

# 세종대왕기념관의 유물 편종과 현대 편종의 음향 스펙트럼 비교

## Comparison of Sound Spectrums of *Pyeonjong* Remains at the King *Sejong* Memorial Museum and *Pyeonjong* Replica

유 준 희  
(Junehee Yoo)

서울대학교 물리교육과

(접수일자: 2009년 1월 29일; 채택일자: 2009년 3월 12일)

본 논문에서는 편종의 조율 방안을 모색하기 위하여 유물 편종과 현대 편종의 음향 스펙트럼을 비교분석하였다. 유물 편종은 세종대왕기념관에서 소장하고 있는 편종을, 현대 편종은 국립국악원에서 연주되는 편종을 사용하였다. 음향 스펙트럼과 TV 홀로그래피를 이용한 모드분석을 통해 현대 편종의 모드진동수와 모드형상을 파악하였다. 유물 편종의 경우는 음향 스펙트럼 분석만 하였다. 각각의 음고에 해당하는 현대 종과 유물 종의 기명진동수는 9.8  $\zeta$  부터 203  $\zeta$  까지 차이를 나타냈다. 유물 편종의 조율 상태가 양호하지 못한 점, 현대 국악에서 기준 황종음고를 서양의 C4로 정하는 경향 등은 그 차이의 원인으로 해석할 수 있다. 편종의 음색을 결정하는 고차 모드진동수의 기명진동수에 대한 상대적인 비율을 조사한 결과, (3,0)a와 (3,0)b모드를 제외한 모든 고차 모드진동수에서 유의미한 차이를 나타냈다. 이 차이는 통계적으로 유의미할 뿐만 아니라 최소가진진동수 이상이었다. 이것은 유물 편종과 현대 편종 사이에 음색의 차이가 있음을 시사한다. 조율방안을 모색하기 위해서는 보다 많은 유물 편종에 대한 추가적인 음향 분석, 주분 분석 및 구조에 대한 연구가 필요하다.

**핵심용어:** 편종 유물, 현대 편종, 종, 음향 스펙트럼, 모드분석, 모드형상, 모드진동수

**투고분야:** 음악음향 및 음향심리 분야 (8)

This study compared the sound spectrums of *pyeonjong* remains and *pyeonjong* replica to investigate tuning ways of bells. *pyeonjong* remains, exhibited at King *Sejong* Memorial Museum and *pyeonjong* replica, played at the National Center for Korean Traditional Performance Arts were analyzed. To get mode frequencies and mode shapes, *pyeonjong* replicas' sound spectrums were analyzed and modal analyses by TV holography were performed. Also *pyeonjong* remains' sound spectrum were analyzed. Nominal frequencies on the *pyeonjong* replica and remains showed differences in a range between 9.8  $\zeta$  and 203  $\zeta$ . Two facts were inferred as causes of the differences, the tuning conditions of *pyeonjong* remains were not good and C4 in western tempered scale was preferred as the sound standard of *Kukak*, *whangjong*. Relative ratio of higher mode frequencies to the nominal frequencies were calculated to figure out tonal differences between two *pyeonjongs*. The differences in relative ratio of higher mode frequencies except (3,0)a and (3,0)b modes were significant as well as beyond the just noticeable difference. These results implied that the tonal differences between two *pyeonjongs* could exist. More *pyeonjong* remains are needed to be investigated to confirm this result in addition to the analyses of alloy components and bell structure of *pyeonjong* remains and replica.

**Keywords:** *pyeonjong* remains, *pyeonjong* replica, bell, sound spectrum, mode analysis, mode frequency

**ASK subject classification:** Musical Acoustics and Psychoacoustics (8)

### I. 서론

한국의 편종은 12울 4청성의 음고(音高)를 가진 16개의

종으로 구성된 유물 타악기로 아악에서 편경과 함께 편성되어 연주된다. 편종은 서양 평균율의 C4에서 D5<sup>#</sup>까지 1과 1/3 옥타브의 음역을 가지며 편경보다 한 옥타브가 낮다. 한 옥타브를 구성하는 종은 12개이며, 13번째 종은 1번째 종인 황종(黃鐘)보다 한 옥타브가 높은 청황종(淸黃鐘)의 소리를 낸다. 그림 1과 같이 나무로 된 틀인 가자

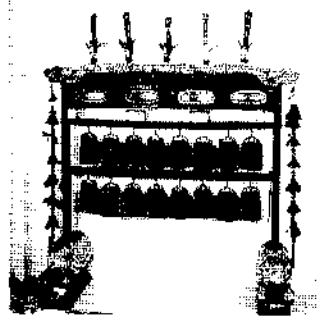


그림 1. 한국의 편종  
Fig. 1. Bell chime set of Korea.

(梨子)의 윗단과 아랫단에 각각 8개씩의 종을 음고에 따라 배열하여 사용한다. 가자의 높이는 251 cm이고, 폭은 228 cm이다. 연주자는 종의 앞면에 동그랗게 표시된 수(壽) 부분을 쇠뿔로 만든 각퇴로 타격하여 소리를 낸다. 중국 편종은 많은 경우가 타격 지점에 따라 두가지 높이의 소리를 내는 쌍음종(双音鍾, Two tone bell)으로 구성된다. 중국의 쌍음종은 정면의 타격부분인 정고(正敲), 측면의 타격부분인 선고(銑敲)가 정해져 있다.

악기의 제도를 설명한 악학궤범에 따르면, 한국의 편종은 구성하는 종의 크기와 모양이 모두 같아야 하며 종의 두께를 조절하는 것만으로 음고를 조절해야 한다. 제도에 따르면 각 종의 크기와 모양은 모두 같아야 하지만, 실재는 약간씩 다르다. 그림 2-(a)와 2-(b)에서 보는 바와 같이 종의 크기는 높이 22.3 cm, 아래쪽 단면의 장축 17.4 cm, 단축 14.5 cm, 위쪽 단면의 장축 15.1cm, 단축 11.1 cm이다. 이 크기는 종마다 약간씩 차이가 있다.

그림 2-(c)와 2-(d)는 현대에 제작된 편종의 황종과 청협종을 아래쪽에서 안쪽 면이 보이도록 찍은 사진이다. 그림 2-(e)와 2-(f)는 세종대왕기념관의 황종과 청협종을 아래쪽에서 안쪽 면이 보이도록 찍은 사진이다. 유물 편종의 황종은 평균 두께가 3.9 mm이고, 청협종은 평균 두께가 10.2 mm이다. 현대에 제작된 편종은 두께가 부분마다 다르기 때문에 측정하지 않았다. 유물 황종의 질량은 3.0 kg이고, 청협종의 질량은 6.0 kg이다. 유물 종의 아래쪽 단면은 타원형이거나 아몬드형이다. 타원형의 경우 각 부분의 두께가 거의 동일하나, 아몬드형의 경우는 선(銑) 부분의 두께가 수 부분의 두께보다 두껍다.

일반적으로 중국 종은 종의 안쪽 면에 6개의 홈을 파서 조율을 하는 것으로 알려져 있다. 그러나 한국의 편종은 오직 종의 두께만으로 조율해야 한다. 현대의 편종 제작자는 종의 두께만을 조절하여 기본음과 부분음을 원하는 대로 얻기가 어렵다고 한다. 부분음은 종의 음색에 기여한다. 이에 본 연구는 편종의 조율에 대한 기초연구로 유

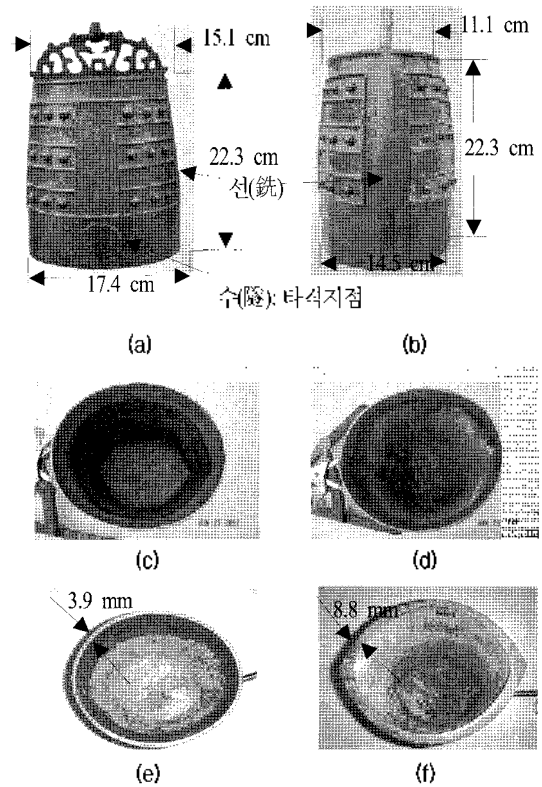


그림 2. 현대 편종과 유물 편종  
Fig. 2. *Pyeonjong* replica and *Pyeonjong* remains. (a) Side view of a bell, (b) End view of a bell, (c) Mouth view of the 1st bell replica, (d) Mouth view of the 16th bell replica, (e) Mouth view of the 1st bell remain, and (f) Mouth view of the 16th bell remain at the King Sejong Memorial Museum.

물 편종과 현대 편종의 음향 특성을 비교하고자 한다. 이를 위해서 현대 편종의 경우는 음향 스펙트럼 분석과 모드분석을 하였고, 유물 편종의 경우는 음향 스펙트럼만 분석하였다.

## II. 중국 편종의 진동모드와 음향 스펙트럼

중국에서 발견되는 편종의 대부분은 상나라(B.C. 1,600 ~B.C. 1,100)와 주나라(B.C. 1,030~B.C. 220) 시대의 제작된 것으로 추정된다 [1]. 중국에서 발견된 편종 중 가장 유명한 것은 호북성 이후자의 고분에서 발굴된 것으로 제작연대가 기원전 433년으로 추정되며 65개의 종으로 이루어졌다. 그림 3-(a)와 같이 이후자 고분에서 발굴된 이 편종은 C2에서 C7까지 모두 다섯 옥타브의 음역을 가진다 [2]. 이 편종에 대해서는 고고학적 연구 뿐만 아니라 음향분석, 유한요소해석을 통한 모드분석 등의 연구가 이루어졌다 [2-5].

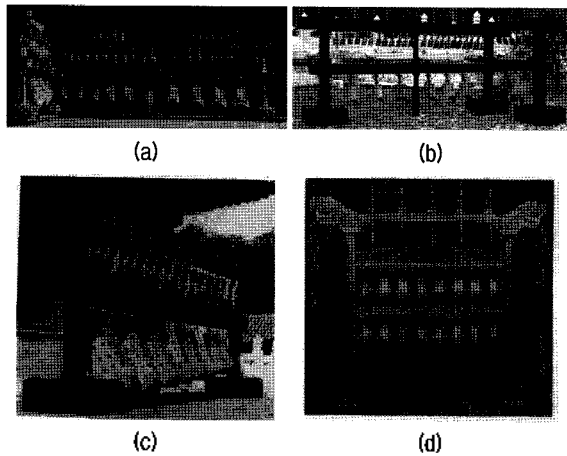


그림 3. 중국의 여러 가지 편종 들  
 Fig. 3. Bell sets of China, (a) 65-bell set from the Tomb of Marquis Yi, (b) 36-bell set from the No.2 tomb in Hubei Province [8], (c) 26-bell set from the No. 2 tomb at Xiasa in Henan province [7], and (d) 16-bell set of the Qing dynasty [6].

중국 호북성 이후작의 고분에서 서쪽으로 약 100 m 떨어진 곳에 위치한 제2호 고분에서는 36개의 종으로 이루어진 편종이 발굴되었다. 그림 3-(b)에서 보이는 이 편종의 음역은 약 310~1,400 Hz까지 두 옥타브이다 [1].

그림 3-(c)의 편종은 하남의 제2호 고분에서 발굴된 것으로 전부 26개의 종으로 구성되어 있다. 각 종의 높이는 23.6~120.4 cm이고, 질량은 2.8~152.8 kg이다. 음역은 96 ~1,675 Hz까지 약 네 옥타브이다 [1].

그림 3-(d)의 편종은 청대에 제작된 것으로 한국의 편종과 유사하게 크기와 모양이 같은 16개의 종으로 구성되어 있으며, 두께로 음고를 조절한다 [6].

Feng과 Tan은 이후작의 고분에서 발견된 편종의 음향 스펙트럼을 분석하여 보고하였다 [9]. Feng 과 Tan은 정고를 타격한 (2,0)<sub>a</sub> 모드진동수, 선고를 타격한 (2,0)<sub>b</sub> 모드진동수 및 모드가 확인되지 않은 4개의 모드진동수를 제시하였다.

Feng과 Tang의 실험 결과와 한국 편종의 실험결과를 비교하기 위하여 (2,0)<sub>a</sub> 모드진동수에 대한 고차 모드진동수를 상대적인 비를 구하였다. 고차 모드진동수의 (2,0)<sub>a</sub> 모드에 대한 상대진동수비는 음향 특성을 파악하는데 중요하다. 이후작의 고분에서 발견된 편종의 36개 종에서 나타낸 (2,0)<sub>a</sub> 모드의 (2,0)<sub>a</sub> 모드에 대한 상대적인 진동수비는 1.22±0.07로 거의 일양하다.

Rossing은 TV 홀로그래피를 사용하여 중국 쌍음종(双音钟의) 모드형상을 그림 4와 같이 보고하였다 [7]. 타격 지점에 따라 배와 바니가 생기는 지점이 다른 것을 볼 수 있다.

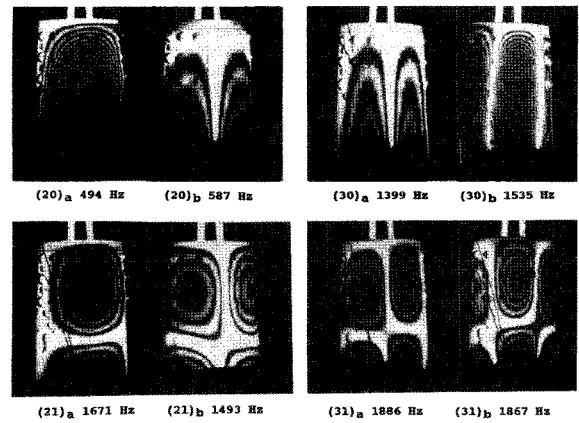


그림 4. 중국 현대 쌍음종의 모드형상 [7]  
 Fig. 4. Mode shapes in a modern two-tone bell [7].

표 1. 세종대왕기념관 소장 유물 편종에 표시된 간지  
 Table 1. Sexagenary cycles on the *pyeonjong* remains at the King *Sejong* Memorial

울명	간지	울명	간지	울명	간지	울명	간지
황종	丙寅	고선	미상	이척	甲辰	청황종	甲辰
대려	丁亥	중려	미상	남려	辛亥	청대려	丁酉
태주	甲辰	유빈	乙丑	무역	庚辰	청태주	丁未
협종	甲辰	임종	미상	응종	미상	청협종	丁未

### III. 실험방법

#### 3.1. 유물 편종과 현대 편종

유물 편종은 세종대왕기념관에 전시된 것으로 표 1과 같이 종의 겉면에 울명과 간지가 표시되어 있다. 갑진(甲辰)년의 간지가 표시된 종이 4개, 정미(丁未)년의 간지가 표시된 종이 2개, 병인(丙寅), 을해(乙亥), 신해(辛亥), 경진(庚辰), 을유(乙酉)의 종이 각각 1개씩 있다. 간지가 표시되지 않는 종은 이습용 종으로 정식으로 사용되던 종이 아닌 것으로 추정된다. 현대 편종은 국립국악원에서 연주되는 것으로 김현곤 선생이 제작한 것이다.

#### 3.2. 음향스펙트럼 분석

녹음 및 음향스펙트럼 분석은 Sony 마이크폰과 PC용 소프트웨어인 WinMLS 2000을 사용하여 이루어졌다. 수음은 각각의 편종이 보관된 세종대왕기념관 내 전시실과 국립국악원 예악당의 무대에서 각 악기로부터 1m 떨어진 곳에서 이루어졌다. 샘플링의 크기는 44,000 Hz이며, FFT 분석은 0.3 Hz의 해상도를 나타냈다. WinMLS의 분석결과는 Ono Sokki 350의 분석 결과로 확인하였다 [10].

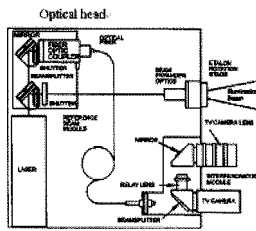


그림 5. TV 홀로그래피 장치 모식도  
Fig. 5. Experimental settings for TV holography.

### 3.3. 모드분석

현대 편종의 제작자인 김현곤 선생이 제공한 황종과 청협종을 대상으로 종의 모드형상을 분석하였다. TV 홀로그래피 방법은 홀로그래피 간섭계를 이용한 방법으로 본 연구에서는 Stetson Associate사에서 제작한 광학장치와 Recognition Technology사의 제어 프로그램을 사용하였다. 실험장치의 모식도는 그림 5와 같다. TV 홀로그래피는 분체의 모드형상을 분석하는데 유용한 방법이다 [11]. 종의 타격 부위에 자석을 붙인 다음, 신호발생기에 연결된 유도코일로 가진하였다. 모드형상을 보다 잘 관찰하기 위하여 종의 측면에 거울을 장치하고 측면의 모드형상을 확인하였다.

## IV. 실험 결과

### 4.1. 현대 편종의 기본진동수

표 2에 표시된 기명진동수 중 측정값은 실제 측정값이며, 목표값은 제작자가 의도한 값으로 제작사에 제시된 값이다. 최소가진진동수 jnd (just noticeable differences)는 200~500 Hz 사이에서 2~3 Hz이다. 따라서 측정값과 목표값의 차이가 jnd보다 큰 황종 (1번), 태주 (3번), 인종 (8번), 청황종 (13번) 및 청태주 (15번)는 조율에서 벗어났다고 할 수 있다.

### 4.2. 현대 편종의 모드형상

선행 연구에 따르면, 중국의 쌍음종의 경우 타격지점인 '정고'와 '선고' 중 '선고'를 타격하는 것을 중요시하였기 때문에 '선' 부분에서 배가 나타나는 진동모드를 'a', '산' 부분에서 마디가 나타나는 진동모드를 'b'로 표기하였다 [1]. 그러나 본 연구의 대상인 한국의 편종은 타격지점을 중국 쌍음종의 '정고' 지점인 '수로' 지정하기 때문에 '수'에서 배가 나타나는 진동모드를 'a'로, 마디가 나타나는 진동모드를 'b'로 표기하였다.

표 2. 현대 편종의 기명진동수

Table 2. Nominal frequencies of the *pyeonjong* replica.

울명	기명진동수		
	측정값* (Hz)	목표값** (Hz)	오차 (e)
황종	267.95	263.7	26.7
대려	282.96	282.6	2.2
태주	300.66	296.7	23.2
협종	316.77	316.8	0.2
고선	335.33	333.8	8.2
중려	355.59	356.4	3.9
유빈	376.83	375.5	6.4
임종	397.89	395.6	10.2
이척	423.83	422.4	5.9
남려	447.02	445.0	7.8
무역	476.44	475.2	4.5
응종	501.96	500.6	4.7
청황종	532.47	527.4	16.6
청대려	565.98	563.2	8.5
청태주	599.85	593.3	19.0
청협종	635.74	633.6	5.8

\*All measurements have done three times and the data in the Table 2 are the average of three measurements.

\*\* Frequencies are intended by Kim

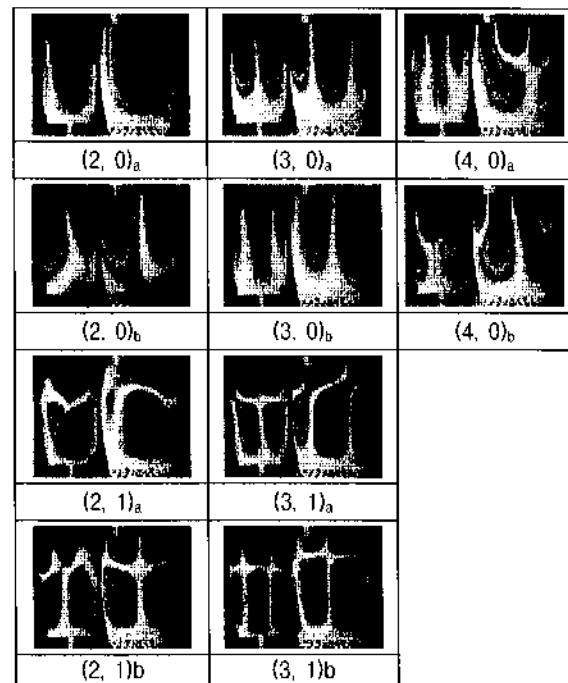


그림 6. 편종의 'a'와 'b' 모드형상

Fig. 6. Examples of 'a' and 'b' mode shapes in the *pyeonjong*.

편종에서 나타나는 'a'와 'b'의 진동모드 예시는 그림 6과 같다. 괄호 안의 숫자 중 앞의 숫자는 세로로 나타나는 마디의 수를, 뒤의 숫자는 가로로 나타나는 마디의 수를 나타낸다.

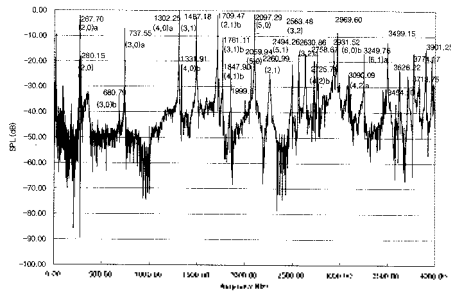


그림 7. 현대 황종의 음향스펙트럼과공진점  
Fig. 7. Exemplary sound spectrum and modal frequencies of the 1st bell in the *pyeonjong*.

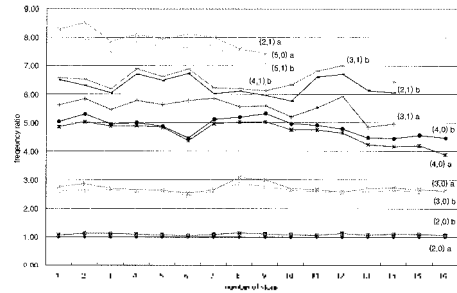


그림 8. 현대 편종에서 나타나는 고차 모드진동수의 기명진동수에 대한 상대적인 비율  
Fig. 8. Relative ratios of higher modes to the nominal frequencies, (2,0)a modes of at each note in the *pyeonjong* replica.

### 4.3. 현대 편종의 음향 스펙트럼

황종의 음향 스펙트럼은 그림 7과 같다. 가청진동수 영역에서 나타나는 종의 진동모드가 많기 때문에 각각의 공진점에 해당하는 진동모드를 파악하는 것이 쉽지 않다. 이를 위해서 1V 홀로그래피를 이용하여 황종과 임종의 모드분석을 하였고, 모드분석 결과와 음향 스펙트럼을 비교하여 각 공진점에 해당하는 모드를 확인하였다 [10].

편종의 타격지점이 '수'이기 때문에 '수가 배인 'a' 진동모드의 음압이 '수가 마디인 'b' 진동모드의 음압보다 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 편종의 경우는 'b' 진동모드가 종의 음색에 미치는 영향이 상대적으로 적다고 할 수 있다.

황종과 임종의 모드분석 결과를 바탕으로 나머지 종의 진동모드를 제6모드인 (4, 0)<sub>b</sub>까지 파악하였다. 낮은 음고의 종은 고차의 진동모드까지 파악할 수 있었다. 편종에서는 제1모드인 (2, 0)<sub>a</sub> 모드진동수가 기명진동수를 나타낸다. 그림 8은 16개의 종에서 나타나는 고차 모드진동수의 기명진동수에 대한 상대적인 비율 그래프로 나타낸 것이다

제2모드인 (2, 0)<sub>b</sub>의 진동수는 기명진동수의 1.09배로 나타났으며, 이것은 기명진동수보다 반음과 32 ¢가 높은 것이다. 그러나 'b' 모드의 음압이 'a' 모드의 음압보다 낮기 때문에 'b' 모드가 편종의 음색에 기여하지 않는다고 할 수 있다. 쌍음종으로 구성된 중국의 편종은 (2, 0)<sub>b</sub> 모드진동수가 기명진동수의 1.22배로 나타났다. 쌍음종의 경우는 '선고'를 타격하면 (2, 0)<sub>b</sub> 진동모드가 활성화되어 높은 음을 연주할 수 있다.

제3모드인 (3, 0)<sub>b</sub> 모드는 기명진동수의 2.62배로 나타났다. 이것은 한 옥타브 위의 완전 4도에서 26 ¢가 낮다. 제4모드인 (3, 0)<sub>a</sub> 모드는 기명진동수의 2.72배로 나타났다. 이것은 한 옥타브 위의 완전 4도에서 39 ¢가 높다.

표 3. 세종대왕기념관 유물 편종의 기명진동수

Table. 3. Nominal frequencies of the *pyeonjong* remains at the King *Sejong* Memorial.

울명	간지	기명진동수				
		측정값 (Hz)	현대 편종의 계획값 (Hz)	오차 (¢)	황종음고 추정값 (Hz)	intended intonation
황종	丙寅	256.35	263.7	-48.94	256.35	1.00
대려	丁亥	317.87	282.6	203.61	297.07	1.07
태주	甲辰	318.60	296.7	123.29	281.95	1.13
협종	甲辰	311.28	316.8	-30.43	259.40	1.20
고선	미상	319.34	333.8	-76.67	251.45	1.27
중려	미상	347.17	356.4	-45.43	257.16	1.35
유빈	乙丑	394.04	375.5	83.44	277.49	1.42
임종	미상	384.52	395.6	-49.18	256.35	1.50
이척	甲辰	424.80	422.4	9.81	265.50	1.60
남려	辛亥	449.71	445.0	18.23	266.10	1.69
무역	庚辰	498.78	475.2	83.84	277.10	1.80
응종	미상	522.95	500.6	75.62	275.24	1.90
청황종	甲辰	579.35	527.4	162.65	289.68	2.00
청대려	丁酉	558.84	563.2	-13.45	262.37	2.13
청태주	丁未	603.52	593.3	29.57	268.23	2.25
청협종	丁未	629.88	633.6	-10.19	262.45	2.40
평균	-	-	-	-	268.99	-

제4진동모드까지 고차 진동모드진동수의 기명진동수에 대한 비율이 종마다 다르지 않다. 이것은 음고별 종의 음색이 어느 정도 일정하다는 것을 나타낸다.

### 4.4. 세종대왕기념관 유물 편종의 기명진동수와 모드 진동수

세종대왕기념관에 전시된 편종의 울명, 간지 및 기명진동수를 표 3에 제시하였다. 세종대왕기념관에 전시된 종의 간지는 모두 다르게 표시되어 있어 제작연대가 다른

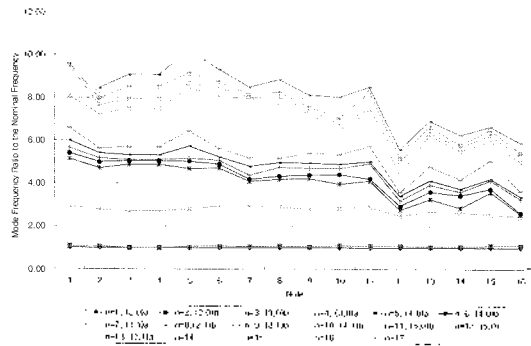


그림 9. 유물 편종의 기명진동수에 대한 고차진동모드진동수의 기명진동수에 대한 상대적인 비율

Fig. 9. Relative ratios of higher modes to the nominal frequencies, (2,0)<sub>a</sub> modes of at each note in the *pyeonjong* remains.

것으로 추정할 수 있다. 따라서 삼분손익법에 맞게 종의 기명진동수가 조율되었다고 예상할 수 없다. 현대 편종의 계획된 기명진동수와 유물 편종의 기명진동수 사이의 차이는 9.8 ¢ 부터 203 ¢ 까지 다양하다.

유물 편종의 경우는 기본음의 진동수가 얼마인지 알 수 없기 때문에 삼분손익법을 사용하여 각각의 음고에 해당하는 종의 기명진동수로부터 황종음의 진동수를 추정하였다. 그 결과를 표 3의 황종음고 추정값에 제시하였다. 추정된 황종음의 기본진동수 평균값은 268.99 Hz 이고, 이것은 현대 황종음의 기본진동수로 간주되고 있는 C4의 진동수인 261.13 Hz보다 48 ¢ 가 높다. 또한, C<sup>#</sup>4의 진동수보다는 52 ¢ 가 낮다.

4.5. 세종대왕기념관 유물 편종의 음향 스펙트럼

유물 편종의 음향 스펙트럼에서 공진점을 찾은 다음, 현대 편종을 분석한 방법과 같이 고차 모드진동수를 기명진동수에 대한 상대적인 비로 나타냈다. 그 결과는 그림 9에 제시하였다. 유물 편종의 16개 종에서 (3, 0)<sub>b</sub> 모드로 추정되는 제4모드까지는 표준편차가 0.16보다 작게 나타났다. 음몰이 높아질수록 기명진동수에 대한 고차 모드진동수의 상대적인 비율이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 유물 타악기에서 나타나는 일반적인 현상으로 볼 수 있다 [12].

4.6 유물 편종과 현대 편종의 음향 스펙트럼 비교

유물 편종을 구성하는 종 16개와 현대 편종을 구성하는 종 16개에서 나타나는 고차 모드진동수를 각각의 기명진동수에 대한 상대적인 비로 나타낸 값을 평균하여 표 4에 나타냈다. 중국 편종의 경우는 고차 진동모드 중 (2, 0)<sub>b</sub> 모드만을 비교하였다.

표 4. 유물 편종과 현대 편종의 각 음고별 종에서 나타나는 고차 모드진동수의 기명진동수에 대한 상대적인 비율의 평균값

Table. 4. Average frequency ratios of mode frequencies to the nominal frequencies in each bells of *pyeonjong* remains and replicas.

mode	현대 종 평균 (SD)	유물 종 평균 (SD)	중국 종 평균 (SD)
n=1, (2,0) <sub>a</sub>	1.00	1.00	1.00
n=2, (2,0) <sub>b</sub>	1.09* (0.03)	1.07 (0.03)	1.22(0.07)
n=3, (3,0) <sub>b</sub>	2.62 (0.09)	2.64 (0.15)	-
n=4, (3,0) <sub>a</sub>	2.72 (0.15)	2.75 (0.16)	-
n=5, (4,0) <sub>a</sub>	4.66* (0.37)	4.00 (0.80)	-
n=6, (4,0) <sub>b</sub>	4.87* (0.31)	4.24 (0.80)	-
n=7, (3,1) <sub>a</sub>	5.54* (0.33)	4.54 (0.73)	-
n=8, (2,1) <sub>b</sub>	6.29* (0.32)	4.77 (0.80)	-
n=9, (3,1) <sub>b</sub>	6.52* (0.30)	5.23 (0.89)	-
n=10, (4,1) <sub>b</sub>	6.86* (0.40)	5.63 (0.94)	-
n=11, (5,0) <sub>b</sub>	7.58* (0.33)	6.03 (1.06)	-
n=12, (5,0) <sub>a</sub>	7.76* (0.30)	6.45 (1.17)	-
n=13, (2,1) <sub>a</sub>	7.98* (0.33)	6.89 (1.21)	-

\* p < .005

유물 종과 현대 종의 사이에 통계적으로 유의미한 차이가 있는 경우를 \* 표시를 하였다. (3, 0)<sub>b</sub>와 (3, 0)<sub>a</sub> 모드를 제외한 모든 고차 모드진동수에서 유물 종과 현대 종 사이에 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 유물 종의 경우 (2, 0)<sub>b</sub> 모드의 상대진동수가 1.07 ± 0.03이고, 현대 편종의 경우는 1.09 ± 0.03이다. 진동수 대역 200~500 Hz 사이에서 최소가진진동수 jnd (just noticeable differences) 는 2~3 Hz로 1% 이내의 차이를 감지할 수 있다. 이를 기준으로 보았을 때, 유물 종과 현대 종의 (2, 0)<sub>b</sub> 모드진동수의 차이는 감지될 수 있을 것이다. 진동수 대역 1,000~4,000 Hz에서 최소가진진동수는 50 Hz 이내로 약 0.5%의 차이를 감지할 수 있다. (4, 0)<sub>b</sub> 이상 고차 모드진동수 사이에서 나타난 차이는 통계적으로 유의할 뿐만 아니라 최소가진진동수 이상으로 차이가 감지될 수 있을 것이다. 이러한 고차 모드진동수의 차이는 유물 편종과 현대 편종에서 나타나는 음색의 차이를 반영하는 것으로 해석할 수 있다.

V. 결론

편종의 조율방법을 모색하기 위한 기초 연구로 유물 편종과 현대 편종의 음향 스펙트럼을 비교하였다. 유물 편종과 현대 편종의 기명진동수에 대한 차이는 유물 편종의 제작 연대가 일정하지 않음 점과 현대 국악의 기본음

을 C4로 정하는 경향이 크기 때문에 해석할 수 있다. 유물 편종의 기명진동수로 황종음고를 추정하기 위해서는 보다 많은 유물 편종의 기명진동수가 분석되어야 할 것이다.

음색에 기여하는 고차 모드진동수의 기명진동수에 대한 상대적인 비율에서도 유물 편종과 현대 편종은 유의미한 차이를 나타냈다. 그러나 본 연구에서는 제작연대가 다른 16개의 유물 편종만을 대상으로 하였기 때문에 연구결과를 일반화하는데 제한점이 있다. 유물 편종의 음색을 규명하기 위해서는 보다 많은 유물 편종의 음향 스펙트럼 분석이 요구된다. 또한 편종의 음색과 음고가 주물성분 뿐 만 아니라 구조에 밀접하게 영향을 받기 때문에 금속성분과 구조에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

1. T. D. Rossing, D. S. Hampton, B. E. Richardson, H. J. Salthoff and A. Lehr, "Vibrational modes of Chinese two-tone bells," *J. of Acoust. Soc. Am.*, vol. 83, no. 1, pp. 369-373, 1988.
2. S. H. Zhao, "The Marquis Yi set-bells of the Zeng state and the set-bells of the Chu state," in *Two-tone Set-bells of Marquis Yi*, edited by C. Y. Chen, W. S. Tan and Z. M. Shu, pp.73-74, World Scientific, Singapore, 1994.
3. Z. Y. Chen, "The distribution of Chinese pre-Qin bronze bells," in *Two-tone Set-bells of Marquis Yi*, edited by C. Y. Chen, W. S. Tan and Z. M. Shu, pp. 109-138, Hubei People's Publisher, Wuhan, 1992. (in Chinese)
4. T. D. Rossing, *Science of Percussion Instruments*, pp. 164-166, World Scientific, Singapore, 2000.
5. H. Zhang, Z. Z. Yan, C. C. Yang and Y. L. Shi, "Study of excitation of the two-tone acoustic characteristics of the chime bell of Marquis Yi of Zeng by finite element method," *Chinese Sci. Bull.*, vol. 16, no. 2, pp. 167-173, 2007.
6. L. V. Falkenhausen, *Suspended Music: Chime Bells in the Culture of Bronze Age China*, p. 44, University of California Press, California, 1993.
7. T. D. Rossing, "The Acoustical comparison of ancient Chinese bells with Western bells," in *Two-tone Set-bells of Marquis Yi*, edited by C. Y. Chen, W. S. Tan and Z. M. Shu, pp. 367-409, World Scientific, Singapore, 1994.
8. A. Bagley, "Percussion," in *Music in the Age of Confucius* edited by J. F. So, pp. 35-63, Smithsonian Institution, Washington, D. C., 2000.
9. G. S. Feng and W. S. Tan, "The discovery and research of the Marquis Yi set-bells of the Zeng State," in *Two-tone Set-bells of Marquis Yi*, edited by C. Y. Chen, W. S. Tan, and Z. M. Shu, pp. 20-69, World Scientific, Singapore, 1994.
10. J. Yoo, *Acoustics of Korean Percussion Instruments: Pyeong-yeung and Pyeonjong*, pp. 179-181, Ph.D. Thesis, Northern Illinois University, 2005.
11. T. D. Rossing, "Modal Analysis," in *Springer Handbook of Acoustics*, edited by T. D. Rossing, pp. 1127-2238, Springer, Heidelberg, 2006.

12. J. Yoo, T. D. Rossing and B. Larkin, "Vibrational modes of five-octave concert marimbas," in *Proc. SMAC 03: Stockholm Music Acoustics Conference*, vol. 1, pp. 355-357, The Royal Institute of Technology, Stockholm, 2003.

---

## 저자 약력

---

•유 준 희 (Junehee Yoo)  
음향학회지 제25권 3호 참조