

편경의 진동모드 분석

Vibrational Modes of Pyeongyeong

유 준 회*
(Junehee Yoo *)

*서울대학교 물리교육과

(접수일자: 2005년 6월 14일; 수정일자: 2006년 4월 12일; 채택일자: 2006년 4월 20일)

편경은 기억자형 경석 16개로 이루어진 국악기로 1과 1/3 옥타브의 음역을 가지며, 아악에서 표준 악기의 역할을 한다. 편경의 진동모드를 분석하기 위하여 현재 국립국악원에서 연주에 사용되고 있는 편경과 세종대왕기념관에 소장 중인 편경 유물의 음향 스펙트럼을 분석하였다. 또한 황종과 청협종에 해당하는 경석의 진동모드형태를 가속도계, TV 홀로그래피 및 충격망치를 이용하여 분석하였다. 국립국악원 편경의 16개 경석에서 나타난 기명진동수는 경의 두께에 따라 증가하며, 삼분손익법에 따른 음률에 충실하게 조율되었다고 할 수 있다. 세종대왕기념관 편경의 16개 경석에 적혀있는 제작연도를 나타내는 간지는 서로 다르며, 12올려에 맞게 조율되었다고 하기 어렵다. 세종대왕기념관에 소장된 편경의 진동수는 국립국악원 편경과 최소가지차이 (just noticeable difference) 이상의 차이를 나타냈다. 진동모드형태는 경석의 두께와 무관하게 일정하다.

핵심용어: 편경, 모드진동수, 상대모드진동수, 진동모드형태, TV홀로그래피, 모드분석

투고분야: 음악음향 및 음향심리분야 (8.1)

Korean pyeongyeong, a set of sixteen L-shape chime stones covering one and one third octaves, is a standard instrument in the Korean traditional court music. We analyze the vibrational mode frequencies in a pyeongyeong replica which is played at the National Center for Korean Traditional Performance Arts and pyeongyeong remains which are exhibited at King Sejong Memorial Museum. The modal shapes on the Whangjong, the 1st stone and Cheonghyupjong, the 16th stone mapped by scanning accelerometer, TV holography and STAR system. The nominal frequencies in pyeongyeong replica at the National Center for Korean Traditional Performance Arts increase linearly with the thickness of the stones and the tones are tuned in line with the musical scale of Sambunsonik. The sexagenary cycles on the pyeongyeong remains at King Sejong Memorial, which show the year of product indirectly, are different each other and the tones are not tuned in scale. The relative frequency ratios of each modes on stones differ more than just-noticeable differences from those on the pyeongyeong replica. Modal shapes are same for the two stones regardless of the thickness.

Keywords: Pyeongyeong, Modal Frequency, Mode Frequency Ratio to the Fundamental Frequency, Modal Shape, TV Holography, Modal Test

ASK subject classification: Musical Acoustics and Psychoacoustics (8.1)

I. 서론

편경은 편종과 함께 아악기 중에서 제일 중요한 위치를 차지하고 있으며, 아악의 완성은 이 두 악기에 의해 이루어진다고 할 수 있을 만큼 아악에서 차지하는 비중이 크다[1]. 편경은 온도와 습도 등 외부 환경과 무관하

게 일정한 음을 낼 수 있는 특성 때문에 표준악기로 간주되어왔다[2]. 현존하는 편경유물은 국립국악원, 종묘 및 세종대왕기념관에 전하고 있으며[3], 근래의 아악 연주는 새로 제작된 편경을 사용하고 있다. 그러나 편경의 중요성에 비해 편경에 대한 음향학적 분석이나 진동모드에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 특히 편경유물의 음향 측정 및 분석은 거의 이루어지지 않아서, 근래에 새로 제작된 편경의 음향 특성을 편경 유물과 비교할 수 없다. 이에 본 연구는 편경의 기본적인 음향학적 특

성을 밝히기 위하여 음향스펙트럼을 측정하여 각 모드진동수를 기본진동수의 비율로 나타낸 상대모드진동수(mode frequency ratio to the fundamental frequency)를 구하고, TV 홀로그래피를 이용한 모드분석과 충격망치를 이용한 모드시험을 통하여 경의 진동모드 형태를 밝히고자 한다. 이와 같이 편경의 음향학적 특성을 엄밀히 규명하는 것은 편경 유물의 재조명 및 과학적 복원에 적극적으로 기여할 것이다.

II. 편 경

2.1. 편경의 유래

한국에서 편경은 고려 예종 때 수입되기 시작하여 세종조 이후에 제작되었다고 알려졌다. 중국에서 편경은 유래가 깊은 악기로 중국 고분에서 여러 틀의 편경이 발굴되었으며, 그 중 가장 널리 알려진 것은 후베이성지역의 이후작 고분(Tomb of Marquis Yi of Zeng)에서 발견된 것으로 기원전 433년전에 제작된 것으로 알려졌다

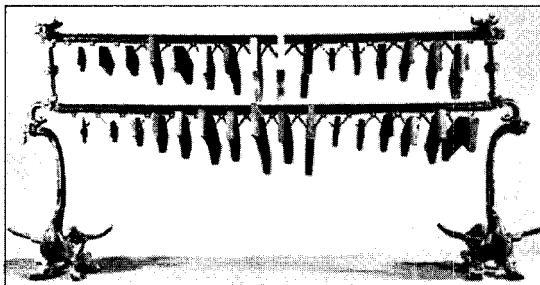


그림 1. 이후작의 고분에서 출토된 중국 편경 (호북성박물관, 안양, 중국, 기원전 433년)

Fig. 1. Bian Quing, Chinese stone chime from Tomb of Marquis Yi. (Museum of Hubei, Anyang, B.C. 433).

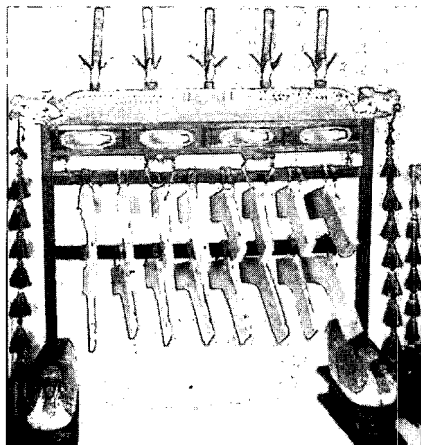


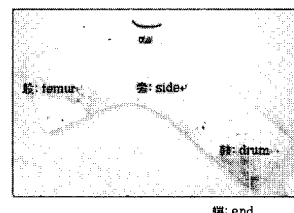
그림 2. 조선시대의 편경 (성균관대 박물관 소장)

Fig. 2. Pyeongyeong, Korean stone chime. (Museum of University of Sungkunkwan, AD 15-18 C).

[4-5]. 조선의 편경은 16개 경석의 모양과 크기가 같고 두께만을 변화시켜 음을 조정하는 반면, 청조 이전의 중국에서의 편경은 경석의 크기와 두께를 모두 달리하여 음을 조정하여 보다 넓은 음역에서 연주할 수 있게 하였다. 후베이박물관의 보고에 따르면, 이후작 고분에서 출토된 경석 중 가장 낮은 음을 내는 경의 진동수는 332.3 Hz이고, 22번째 경의 진동수는 1975.5 Hz이다 [6]. 중국의 편경은 시대에 따라 모양이 변했는데, 청대에 제작된 것으로 알려진 편경은 경석의 크기는 같고 두께만 변화시킨 것이 있다[5]. 이는 조선시대의 편경과 유사한 형태이다.

2.2. 본 연구에 사용된 편경

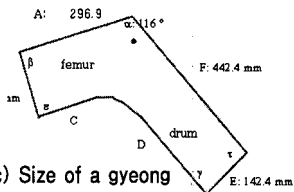
편경의 경석이 가지는 "ㄱ"자 모양은 하늘이 굽어 땅을 덮는 형상이라고 전해진다[7]. 세종장헌대왕실록이나 악학궤범의 기록에는 경석의 크기는 모두 같고 두께로 조절하는 것으로 나와 있다[7-8]. 경석의 측면 모양과 크기는 그림 3과 같다. 본 연구에서는 국립국악원 예약당에서 연주되고 있는 편경과 세종대왕 박물관에 보관된 편경 유물을 측정 대상으로 하였다.



(a) Names of parts on a gyeong



(b) End view of two stones whangjong and cheonghyeopjong



(c) Size of a gyeong

그림 3. 편경의 측면 모양과 크기

Fig. 3. Side view and dimensions of pyeongyeong.

가. 국립국악원 편경

현재 국립국악원에서 연주되는 편경은 김현곤 선생이 근래에 복원한 것이다. 본 연구에서는 국립국악원에서 연주되고 있는 편경의 소리를 녹음하여 FFT 분석을 통하여 음향 스펙트럼을 구했다. 경석의 진동모드형태를 분석하기 위해서 같은 제작자가 만든 경석 중 가장 낮은 음인 황중음을 내는 경석과 가장 높은 음인 청현중음을 내는 경석을 가속도계, TV 홀로그래피 및 진동망치를 이용하여 분석하였다.

나. 세종대왕기념관의 편경 유물

편경유물의 음향 분석을 위하여 세종대왕 기념관에 전시된 편경 유물을 소리를 녹음하여 분석하였다. 세종대왕 기념관에 전시된 경석은 제대로 된 한 틀이 아니고 여러 시대의 경을 모아 놓은 것이다. 전체 16개의 경석 중 12개에는 제작연대를 추정할 수 있는 간지가 적혀있고 4개에는 간지가 적혀있지 않다. 12개의 경석에 적혀 있는 간지는 갑진(甲辰), 정미(丁未), 계축(癸丑), 무술(戊戌)의 네 종류가 있다. 세종대왕기념관에 전시된 유물 편경 중 각 경석의 간지와 두께를 표1에 제시하였다.

표 1. 세종대왕기념관 소장 편경의 간지와 두께
Table 1. Sexagenary cycle and thickness of pyeongyeong at King Sejong Memorial.

note (음명)	year of product (sexagenary cycle)	thickness (mm)	note (음명)	year of product (sexagenary cycle)	thickness (mm)
황종	-	26.16	이척	-	41.14
대려	丁未	28.58	남려	茂戌	43.14
태주	甲辰	29.66	무역	丁未	46.68
협종	甲辰	30.78	웅종	丁未	41.92
고선	癸丑	37.43	청황종	-	48.21
중려	甲辰	35.29	청대려	癸丑	52.27
유빈	茂戌	44.15	청태주	-	47.60
임종	甲辰	39.25	청협종	甲辰	54.94

III. 연구방법

3.1. 음향스펙트럼 분석

녹음 및 음향스펙트럼 분석은 PC용 소프트웨어인 WinMLS 2000을 사용하여 이루어졌다. 샘플링의 크기는 44,000 Hz 이며, 0.3 Hz의 해상도를 나타냈다. 16개의 경석 중 황종과 청협종의 음향스펙트럼은 FFT 분석기인 Ono Sokki 350으로도 분석되었으며, WinMLS의 분석결과와 Ono Sokki 350의 분석 결과는 일치하였다.

3.2. 모드 분석

국립국악원에서 연주되는 편경 제작자인 김현곤 선생이 제공한 황종과 청협종을 대상으로 경석의 진동모드 형태를 세가지 방법으로 분석하였다.

첫 번째 방법은 신호발생기로 경석을 가진시키면서 경석의 표면을 따라 가속도계를 이동시키면서 마디를 찾는

것이다. 사용된 가속도계는 2.0g PCB 가속도계 (PCB, 303A sn 16107)로 측정 범위는 ± 50g, 즉 ±490 N/m² 이다. 해상도는 0.01g, 즉 0.098 N/m² 이다. 일상적인 상황에서 민감도는 10 mV/g이고, 진동수 범위는 1 Hz에서 10 kHz이다. 경석의 타격부위에 자석을 붙인 다음 신호발생기에 연결한 유도코일로 가진하였다.

두 번째는 TV 홀로그래피 방법으로 홀로그래피 간섭계를 이용한 방법으로 본 연구에서는 Stetson Associate사에서 제작한 광학장치와 Recognition Technology사의 제어 프로그램을 사용하였다. 실험장치는 그림 4와 같다. TV 홀로그래피는 물체의 진동모드는 분석하는데 유용한 방법이다[9]. 황종의 경우는 타격 부위에 자석을 붙인 다음, 신호발생기에 연결된 유도코일로 가진하였으며, 질량이 큰 청협종은 자석과 유도코일로 가진시키기 어렵기 때문에 셰이커 (Brüel & Kjær, Type 8001)를 이용하였다.

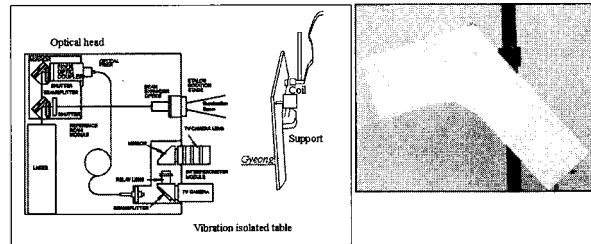


그림 4. (a) TV Holography 실험 장치, (b) 반사율을 높이기 위해 현상액을 칠한 경석

Fig. 4. (a) Experimental set up for TV holography. (b) The stone mounted for TV holography. To improve the reflection coefficient, developer (Magnafulx ZP- 9F) is sprayed on the stone.

세 번째는 충격망치로 가진하여 얻는 응답특성을 분석하는 모드시험을 하였다. PCB 회사의 충격망치 (PCB 086C90 sn 4493)를 사용하였으며, STAR (Structural Testing, Analyzing and Reporting)를 사용하여 분석 결과를 확인하였다. 실험 장치는 그림 7과 같다.

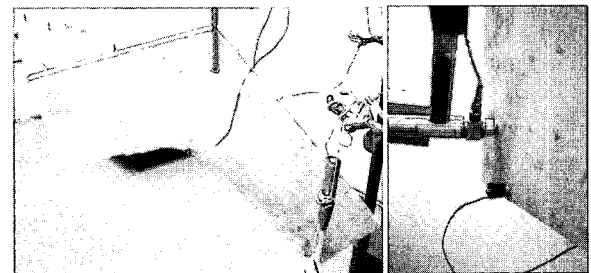


그림 5. (a) 충격망치를 이용한 모드 시험 장치, (b) 실험장치에 매달린 황종
Fig. 5. (a) Experimental modal testing set up with impact hammer (b) Hanging the 1st gyeong.

IV. 결과 및 논의

4.1. 국립국악원 편경의 기명진동수 (nominal frequency)와 상대 진동수

편경의 16개 경석은 528.6 Hz부터 1262.8 Hz까지 1과 1/3 옥타브의 소리를 낼 수 있다. 경석에는 각 경석의 음고를 나타내는 올명이 적혀있는데, 이 올명은 12올려에 의한 것이다. 아악의 음계인 12올려는 삼분손익법에 의해 얻어지는데, 삼분손익법이란 기준음인 황종음으로부터 완전 5도와 완전 4도인 음을 차례로 쌓는 것이다[7]. 올려신서에 의하면, 거서 100알의 길이와 같은 황종장을 먼저 구한 다음, 황종장의 0.9배인 길이로 대나무를 잘라 붙면 황종음을 얻는다고 하였다[7]. 그 다음은 황종음을 내는 대나무 길이의 2/3를 취하여 붙면, 완전 5도 위인 임종을 얻는다. 임종 길이의 4/3을 취하면, 완전 4도 아래인 태주를 얻는다. 이와 같이 12올려를 구하는 법을 표2에 나타냈다.

국립국악원 경석의 올명, 두께 및 기명진동수 (nominal frequency)를 표3에 제시하였다. 기본진동수 (fundamental frequency)와 기명진동수 (nominal frequency)는 거의 일치한다. 국립국악원의 편경이 얼마나 잘 조율이 되었는지를 확인하기 위해서는 각 경석이 12올려와 일치하는지 분석해야 한다. 이를 위해 표3 네 번째 행에서는 16개 경석의 기본진동수를 12올려 중 가장 낮은 황종음의 기본진동수에 대한 비율로 나타냈다. 표3의 다섯 번째 행은 삼분손익법에 따라 12올려의 진동수를 황종음의 진동수에 대한 비율로 나타낸 것이다. 12올려의 진동수비와 국립국악원 편경의 진동수비를 비교하여 표3의 여섯 번째 행에 나타냈다. 12올려의 음계와 비교할 때, 국립국악원 편경의 각 경석은 모두 20 센트 이내에서 조율되었다고 할 수 있다.

그림 6은 경석의 두께와 기본진동수 사이의 관계를 나타낸다. 경석의 두께가 두꺼워질수록 기본진동수가 비례관계로 높아지는 것을 볼 수 있다. 이는 자유단을 가진 사각형 판의 횡진동에 대한 일반적인 해 (식 1)에서 예측할 수 있는 것과 같다[10].

$$f_n = \frac{0.113h}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} [3.011^2, 5^2, \dots (2n+1)^2] \quad (1)$$

f_n : 사각형 판의 진동, L : 사각형 판의 길이, E : 영률, ρ : 밀도

표 2. 삼분손익법에 의한 12올려의 산출

Table 2. Intonation of twelve Yulyeo by adding and subtracting one third of lengths.

note	length of bamboo pipe	intonation of Korean music (B)
황종	1	1.00
임종	$1 \times 2/3 = 2/3$	1.50
태주	$2/3 \times 4/3 = 8/9$	1.13
남려	$8/9 \times 2/3 = 16/27$	1.69
고선	$16/27 \times 4/3 = 64/81$	1.27
응종	$64/81 \times 2/3 = 128/243$	1.90
유빈	$128/243 \times 4/3 = 512/729$	1.42
대려	$512/729 \times 2/3 \times 2 = 2,049/2,187$	1.07
이척	$2,049/2,187 \times 4/3 = 4,096/6,561$	1.60
협종	$4,096/6,561 \times 2/3 \times 2 = 16,384/19,683$	1.20
무역	$8,192/19,683 \times 4/3 = 32,768/59,049$	1.80
중려	$32,768/59,049 \times 2/3 \times 2 = 13,072/59,049$	1.35

표 3. 국립국악원 편경의 올명별 두께, 기명진동수 및 음정

Table 3. Thickness, nominal frequencies and intonations on the notes of pyeongyeong at National Center for Korean Traditional Performing Arts.

note	thickness (mm)	nominal frequency (Hz)	intonation of pyeongyeong (A)	intonation of Korean music (B)	relative frequency of pyeongyeong to Korean musical scale(A/B) (unit:¢)
황종	27.3	528.6	1.00	1.00	0
대려	28.8	562.5	1.06	1.07	-5
태주	29.5	595.0	1.13	1.13	1
협종	31.5	629.0	1.19	1.20	-17
고선	32.5	668.5	1.26	1.27	-1
중려	34.0	708.8	1.34	1.35	-14
유빈	35.5	749.4	1.42	1.42	-7
임종	37.5	797.5	1.51	1.50	10
이척	40.0	839.4	1.59	1.60	-15
남려	42.0	894.2	1.69	1.69	4
무역	45.0	949.9	1.80	1.80	-5
응종	47.0	1003.3	1.90	1.90	0
청황종	49.0	1059.9	2.01	2.00	4
청대려	52.0	1122.3	2.12	2.13	-9
청태주	53.8	1190.6	2.25	2.25	2
청협종	54.5	1262.8	2.39	2.40	-10

두께가 두꺼운 청태주와 청협종은 다른 경석과 크기가 다르기 때문에 전체적인 경향에서 벗어나 있는 것을 볼 수 있다.

국립국악원에 있는 편경의 소리를 녹음하여 모드진동수를 WinMLS 프로그램을 이용하여 분석하였다. 상대모드진동수 (relative frequency to the fundamental frequency)는 각 모드진동수를 기본진동수에 대한 비율로 나타내는 것으로 각 악기의 음색 등을 결정하는데 중

요한 역할을 하기 때문에, 악기의 음향 특성을 분석하는 데 사용된다[11]. 그림 7은 16개의 경석에서 나타나는 기명진동수에 대한 각 모드진동수의 상대적인 비를 보여준다. 제2 모드진동수는 기명진동수의 1.46배로 나타났으며, 제3 모드진동수는 기명진동수의 2.28배로 나타났다. 12번째 경인 협종까지는 제4 모드진동수가 기명진동수의 3배로 나타났으며, 13번째 경 이후는 2.7배이다. 제5 모드의 상대 진동수는 16개의 경에서 거의 유사하게 나타난다. 이는 경의 음색을 결정하는 중요한 특징 중의 하나이다. 예를 들어, 타악기인 마림바는 평균적으로 제2 모드 진동수가 기명진동수의 4배, 제3 모드 진동수는 10.1배, 제4 모드 진동수는 19배가 되도록 마림바의 아랫면을 깎아서 조율을 하는데, 그것이 마림바의 음색을 결정하는 역할을 한다[12].

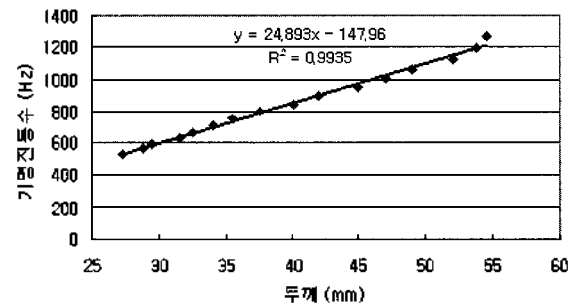


그림 6. 국립국악원 편경의 두께와 기명진동수
Fig. 6. Thickness and nominal frequency of pyeongyeong at National Center for Korea Traditional Performance Arts.

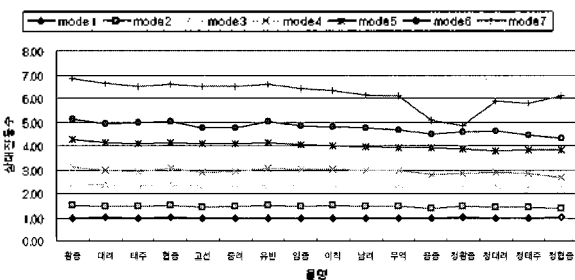


그림 7. 국립국악원 편경의 울명에 따른 진동방식별 상대 진동방식진동수
Fig. 7. Relative mode frequency to nominal frequency of pyeongyeong at National Center for Korean Traditional Performing Arts.

4.2. 세종대왕기념관 편경의 기명진동수와 상대진동수

세종대왕기념관에 전시된 편경의 울명, 두께, 및 기명진동수를 표4에 나타내고 냈다. 세종대왕기념관에 전시된 편경은 경석마다 제작연대가 달라 현재 국립국악원에서 연주되는 편경과 같이 삼분손익법에 근거한 음률을 내지 못하였다. 또한 대부분의 경석이 같은 울명을 가진 국립국악원 경석과는 최소가치차이 (just-noticeable difference) 이상의 진동수 차이를 나타낸다[13]. 특히

표 4. 세종대왕기념관 편경과 국립국악원 편경의 울명별 경석의 두께와 기명진동수 비교

Table 4. Comparison of thickness, nominal frequencies and intonations on the notes of pyeongyeong at (King Sejong Memorial) and the (National Center for Korean Traditional Performing Arts).

note	Pyeongyeong at KSM, King Sejong Memorial			Pyeongyeong at NCTPA, National Center for Korean Traditional Performing Arts		relative frequency ratio of pyeongyeong at KSM to at NCTPA	
	year of manufacture (sexagenary cycle)	thickness (mm)	nominal frequency A (Hz)	thickness (mm)	nominal frequency B (Hz)	relative frequency ratio (A/B)	cent (¢)
황종	-	26.2	641.3	27.3	528.6	1.21	335
대려	丁未	28.6	562.5	28.8	562.5	1.00	0
태주	甲辰	29.7	587.4	29.5	595.0	0.99	-22
협종	甲辰	30.8	619.14	31.5	629.0	0.98	-27
고선	癸丑	37.4	690.3	32.5	668.5	1.03	56
종려	甲辰	35.3	714.0	34.0	708.8	1.01	13
유빈	茂戌	44.2	794.7	35.5	749.4	1.06	102
임종	甲辰	39.3	785.4	37.5	797.5	0.98	-26
이척	-	41.1	839.4	40.0	839.4	1.00	0
남려	茂戌	43.1	882.4	42.0	894.2	0.99	-23
무역	丁未	46.7	900.4	45.0	949.9	0.95	-93
응종	丁未	41.9	1077.0	47.0	1003.3	1.07	123
청황종	-	48.2	1069.9	49.0	1059.9	1.01	16
청대려	癸丑	52.3	1151.0	52.0	1122.3	1.03	44
청태주	-	47.6	1193.1	53.8	1190.6	1.00	4
청협종	甲辰	54.9	1129.8	54.5	1262.8	0.89	-193

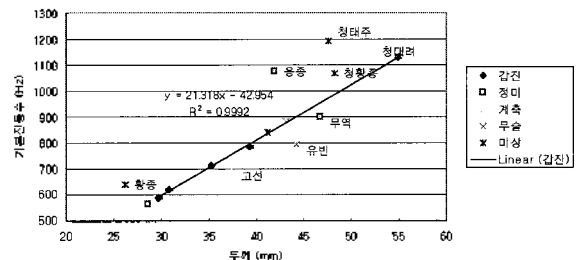


그림 8. 세종대왕기념관 편경의 울명별 경의 두께와 기본진동수
Fig. 8. Thickness and nominal frequency of pyeongyeong at King Sejong Memorials.

제작 연대가 적혀있지 않은 황종의 경우는 국립국악원 황종보다 335 센트 이상 높게 나타났다. 세종대왕기념관 소장 편경 중 정미년에 만들어진 대려와 간지가 적혀 있지 않은 이척의 기본 진동수가 국립국악원에서 연주되는 편경과 같게 나타났다. 세종대왕기념관에 전시된 경석의 두께와 기본진동수 사이의 관계를 그림 8에 나타냈다. 국립국악원의 편경과는 다르게 각 경석의 크기와 물성이 다르기 때문에 경석의 두께와 진동수가 비례하게 나타나지 않는다. 편경은 물성이 잘 변하지 않은 경석으로 만들어졌지만, 보관이나 운반 중에 닳아서 음률이 변할 수 있다. 조선실록에도 편경과 편종의 음률이 맞지

않아서 보수 또는 새로이 제작하는 것을 건의한 기록들을 볼 수 있다[14-15].

세종대왕기념관 편경에서 나타나는 각 경석의 상대모드진동수는 그림9와 같다. 국립국악원의 편경에서 볼 수 있는 바와 같이 기본진동수에 대한 제2 모드진동수의 상대적인 비는 1.43으로 거의 일정하다. 제3모드 진동수의 상대적인 비는 청황종까지는 2.2로 일정하다가 청대려 이후부터 낮아진다. 제3모드진동수부터는 경향이 일정하지 않았다. 각 간지별로 보다 많은 편경 유물에 대한 자료 조사가 요구된다.

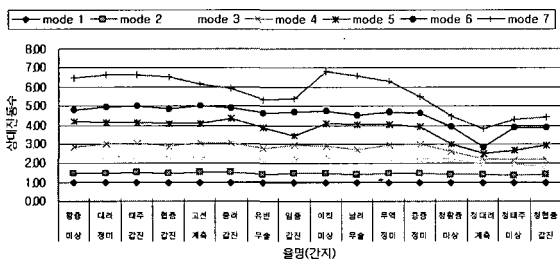


그림 9. 세종대왕기념관 편경의 율명에 따른 진동방식별 상대 진동방식진동수
Fig. 9. Relative mode frequency to nominal frequency of pyeongyeong at King Sejong Memorials.

4.3. 편경의 진동모드형태 (Modal shape of Pyeongyeong)

가속도계를 이용하여 분석한 청협종의 진동모드형태는 그림 10과 같다. 모드번호가 낮은 경우는 사각형 판에서 나타나는 진동모드형태에서 변형된 것을 볼 수 있으며, 모드번호가 높아지면 낮은 번호의 진동모드형태가 서로 결합된 형태도 볼 수 있다.

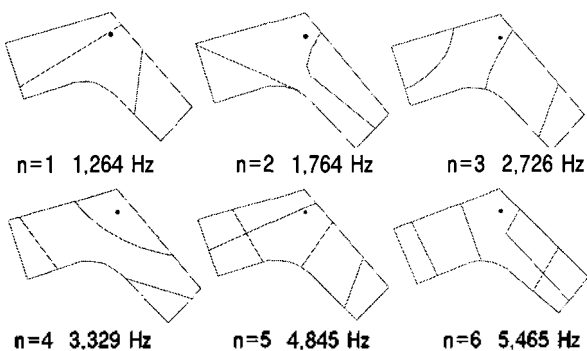


그림 10. 청협종의 진동방식 모양
Fig. 10. Modal shape on the 16th stone, Cheonghyupjong.

동일한 청협종의 진동모드형태를 TV 홀로그래피로 얻은 결과를 그림 11에 제시하였으며 이는 가속도계로 조사하여 얻은 결과와 잘 일치한다. 사진 중 희게 나타나는 부분이 마디이다.

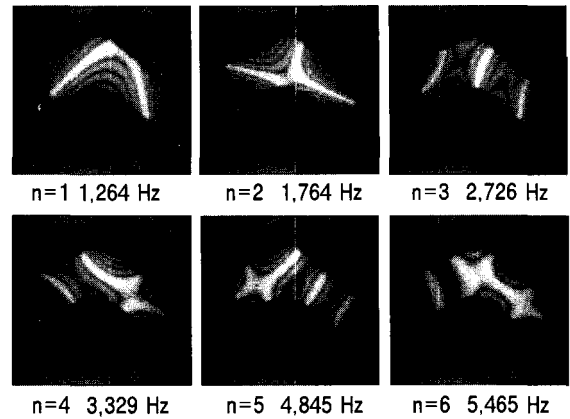


그림 11. 청협종의 진동방식 모양 (TV 홀로그래피)
Fig. 11. Modal shape on the 16th stone, Cheonghyupjong by TV holography.

TV 홀로그래피로 얻은 황종의 진동모드형태를 그림 12에 제시하였다. 청협종과 거의 동일한 진동모드형태를 나타내는 것을 알 수 있으며, 청협종보다 마디의 면적이 좁게 나타났다.

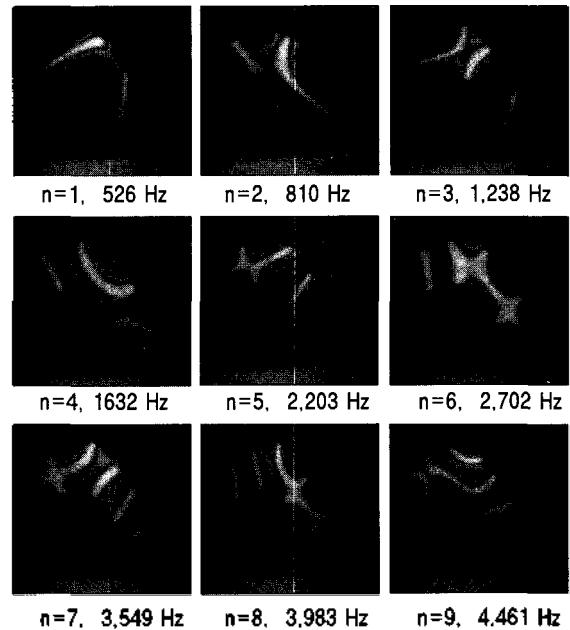


그림 12. 황종의 진동방식 모양 (TV 홀로그래피)
Fig. 12. Modal shape on the 1st stone, Whangjong by TV Holography.

충격망치를 이용한 모드시험 결과로 얻은 경석의 진동형상은 그림 13과 같다. 그림 13에 나타나는 각 지점의 변위는 실제보다 과장된 것이나, 진동방식 진동수와 진동형태는 가속계와 TV 홀로그래피를 이용한 앞의 두 결과와 일치한다. 한국 편경의 진동형태는 모양과 크기가 약간씩 다른 중국 편경의 진동형태와 유사하다[16-17].

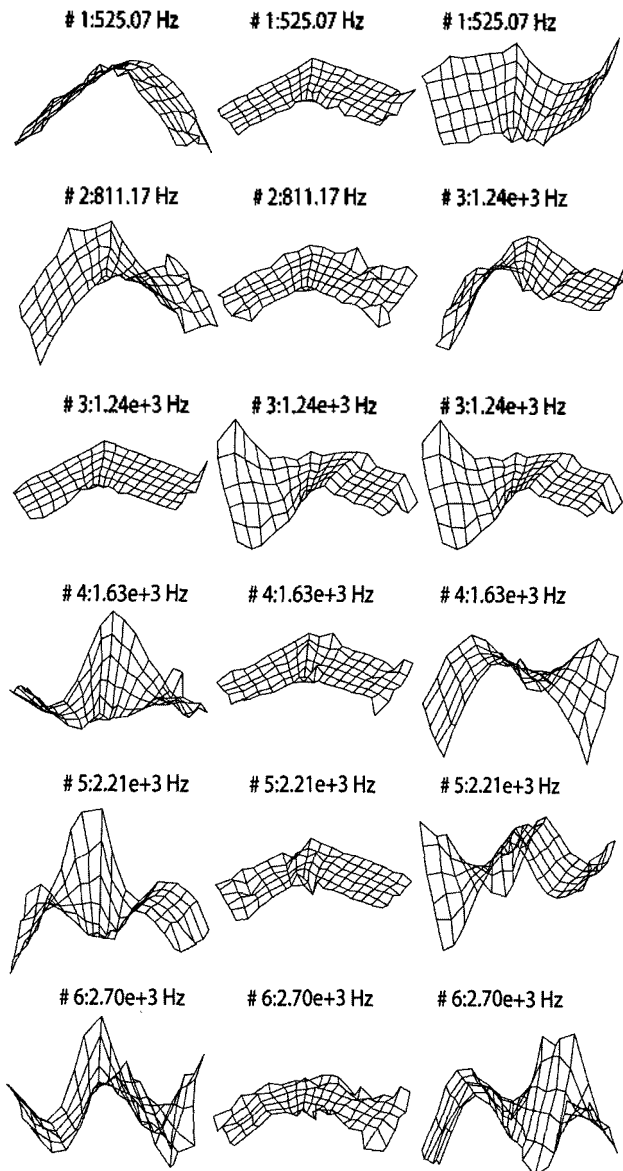


그림 13. 모드시험 결과에 의한 황종의 진동모드 진동수
 Fig. 13. Modal shape on the 1st stone, Whangjong by mode test.

V. 결론

편경은 돌을 진동시켜 소리를 내는 악기이다. 현존하는 조선시대의 편경유물은 국립국악원, 종묘 및 세종대왕기념관에 보존되고 있으며 근래에 복원된 편경이 국립국악원 예악당의 아악연주에 사용되고 있다. 국립국악원에서 연주되고 있는 편경의 16개 경석에서 나타난 기본진동수를 삼분손익법에 따른 음률에 충실하다고 할 수 있으며, 각 경석에서 나타나는 제2 모드진동수의 상대진동수가 1.46, 제3 모드진동수의 상대진동수는 2.28로 이는 편경의 음향 특성을 나타낸다.

세종대왕기념관에 소장된 편경의 16개 경석은 적혀있는 간지가 서로 다른 것으로 보아 제작연대가 다른 것으로 추정되며, 16개의 경석에서 나타나는 기본진동수가 삼분손익법에 따른 음율에서 최소가지차이 이상 벗어난 것으로 나타났다. 각 경석에서 나타나는 제2모드진동수의 상대진동수가 1.45, 제3 모드진동수의 상대진동수는 2.21로 나타났으며, 간지별로 다르게 나타났다. 모드진동수를 국립국악원에서 연주되는 편경과 비교하였을 때, 최소가지차이 이상의 차이를 나타냈으며, 정미년에 만들어진 편경이 국립국악원 편경과 가장 유사하였다. 조선시대의 편경을 보다 완벽하게 재현하기 위해서는 보다 다양한 편경 유물의 기본진동수 및 상대모드진동수를 분석해야 할 것이다.

편경의 진동모드형태를 가속도, TV 홀로그램 및 모드시험 등을 이용하여 구하였으며, 이 세가지 방법에 의하면 진동모드형태는 서로 일치하였다. 경석에서 나타나는 진동모드형태는 경석의 울명에 무관하게 일정하며, 다른 판의 진동과 마찬가지로 진동방식 번호가 커지면 낮은 진동모드형태와 결합되어 나타나기도 하였다. 본 연구에서 조사된 편경의 음향학적 특성은 편경 유물의 재조명 및 과학적 제작에 상당한 도움을 줄 것으로 사료된다.

감사의 글

진동방식을 분석할 수 있도록 황종과 청협종을 지원해주신 연악사의 김현곤 선생께 감사드립니다. 또한 편경소리 분석에 협조해주신 세종대왕기념관 이혜철 관장님, 세종대왕기념사업회 박종국 회장님, 국립국악원 이숙희 학예연구사께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김현지, "영정조 편경 제작과정 연구-인청전악기조성청의례를 중심으로," 영남대학교 국악학과 석사학위 논문, 2-3, 1994.
2. D. Park, "Korean Percussion Instruments", Percussion Notes, 16, 6-16, February, 2000.
3. 이숙희, "악화재현의 척도연구-편경을 중심으로," 한국국악학회 2002 하계 학술모임 발표 논문, 2002.
4. A. Lehr, "Chinese lithophone," Berchten uit het Nationaal Beiaardmuseum, 6, 3-6, April, 1993.
5. F. Kuttner, The Archaeology of Music in Ancient China: 2000 Years of Acoustical Experimentation ca.1400B.C.-A.D.750

(Paragon House, New York, 1990)

6. The Museum of Hubei Province. *The tomb of Marquis Yi of state Zeng*, (Beijing: Cultural Relics Publishing House, 1989)
7. 이혜주 역주, 신역악학개범. (국립국악원, 2000), 360-367.
8. 춘추각, 세종장헌대왕실록, 59책 1권, 1454.
9. T. D. Rossing, and D. A. Russell, "Laboratory observation of elastic waves in solids," *American J. Physics*, **58**, 1153-1162, 1990.
10. T. D. Rossing, and N. H. Fletcher, *Principles of Vibration and Sound*, (Springer, 1995), 76.
11. T. D. Rossing, F. R. Moore and P. A. Wheeler, *The Science of Sound*, (Addison Wesley, 2002), 286.
12. J. Yoo, T. D. Rossing and B. Larkin, "Vibrational modes of five-octave concert marimbas," *Proc. of SMAC 03: Stockholm Music Acoustics Conference 03*, 357, Stockholm, Aug. 2003.
13. T. D. Rossing, F. R. Moore and P. A. Wheeler, *The Science of Sound*, (Addison Wesley, 2002), 123.
14. 세종대왕기념사업회, 민족문화추진위원회, 국사편찬위원회, 국역 조선왕조실록, (한국학 관련 데이터베이스, <http://www.korea5000.com/bin/dbindex.cgi?dbgrp=BON>), 문종실록 6집, 373면, 문종 1년 4월 10일.
15. 세종대왕기념사업회, 민족문화추진위원회, 국사편찬위원회, 국역 조선왕조실록, (한국학 관련 데이터베이스, <http://www.korea5000.com/bin/dbindex.cgi?dbgrp=BON>), 명종실록 20집 145면, 명종 14년 8월 6일.
16. J. Cheng and D. Zhang, "Research on vibration of chime stones by acoustical holography", *Acta Acustica*, **25**(1), 87-92, China, Jan. 2000.
17. T. D. Rossing, *Science of Percussion Instruments*, (World Scientific, 2001), 197-199.

저자 약력

• 유 준 희 (Junehee Yoo)



1987년 2월: 서울대학교 물리교육과 (이학사)
 1992년 2월: 서울대학교 대학원 과학교육과 (교육학석사)
 1997년 2월: 서울대학교 대학원 과학교육과 (교육학박사)
 2005년 12월: 미국 Northern Illinois University (물리학 박사)
 1998년 1월~2002년 12월: 한국교육과정평가원 (연구원)

2002년~현재: 서울대학교 사범대학 물리교육과 조교수