

가산 합성에 의한 징의 소리 합성*

조 원 주(동국대학교 멀티미디어학과 박사과정)

김 준(동국대학교 멀티미디어학과 교수)**

목 차

- I. 들어가는 말
- II. 징의 음색적 특징
 - 1. 정확한 음고
 - 2. 풍부한 울림
 - 3. 실시간 변화
- III. 가산 합성에 의한 소리 합성
 - 1. 가산 합성
 - 2. 징의 소리 합성
- IV. 결론
- 참고문헌
- Abstract

* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2011-0000064).

** 교신 저자

<요 약>

이 논문은 한국의 전통 타악기인 징의 소리 합성에 대한 연구이며, 두 단계로 이루어진다. 첫째는 음색 분석으로 징은 자연 배음으로 구성되며, 두 개의 배음렬을 갖는다. 두 배음렬은 기본 음고를 기음으로 하는 배음렬(배음렬i)과 기본 음고보다 낮은 음을 기음으로 하는 배음렬(배음렬ii)로 이루어진다. 징 고유의 특징인 맥놀이 현상은 각 배음들의 실시간 변화에 의해 만들어지며, 배음렬ii에서 발생하였다. 두 번째 단계는 소리 합성으로 분석된 데이터를 기반으로 가산 합성 방법에 의한 소리 합성을 시도하였다. 기본이 되는 두 개의 배음렬과 맥놀이 현상을 발생시키는 부분음을 합하여 징의 음색을 시뮬레이션 하였다.

검색어(KEYWORD): 국악 타악기(Korean percussion), 징(Jing), 소리 합성(Sound synthesis), 가산 합성(Additive synthesis), 맥놀이(Beating)

E-mail: heimmdal@hanmail.net

I. 들어가는 말

악기는 그 문화의 음악은 물론 사회적·경제적·정서적 특징을 모두 반영하는 산물이다. 이러한 이유에서 다양한 접근을 통한 악기 연구가 진행되어 왔다.

서양음악과 국악의 가장 큰 차이점 중 하나는 조율과 화성에 대한 개념이다. 서양음악은 평균율을, 국악은 삼분손익법에 의한 음계를 사용한다. 국악에 조 중심이나 근음 개념의 화성은 존재하지 않는다. 이 밖에 리듬에서도 다양한 차이를 가지고 있으며, 이러한 다양한 요소들의 유기적 결과물로 각각의 음악은 독특한 형태로 발전해왔다. 그러한 음악을 연주하는 악기 역시 그 음악에 더 적합한 형태로 개량 발전되어 왔기 때문에 악기에 대한 연구는 음악을 이해하는 데 매우 중요한 의미를 가진다. 악기의 발전을 통해 그 시대에 더욱 적합한 음악적 표현이 가능해졌으며, 이런 가능성은 대가의 음악적 표현을 보다 자유롭게 해주기도 하였다.

이처럼 악기는 단순히 음색적 특징이나 주법으로 의미가 있는 것이 아닌 작곡의 기본적인 요소와 결부되어 발전해왔다. 때문에 악기에 관한 연구는 음악 연구에 있어 기본적인 분야로 인식되어 왔고, 서양음악의 경우 많은 연구와 발전이 있어 왔다. 나아가 컴퓨터를 이용한 악기 연구가 활발해지며, 악기 자체의 음색 연구는 물론, 가상 악기의 개발, 스펙트럼 작곡 등 다양한 분야로 활용되고 있다. 각 악기의 음색적 특징을 통해 다양한 악기들의 음색적 유사성을 탐구한 그레이(John Grey)의 연구와 스펙트럼을 작곡에 활용한 그리제이(Gérard Grisey, 1946-98)와 무라이(Tristan Murail, 1947) 등의 작품은 악기의 음색을 기반으로 발전된 좋은 예이다. 국악기의 경우, 국립국악원이 중심이 되어 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 악기 개량 및 음고 표준화 등 국악기의 과학화를 위해 필요한 연구가 이어지고 있다. 하지만, 대부분의 연구가 현악기와 관악기를 중심으로 진행되고 있어 타악기에 관한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 국악 타악기의 하나인 징에 대한 분석을 통해 징의 음색이 가지는 특징을 파악하고, 나아가 그 특징을 기반으로 징의 소리 합성 방법을 살펴보려는 것이다.

징은 만드는 방법에 따라 크게 일반 징과 방짜 징으로 나뉜다. 본 연구에서는 일반 징보다 풍부한 배음과 지속 시간을 가지고 있는 방짜 징을 분석했다. 녹음된 음원은 징을 징 걸이에 걸고 고정시킨 후 징 판의 정 가운데를 강하게 타격하는 방법(구음 징)으로 연주되었으며, 채는 형걸 채를 사용하였다.

분석에 사용된 징은 총 세 개이며, 세 징의 특징을 비교 분석하여 징의 음색적 특징을 규정하였다. 일반적인 타악기와 다르게 징은 정확한 음고로 인식되기 때문에 FFT분석¹⁾방법을 사용하였으며, 프로그램은 FFT분석에 널리 사용되는 Pratt²⁾과 SND³⁾를 사용하였다. 윈도우 타입은 해닝(hanning)⁴⁾이며, 징의 소리 변화를 분석하기 위해 다양한 윈도우 사이즈(window size)를 적용하였다. 특히 Pratt은 다양한 윈도우 사이즈를 적용하는데 매우 효과적이기 때문에 본 연구의 주된 분석 프로그램으로 사용되었다.

합성에 사용된 데이터는 분석된 징 중에서 전문가⁵⁾가 가장 좋은 징이라 평가한 징의 것을 사용하였다. 프로그램은 소리 합성에 가장 일반적으로 사용되는 Max 5.1⁶⁾을 사용하였다.

II. 징의 음색적 특징

징은 정확한 음고와 긴 울림을 가진 타악기이다. 사물놀이 악기로 가장 많이 알려져 있지만,

- 1) 18세기 과학자들과 음악가들은 음악적 소리의 특징은 기음을 중심으로 배음의 진동에 의해 만들어진다고 인식하였으나, 체계적으로 분석할 수 있는 기술이 없었다. 1822년 프랑스의 푸리에(Jean Baptiste Joseph Fourier, 1768-1830)가 ‘열의 분석 이론’(Analytical Theory of Heat)에서 복잡한 진동은 여러 개의 단순한 신호의 합으로 분석될 수 있다는 이론을 제시했다. FT는 푸리에 변환(Fourier Transform)의 약자로 푸리에의 이론을 구현할 수 있는 수학적 공식을 말하며, FFT는 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 의미한다. Curtis Roads, *Computer Music Tutorial* (Cambridge: The MIT Press, 1996) 545-46.
- 2) 언어 분석을 위한 소프트웨어. 분석, 그래픽, 통계 분석에 사용되는 프로그램. PC, UNIX, LINUX, Mac 플랫폼에 사용 가능하며, 본 연구는 PC를 기반으로 하였다. <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/> [2011년 9월 8일 접속]
- 3) 사운드 편집 소프트웨어. 다양한 음색 분석에 활용되는 프로그램. LINUX, Mac 플랫폼에서 사용 가능하며, 본 연구는 LINUX를 기반으로 하였다. <https://crma.stanford.edu/software/snd/> [2011년 9월 8일 접속]
- 4) FFT 분석은 전체 사운드를 분석하는 것이 아닌 파형의 일부를 추출해 분석하는 방법이다. 윈도우 타입은 파형의 일부를 추출할 때 사용되는 윈도우 함수의 유형을 의미하는 것이며, 그 유형에는 hanning, hamming, blackman 등이 있다.
- 5) 징의 연주 및 소리에 대한 평가는 대학원에 재학 중인 두 명의 국악타악기 전공자의 도움을 받았다.
- 6) 음악, 멀티미디어, 인터랙티브 매체 등의 제작을 위한 비주얼 프로그램 언어. <http://cycling74.com/whatismax/> [2011년 10월 30일 접속]

군악이나 무악, 농악, 불교음악 뿐 아니라 종묘제례악의 정대업 등에 두루 사용된다. 풍부한 음색을 가졌으나 지속시간이 길기 때문에 화려한 리듬을 연주하지는 않지만, 시작과 끝 혹은 중요한 부분에 사용된다. 일반적인 타악기와 마찬가지로 현악기나 관악기에 비해 복잡한 음색을 지니지만, 그 특징은 크게 세 가지로 나뉜다.

첫째, 정확한 음고의 느낌을 준다. 선율의 기능을 갖지 않는 타악기임에도 불구하고, 일반 선율 악기만큼의 정확한 음고로 인식된다.

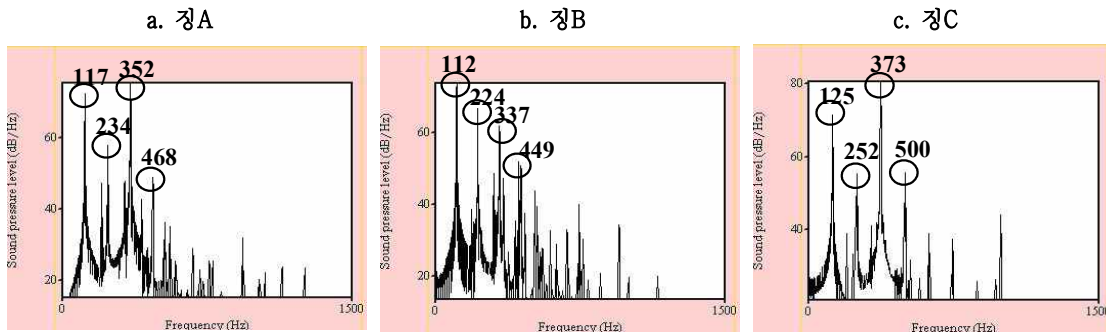
둘째, 깊고 풍부한 음색을 가진다. 풍부한 음색으로 징은 사물놀이에서 전체 가락을 감싸는 역할을 한다.

셋째, 타격 이후 소리의 변화가 두드러진다. 일명 울음이라고 하는 맥놀이 현상이 발생한다.

1. 정확한 음고

징의 정확한 음고는 일반 선율악기 이상의 정확성을 갖는다. 이것은 각 배음의 비율에 의한 것으로 거의 완벽한 정수비를 이룬다. <그림 1>은 세 징의 스펙트럼을 보여준다. X축은 주파수를 Y축은 음량 값을 나타낸다.

<그림 1> 세 종류 징의 스펙트럼

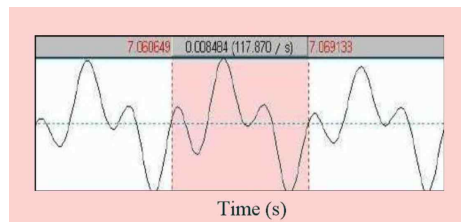


각 징에 나타나는 제1배음의 주파수에 차이가 있으나, 배음 간 정수 비율이 매우 정확하게 나타나며, 대략 500Hz 이하 낮은 배음이 높은 강도를 가지는 것으로 분석되었다. 많은 연구에 의해 음색의 밝기는 높은 배음의 음량 값과 상관관계를 가지는 것으로 나타났다⁷⁾. 즉 높은

7) Schubert, Emery; Wolfe, Joe, “Does Timbral Brightness Scale with Frequency and Spectral Centroid?”

배음의 음량이 강한 경우, 상대적으로 밝은 음색을 가지게 된다. <그림 1>에서 볼 수 있듯이 징은 500Hz 이상의 높은 배음의 음량 값이 작게 나타나고 있어 어두운 음색을 가지는 것으로 볼 수 있다. <그림 2>는 시간영역에 나타난 징A의 파형이다. X축은 시간을 Y축은 음량 값을 의미한다. 약 7초에 나타난 파형은 초당 대략 117.870(B²)의 주기를 보여주며, 그에 따라 징은 정확한 음고 느낌을 주는 소리로 해석할 수 있다.

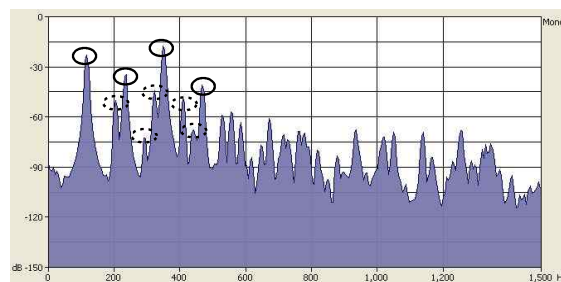
<그림 2> 시간영역에 나타난 징A의 파형



2. 풍부한 울림

음색은 다양한 요소의 결합에 의해 만들어지는 것이기 때문에 한 가지 원인으로 단정 지을 수는 없으나, 배음의 비율 및 개수와 스펙트럴 롤오프(spectral rolloff)⁸⁾는 음색에 가장 많은 영향을 주는 요소이다. <그림 3>은 해상도를 높여 분석한 징A의 스펙트럼이다.

<그림 3> 징A의 스펙트럼

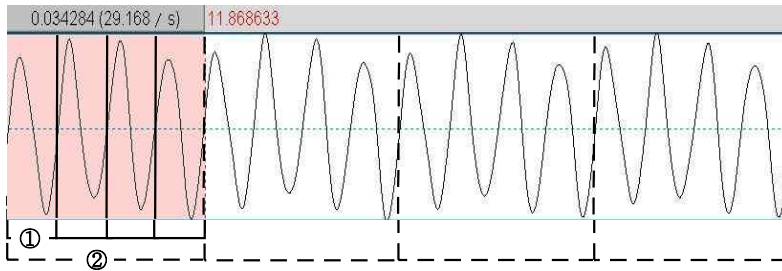


Acta Acustica united with Acustica Vol. 92, No. 5 (2006), 820.

8) 스펙트럼에서 연속된 배음의 (상대적) 음량 값이 감소하는 것을 의미. Perry R. Cook, *Music, Cognition, and Computerized Sound: An Introduction to Psychoacoustics* (The MIT Press, 2001), 79.

○로 표기된 배음은 기본음고의 배음렬이며, ○로 표기된 부분은 기본음고의 배음렬 외의 배음을 나타낸다. 즉 기본 음고를 제공하는 배음렬을 제외한 다른 부분음이 존재하는 것을 알 수 있다. 기본 음고 외의 배음은 또 다른 배음렬을 이룬다. 편의상 기본 음고를 이루는 배음렬을 배음렬i라 하고, 다른 배음렬을 배음렬ii라 한다. <그림 4>는 약 11.8초 이후에 나타나는 징A의 파형으로 초당 약 117의 주기(<그림 4> ①)와 약 29(<그림 4> ②)의 주기가 모두 나타나고 있어 두 개의 배음렬을 뒷받침한다⁹⁾.

<그림 4> 징A의 파형에 나타난 두 개의 주기



세 징에 나타나는 두 배음렬의 제1배음 각각의 음정관계는 다음과 같다.

<그림 5> 세 징에서 나타나는 두 배음렬의 제1배음 비교



세 징의 음고는 모두 다르게 나타났으나, 기본 음고 외에 옥타브 관계의 배음렬이 더 낮은 음역에서 발생하는 것은 공통된 특징으로 분석되었다. 그 결과 다른 악기들에 비해 배음의 개수도 많으며, 기본 음고보다 낮은 음을 기음으로 하는 배음렬에 의해 안정감 있고 깊이 있는 음색이 만들어진다. 이러한 음색적 특징은 음악 안에서 징의 역할을 그대로

9) 각 배음의 실시간 음량 값 변화 역시 배음렬에 따라 다르게 나타나고 있으며, 이러한 내용은 다음 장에서 논의됨.

반영하는 것이라 할 수 있다.

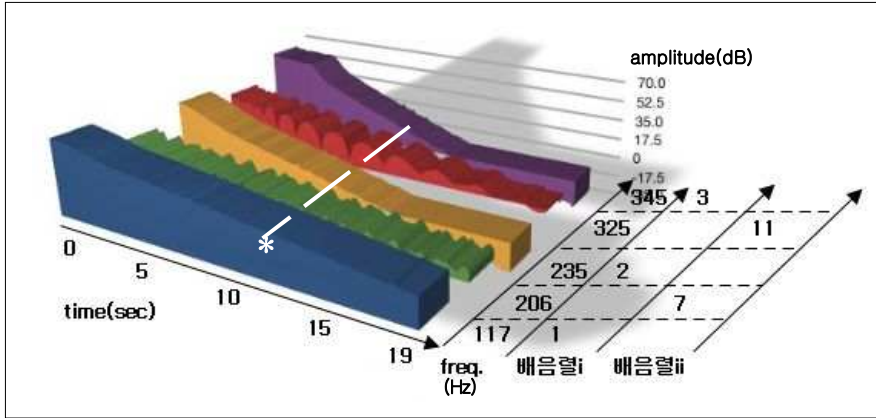
3. 실시간 변화

일반적인 타악기는 타격 후, 음량이 일정한 단계로 소멸한다. 하지만 징은 울음이라는 특유의 울림을 가지며 맥놀이 현상이 나타난다. 맥놀이 현상은 주파수가 비슷한 두 파동의 간섭에 의해 두 주파수의 차이만큼 주파수 폭이 일정한 주기로 변하는 것을 의미한다¹⁰⁾. 즉, 200Hz와 202Hz의 주파수의 경우 주파수 폭이 초당 2의 주기로 변하여 마치 음량이 변하는 것처럼 들리는 것이다.

징에 나타나는 맥놀이 현상의 원인은 크게 두 가지이다. 첫째, 두 배음렬 간 유사한 주파수 들에서 발생하는 맥놀이 현상이며, 둘째, 배음렬ii의 배음에서 발생하는 맥놀이 현상이다. 전자는 두 배음렬의 음정관계에서 발생하며, 상대적으로 적은 변화를 보여주어 청각적으로 인식하기 힘들다. 반면 후자는 많은 변화를 보여주어 청각적으로도 쉽게 인식된다. 울음의 발생은 제작과정 중 마름질에서 발생한다고 알려져 있다. 왜 배음렬ii를 중심으로 이러한 현상이 발생하는지 그 원인은 알 수 없으나, 세 개의 징에서 공통적인 특징으로 나타났다. <그림 6>은 징A의 주요 배음이 분포하는 100~400Hz 범위에서 배음의 강도 변화를 보여준다.

<그림 6> 징A의 스펙트로그램에 나타난 주파수 변화

10) Wikipedia, [http://en.sikipedia.org/wiki/Beat_\(acoustics\)](http://en.sikipedia.org/wiki/Beat_(acoustics)) [2011년 9월 30일 접속]



X축은 주파수를 Y축은 시간을 그리고 Z축은 음량 값을 나타낸다. 두 배음렬은 음량 값 변화에서 많은 차이를 보이며, 특히 엔벨로프11)와 맥놀이 현상에서 그 차이점이 두드러진다.

첫째 엔벨로프의 변화를 보면, 배음렬i(<그림 6>의 첫 번째, 세 번째, 다섯 번째 배음이 각각 배음렬i의 제1, 제2, 제3배음을 의미)은 변화의 범위(가장 높은 음량에서 낮은 음량의 범위)가 넓고 비교적 급한 경사의 엔벨로프를 보여준다. 예를 들어 제3배음(배음렬i)의 경우, 대략 52.5dB~17.5dB에 이르는 변화를 보여준다. 배음렬i 내에서도 높은 배음에서 이러한 특징이 더 두드러지는 것으로 분석되었다. 이와 같은 유형의 경사진 엔벨로프는 약 13초 정도까지 이어지며, 이후 매우 약한 강도가 완만하게 지속된다. 한편 배음렬ii는 상대적으로 변화의 범위가 좁고 엔벨로프 역시 완만하게 나타난다. 타격 초반 두 배음렬의 음량 값은 약 2배가량의 차를 보인다. 하지만 타격 약 10초 이후(<그림 6>에 *로 표시된 부분) 음량 차는 거의 없어진다.

둘째 배음렬ii를 중심으로 명확한 맥놀이 현상이 발생한다. 배음렬i 역시 음량 변화가 존재하며, 그 변화 역시 일반적인 악기에서 발생하는 것에 비해 큰 폭이라 할 수 있다. 하지만 상대적으로 변화의 폭이 많은 배음렬ii에 의해 배음렬i의 경우 일반적인 떨림 정도로 인식된다. 한편 징에서 좋은 ‘울음’은 타격 직후에 발생하는 음량 변화가 아닌, 후반 뚜렷하게 들리는 맥놀이 현상을 의미한다. 즉, <그림6>에 *로 표시된 10초 이후부터 그 울음이 시작된다고 볼 수 있다. 이 지점은 두 배음렬의 음량 값이 유사해지기 시작하는 부분과 일치한다. 즉, 타격 초반 배음렬ii의 맥놀이 현상은 배음렬i에 비해 상대적으로 강도가 약하기

11) 소리의 음량 값에서의 실시간 변화를 의미한다. William A. Sethares, *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale* (London: Springer, 2010), 29.

때문에 청각적으로 인식하기 힘들지만, 그 강도가 유사하며 점점 명확하게 드러나게 되는 것이다.

실시간 변화에서 가장 두드러지는 점은 음량 값 변화에 있어 두 배음렬에 명확히 다른 특징을 보이는 것으로 해석된다. 지금까지 살펴본 징의 특징은 정확한 자연배음과 옥타브관계의 두 배음렬에서 발생하는 것으로 요약할 수 있다. 다음 장은 징의 주법에 따른 배음의 변화를 연구한 것이다.

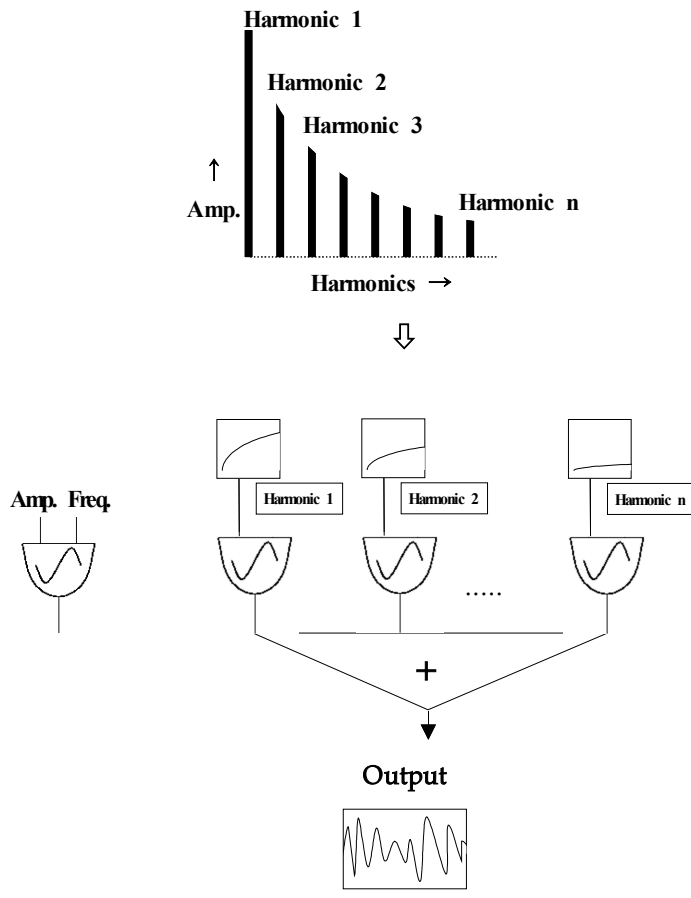
III. 가산 합성에 의한 소리 합성

1. 가산 합성

한 악기의 음색은 그것이 배음이든 인하모닉(inharmonic)이든 여러 개의 부분음으로 이루어진다. 특히 음고가 있는 소리의 경우 그 부분음은 정수의 비율을 갖는 것이 일반적이다. 가산 합성은 각 배음의 합을 통해 복잡한 음색의 소리를 만드는 소리 합성의 한 기법이며, 전자음악의 초기단계부터 사용된 방법이다¹²⁾. 그 개념은 파이프오르간의 원리를 통해 이해할 수 있다. 즉, 스톱(stop)을 조절함으로써 여러 파이프의 소리를 더해 음색을 만드는 것과 동일한 원리이다. 각 파이프는 하나의 배음을 의미하며, 복잡한 하나의 음색을 만들기 위한 기본 단위를 제공한다. 또한 이 개념은 분석에 사용된 FFT 분석 과정을 역으로 실행한 방법이라 할 수 있다. <그림 7>은 스펙트럼과 오실레이터 도식을 이용해 가산 합성의 기본 구조를 설명한 것이다.

<그림 7> 배음의 강도와 가산 합성

12) Curtis Roads, *Computer Music Tutorial*, 134-36.



각각의 오실레이터는 하나의 배음을 의미하며, 하나의 오실레이터를 제어하는 요소로 주파수와 음량 값이 설정된다. n개의 오실레이터가 사용되며, 개별 오실레이터를 합하여 하나의 배음렬이 완성된다. 가산 합성은 소리의 기본 원리에서 나타나는 특징을 기반으로 만들어진 합성 방법이기 때문에 이론상 모든 소리를 만들 수 있으며, 또 정확한 소리 합성이 가능하다는 이유에서 샘플링의 대안으로 지속적인 연구가 이어지고 있다. 많은 배음을 가진 소리의 경우, 너무 많은 오실레이터가 필요하다는 단점을 가지고 있지만¹³⁾, 각 배음의 변화가 많은 소리의 경우 가장 적합한 방법으로 사용된다. 이러한 이유에서 가산 합성에 의한 소리 합성을 시도하였다.

2. 징의 소리 합성

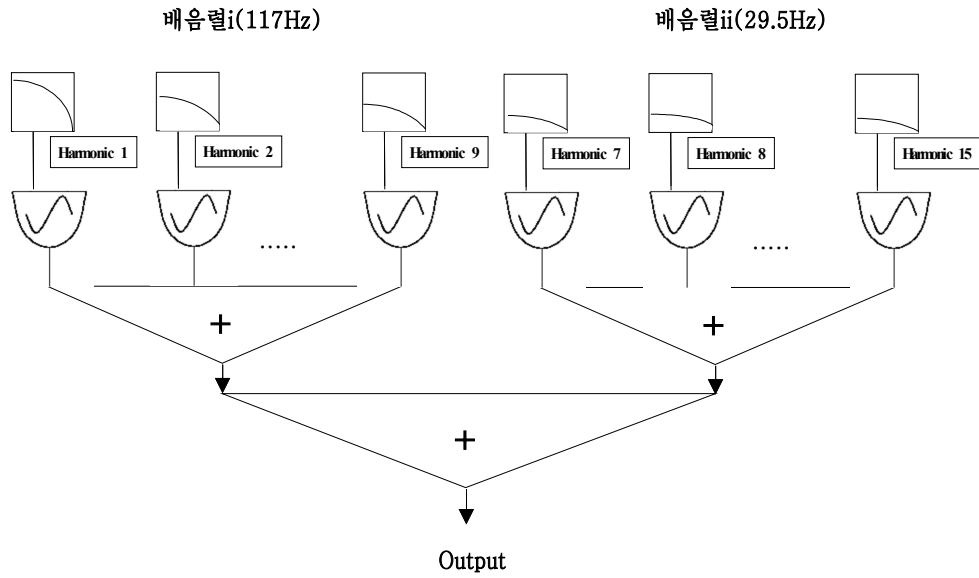
징 음색의 핵심은 자연 배음으로 이루어진 두 개의 배음렬과 배음렬ii에 발생하는 맥놀이 현상으로 요약할 수 있다. 두 개의 배음렬에서 만들어지는 배음의 개수와 두 배음렬 간 음역의 차이에 의해 풍부하고 깊은 음색이 만들어지며, 두 배음렬의 서로 다른 변화에 의해 복잡한 음색이 만들어진다. 또한 징의 가장 특징적 음색인 울음은 배음렬ii에서 나타난다. 이에 따라 본 장의 소리 합성은 기본 배음렬 합성과 맥놀이 생성을 위한 합성의 두 단계로 연구되었다.

(1) 두 개의 배음렬에 의한 소리 합성

징의 소리 합성의 가장 기본 단계는 각각의 배음렬을 만드는 것이다. <그림 8>은 배음렬i와 배음렬ii의 소리를 합성한 것이다.

13) Mathieu Lagrange and Sylvain Marchand, "REAL-TIME ADDITIVE SYNTHESIS OF SOUND BY TAKING ADVANTAGE OF PSYCHOACOUSTICS," *Proceedings of the COST G-6 Conference on Digital Audio Effects* (2001), 1.

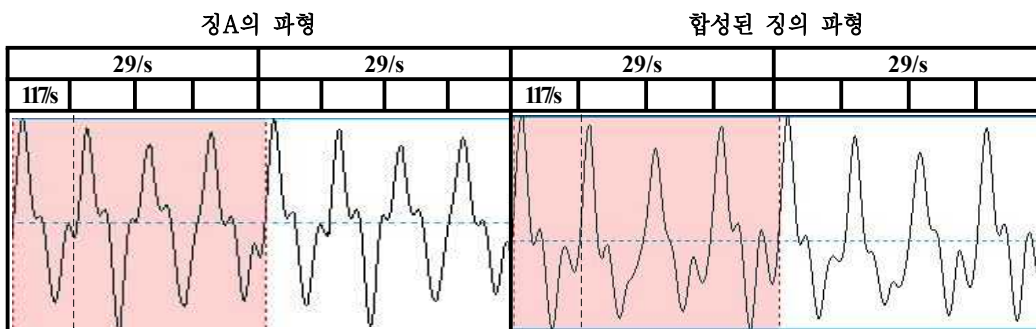
<그림 8> 두 배음렬을 이용한 징의 소리 합성



두 개의 배음렬에 각각 9개의 오실레이터를 사용하였으며, 각 배음에 다른 엔벨로프를 적용하여 기본 배음렬을 만들었다. 배음렬i는 제1배음부터 제9배음까지 사용하였으며, 배음렬ii는 음량의 강도가 큰 5배음 이후의 배음을 사용하였다. 또한 두 배음렬의 강도 변화 차이를 적용하기 위해 전체 엔벨로프를 각 배음렬에 적용하였다.

<그림 9>는 징의 파형과 합성된 징의 파형을 비교한 것이다.

<그림 9> 징A의 파형과 합성된 징의 파형

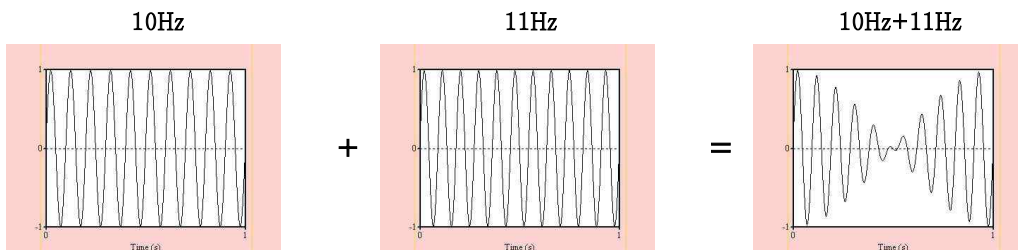


두 개의 배음렬을 합성함으로써 각 배음렬에 해당하는 두 개의 주기가 나타나고 있으며, 정이 가진 배음 구조를 만들어준다.

(2) 맥놀이 현상의 부분음 합성

맥놀이 현상을 시뮬레이션하기 위해 울음이 발생하는 배음렬ii의 주요 배음에 유사한 주파수를 다시 더해주었다. 앞서 언급하였듯이 맥놀이 현상은 주파수가 비슷한 두 파동의 간섭에 의해 두 주파수의 차이만큼 주파수 폭이 일정한 주기로 변하는 것이다. 즉 10Hz와 11Hz의 주파수가 더해졌을 때 초당 한 번의 주기가 발생한다. <그림10>은 시간영역에서 본 파형을 통해 맥놀이 현상을 설명한 것이다.

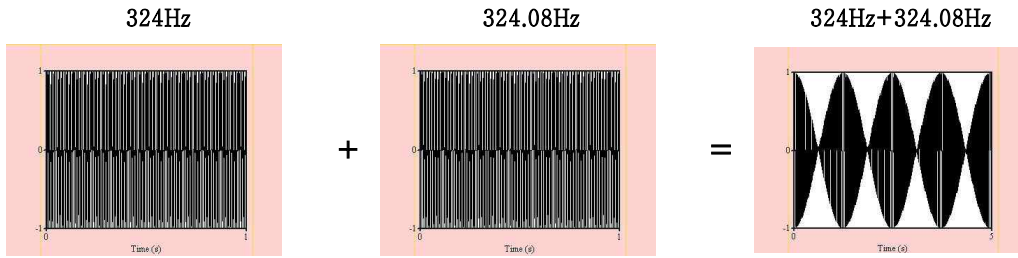
<그림 10> 10Hz와 11Hz가 더해졌을 때 발생하는 맥놀이 현상



X축은 시간이며, Y축은 음량 값으로 두 파형이 더해졌을 때, 음량 값이 한 번 작아졌다 다시 커지는 것을 알 수 있다.

정에 나타난 맥놀이 현상을 만들기 위해 맥놀이가 발생하는 배음을 추가하고, 그 음량 변화 시간과 횟수를 계산한 후, 위의 과정으로 맥놀이 현상을 구현하였다. 예를 들어 배음렬ii의 제11배음 주파수는 325Hz이며, 5초 동안 약 4회의 맥놀이 현상이 발생한다. $4 \div 5 = 0.8$ 이므로 초당 0.8회의 맥놀이 현상이 발생하고 있다. 즉, 325Hz의 주파수에 5초 동안 4회의 맥놀이 현상을 만들기 위해서는 325Hz와 325.8Hz가 더해져야 한다. <그림11>은 두 주파수를 더하는 과정을 시간영역에서 나타낸 것이다.

<그림 11> 배음렬ii의 제11배음에서 발생하는 맥놀이 현상



맥놀이 현상은 배음렬ii의 제7배음, 제10배음, 제11배음에 나타났으며, 적용한 데이터는 다음과 같다.

<표 1> 맥놀이 현상 합성에 사용된 데이터

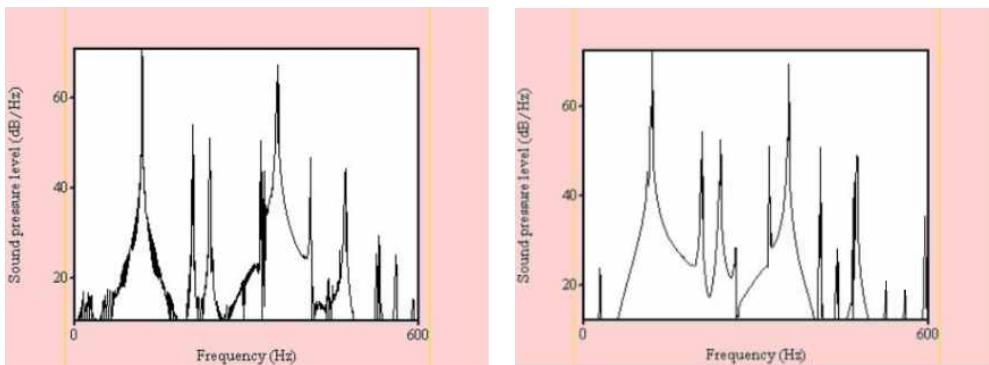
배음렬ii		맥놀이 횟수	근접배음 ¹⁴⁾ (Hz)
배음	주파수(Hz)		
제7배음	206	8회/5초	207.6
제10배음	293	5회/5초	294
제11배음	325	5회/4초	325.8

<그림 12>는 두 배음렬을 이용한 합성음과 정A의 음색을 비교한 것으로 주요 배음이 분포하는 600Hz까지 배음분포를 보여준다.

<그림 12> 정A의 스펙트럼과 합성된 징의 스펙트럼

a. 정A의 스펙트럼

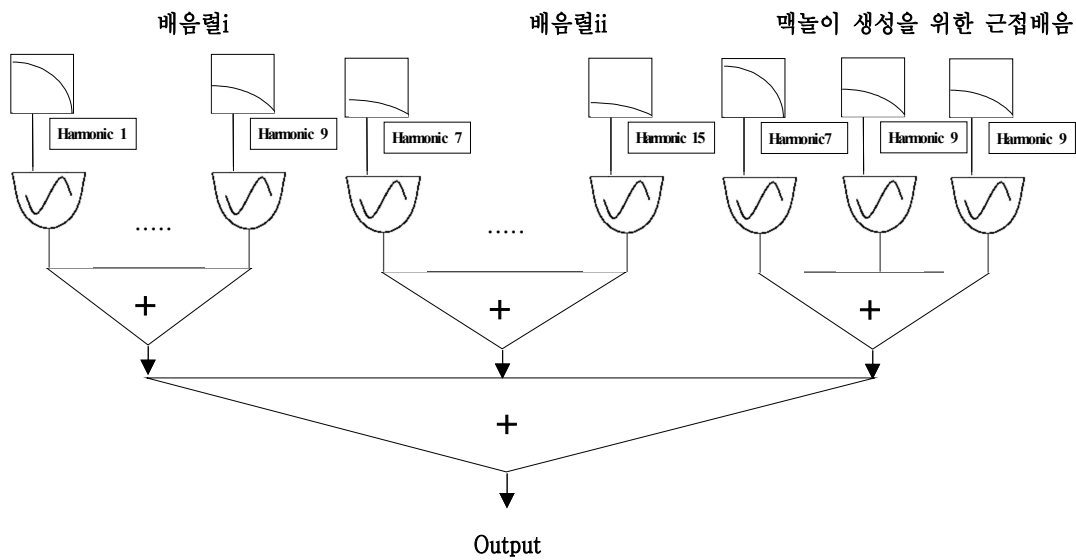
b. 합성된 징의 스펙트럼



14) 맥놀이 현상을 만들기 위해 기본 배음에 더해진 부분음을 근접배음이라 표현하였다.

징의 제작 방법과 구성 성분은 정량화되지 않았다. 이러한 이유에서 그 음고와 맥놀이 현상이 발생하는 배음에 단일 기준을 만드는 것은 불가능하다. 하지만 두 개의 배음렬로 구성되며, 기본 음고보다 낮은 배음렬ii의 배음에서 맥놀이 현상이 발생하는 특징은 세 개의 징에서 공통적인 것으로 나타났다. 이러한 특징은 징 음색합성의 핵심으로 볼 수 있다. <그림13>은 두 배음렬과 맥놀이 현상을 유발하는 부분음의 합성 과정을 나타낸 것이다.

<그림 13> 두 개의 배음렬과 근접배음을 더하여 만들어진 징의 소리 합성



전문가에 의하면 좋은 징은 풍부한 음색, 긴 지속 시간 그리고 명확하게 나타나는 맥놀이 현상으로 평가된다. 본 연구에서 만들어진 가산 합성 방법을 이용할 경우, 각 배음렬의 기본 음고 및 배음의 개수, 지속 시간 그리고, 맥놀이 현상의 강도와 발생 배음 주파수를 변화시킬 수 있다. 이로써 다양한 징 음색의 합성이 가능할 것이다.

IV. 결론

본 연구는 우리나라의 대표적인 금속 타악기인 징의 소리 합성을 위한 연구로 분석과 합성의 과정으로 진행되었다. 징에 나타나는 정확한 음고, 풍부하고 안정적인 음색, 특유의 울림 등의 분석을 위해 소리의 가장 기본적인 특징인 배음 구조를 중심으로 전체적인 배음과 이 배음들의 실시간 변화를 살펴보았다. 분석된 데이터를 기반으로 배음구조에 따라 가산 합성을 이용한 소리 합성을 제안했으며 그 결과는 다음과 같다.

징은 다른 타악기들과 달리 정확한 자연 배음으로 이루어졌으며, 일반적인 악기와 달리 두 개의 배음렬로 구성되었다. 이것은 징의 음색적 특징을 규정하는 가장 기본적이고 중요한 요소이다. 즉, 단일 배음렬의 일반 악기에 비해 배음의 개수 자체가 많기 때문에 풍부한 울림이 만들어졌다. 특히 두 배음렬의 비율 혹은 음정관계는 징의 특징을 파악하는 데 매우 중요한 부분으로 기본 음고로 인식되는 배음렬ⁱ보다 낮은 음고의 배음렬ⁱⁱ가 존재하는 것으로 나타났다. 이로써 징 특유의 안정적인 음색이 만들어졌다. 이러한 특징은 정형화되지 않은 징의 제작 방식 및 정량화되지 않은 재료의 비율과 관련된 것이기 때문에 그 수치를 일반화하는 것은 오류가 있으나 기본 음고보다 낮은 배음렬의 존재는 일반적인 특징으로 간주할 수 있으며 징의 음색적 특징에 매우 중요한 역할을 하는 것으로 해석된다. 징 음색의 가장 독특한 특징인 울림인 맥놀이 현상은 배음렬ⁱ에서 발생하며, 높은 배음을 중심으로 생성되는 것으로 나타났다.

분석된 결과에서 알 수 있듯이 징은 복잡한 음색을 가진 악기이다. 개별 배음을 단위로 다양한 변화가 나타나고 있기 때문에 가산 합성에 의한 소리 합성을 시도하였다. 징의 기본 배음인 두 개의 배음렬을 통해 기본 배음 구조를 만들고, 맥놀이가 발생하는 배음에 유사한 주파수의 근접배음을 더해줌으로써 맥놀이 현상을 구현하였다. 합성에 사용된 수치가 절대적인 것은 아니지만, 배음 구조와 맥놀이 현상의 기본 틀을 사용하여 다양한 음색을 가진 소리로 활용 가능할 것이다. 징의 음고, 지속 시간, 맥놀이 현상의 생성, 배음의 개수 등을 수정하여 더 좋은 징의 소리를 구현하는 것이 가능할 것이다.

향후 연구과제로 전자 악기로의 개발, 징의 음색적 특징과 음악적 사용의 관계, 다른 타악기들과의 비교 연구 등이 이어질 것이다.

참고문헌

1) 단행본

- Beauchamp, James ed. *Analysis, Synthesis, and Perception of Musical Sounds: The Sound of Music (Modern Acoustics and Signal Processing)*. New York: Springer, 2004.
- Cook, Perry R.. *Music, Cognition, and Computerized Sound*. Cambridge: The MIT Press, 1999.
- Pierce, John R.. *The Science of Musical Sound*. New York: W. H. Freeman and Company, 1996.
- _____. *Science of Percussion Instruments*. New York: World Scientific Publishing Company, 2000.
- Roads, Curtis. *Computer Music Tutorial*. Cambridge: The MIT Press, 1996.
- Sethares, William A.. *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. New York: Springer, 2004.

2) 학술 논문

- 김혜지 · 윤혜정 · 조형제 · 김준. “국악기 피리의 소리합성을 위한 음색분석,” 멀티미디어학회 논문지 제9권 제7호 (2006), 101-07.
- 성평모, “징 음향측정 및 분석,” 國樂院 論文集 제6집 (1994), 179-212.
- 조원주 · 김준. “배음구조에 따른 징의 음색적 특징 분석,” 음악이론연구 제16집 (2011), 30-47.
- Bilbao, Stefan. “Percussion Synthesis Based on Models of Nonlinear Shell Vibration,” *IEEE* vol. 18, no. 4 (2010), 872-80.
- Emery, Schubert et al. “Does Timbral Brightness Scale with Frequency and Spectral Centroid?,” *Acta Acustica united with Acustica* vol. 92, no. 5 (2006), 820-26.
- Fletcher, N. H.. “Nonlinear frequency shifts in quasisphereac-l-cap shells:Pitch glide in Chinese gongs,” *Journal of the Acoustical Society of America* (2010), 2069-73.
- Roy, Pierre et als. “Analytical Features for the Classification of Percussive Sound: the Case of the Pandeiro,” *Conference on Digital Audio Effects* (2007), 1-8.
- Schubert, Emery et als. “Spectral centroid and timbre in complex, multiple instrumental textures,” *ICMPC 8* (2004), 654-57.

3) 인터넷 자료

<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/> 2011년 9월 8일 접속.

<https://ccrma.stanford.edu/software/snd/> 2011년 9월 8일 접속.

<http://cycling74.com/whatismax/> 2011년 10월 8일 접속.

[http://en.sikipedia.org/wiki/Beat_\(acoustics\)](http://en.sikipedia.org/wiki/Beat_(acoustics)) 2011년 9월 30일 접속.

Abstract

The Additive Sound Synthesis of Jing

Wonju Cho · Jun Kim

The following study presents how additive synthesis can be used to simulate the sound of Jing, the traditional Korean Cymbal. The process is divided into mainly two steps.

The First Step is sound analysis. The sound of Jing is composed of natural harmony and two harmonic series. One is harmonic series making basic pitch(heard pitch) and the other is harmonic series which is lower than basic pitch. Beating phenomenon, the unique characteristic of Jing, is made by real time changing of each partial and especially happens in second harmonic series.

Actual process of creating the sound is sound synthesis. This is based on analysing data of Jing. We have applied additive synthesis for simulating the sound of Jing. Additive synthesis is the original spectrum modelling technique. In order to create beating phenomenon, we add to similar partial into harmonics.

As a consequence, we are able to synthesize the sound of Jing successfully.