

국악 타악기 편경의 소리합성을 위한 음색분석 연구

한기열, 윤지원, 김준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

A Study on the Spectrum Analysis for the Sound Synthesis of Pyeon-gyoung

Kiyul Han, Jiwon Yoon, Jun Kim

MARTE Lab., Department of Multimedia,
Graduate School of Image and Contents,
Dongguk University

요 약

편경은 국악기 조율의 표준악기로서 음악사적으로 중요한 의미를 지닌 타악기이다. 본 연구는 돌을 재료로 하는 편경의 소리 합성을 위한 기초단계로, 편경의 음색 특징을 규명하기 위한 배음구조 분석을 중심으로 하고 있다. FFT 스펙트럼 분석에 선행된, 편경의 음정 분석 및 기준음과의 비교결과는 특징적 배음구조 분석을 위한 중요한 실마리가 되었으며, 분석결과 나타난 배음의 특징적 구조는 편경의 고유음색을 결정하는 매우 중요한 요소로 밝혀졌다. 이 같은 결과는 음정을 가진 다른 국악기와 구분되는 독특한 것으로, 편경의 소리 합성에 있어 반드시 고려해야 할 중요한 요소이다.

I. 서 론

편경(編磬)은 고려 때 전래된 국악 타악기로 국악사에 있어 악기 자체의 고유한 특성과 그 상징적 가치로 인해 국악기 조율의 표준으로서 아악¹⁾의 중심에 서있던 악기이다. 석부(石部)에 속하는 유율타악기(有律打樂器)로서, 역사적으로 편경을 사용한 아악을 연주한 아시아의 여러 나라 가운데 우리나라와 중국 외에서는 제작 자체가 불가능하였던 것으로 전해져, 과학과 예술의 결합이라 일컬어질 만큼, 주원료가 되는 돌의 희귀성뿐만 아니라 세밀하고 과학적인 제작방법으로도 유명하다. 그러나 이러한 음악사적 가치에도 불구하고 편경의 고유 음색에 관한 분석이나 소리 합성을 통한 재현 등의 과학적인 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

이에 본 연구는 편경의 물리적 구조와 소리 발생과정을 기초로 실제 악기소리와 가장 근접한 소리를 생성하기 위한 물리적 모델링 합성(Physical Modeling Synthesis)

1) 고려·조선 연간에 궁중의식에서 연주된 전통음악.

본 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0078360).

방식의 기초단계로 진행되었으며, 이를 위한 첫 단계로서 FFT(Fast Fourier Transform)스펙트럼분석을 통해 검출된 배음 기반의 편경음색 분석을 통해, 편경만의 독특한 음색을 만들어내고 있는 특징적인 배음구조를 규명하고자 하였다.

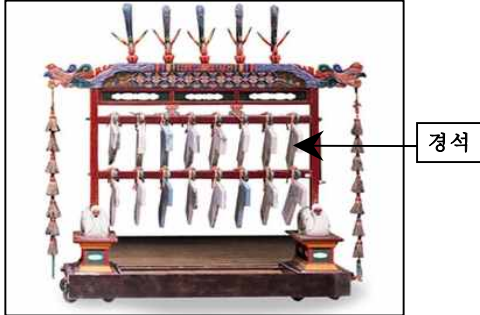
II. 편경의 특성

편경은 온도와 습도의 영향을 크게 받지 않는 돌의 성질을 십분 활용한 악기로, 환경의 변화와 관계없이 일정한 음고를 유지한다는 점에 있어, 천연 재료로 만들어진 여타의 악기와 구별된다. 대부분의 악기가 소실된다 하여도, 편경이 있으면 이를 기준으로 하여 정확한 음률을 재현한 합주가 가능하기에 국악기 조율의 기본음고를 담당하였으며, 이로써 당시 기준음의 높이가 통치 이념이나 철학사상을 담고 있던 아악에서 불변하는 음고를 지닌 편경의 존재는 단순한 악기 이상이었다.

‘ㄱ’자 모양의 16개 경석²⁾으로 이루어진 편경 한 틀의 전체 음역은 1과 1/3 옥타브(C5-D#6)에 해당하며, 각 경석의 크기는 모두 같고 두께의 차가 음고를 결정함으로

2) 석회암과 대리암의 혼합체로서 흔히 ‘옥돌’이라 불리는 돌의 일종으로, 독특한 빛깔과 맑은 음색을 특징으로 함.

써, 각 경석은 해당 음고를 나타내는 각각의 울명을 가지고 있다. 아래의 [그림-1]과 같이, 음고에 따라 두개의 단에 각각 8개의 경석을 끈으로 매어달며, 연주는 '각퇴'라고 하는 뿔망치로 경석을 타격함으로써 이루어진다.



[그림-1] 편경

각 경석은 두꺼울수록 음이 높아져 두께가 음높이에 비례하는 특성을 가지고 있는데, 그 이유는 각퇴로 경석을 타격하였을 경우, 얇은 것보다 두꺼운 것의 진동수가 빠르기 때문이다.

III. 편경의 음색분석

2.1 분석 대상

본 연구의 분석대상이 된 편경은 최근에 제작된 한국에 술종합학교의 편경으로, FFT분석을 위한 샘플은 16개 음정을 만들어내고 있는 각각의 경석을 다양한 강도로 연주하고 이를 녹음함으로써 준비되었다.

녹음은 44,100Hz의 샘플링 레이트(sampling rate)와 16bit로 하였으며, 보다 정교한 분석을 위하여 샘플은 노말라이징(normalizing)처리 되었다.

2.2 분석 방법

편경 음색의 분석을 위해 사용된 소프트웨어는 Praat³⁾과 Snd⁴⁾으로, 특별히 음고추적을 위하여 Praat에서 사용한 방식은 Adaptive Filter Pitch Detectors⁵⁾방식이다. 또한 보다 정확한 FFT 스펙트럼 분석을 위하여 Praat과 Snd를 모두 사용하였으며, 윈도우 타입(window type)은 해밍(hamming)을, 윈도우 사이즈(window size)는 1024를 기준으로 하였다.

2.3 분석 결과

이 같은 분석대상과 분석방법을 채택하여 진행된 편경의 음색연구 결과는 다음과 같다.

3) Praat : 암스테르담대학의 파울 부르스마(Paul Boersma)와 데이비트 베닝크(David Weenink)가 공동개발한 소리분석 소프트웨어.

4) Snd : 소리분석과 합성을 위한 도구로, 스펜포드대학 컴퓨터 음악 연구소(CCRMA)에서 개발한 소프트웨어.

5) 적응형 필터(adaptive filter)를 이용한 음고분석 방식으로, 허친스(Hutchins) 등이 개발.

2.3.1 편경의 음고

편경을 구성하고 있는 각 16개 경석의 음정 간격은 반음으로, 아래의 [악보-1]은 각 경석의 기준 음고에 해당하는 울명을 평균율로 변환하여 서양음악 기보법으로 표기해 본 것이다. 이는 현재까지 편경제작 시 기준음으로 사용되고 있다.

[악보-1] 편경의 기준음

그러나 음색 특성과 직결되는 배음구조를 분석하기 위해서는, 먼저 실제 악기샘플의 음정을 기준음과 비교하여 보다 객관화하기 위한 음고추적 과정이 선행되어야 했다. 이에 본 연구에서는 Praat을 사용한 분석방식 중 Adaptive Filter Pitch Detectors방식을 채택하여 편경샘플의 각 음고를 추적하였고, 그 결과를 기준음과 비교하면 아래 [표-1]과 같이 나타낼 수 있다.

[표-1] 분석된 음고 비교

울명	분석음고	평균율	기준음
황종	65.48	65.41 : C2	523.25 : C5
대려	69.29	69.30 : C#2	554.36 : C#5
태주	73.79	73.42 : D2	587.32 : D5
협종	78.03	77.78 : D#2	622.25 : D#5
고선	82.64	82.41 : E2	659.255 : E5
중려	87.40	87.31 : F2	698.45 : F5
유빈	92.58	92.50 : F#2	739.98 : F#5
임종	98.43	98.00 : G2	783.99 : G5
이측	104.21	103.83 : G#2	830.60 : G#5
남려	110.78	110.00 : A2	880.00 : A5
무역	116.88	116.54 : A#2	932.32 : A#5
응종	123.73	123.47 : B2	987.76 : B5
청황종	131.67	130.81 : C3	1,046.50 : C6
청대려	139.42	138.59 : C#3	1,108.73 : C#6
청태주	147.90	146.83 : D3	1,174.65 : D6
청협종	157.25	155.56 : D#3	1,244.50 : D#6

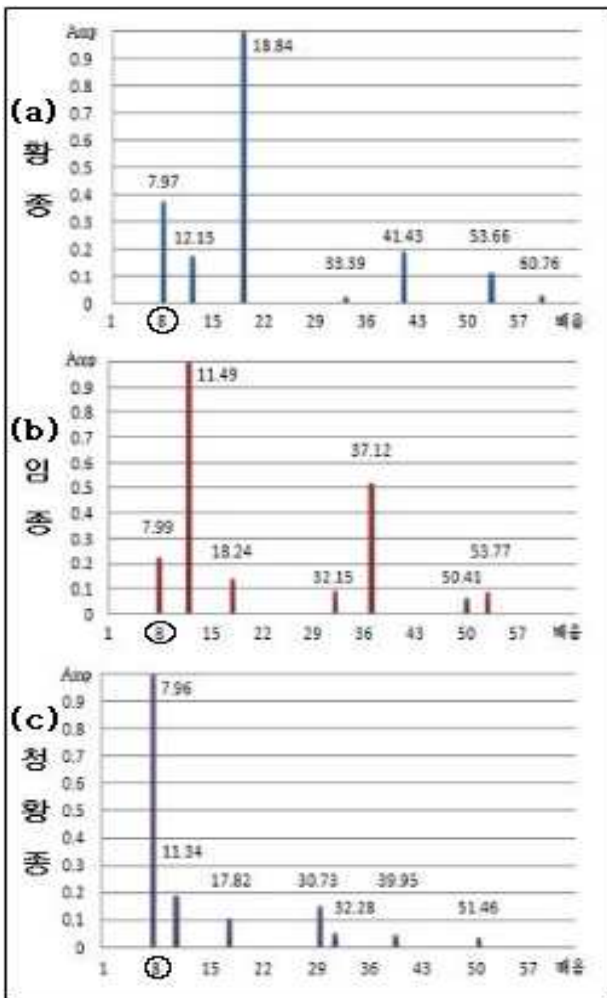
위의 [표-1]에서 황종은 분석결과 음높이 65.48Hz의 음고를 가지고 있으며, 이는 평균율로 변환하면 65.41Hz에 해당하는 C2에 가깝다. 즉, 편경의 최저음인 황종의 기준음은 C5이지만 분석결과 3옥타브 아래 음정에 해당하는 C2의 음고로 나타난 것이다.

동일한 방식으로 진행된 16개 경석의 음정을 분석한 결과, 황종의 예와 마찬가지로 분석결과를 기준음과 비교하였을 때 계명은 일치하나, 분석된 음고는 기준음보다 3옥타브 아래로 나타났다. 이 같은 편경의 음정분석 결과는

다음에 나타난 편경만의 독특한 배음구조에 기인하고 있음을 알 수 있다.

2.3.2 생략된 배음구조

음정을 가지고 있는 악기의 음색은 대부분 자연배음으로 이루어지며 배음의 간격과 강도에 따라 음색이 결정되는 것으로 알려져 있다. 고정된 음정을 가진 타악기 편경의 배음구조를 분석한 결과 역시, 그 구조는 자연 배음열과 매우 흡사한 형태로 나타났으나, 편경의 배음구조는 배음열의 일정구간이 공통적으로 생략된 매우 독특한 구조로 나타났다.



[그림-2] 음정별 배음구조

위의 [그림-2]는 Snd와 Praat으로 분석하여 나타난 편경 음색분석의 공통적인 결과로, 최저음인 황종과 기보음 G5에 해당하는 임종, 그리고 기보음 C6에 해당하는 청황종의 배음구조이다.

분석결과 황종의 배음구조 [그림-2(a)]는 기보음 C5에 해당하는 523.25Hz를 제1배음으로 출발하는 배음구조가 아닌, C2에 근접한 65.48Hz를 제1배음으로 하는 배음열에서 온 것으로 밝혀졌다. 또한 실제로 나타난 배음열은 제

1배음으로부터 7배음까지가 생략된 것으로, 실제 배음열을 구성하고 있는 요소는 음량값 7.97에 해당하는 8배음을 시작으로 12배음(12.15), 19배음(18.84), 25배음(24.74), 33배음(33.39), 41배음(41.43), 53배음(53.66), 61배음(60.76), 79배음(79.15)이다.

임종의 배음구조 [그림-2(b)] 역시 기보음 G5에 해당하는 783.99Hz가 아닌, G2에 근접한 98.43Hz를 제1배음으로 하는 배음열의 성분에서 온 것이다. 제7배음까지가 생략된 것으로 실제의 배음열은 제8배음(7.99)과 11배음(11.49), 18배음(18.24), 32배음(32.15), 37배음(37.12), 50배음(50.41), 56배음(55.77)으로 이루어져 있다.

청황종의 배음구조 [그림-2(c)] 또한 기보음 C6에 해당하는 1,046.50Hz가 아닌, 131.67Hz를 제1배음으로 한 배음열의 구조에서 온 것이며, 제7배음까지가 생략된 것으로, 배음열은 제8배음(7.96)과 11배음(11.54), 18배음(17.82), 31배음(30.73), 32배음(32.28), 40배음(39.95), 51배음(51.46)으로 이루어졌다.

이와 동일한 방식으로 모든 경석의 음색을 분석한 결과, 편경의 모든 구성음은 각각 3옥타브 아래의 음을 제1배음으로 하는 배음열에서 온 것으로 밝혀졌으며, 제 7배음까지가 생략되어 제8배음으로 시작하는 독특한 배음구조를 가지고 있는 것으로 나타났다.

2.3.3 배음의 음량 분포

편경음색을 구성하고 있는 각 배음의 음량 분포는 [그림-2]에 나타난 바와 같이 음정별로 차이가 있다. 황종의 경우, 가장 큰 음량값을 갖는 배음은 18.84의 음량값을 가진 제19배음이며, 임종은 제12배음(11.49), 청황종은 8배음(7.96)으로 나타났다. 이처럼 편경의 음정별로 배음의 음량분포가 변화하는 것 또한 독특한 음색을 구성하는 하나의 중요한 특징으로 볼 수 있다. 이 같은 결과는 편경의 음색합성시 각 음정별 배음의 음량값 할당을 위해 음정별 차별화된 공식을 적용하여야 함을 시사하고 있다.

2.3.4 배음의 위치 및 간격

황종·임종·청황종 샘플로부터 검출된 배음성분을 보여주고 있는 [그림-2]에서, 음정별 각 구성배음의 위치와 간격은 서로 다르게 나타나고 있다. 이와 같이 편경을 구성하고 있는 16개 음정을 모두 분석한 결과, 마찬가지로 각 배음의 위치 및 간격에 관한 일관된 특징은 찾아볼 수 없었다.

이와 같이 랜덤하게 분석된 결과는 편경이 돌이라는 천연의 재료를 사용하여 음정을 만들어내고 있기에, 재료가 되는 경석의 구성성분은 가공이 불가능하다는 점을 그 원인으로 꼽을 수 있을 것이다. 돌의 크기는 같으나 두께를 달리함으로써, 또 배음조절의 수단으로 ‘ㄱ’자 모양의

구부러진 각을 이용함으로써 각 경석을 기준음고에 근접한 음정으로 다듬을 수 있었기에, 이 같은 결과는 천연의 재료인 돌로 만들어진 악기란 점에 기인할 것으로 사료된다.

위의 분석 결과로 나타난 편경의 특징적 배음구조는 편경의 독특한 음색을 결정하는 매우 중요한 요소이며, 음정을 가진 다른 국악기와 구분되는 특별한 성질이다. 이러한 특징은 편경의 소리 합성 시 반드시 고려해야 할 중요한 사항이다.

III. 결론

본 연구는 국악 타악기 편경의 소리 합성을 위한 기초 단계로, 편경의 음색 특징을 객관적으로 규명하고자 진행되었다. 편경의 음색 특징을 결정할 수 있는 고유의 배음구조를 찾아내기 위하여, 분석 대상으로 채택한 한국예술종합학교 편경의 16개의 구성음을 분석한 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 편경의 음고분석 결과, 16개 음정을 만들어내고 있는 각 경석의 음고는 기준음의 약 3옥타브 아래로 분석되었으며, 이 같은 결과는 기준음의 3옥타브 아래를 제 1 배음으로 하는 자연배음열로부터 배음성분을 취하고 있기 때문인 것으로 밝혀졌다.

둘째, 편경의 배음성분은 기준음의 3옥타브 아래를 제 1 배음으로 하는 자연배음열로부터 왔으나, 자연배음열 구성배음 중 생략된 배음들이 있는 것으로 밝혀졌다. 특히 제 7배음까지를 제하고 제 8배음으로 출발하고 있는 공통된 특성은 전체 음정분석의 일관된 결과로 나타났다.

셋째, 음정별 각 배음의 음량분포 분석을 위해, 가장 큰 음량값을 갖는 배음추적 및 전체 배음의 음량분포를 분석한 결과 특별한 경향을 발견할 수 없었다.

넷째, 음정별 각 배음의 위치 및 간격 비교에 있어서도 일관된 경향을 찾아낼 수 없었으며, 이 같은 결과들은 편경의 주재료인 돌의 성분과 다듬어진 형태에 기인하는 것으로 추정된다.

본 연구결과는 편경의 음색특징을 구성하는 중요한 요소들로, 편경의 물리적 모델링 합성 시 우선적으로 고려되어야 할 대표적 특성이다.

IV. 참고문헌

[1] 김현지, “영조조 편경 (編磬) 제작과정 연구-인정전악기조성청의례를 중심으로”, 영남대학교 대학원 국악학과, 석사학위 논문 1994
 [2] 이주연, “대금과 플룻의 음색비교 분석-사운드 스펙

트럼을 중심으로.” 이화여자대학교 대학원, 실용음악학과, 석사학위 논문 2000
 [3] 유준희, “편경의 기억자형 모양에 따른 조율 효과”, 한국음향학회지 Vol.23 No.2 2004
 [4] 유준희, “편경의 진동모드 분석”, 한국음향학회지 제25권 Vol.25 No.3 2006
 [5] 김혜지, 윤혜정 “국악기 피리의 소리합성을 위한 음색 분석 연구” 한국디지털아트미디어학회 논문집 Vol.9 No.7 2006
 [6] 윤지원, 조희영 “대금의 청(淸) 울림에 따른 음색 및 노이즈의 변화에 대한 연구” 멀티미디어학회논문지 Vol.9 No.10 2006
 [7] Pierce, John R. “The Science of Musical Sound, Scientific American Books”, New York : W. H. Freeman Company 1983, 1992
 [8] Roads, Curtis. “Computer Music Tutorial”, The MIT Press, 1996
 [9] T.D. Rossing, Science of percussion instruments. World Scientific 2001
 [10] Sethares, William A. “Tuning Timbre Spectrum Scale”, Springer, 2004