

# 한국 범종에 대한 음향 및 선호도 분석

## Acoustic Characteristics and Timbre Preferences of Korean Bells

박 상 하, 이 민 구, 한 나 라, 성 광 모  
(Sang Ha Park, Mingu Lee, Nara Hahn, Koeng-Mo Sung)

서울대학교 전기·컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소 음향공학연구실  
(접수일자: 2011년 3월 17일; 수정일자: 2011년 5월 24일; 채택일자: 2011년 6월 27일)

본 논문에서는 전국 각지의 범종 소리를 녹음하고 이를 크기에 따라 두 개의 그룹으로 분류한 후, 두 그룹에 대하여 주관취평가를 시행하여 사람들이 어떤 범종 소리를 선호하는지 조사하였다. 또한, 범종 음향 분석을 통해 부분음의 위치, 크기, 맥놀이 주기, 20 dB 감쇠 시간을 분석하였다. 이후, 분석된 음향학적 파라미터와 선호도의 상관관계를 파악함으로써 선호도가 높은 범종과 선호도가 낮은 범종을 구분짓는 음향학적 특징을 알아보았다.

**핵심용어:** 한국 범종, 선호도, 음향 신호 분석, 맥놀이, 감쇠율

**투고분야:** 음악음향 및 음향심리 분야 (8)

The sounds of the Korean temple bells, that are located in the various places, were recorded and classified into two groups according to the size of bells. The sound preference was investigated with the subjective listening test on the bells of each group. And the acoustic characteristics of the bells such as the frequency, amplitude, beat period, and 20 dB decay rate of the partials was analyzed. The correlation between the acoustic parameters and timbre preference were analyzed and the acoustic characteristics of highly preferred bell sound were presented.

**Keywords:** Korean temple bell, Preference, Sound signal processing, Beat, Decay rate

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

### I. 서 론

범종(梵鍾)은 동아시아 국가들의 사찰에서 종교적인 목적으로 널리 사용되는 종으로써, 일반적으로 서양종과는 다른 독특한 음색과 긴 여운을 가지고 있다. 그 중에서도 한국의 범종은 어느 동아시아 국가의 범종들과도 다른, 독특하고 아름다운 음색과 우아한 형태로 정평이 나 있는 한국 고유의 문화유산으로, 그 독창적인 양식으로 인해 한국 종 (Korean bell)이라는 학명을 가지고 있다.

한국의 범종 소리가 갖는 특성은 다른 종류의 종들과는 비교할 수 없는 깊고 그윽한 소리에 있다. 이러한 한국 범종의 소리는 장중한 타격 음이 5~10초간 이어지는 높고 맑은 원음과 약 2분 정도 청아하게 지속되다 사라지는 여음으로 이루어지며, 기본진동주파수와 다른 배음들의 주파수 비율이 정수 비율을 이루지 않는다. 이는 배음들이 기본주파수의 정수 배로 이루어지는 서양종과는 다른

특색으로, 한국 범종의 소리 특색은 기본적으로 이로부터 비롯된다고 볼 수 있다.

하지만 이러한 한국 범종에 대한 과학적인 연구는 부족한 실정이다. 1976년 한국 범종학회가 설립된 후 성덕대왕 신종이나 보신각종과 같은 우리나라의 대표적인 큰 범종들에 대한 진동모드 등의 음향학적 특성이 연구된 바 있고 [1-2], 1985년 보신각 종의 구조를 위해 기존 보신각 종의 음향학적 특성과 종 구조 방법이 연구된 바 있다. 그러나 지속적인 연구가 진행되지 않아, 범종의 음향학적인 특성에 대해 체계적으로 정리된 자료 및 다양한 종류의 범종에 대한 음향학적인 연구 결과는 여전히 부족한 상태이다.

본 연구는 다양한 범종 소리에 대한 주관취평가를 통해 한국 사람들이 어떤 범종의 소리를 선호하는지 조사하고, 이들 범종 소리를 분석하여 각 범종 소리를 구성하는 음향학적 파라미터들을 추출하였다. 이후, 추출된 파라미터들과 선호도의 관계를 파악함으로써 선호도가 높은 범종 소리가 어떠한 음향학적 특징을 갖는지를 알아보았다.

## II. 범종 음원 녹음

### 2.1. 범종 음원

범종 소리 연구를 위하여 전국 각지의 사찰, 공공 기관 등이 보유하고 있는 범종의 소리를 직접 녹음하여 연구에 사용하였다. 전국의 큰 범종을 보유하고 있는 절과 기관 들을 알아본 후, 각 기관에 연락을 취해 방문 날짜를 잡고 타종 및 녹음 협조를 요청하였다. 범종 녹음이 가능하다고 답변이 온 총 19곳의 기관 및 사찰에서 41개의 범종 음원을 녹음하였고, 녹음된 범종들의 소재지들은 다음의 표 1과 같다.

### 2.2. 측정 방법

범종을 녹음하기에 앞서 종의 높이, 둘레, 당점 높이, 길이 등을 측정하였다. 이후 B&K 4011 마이크로폰 두 개와 RME audio interface, 노트북을 이용하여 종소리를 녹음하였다. 마이크는 종 외측으로부터 약 1m 만큼 떨어진 지점에서 당점을 중심으로 90도와 135도에 위치하도록 하였다. 또한 마이크의 높이는 당점의 높이와 같도록 하였다. 각 타종 시에 가능한 한 녹음 시간과 타종 간격을 충분히 하여 여운이 사라질 때까지의 종소리를 온전하게 녹음할 수 있도록 하였다.

표 1. 녹음된 범종의 소재지  
Table 1. The locations of recorded bells.

서울	견지동 조계사
	대순진리회 종곡도장
	봉원동 봉원사 2개종
	삼성동 봉은사
	수유동 화계사
	인암동 개운사
	종로구 보신각
	홍은동 백련사 2개종
경기	광주 곤지암 우리절
	대순진리회 여주도장
	대순진리회 포천도장
	부천 석왕사
	수원 시민의 종
	용인 와우정사
	파주 평화의 종
	포천 시민의 종
충청	진천 성종사 21개종
	진천 종 박물관 종
강원	화천군 세계 평화의 종

### 2.3. 측정 결과

다음의 표 2는 측정된 범종들의 이름과 높이이다. 대부분의 범종들은 용뉴라고 하는 용의 모습을 한 고리에 끈이 끼워져 높은 곳에 매달려 있었기 때문에 정확한 높이를 측정할 수는 없었다. 사찰이나 기관에 종의 크기에 관한 자료가 있는 경우 그 자료를 활용하였고, 그렇지 않은 경우 대략의 높이를 측정하였다. 포천 대순진리회 종의 경우 높이 측정에 대한 허락을 받지 못해 높이를 측정할 수 없었다. 성종사 실내 종 1~19의 경우 대략 80~100 cm의 범위의 높이를 갖는 종들이었다.

범종 소리 녹음 후, 분석 및 합성의 편의성을 위해 측정 한 종을 1 m 이상인 경우는 ‘대’, 1 m 이하의 종의 경우 ‘소’의 이름을 붙여 일괄 번호를 주었다. 큰 종과 작은 종의 경우 기본진동주파수 및 음색에서 큰 차이가 있었기에 종을 크기에 따라 두 그룹으로 분리한 후, 각 그룹 내에서 종소리의 선호도 조사 및 음향 분석을 하였다.

표 2. 녹음된 범종의 크기 분류  
Table 2. The sizes of recorded bells.

종이름 및 위치	높이 (cm)	이름
화천군 세계 평화의 종	467	대 1
서울 보신각 새종	380	대 2
경기 여주 대순진리회	330	대 3
경기 포천 시민의 종	330	대 4
경기 파주 평화의 종	300	대 5
경기 수원 시민의 종	280	대 6
경기 포천 대순진리회	-	대 7
종박물관 큰 종	약 250	대 8
서울 조계사 종	225	대 9
광주 곤지암 우리절	220	대 10
서울 종곡동 대순진리회	216	대 11
경기 용인 와우정사	210	대 12
경기 부천 석왕사	189	대 13
서울 수유 화계사	180	대 14
성종사 세계평화의 종	160	대 15
서울 삼성 봉은사	160	대 16
서울 백련사	150	대 17
서울 인암 개운사	140	대 18
서울 신촌 봉원사	135	대 19
성종사의 상원사 카페종	약 150	대 20
서울 신촌 봉원사 작은 종	83	소 1
서울 백련사 작은 종	65	소 2
성종사 실내 종 1~19	약 80~100	소 3~21

### III. 범종 음향 분석

대부분의 범종이 야외에 위치해 있었기에 녹음한 범종 음원을 분석하기에 앞서 노이즈 제거 등의 전처리 과정을 수행하였다. 이후, 범종의 부분음 (partial)의 주파수를 분석한 후 각 부분음들의 크기, 맥놀이 주기, 20 dB 감쇠 시간을 분석하였다.

#### 3.1. 노이즈 제거 및 전처리

마이크로폰의 성능이 우수하고, 성중사의 작은 종 19개를 제외하고는 모든 종들이 실외에 위치하였기에 녹음한 음원에 사람의 말소리나 바람 소리, 새소리 등의 노이즈가 많이 섞여 있는 상태였다. 따라서 녹음된 종소리에서 노이즈를 제거하는 작업을 하였다. 또한 녹음된 종소리의 음압레벨이 종소리마다 달랐기에, 분석 및 청취평가에 앞서 모든 종소리에 대해 등청감 곡선을 이용하여 청감상의 음의 크기를 같게 하는 전처리 작업을 하였다 [3].

#### 3.2. 범종 음향 분석

범종소리가 가진 음향학적 특성을 분석하기 위하여 먼

저 부분음을 분리하였다. 분리된 부분음의 주파수, 음량, 맥놀이주기, 감쇠율 등의 특성을 분석하여 각 종의 음향학적 특성을 살펴보았다. 종의 소리를 구성하는 주파수 성분을 살펴보기 위해서 타격음부터 시작하는 30초의 음원에 대해서 FFT (Fast Fourier Transform)를 분석하였고, 종의 주파수를 바탕으로 각각의 종에 대하여 1~9번째 부분음을 분리하여 특성을 조사하였다.

분리된 9개의 부분음으로부터 각 부분음의 주파수와 크기, 그리고 각 부분음의 모드쌍 주파수의 크기와 위치를 구하였다. 이 때 모드쌍 주파수란, 한국 종만 갖는 특성으로 각 부분음들이 한 쌍의 주파수를 갖는 경우를 일컬으며 이는 청감상 맥놀이의 형태로 나타나게 된다. 부분음 주파수 분석 후, 각 부분음들에 대해 밴드패스 필터를 씌우고 이를 시간 영역의 신호로 변환하였다. 이후, 분리된 부분음들에 대하여 Least Square (LS) 방법을 이용하여 부분음의 감쇠율을 계산하였다.

#### 3.3. 범종 음향 분석 결과

위의 방식을 이용하여 모든 종에 대하여 부분음의 (모드쌍) 주파수, 크기, 맥놀이 주기, 20 dB 감쇠 시간을 구

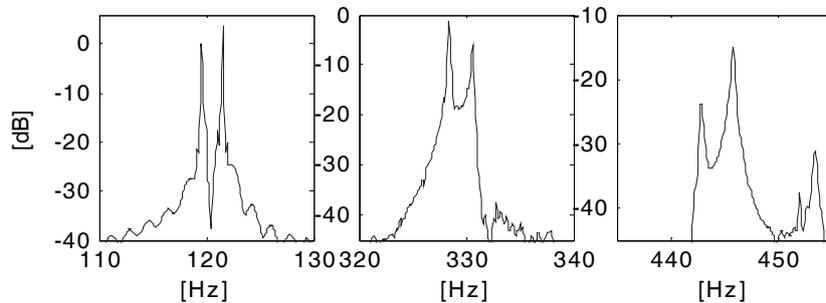


그림 1. 주파수 영역에서의 '대 20' 종의 부분음들  
(좌: 부분음 1, 중: 부분음 2, 우: 부분음 3)  
Fig. 1. Partial frequencies of 'large 20' bell in frequency domain.  
(left: 1st partial frequency, middle: 2nd partial frequency, right: 3rd partial frequency)

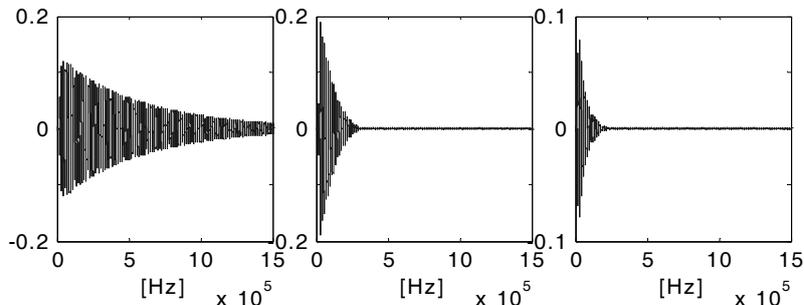


그림 2. 시간 영역에서의 '대 20' 종의 부분음들  
(좌: 부분음 1, 중: 부분음 2, 우: 부분음 3)  
Fig. 2. Partial frequencies of 'large 20' bell in time domain.  
(left: 1st partial frequency, middle: 2nd partial frequency, right: 3rd partial frequency)

표 3. '대 20' 종의 분석 결과  
Table 3. The sound analysis result of 'large 20' bell.

부분음 번호	주파수 [Hz]	크기 (비율) [dB]	모드쌍 주파수 [Hz]	모드쌍 주파수 크기 (비율) [dB]	비트주기 [초]	20 dB 감쇠시간 [초]
1	121	0	120	-2	0.5	60.0
2	328	-5	330	-2	0.5	9.3
3	400	-10	396	-9	0.3	4.8
4	446	-12	443	-7	0.3	4.7
5	574	-15	578	-2	0.2	3.1

하였다. 그림 1은 '대 20' 종의 1~3번째의 부분음 위치와 크기를 주파수 도메인에서 나타낸 그림이고, 각 부분음들이 밴드 패스 필터를 거친 후 시간 영역으로 변환된 신호는 그림 2와 같다. 그림 1에서 부분음의 크기는 첫 번째 부분음 (hum)의 크기 레벨을 0 dB로 한 상대적인 크기 레벨 [dB]로 나타내었다.

각 부분음들이 잘 분리되었음을 그림 1과 2를 통해 확인할 수 있으며, 첫 번째와 두 번째 부분음의 경우 감쇠시간 (decay time)이 긴데 반해 세 번째 이후에는 감쇠시간이 짧아지는 등 각 부분음의 특성들을 확인할 수 있다. 또한 앞에서 설명한 방식으로 '대 20' 종에 대해 분석한 결과는 표 3과 같다.

표 3에서 '주파수'는 각 부분음의 주파수 위치 [Hz]이고, '크기 (비율)'은 첫 번째 부분음에 대한 각 부분음의 상대적인 크기를 데시벨 단위로 나타낸 것이다. 각 종마다 종의 녹음 환경 (측정 거리 및 실내외 존재 여부)이 달랐기에 각 부분음들의 절대적인 크기는 의미가 없다고 판단하였고, 첫 번째 부분음의 크기에 대한 각 부분음의 크기를 분석하였다. '모드쌍 주파수'는 각 부분음과 모드쌍을 이루는 주파수의 위치 [Hz]이고, '모드쌍 주파수 크기 (비율)'은 각 부분음의 크기에 대한 모드쌍을 이루는 주파수 크기를 데시벨 단위로 나타낸 것이다. '비트주기'는 각 부분음의 비트 주기 (beat period)이고, '20 dB 감쇠 시간'은 각 부분음들이 20dB만큼 감쇠하는데 걸리는 시간이다.

녹음한 41개 종에 대해서 위와 같은 방식으로 분석을 실행하였고, '대 20' 종의 분석 결과와 같은 데이터를 얻었다.

#### IV. 청취평가를 통한 선호도 조사

##### 4.1. 청취평가 방법

전국 각지에서 녹음한 41개의 범종으로 종소리 선호도 조사를 하였다. 이 테스트를 진행하기 위해 Audio Research

Labs의 청취평가용 전문 프로그램인 STEP (Subjective Test and Evaluation Program)을 사용하였고, 두 개의 소리를 비교하여 상대적인 점수를 -3점에서 +3점까지 매기는 쌍비교 (Pairwise Comparison) 방법으로 청취평가를 진행하였다. 본 청취평가는 30~40 Hz부터 5 kHz의 영역까지 평탄한 주파수 응답을 가지는 'Sennheiser의 HD 650' 헤드폰이 사용하여 이루어졌고, 헤드폰에 따른 음향 왜곡이 최소화되도록 하였다.

41개의 종을 크기에 따라 '대 1-20'의 1그룹 (총 20개)과 '소 1-21'의 2그룹 (총 21개)으로 나누어 각 그룹별로 청취평가를 실시하였다. 종의 크기에 따라 기본진동주파수, 비트, 음색 등에 대한 차이가 많이 존재하였고, 깊고 여음이 강한 큰 종과 음고가 확실하며 여음이 약한 작은 종을 같은 그룹으로 놓고 선호도 조사를 하기에는 무리가 있다고 판단, 각 그룹에 대한 청취평가를 따로 실시하였다.

청취평가는 주관 청취평가 경험이 많은 14명의 전문가 그룹을 대상으로 실시하였고, 20개 종에 대한 쌍비교 (1 그룹)와 21개 종에 대한 쌍비교 (2 그룹)가 이루어졌기에 총 400회의 음원 비교가 청취평가를 통해 이루어졌다.

##### 4.2. 청취평가 결과

청취평가 결과 분석은 주관평가 분석 표준 방식인 ITU-R Recommendation BS.1116에 따라 이루어졌다 [4]. 개인별 결과 값의 편차가 다르므로, 개인별 평균과 분산 및 전체 데이터의 평균, 분산을 구하여 데이터를 정규화시킨 후, 각 범종에 대한 정규화된 개인별 선호도 점수의 총점을 구하였다. 그 결과, 20개의 큰 종과 21개의 작은 종에 대한 선호도 등수를 구할 수 있었다.

#### V. 음향학적 특징과 선호도와와의 관계

범종은 그 크기에 따라 기본적인 특성이 매우 다르고 큰 종과 작은 종 각각에 대한 사람들의 선호도의 기준이 다를 것이라는 가정 하에, 청취평가가 이루어진 두 개의 그룹의 종들에 대해 따로 분석이 이루어졌다.

청취평가 결과 높은 점수를 받은 종과 3장에서 분석한 물리적인 파라미터 간의 상관관계를 살펴봄으로써 범종의 음향학적 특징과 선호도와와의 관계를 알아보았다.

##### 5.1. 작은 종 그룹에 대한 분석

다음의 표 4는 작은 종 그룹의 음향 파라미터와 선호도의 상관관계 결과이다. 각 종에 대한 12가지 물리적 파라미

표 4. 작은 종 그룹의 음향 파라미터와 선호도와 상관계수

Table 4. The correlation coefficient between acoustic parameter and timbre preference of small bell group.

변량	힘 주파수 (첫번째 부분음)	기본음 주파수 (두번째 부분음)	센트로이드 (전체)	센트로이드 (시작구간)	센트로이드 (지속구간)	센트로이드 차이 (시작구간, 지속구간)
상관계수	-0.0159	0.0079	-0.5607	-0.5488	0.1713	-0.517
변량	비트율 (두번째 부분음)	비트율 (가장 큰 부분음)	20dB 감쇠시간 (두번째 부분음)	20dB 감쇠시간 (가장 큰 부분음)	주파수 비율 (기본음/힘)	주파수 비율 (세번째부분음/기본음)
상관계수	0.4457	0.1964	0.1502	0.0268	0.199	0.4503

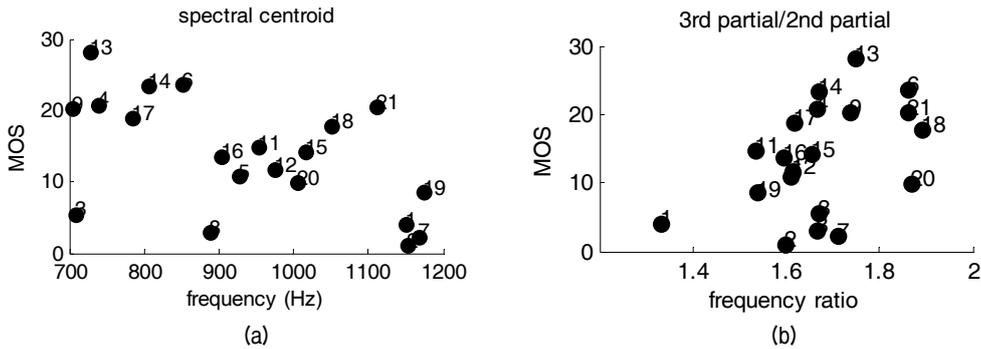


그림 3. 작은 종 그룹의 선호도 및 파라미터 관계 예시

(a) 전체 스펙트럼 센트로이드, (b) 주파수 비율 (3rd/2nd 부분음)

Fig. 3. The correlation between timbre preference and acoustic parameters of small bell group.

(a) Spectral centroid, (b) Frequency ratio (3rd/2nd partial)

터들과 선호도 점수와의 상관계수 (correlation coefficient) 를 구하였다 [5]. 이 때 분석된 물리적 파라미터들은 힘 주파수 (첫 번째 부분음)의 위치, 기본음 주파수 (두 번째 부분음)의 위치, 녹음된 음원의 전체 구간 (10초)에 대한 스펙트럼 센트로이드 (spectral centroid), 타격 시 (0.5~1.5 초)의 스펙트럼 센트로이드, 지속 구간 (7~8초)의 스펙트럼 센트로이드, 타격 시와 지속 구간의 스펙트럼 센트로이드 차이, 기본음의 비트율과 20 dB 감쇠시간, 가장 큰 에너지를 가지고 있는 부분음의 비트율과 20 dB 감쇠시간, 그리고 첫 번째 부분음에 대한 두 번째 부분음 및 두 번째 부분음에 대한 세 번째 부분음의 주파수 비율이다 [6-9].

표 4로부터 작은 종 그룹의 경우 전체적인 소리의 높이를 나타내는 전체 센트로이드 및 타격시의 음고, 음색을 나타내는 시작 부분의 센트로이드와 선호도는 음 (-)의 상관관계를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 작은 종의 주관적 음고가 낮을수록, 타격시 발생하는 소리가 낮을수록 (날카롭지 않을수록) 선호도가 높게 나타났다. 또한 기본음의 비트율 및 기본음에 대한 세 번째 부분음의 비율과 선호도 사이에는 양의 상관관계가 약하게 존재하는 것을 확인할 수 있다.

그림 3. (a)는 전체 센트로이드가 높을수록, 즉 주관적 음고가 높을수록 선호도가 낮아짐을 보여준다. 시작 구

간의 센트로이드도 비슷한 결과를 나타냈으며, 지속 구간의 센트로이드는 선호도에 많은 영향을 미치지 않았다. 그림 3. (b)는 두 번째 부분음에 대한 세 번째 부분음의 비율이 높을수록 선호도가 높게 나타남을 보여주고 있다. 주파수 비율과 선호도 사이의 양의 상관관계는 5번째 주파수까지 나타났고, 그 이상의 고주파에 대해서는 약간의 음의 상관관계의 경향을 나타냈다.

그림 3의 x축은 분석된 종들의 물리적인 파라미터, y축은 MOS (mean opinion score)로 청취평가 결과 각 종이 얻은 평균 점수를 나타내며, 각 그래프마다 이상치는 제외하였다.

### 5.2. 큰 종 그룹에 대한 분석

작은 종 그룹에 속하는 종들은 종의 모두 높이가 100 cm 안팎으로, 종의 크기나 종소리의 음고의 편차가 적었다. 하지만 큰 종 그룹에 속하는 종의 경우 높이가 130 cm ~ 467 cm로 편차가 컸으며, 힘의 주파수는 56 Hz~138 Hz, 그리고 기본음 주파수는 94 Hz~330 Hz 정도로 종의 크기나 음고에 있어 편차가 매우 컸다. 본 논문에서는 큰 종 그룹의 경우 종들간의 음고 및 음색의 차이가 너무 크다고 판단, 힘의 주파수가 60 Hz~100 Hz, 기본음 주파수가 160 Hz~230 Hz에 해당하는 종을 대상으로 선호도와 음향 파라미터 상관관계 분석을 하였다. 즉, 종의 높이가

표 5. 큰 종 그룹의 음향 파라미터와 선호도와의 상관계수

Table 5. The correlation coefficient between acoustic parameter and timbre preference of large bell group.

변량	협 주파수 (첫번째 부분음)	기본음 주파수 (두번째 부분음)	센트로이드 (전체)	센트로이드 (시작구간)	센트로이드 (지속구간)	센트로이드 차이 (시작구간, 지속구간)
상관계수	0.7651	0.7671	-0.3759	-0.326	-0.3156	-0.269
변량	비트율 (두번째 부분음)	비트율 (가장 큰 부분음)	20 dB 감쇠시간 (두번째 부분음)	20 dB 감쇠시간 (가장 큰 부분음)	주파수 비율 (기본음/협)	주파수 비율 (세번째부분음/기본음)
상관계수	-0.1502	-0.1253	-0.547	0.3426	-0.3253	-0.3677

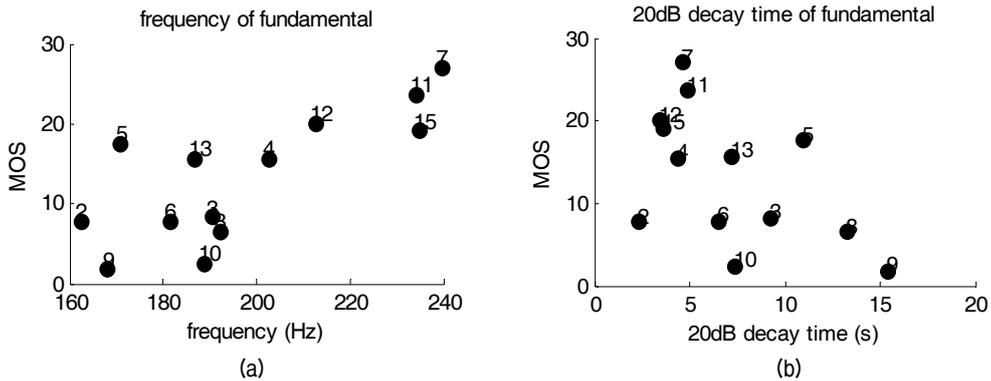


그림 4. 큰 종 그룹의 선호도 및 파라미터 관계 예시  
(a) 기본음의 주파수, (b) 기본음의 감쇠 시간

Fig. 4. The correlation between timbre preference and acoustic parameters of large bell group.  
(a) Fundamental frequency, (b) Decay time of fundamental

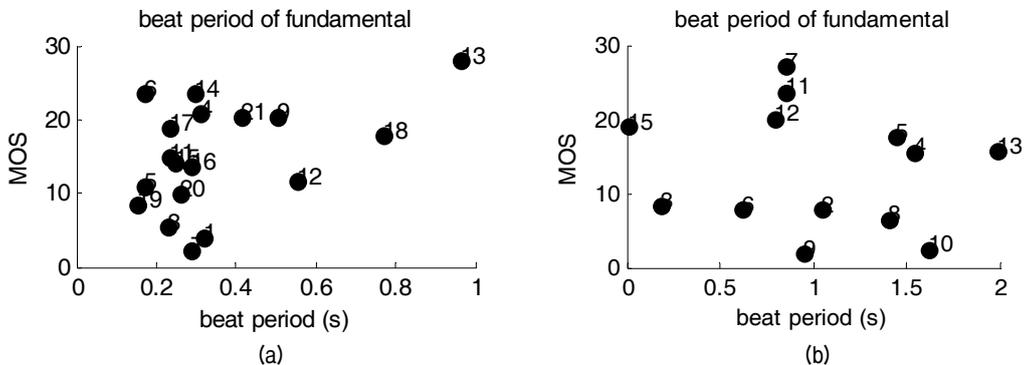


그림 5. 선호도와 기본음의 비트율 간의 상관관계  
(a) 기본음의 비트율 (작은 종), (b) 기본음의 비트율 (큰 종)

Fig. 5. The correlation between timbre preference and beat rate of fundamental.  
(a) Beat rate of fundamental (small bell), (b) Beat rate of fundamental (large bell)

467 cm이고 기본음이 매우 낮은 ‘대 1’ 종과 상대적으로 크기가 작고 협의 주파수가 100 Hz가 넘는 ‘대 14’, ‘대 16-20’의 종은 제외하고 나머지 큰 종에 대하여 분석을 하였다. 다음은 이상치를 제외한 큰 종 그룹의 음향 파라미터와 선호도의 상관관계 결과이다.

큰 종 그룹의 경우 협 (hum, 1st partial)과 기본음 (2nd partial)의 주파수가 선호도와 강한 양의 상관관계를 가지고 있었다. 즉, 첫 번째와 두 번째 주파수가 높을수록 선호도가 높게 나타났다. 작은 종 그룹의 경우 첫 번째, 두 번째 부분음에 비해 센트로이드가 선호도와 높은 상관

관계를 가지고 있는 반면, 큰 종 그룹에서는 센트로이드 보다 첫 번째, 두 번째 부분음과 선호도와의 상관관계가 높게 나타났다. 이는 큰 종 그룹의 경우 일반적으로 ‘종의 음고’로 인지되는 기본음이 높을수록 선호도가 높은 반면, 작은 종의 경우 음색이 너무 날카롭지 않은 종소리가 선호됨을 의미한다.

또한 큰 종의 경우 기본음의 20 dB 감쇠 시간과 선호도와의 관계에서 음 (-)의 상관관계 경향이 나타났으며, 기본음의 감쇠 시간이 짧을수록 선호도가 높음을 확인할 수 있다.

그림 4는 선호도와 양의 상관관계 및 음의 상관관계를 나타내고 있는 기본음의 주파수와 기본음의 감쇠시간과 선호도와의 상관관계 그래프이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 큰 종의 경우 비트율과 선호도는 큰 상관관계를 보이지 않은 반면, 작은 종의 경우 비트율과 선호도에 약한 양의 상관관계가 존재하였다. 이로써 종의 크기에 따라 선호도에 영향을 미치는 음향 파라미터들이 다르다는 것 또한 확인할 수 있었다.

종소리의 경우 다양한 파라미터들이 복합적으로 연계되어 선호도에 영향을 미치므로 특정 파라미터가 선호도에 결정적인 역할을 하는 것은 아닌 것으로 보인다. 하지만 힘이나 기본음 등에 의해 결정되는 음고나 센트로이드에 의한 종의 음색은 선호도와 상관관계가 높은 파라미터임을 확인할 수 있었다. 또한 작은 종과 큰 종의 경우 선호하는 종소리의 특성이 다른 것도 확인할 수 있었다. 추후, 각 파라미터들의 특성에 맞는 비선형 회귀 분석을 통해 중요도를 산정하고 선호도의 예측이 가능할 것으로 보인다.

## VI. 결론

본 논문에서는 전국 각지의 종 41개를 녹음하여 주관청취평가를 실행하여 ‘선호도가 높은’ 범종 소리와 ‘선호도가 낮은’ 범종 소리로 분류하였다. 이후, 종들의 음향학적 분석을 통해 선호도가 높은 범종과 선호도가 낮은 범종을 구분짓는 음향학적 특징을 알아보았다. 녹음된 범종들은 크기가 약 200 kg부터 40톤에 이르는 다양한 범종들이고, 힘의 주파수도 낮게는 56 Hz에서 높게는 190 Hz에 이르렀기에 종의 크기 및 주파수에 따라 ‘큰 종’ 그룹과 ‘작은 종’ 그룹으로 나누어 음향 파라미터를 분석하고 선호도와 상관관계를 살펴보았다.

작은 종들의 경우, 전체 센트로이드 및 시작 부분의 센트로이드와 선호도는 음의 상관관계를 가지며 음색이 날카롭지 않은 종이 선호되는 경향이 나타났다. 또한 5차 이하의 주파수에서의 주파수 비율과 선호도와 약한 양의 상관관계가 나타났다.

반면 큰 종 그룹의 경우, 힘과 기본음 주파수와 선호도

간에 높은 양의 상관관계가 나타났으며 종의 음고가 높을수록 선호도가 높은 경향을 보였다. 또한 기본음의 20 dB 감쇠시간이 짧을수록 선호도가 높게 나타났고 대부분의 종이 3~10초 내외의 감쇠시간을 가졌다.

큰 종의 경우 기본음의 비트율과 선호도와의 상관관계가 낮게 나타난 반면 작은 종의 경우 비트율과 선호도와의 약한 양의 상관관계를 나타냈으며, 큰 종과 작은 종의 선호도에 영향을 미치는 음향 파라미터들이 다름을 확인할 수 있었다.

본 연구는 한국종에 대한 음색 선호도 및 이에 영향을 미치는 음향학적 파라미터들에 대한 첫 번째 연구로, 앞으로 보다 많은 종소리에 대한 체계적인 분석을 진행할 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2009년 정부의 (교육과학기술부) 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2008-313-D00782).

## 참고 문헌

1. S. H. Kim, C. W. Lee, J. M. Lee, "Beat characteristics and beat maps of the King Seong-deok Divine Bell", *Journal of sound and vibration*, vol. 281, pp. 21-44, 2005.
2. J. M. Lee, S. H. Kim, S. J. Lee, et al., "A study on the vibration characteristics of a large size Korean bell", *Journal of sound and vibration*, vol. 257, no. 4, pp. 779-790, 2002.
3. B. C. J. Moore, *Hearing*, Academic Press, San Diego, 1995.
4. ITU-R Recommendation BS.1116-1.
5. W. A. Gardner, *Introduction to random processes*, McGraw-Hill, 1990.
6. J. W. Beauchamp, *Analysis, synthesis, and perception of musical sounds*, Springer, New York, 2007.
7. 김석현, C.X.Cui, "한국종의 진동 맥놀이 튜닝법", *한국소음진동 공학회 춘계학술대회논문집*, pp. 359-360, 2009.
8. S. H. Kim, W. Soedel, J. M. Lee, "Analysis of the beating response of bell type structures", *Journal of sound and vibration*, vol. 173, no. 4, pp. 516-536, 1994.
9. M. Karjalainen, P. A. A. Esquef, and V. V. Ilim ki, "Making of a computer carillon", *Proceeding of the Stockholm Music Acoustics conference (SMAC 03)*, Stockholm, 2003.

---

## 저자 약력

---

### ●박 상 하 (Sang Ha Park)



2005년 2월: 서울대학교 음악대학 기악과 졸업 (학사)  
2008년 2월: 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 졸업 (공학석사)  
2008년 3월 ~ 현재: 서울대학교 공과 대학 전기·컴퓨터공학부 박사 과정

### ●이 민 구 (Mingu Lee)



2004년 2월: 서울대학교 자연대학 물리학과 졸업 (이학사)  
2004년 9월 ~ 현재: 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 석박사 통합과정

### ●한 나 라 (Nara Hahn)



2004년 2월: 서울대학교 자연대학 물리학과 졸업 (이학사)  
2010년 8월: 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 졸업 (공학석사)  
2011년 3월 ~ 현재: 서울대학교 뉴미디어통신공동연구소 연구원

### ●성 썩 모 (Koeng-Mo Sung)



1965년 ~ 1971년: 서울대학교 전자공학과  
1971년 ~ 1973년: 독일 아헨공대 Vordiplom  
1973년 ~ 1977년: 독일 아헨공대 전자통신공학 Dipl. -Ing.  
1977년 ~ 1982년: 독일 아헨공대 음향공학 Dr.-Ing. (공학박사)  
1977년 ~ 1983년: 독일 아헨공대 음향공학연구소 연구원  
1983년 ~ 현재: 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 교수