

징의 배음 구조와 맥놀이 현상에 관한 연구

조원주, 김준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

A Study on Harmonics Structure and Beating Phenomena of the Korean Percussion, Jing

Wonju Cho, Jun Kim

Department of Multimedia,

Graduate School of Digital Image & Contents,

Dongguk University

요 약

징은 사물놀이 악기의 하나로 웅장하면서도 부드러우며 지속시간이 긴 특징을 가지고 있다. 리듬 타격에 유연하지 못하기 때문에 리듬 악기로 사용되지 않지만, 정확한 음고가 있으며 특유의 울림을 이용해 다른 사물 악기들을 감싸주는 역할을 하여 대표적인 사물놀이 악기로 여겨진다. 본 연구는 징의 피지컬 모델링을 위한 분석의 첫 단계로 징의 음색을 결정하는 배음과 그 배음 구조에서 발생하는 맥놀이 현상에 대하여 연구하였다. 재료 및 제작 방식의 특징을 반영하는 독특한 배음렬과 맥놀이 현상은 징 고유의 특성으로 피지컬 모델은 물론 징의 악기 제작을 위한 연구에도 도움을 줄 것으로 사료된다.

I. 서 론

본 연구는 금속 국악기인 징의 피지컬 모델링 합성을 위한 사전 연구로 징의 음향적 특징을 분석한 연구이다. 음향적 특징에 관한 분석 연구는 피지컬 모델링을 위한 가장 기초적인 단계일 뿐 아니라 개량악기 제작, 실내악에서의 활용, 작곡기법으로의 응용, 또 전자악기로서의 발전 등 다양한 연구의 기본 틀을 제공하는 것으로 악기에 관한 가장 기본적인 연구이다.

징은 한국인들만 사용하는 합금법에 의해 만들어진 방짜유기 악기이다¹⁾. 방짜유기란 유기의 종류 중 가장 질이 좋은 유기로, 구리와 주석을 78:22로 합금하여 거꾸집에 부은 다음, 불에 달구어 가며 두드려서 만든 그릇을 의미

한다²⁾. 징의 경우 정확한 함량과 성분 등에 대해서 알려져 있지 않지만 가장 유사한 재질인 CAD No.913(81 Cu 구리, 18 Sn 주석) 합금 성분의 분석 결과는 다음과 같다³⁾.

[표-1] CAD No.913 및 채취된 합금시료의 성분분석 결과

합금	구리(Cu)	주석(Sn)	납(Pb)	아연(Zn)	철(Fe)	인(P)
CAD No. 913	82.00이하	19.0~20.2	0.25이하	0.250이하	0.250이하	1.0
본 연구에서 채취된 시료	74.8	16.8	0.1	0.02	0.02	9.0

즉 징은 합금으로 이루어져 있기 때문에 각 재료가 가진 고유 특징이 그대로 나타나 독특한 배음 구조가 만들어진다. 이에 본 연구에서는 징의 특징적인 배음 구조를 중심으로 징 고유의 음색적 성질을 분석하고 이러한 배음구조와 맥놀이 현상의 관계를 연구하였다.

1) 손정호, 배명진, “징악기의 RIM 깊이에 의한 음향 증폭 및 음향지속 시간에 관한 연구”, 방송공학회 논문지, 2004, 제9권 제4호, p. 425

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

2) <http://terms.naver.com/item.nhn?dirId=705&docId=2915>

3) 국립국악원, “금속타악기 연구”, 1999, pp. 18~19

1.1 분석 대상

징은 만드는 방법에 따라 크게 두 종류로 나뉘어 일반 징과 방짜 징으로 나뉜다. 방짜 징은 일반 징 보다 풍부한 배음과 지속 시간을 가지고 있어 고급 징으로 간주되며 실제 연주에 사용된다. 본 연구에서는 방짜 징을 이용한 분석이 행해졌다.

전체적인 배음 분석을 위해서 어택과 디케이 부분을 제외한 가장 안정적인 울림의 부분을 선택하였으며, 배음구조와 맥놀이 현상의 관계를 규명하기 위해서는 세 종류의 징을 비교분석 하였다.

1.2 분석 방법

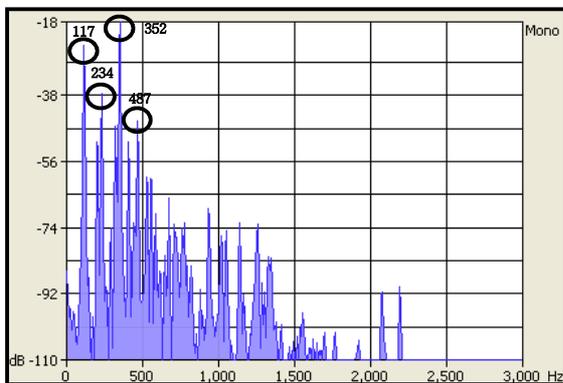
징의 배음을 분석하기 위해 사용된 방법은 FFT 분석으로 여러 번의 녹음 데이터를 비교 분석하여 만들어진 결과를 사용하였다. 분석에 사용된 윈도우 타입은 hanning 이며 윈도우 사이즈는 8,192이다.

배음구조와 맥놀이 현상의 관계를 살펴보기 위한 분석 역시 FFT 방법을 사용하였으며, 윈도우 유형은 hanning 으로 동일하게 적용하였다. 하지만 윈도우 사이즈는 512~16,384로 다양하게 적용하였다. 그 이유는 맥놀이 현상 분석의 경우 더 정밀한 주파수 해상도에 의한 분석이 요구되기 때문이다.

II. 징의 음색 분석

2.1 징의 배음 구조

일정한 음고가 있는 악기는 대개 자연배음으로 이루어지며 배음의 간격과 그 강도에 따라 음색이 결정된다. 일반적인 타악기들은 자연배음의 구조가 아닌 노이즈로 이루어져 특정 음고를 인식하기 힘든 경우가 많다. 하지만 징의 경우 정확한 음고로 인식된다. 다음은 징의 스펙트럼을 분석한 것이다.



[그림-1] 징의 스펙트럼 분석

스펙트럼의 x축은 주파수(Hz)를 y축은 음량 값을 나타낸다. 일반적인 타악기의 노이즈에 비해 명확한 음고의 배음들이 나타나며 노이즈를 포함한 타악기에 나타나는 2,000Hz이상의 배음은 거의 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 이런 이유에서 징은 다른 타악기들과 달리 정확한 음고를 가진 타악기로 들리게 된다.

또한 배음들의 분포도를 살펴보면 100~500Hz 범위에서 강도가 두드러지는 배음들이 나타나며 500Hz이후 대역에서는 상대적으로 약한 강도의 많은 배음들이 촘촘한 간격으로 분포되어있음을 알 수 있다. 100~500Hz범위 배음들의 경우 표시된 주파수에서 알 수 있듯이 정확한 자연배음 비율에 따라 나타나고 있다. 이러한 특징으로 징은 정확한 음고와 특유의 풍부한 울림을 가지게 된다.

다음은 시간영역에서 살펴본 징의 파형이다.



[그림-2] 시간영역에서 본 징의 파형

[그림-2]의 x축은 시간을 y축은 음량을 나타낸다. 정확한 음고를 가지는 다른 악기들처럼 명확한 주기가 나타나며, 초당 117.870의 주기를 가지고 있으므로 징의 음고는 117.87Hz로 볼 수 있다. 또한 이러한 결과는 [그림-1]의 스펙트럼 분석에서도 알 수 있다. 일반적으로 음고를 가진 악기의 경우 기본 음고 혹은 들리는 음고를 중심으로 그 배음 구조를 파악하는 것이 가능하다. 그 이유는 음고가 있는 악기의 경우 자연배음을 벗어나는 일이 드물기 때문이다. 하지만 [그림-1]의 스펙트럼 분석의 결과를 보면 기본 음고를 중심으로 자연배음에 의한 배음구조만으로 보기에는 지나치게 많은 배음이 존재하고 있으며 [그림-1]에 표시된 주파수 사이에도 두 개 이상의 배음이 나타나고 있다. 그렇다면 징이 배음구조는 기본 음고와 관련된 배음렬 외에 어떤 배음들이 나타나는 것일까? 하는 의문이 생긴다.

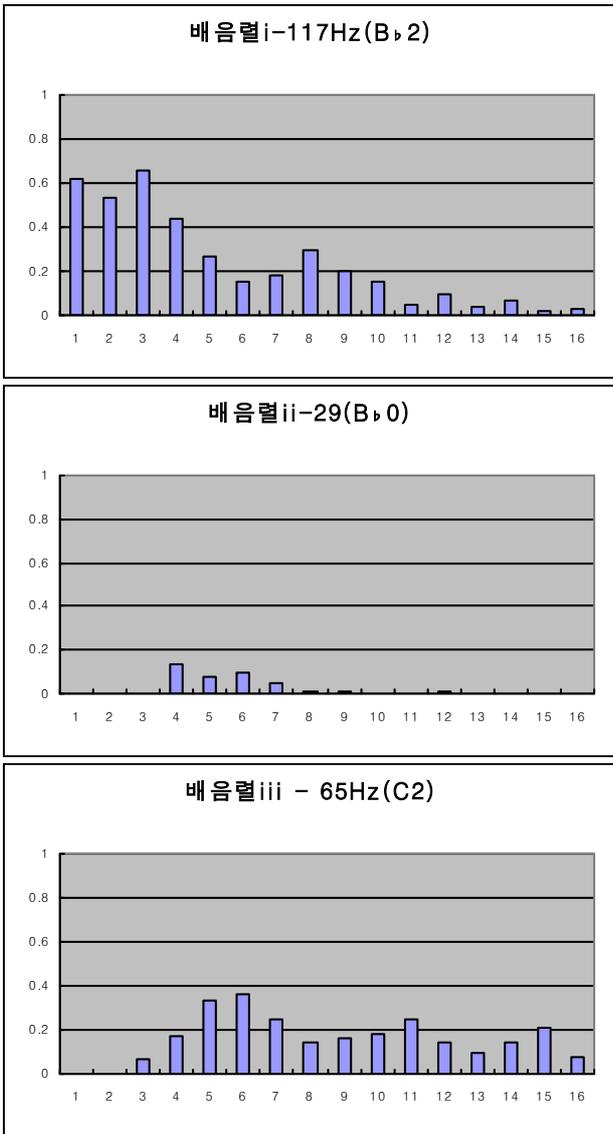
2.2 징의 배음렬

많은 타악기의 경우 처음 악기를 타격한 후 일정 기간 그 악기 고유의 배음과 노이즈가 발생하기 때문에 일시적으로 많은 배음이 나타나기도 한다. 하지만 본 연구의 분석 데이터는 앞서 설명되었듯이 어택 부분이 아닌 서스테인 부분을 취했기 때문에 타격 후에 발생하는 노이즈는 거의 없다고 할 수 있다. 즉 [그림-1]에서 분석된

스펙트럼은 타격과 관련된 노이즈가 아닌 징 고유의 배음들로 이루어진다.

결론은 징에 단일 배음렬이 아닌 여러 개의 배음렬이 나타난다는 것이다. 이러한 특징은 실제 징의 청취 시 느낄 수 있는 특징이기도 하다.

[그림-3]은 징에 나타나는 세 개의 배음렬을 보여준다. x축은 제1에서 16까지의 배음을 y축은 0~1의 음량 값을 나타낸다.



[그림-3] 징에 나타난 세 개의 배음렬

세 배음렬의 명칭은 편의상 기본 음고와 관련된 배음렬을 배음렬i로 하고 제1배음의 주파수가 낮은 순서로 배음렬ii, 배음렬iii의 이름 붙였다.

다음은 위의 세 배음렬의 음정 비율을 표로 나타낸 것이다.

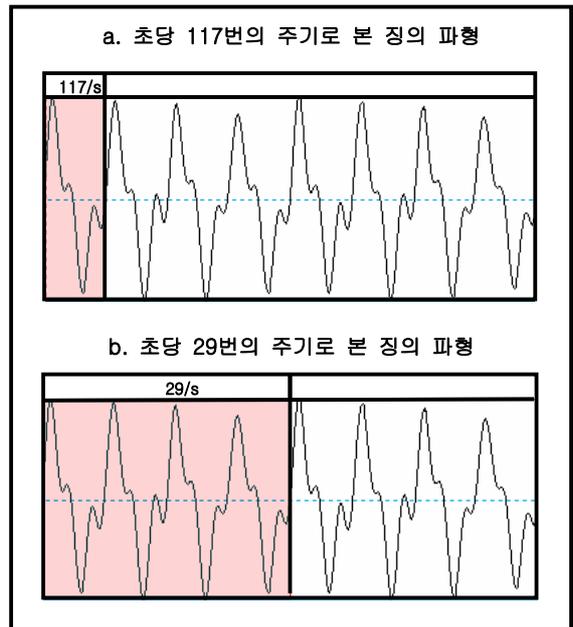
[표-2] 징의 세 배음렬의 비율

	배음렬i	배음렬ii	배음렬iii
비율	1	0.2478	0.5555
평균률	Bb2	Bb0	C2

세 배음렬의 비율은 1: 0.2478: 0.5555로 평균률로 볼 때 Bb2, Bb0, C2이다. 이 비율에서 가장 중요한 것은 배음렬i와 배음렬iii의 비율로 미세한 차이를 갖는 두 옥타브 관계를 이룬다는 것이다. 즉 배음렬i의 제4배음이 배음렬iii의 제1배음과 유사한 주파수라는 사실이다. 이 부분에 관해서는 다음 장에 더 자세히 언급될 것이다. 또 다른 특징으로는 배음렬i를 중심으로 더 낮은 주파수의 배음렬이 나타난다는 것을 들 수 있다. 들을 수 있는 음고보다 낮은 배음의 존재로 인해 징은 전체적으로 안정적인 울림을 갖게 된다. 이로서 징은 사물놀이에서 다른 악기들을 감싸는 기능을 잘 수행할 수 있게 된다.

배음렬 각각의 특징을 살펴보면 배음렬i는 대략 제10배음까지 비교적 큰 음량값을 가지며, 제3배음의 강도가 가장 높은 것으로 나타났다. 배음렬ii의 경우 제1~3배음 없이 제4배음부터 나타났으며 그 강도가 상대적으로 매우 미미하게 나타났다. 마지막으로 배음렬iii의 경우 제1~2배음 없이 제3배음부터 나타났으며 이후 배음들은 비교적 높은 배음까지 지속되는 것으로 나타났으며, 실제 청취에서도 이러한 특징이 반영되어 높은 C음이 일시적으로 들린다.

다음은 시간 영역에서 본 징의 파형이다.



[그림-4] 시간 영역에서 본 징의 파형

[그림-4a]의 회색으로 영역 표시된 부분이 초당 117 주기를 가지는 부분으로 징의 기본 음고를 나타낸다. [그림-4b]는 [그림-4a]의 회색 영역을 확장한 것으로 1초당 29주기에 해당하는 부분을 표시한 것이다. 가장 두드러지는 주기성은 [그림-4a]에서 나타나지만 자세히 살펴보면 117의 주기는 조금씩 변화하고 있으며 그 변화의 주기는 4번을 단위로 반복되고 있음을 알 수 있다 ([그림-4b]). 즉 시간영역에서 역시 두 배음렬의 존재가 명확하게 나타난다.

또한 본 연구에 분석된 징의 경우, 두드러지는 세 개의 배음렬 이외에도 다른 배음렬이 포함된 것으로 나타났다. 하지만 나타나는 배음의 강도가 약하며 분석 프로그램의 변화에 따라 그 결과가 유동적인 이유에서 나머지 배음렬의 경우 생략하였다.

이렇듯 징의 배음렬은 다른 악기들과 달리 세 개 이상으로 이루어지기 때문에 전체 배음의 개수가 늘어나게 되며 결과적으로 단일 배음의 악기보다 더 풍부한 음색을 갖게 된다. 그렇다면 일반 악기와 달리 여러 개의 배음렬이 만들어지는 원인은 무엇일까 하는 의문이 생긴다.

그 원인은 징을 이루는 구성 성분에서 찾을 수 있을 것이다. 앞서 언급 하였듯이 징의 재료는 단일 요소가 아닌 합금으로 이루어진다. 때문에 각 재료에 해당하는 진동이 존재하며 타격 시 각 재료들이 다르게 진동하여 이러한 특징이 나타나게 되는 것이다.

또한 합금의 정확한 비율도 지정된 것이 아니며 제작 방법도 장인에 따라 차이가 있어 악기별로 이러한 배음렬의 비율은 다르게 나타난다. 물론 기본 음고 역시 징마다 다를 수 있다. 즉 본 연구에서 분석된 징에 나타나는 배음렬의 음정관계 및 들리는 음고는 모든 징에 적용될 수 있는 특징이라 할 수 없다. 하지만 세 개 이상의 배음렬이 사용된다는 점은 모든 징에 적용될 수 있는 일반적인 특징으로 볼 수 있다.

III. 징의 배음렬과 맥놀이 현상

3.1 맥놀이 현상의 발생원인

맥놀이 현상은 주파수가 비슷한 두 파동의 간섭에 의해 두 주파수의 차이만큼 주파수 폭이 일정한 주기로 변하는 것을 말한다⁴⁾. 즉 유사하지만 동일하지 않은 두 주파수가 동시에 발생할 때 이 주파수들은 각각의 주파수로 들리지 않고 음량이 커졌다 작아졌다 하는 식으로 들리는 현상이 발생하게 된다.

배음렬이 하나인 경우 각 배음은 제1배음을 기준으로 정수배를 이루어 일정한 비율로 구성되기 때문에 간섭이

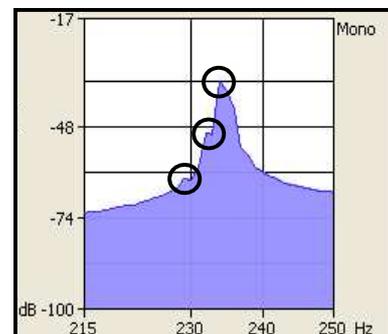
발생하지 않는다. 하지만 징의 경우 세 개 이상의 배음렬이 존재하기 때문에 자연스럽게 맥놀이 현상이 발생하는 것이다. 자연배음은 낮은 배음에서 높은 배음으로 갈수록 주파수 간격 혹은 음정간격의 폭이 좁아진다. 이런 이유에서 단일 소리 즉 하나의 악기에 여러 배음렬이 나타날 경우 낮은 배음 보다는 높은 배음들이 있는 주파수 대역에서 맥놀이 현상이 많이 발생하는 것은 당연하다.

[표-3]은 맥놀이가 발생하는 배음 관계를 살펴보기 위해 배음렬i의 배음을 중심으로 맥놀이 현상을 유발하는 나머지 배음렬의 배음을 평균률로 정리한 것이다.

[표-3] 징의 세 배음렬

평균률	배음렬i	배음렬ii	배음렬iii
B b 3	1	-	8
C4	-	4	9
D4	-	-	10
E4	-	5	11
F4	-	-	12
G4	-	6	13
A b 4	-	-	14
A4	-	-	15
B b 4	2	7	16

[표-3]에서 가로로 같은 줄에 위치한 배음들이 맥놀이 현상이 발생하는 부분을 의미한다. 즉 동일한 평균률에 나타난 배음렬의 배음들은(예를 들어 Bb4의 경우 배음렬i에서는 제2배음 배음렬ii에서는 제7배음, 배음렬iii에서는 제16배음을 의미) 그 주파수가 유사하지만 차이가 있기 때문에 자연스럽게 맥놀이 현상이 발생하는 것이다. 다음은 예로 설명한 [표-3]의 B b 4의 내용을 주파수 영역에서 살펴본 것이다.



[그림-5] 맥놀이 현상이 발생하는 부분의 스펙트럼

Bb4의 정확한 주파수는 236Hz이며 [그림-5]에 나타난 것처럼 여러 배음렬에 의해 유사한 주파수들이 발생한다. 각각은 각기 다른 배음렬의 배음으로 유사하지만 다른

4) [http://en.wikipedia.org/wiki/Beat_\(acoustics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Beat_(acoustics))

주파수로 나타난다([그림-5]의 경우 세 개의 주파수가 명확하게 나타난다).

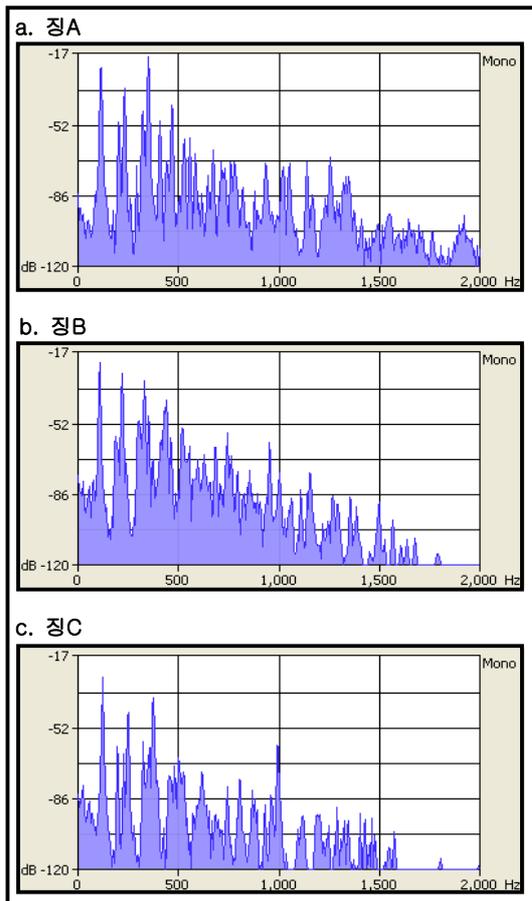
물론 이러한 현상이 발생하는 주파수 영역은 매우 많으며 실제 징의 배음렬은 세 개 이상이고 배음의 음량값 역시 중요한 요소이기 때문에 위의 내용만으로 징에서 발생하는 맥놀이 현상의 특징을 모두 설명하는 것은 힘들다. 하지만 그 원인은 여러 배음렬에서 만들어지는 주파수 간의 관계에서 찾을 수 있다.

3.2 세 개의 징에서 나타나는 맥놀이 현상 비교

앞서 언급되었던 것처럼 징의 여러 배음렬이 가지는 비율은 그 재료에 의한 것이기 때문에 고정된 것이 아니라 다양하게 나타난다.

배음렬의 음정관계가 다른 징의 경우 맥놀이 현상과 관련된 주파수 성분이 어떤 구조를 이루는지 살펴보기 위해 세 개의 다른 징을 비교하여 분석하였다. 세 종류의 징은 전문가에게 의뢰하여 선택한 징으로 그 질이 상, 중, 하에 해당한다. 즉 A의 경우 상급, B는 중급, 마지막으로 C는 하급의 징으로 평가되었다.

다음은 세 징의 스펙트럼을 분석한 것이다.



[그림-6] 세 개의 징에서 나타난 스펙트럼

[그림-6]의 스펙트럼만으로 정확한 맥놀이 현상의 원인을 파악하는 것은 힘들지만 100~500Hz의 대역에서 그 강도가 두드러지는 배음들이 나타나며, 대략 300~400Hz 이후 촘촘한 간격의 배음이 발생하여 맥놀이 현상을 일으킬 것으로 예상할 수 있다. 이러한 특징은 세 종류의 징 모두에 나타나는 특징으로 징의 고유 성질로 간주할 수 있다. 즉 각각의 음고와 배음렬 간 비율은 모두 다르게 나타나지만 대략 500Hz 이상의 고배음으로 갈수록 맥놀이 현상을 일으킬 수 있는 배음의 발생이 많아지고 있다. 하지만 그 촘촘한 정도에 있어 징A가 가장 높고 징B, 징C 순으로 낮아지고 있다. 즉 A의 경우 더 많은 배음과 맥놀이 현상이 발생했으며 C의 경우 상대적으로 배음의 개수도 적어지며 맥놀이 현상 발생 역시 적은 것으로 나타났다. 또한 1500Hz 이상 배음에서도 A, B, C의 순서로 배음이 줄어들고 있음을 알 수 있다.

다음은 세 악기에 나타난 배음렬의 비율을 통해 맥놀이 현상에 대해 보다 구체적으로 살펴본 것이다.

[표-4] 징의 세 징에서 나타난 여러 배음렬 비교

	징A		징B		징C	
	평균률	비율	평균률	비율	평균률	비율
배음렬i	B♭2	1	A2	1	B2	1
배음렬ii	B♭0	0.2478	A0	0.2545	B♭2	0.912
배음렬iii	C2	0.5555	B1	0.5636	C2	0.528

세 징 모두에서 배음렬i를 중심으로 위아래 2도(혹은 7도) 음정 간격의 배음렬이 나타나고 있음을 알 수 있다. 배음렬i와 배음렬iii을 비교하면 세 징이 모두 7도 음정(배음렬i를 기준으로 하행7도)을 이루고 있는 공통점을 가진다. 비율에 있어 다소 차이를 보이지만 어느 정도 유사한 비율로 나타나고 있다. 이런 음정관계를 통해 배음렬i의 배음에 맥놀이 현상이 발생하는 것이다. 하지만 세 징의 비교를 통해 나타난 가장 중요한 특징은 징A와 B의 배음렬i와 배음렬ii에 나타나는 비율이다. 대략 두 옥타브관계의 배음렬이 나타나고 있어 맥놀이 현상을 발생시키는 유사한 주파수의 배음들이 자연히 생성되고 있다. 이 결과를 통해 징 특유의 안정적인 울림의 원인이 기본 음고 보다 두 옥타브 낮은 배음에 의해 발생한다는 것을 쉽게 예상할 수 있다.

또한 앞서 언급되었던 것처럼 징에는 위의 세배음렬 외에 다른 배음렬도 존재한다. 즉 배음 자체의 개수도 더 많아지며 그 결과 발생하는 맥놀이 발생 주파수 역시 증가하게 될 것이다.

요약하면 징의 재료적 특성과 제작 방법의 차이로 인해 음고와 배음렬 간의 관계를 일반화할 수는 없으나, 세 개 이상의 배음렬이 발생하며 각 배음렬에서 유사한 주파수로 나타나는 배음들의 간섭에 의해 맥놀이 현상이 일어난다는 것을 알 수 있었다.

V. 결과 및 결론

본 연구는 국악 타악기인 징의 피지컬 모델링을 위한 사전 연구로 FFT 분석을 통해 징의 음색이 가지는 특징을 객관적으로 규명하고자 하였다. 징이 갖는 정확한 음고, 풍부하고 안정적인 음향, 특유의 울림 등의 원인을 소리의 가장 기본 요소인 배음구조 및 그 관계를 통해 살펴보고자 하며 그 분석 결과는 다음과 같다.

징의 음향 특징에서 가장 중요한 점은 세 개 이상의 배음렬 나타난다는 것이다. 배음렬이 세 개 이상이기 때문에 배음의 개수 역시 단일 배음렬 악기에 비해 많이 나타나며 그 결과 풍부한 음향이 만들어진다. 배음렬의 각 배음은 거의 정확한 자연 배음 비율로 나타났으며, 일반 타악기에 많이 존재하는 2,000Hz 이상의 노이즈가 없거나 보다 확실한 음고가 나타나는 것으로 분석되었다. 배음렬 간 비율에서 가장 중요한 특징은 기본 음고를 이루는 배음렬을 중심으로 더 낮은 주파수에서 시작하는 배음렬이 존재한다는 것이다. 기본 음고보다 낮은 배음의 존재는 보다 안정적인 울림을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 특징은 정형화되지 않은 징의 재료와 제작 방법에서 기인한 것이기 때문에 악기의 기본 음고와 사용된 배음렬은 악기마다 조금씩 다르게 나타났다.

다음으로 중요한 점은 세 개 이상의 배음렬에서 발생하는 맥놀이 현상이다. 단일 배음렬의 경우 일정한 비율로 배음이 생성되기 때문에 맥놀이 현상이 발생하지 않으나 징의 경우 여러 배음렬의 사용으로 유사한 주파수 영역에 여러 개의 배음이 발생하며 이로써 맥놀이 현상이 자연스럽게 나타났다.

마지막으로 위의 내용을 바탕으로 세 종류의 징을 비교해본 결과 악기의 기본 음고와 발생하는 배음렬에 차이가 있어 맥놀이 현상이 발생하는 주파수 대역 및 정도는 다르게 나타났다. 하지만 세 개 이상의 배음렬과 그 배음렬에서 발생하는 맥놀이 현상은 모든 징의 공통된 특징으로 나타났으며 배음의 개수나 맥놀이 현상의 빈도가 높을수록 전문가에 의해 좋은 징으로 평가되는 것으로 분석되었다.

VI. 참고문헌

- [1] 국립국악원 편, "금속타악기 연구", 국립국악원 1999.
- [2] 이효중, 박현, 이동녕, "징과 팽과리의 제법과 음향 특성", 대한금속재료학회, 1999.
- [3] 이혜원, "전통 방자 판금 기법의 활용 가능성", 석사학위 논문, 서울대학교, 1982.
- [4] 최성영, 배명진, "성덕대왕신중(에밀레중)의 음향 특성" 전자공학회지 제31권, 2004년 6월 제6호.

[5] Carr Wilerson, Stefin, Camen Ng, "Physical Model Synthesis and Performance Mapping of Bowl Resonators", CCRMA, Department of Music Stanford University

[6] Curtis Roads, "The Computer Music Tutorial", The MIT Press, February 27, 1996.

[7] John Robinson Pierce, "The Science of Musical Sound", W.H. Freeman & Company; Rev Sub edition, May 1992.

[8] Thomas D. Rossing, "Science of Percussion Instruments", World Scientific Publishing Company; 1st edition, January 15, 2000.

[9] Xavier Serra, "Musical Sound Modeling With Sinusoids Plus Noise", Audiovisual Institute, Pompeu Fabra University Rambla 31, 08002 Barcelona, Spain