만든 것이다. 그리고 음향 지속 시간은 5초 이후 10초까지 진행되었으며, Full Rim의 소리의 지속 시간과 비교하면 Half Rim의 지속시간은 1/2로 줄어진다. <표2>참조

2.3 RIMLESS의 주파수 측정 결과

징 악기의 공명 부분인 RIM을 모두 잘라내고 징의 원판인 만곡면만 가지고 징채로 정타 한 결과 RIMLESS징의 기본 주파는 59.21Hz이었다. 고주파 음들의 구성은 3배음 172.2Hz 6.5배음 382.2Hz 8배음 473.7Hz, 9배음 538.3Hz

19.5배음 1157Hz, 38배음 2260Hz로 분포되었으며, 주요 포만트 주파수의 범위는 59Hz에서 1372Hz으로 1312Hz의 대역폭을 갖고 있다. 그리고 악기의 음향 크기와 지속 시간은 1/4로 감소되었다.<표3>참조

RIM을 완전히 제거한(RIMLESS) 징악기의 제1포만트 제2포만트의 주파수 간격이 1312Hz나 되어서 매우 넓은 대역의 값을 갖고 있으나, RIM에 의해서 징악기의 기본주파수를 118.4Hz, 2배음 236.8Hz, 3배음 355.2Hz를 대표 포만트 주파수로 만들고 있다. 그리고 또한 기본 주파수가 59.21Hz는 3가지 경우를 모두 포함하고 있다. 즉 RIMLESS 징 악기의 기본 주파수인 59.21Hz는 Full Rim 징악기의 기본 주파수의 1/2 이 되는 주파수이다. 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. 위에서 설명한 3가지의 경우를 비교해볼 때 징악기의 이러한 실험 결과는 징악기의 RIM의 깊이에 따라서 징 소리의 크기와 지속시간을 변화시키는 요소임을 증명한다.

표 4. 징의 RIM의 폭에 따른 주파수 및 지속시간 변화

Table 4. The change in the time of the decaying sound of the Jing depending on the depth of the Rim

구 분	주요 포만트	지속 시간
Full Rim	118.4-366.0[Hz]	20초
Half Rim	139.9-387.5[Hz]	10초
Rimless	990.5-1372.[Hz]	5초

IV. 결론

징 악기의 공명테두리인 RIM의 두께와 폭의 넓이에 따

라서 징 소리의 진폭(음의 강약)과 소리의 지속시간이 조절되었다.

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

둘째로 RIM이 깊어지면 징소리는 점점 낮은 소리로 공명효과를 일으키며, 결과적으로 징의 RIM의 역할은 1KHz 근방의 징의 울림판 주파수를118Hz까지 끌어내려서 우람차고 부드러우며 그리고 길게 감사는 여운을 만든다는 사실을 알아내었다. 즉 징의 RIM은 징의 포만트 주파수를 상하로 크게 변화시키며, 소리를 계속 지속시키는 역할을 하고 있었다. 이러한 실험 연구 결과는 한국의 징 악기가 단순한 구조 이면서 아름다운 소리를 낼 수 있는 과학적인 타악기라는 사실을 현대과학으로 규명하였다. 본 자료는 한국 국악기의 산업화 및 현대화 그리고 한국 전통문화의 현대화 접목에 크게 이바지하리라 생각 된다.

참 고 문 헌

- [1] 이봉주(무형문화재 77호: 방짜 유기장) 남청양대, 대신문화사, 2002.6.10.
- [2] 최병삼, 사물놀이 배우기, 장연주법, 학민사, 2003.
- [3] Donald E. Hall, Musical Acoustics, 3rd Edition, Books/Cole.
- [4] Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens, James V. Sanders, Fundamentals of Acoustics, 3rd Edition Wiley.
- [5] 손정호, 최성영, 배명진, 재질성분에 따른 징 악기의 음향분석, 제16회 신호처리합동학술대회논문집 제16권1호.
- [6] 손정호 최성영 배명진 "재질성분에 따른 팽과리 악기의 음향 분석" 한국통신학회논문지, 04-2 Vol.29 No2
- [7] 손정호, 배명진, 사물놀이 악기 소리와 인간목소리 주파수대역, 전자공학회지 제31권 6호, pp. 719-730, Jun 2004.

저자 소개



손 정 호

- 1972년 2월 : 성균관대학교 전기공학과 공학사
- 1996년 8월 : 송실대학교 정보과학대학원 정보통신공학석사
- 2004년 현재 : 송실대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정
- 1971년 11월~1985년 6월 : KBS기술국/기술연구소 차장
- 1985년 7월~1990년 12월 : KBS올림픽국 차장
- 1991년 1월~2001년 3월 : KBS국제협력부장/뉴미디어기획부장
- 2002년 4월~2002년 9월 : KBS연수원 교수
- 1998년 3월~2001년 2월 : 송실대 정보통신공학과 겸임교수
- 2004년 3월~현재 : 한국정보통신기능대학 겸임교수
- 주관심분야: 음성신호처리, 악기음향, TV미디어



배 명 진

- 1981년 1월 : 송실대학교 전자공학과 공학사
- 1983년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사
- 1987년 8월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 1986년~1992년 : 호서대학교 정보통신공학과 조교수
- 1992년~현재 : 송실대학교 정보통신공학과 교수
- 주관심분야 : 음성코딩 및 합성, 화자인식 디지털신호처리, 디지털 통신