

## 국악기 피리의 소리합성을 위한 음색분석 연구

김혜지<sup>†</sup>, 윤혜정<sup>\*\*</sup>, 조형제<sup>\*\*\*</sup>, 김 준<sup>\*\*\*\*</sup>

### 요 약

본 연구는 국악기 피리의 소리합성을 위한 기초 단계로, 피리의 음색 특징을 분석하였다. 분석은 세 가지로 나누어 첫째, 피리의 음색 특징을 스펙트럼 분석을 통하여 오보에와 비교하였고, 둘째, 피리 소리들의 어택(attack)부분의 시간대별 분석을 통하여 소리 발생과정에 따른 음색을 분석하였으며, 마지막으로 악기연주의 중요한 역할을 하는 비브라토의 특성을 분석해 보았다. 그 결과 피리 음색은 서양악기와 달리 높은 배음들의 음량이 높게 나타났고, 소리발생 초기단계(어택 부분)에서는 노이즈 양이 급격히 줄어드는 것과 반하여 배음들의 음량 값이 높아졌으며, 비브라토에서도 음량위주로 변화하는 서양악기와 달리 음고와 음량이 동시에 변화한다는 특성을 알 수 있었다. 이러한 배음에 따른 음색 특징과 소리 발생과정에서의 음색변화, 그리고 비브라토에서의 음고와 음량 변화는 피리의 독특한 음색을 잘 나타내 주는 특징들로써 소리합성에 있어서 반드시 적용되어야 할 것이다.

## A Study on the Spectrum Analysis for the Sound Synthesis of Piri

Hye-jee Kim<sup>†</sup>, Hye-jung Yoon<sup>\*\*</sup>, Hyung-Je Cho<sup>\*\*\*</sup>, Jun Kim<sup>\*\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

This study analyzed the timbral characteristics of Piri by basis step for the sound synthesis for Piri, Korean traditional musical Instrument. By analyzing this material, we can find out three characteristics about the study of the spectrum analysis for the sound synthesis of Piri. First, compared the timbral characteristics of Piri with Oboe through the spectrum analysis, Second, analyzed the timbral characteristics by the sound occurrence process through the time zone analysis of the attack part of the sound started. Finally, analyzed the special characteristics of the vibrato that is important role of musical instrument performance. As a result, the timbral characteristics of Piri is that the volume of the high harmonics was appeared to be high unlike the general classical instrument and the noise quantity rapidly decreased in the sound attack part but the volume value of harmonics increased. And also vibrato that is performance technique is changed pitch and amplitude at the same time by contrast with the general classical instrument. Thus, the timbral characteristic of Piri by the harmonics and the timbre change by the attack part which is sound occurrence process and the change of the pitch and amplitude in the vibrato is characteristic that represented unique quality of Piri. We expect that this achievement can be applied to sound synthesis.

**Key words:** Piri(피리), Sound Synthesis(소리합성), Spectrum Analysis(스펙트럼 분석)

※ 교신저자(Corresponding Author): 김 준, 주소: 서울시 중구 필동3가 26번지(100-715), 전화: (02)2260-3264, FAX: (02)2260-3764, E-mail: music@dongguk.edu  
접수일: 2005년 12월 5일, 완료일: 2006년 4월 10일  
<sup>†</sup> 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과  
(E-mail: hyeddoong@hanmail.net)  
<sup>\*\*</sup> 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

(E-mail: yoonhyejung@hotmail.com)  
<sup>\*\*\*</sup> 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과  
(E-mail: chojh@dongguk.edu)  
<sup>\*\*\*\*</sup> 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

※ 본 연구는 과학기술부(한국과학재단) 특정기초연구(R01-2005-000-10946-0) 지원으로 수행되었음

## 1. 서 론

현재 컴퓨터의 급속한 발전으로, 악기의 소리를 합성음으로 재현하는 여러 방법이 연구되고 있다. 이미 많은 서양악기들이 여러 소리 합성 방법을 통하여 전자악기로 재현되었고, 최근에는 실제 악기 자체의 소리 발생과정을 재현한 물리적 모델링 합성(Physical Modeling Synthesis)방식의 연구가 다양하게 진행되고 있다. 이는 물리적인 악기의 구조와 소리 발생과정을 분석 재현하여 실제 악기소리와 가장 흡사한 소리를 만드는 방식이다. 소리 발생과정과 그 음색의 독특한 특징이 서양악기와는 달리 복잡한 구조를 가지고 있는 한국의 국악기 음색 합성에 있어 물리적 모델링 합성방식은 가장 적합한 방식이라 생각된다. 본 연구는 합성에 앞서서 선행되어야 할 단계로서 한국 국악기 중 피리를 선택하여 소리합성을 위한 분석을 아래와 같이 세 가지 과정으로 나누어 연구하였다.

첫째, 악기 음색의 근본적 요소인 배음들(harmonics)의 FFT(Fast Fourier Transform) 스펙트럼 분석을 통하여 피리와 유사한 서양악기인 오보에와의 음색 차이를 비교분석 하였고, 둘째, 피리의 소리 발생과정에서 시작 부분인 어택(attack)부분의 시간대별 분석을 통하여 음색변화를 연구하였으며, 셋째, 피리와 오보에의 비브라토를 비교하여 피리의 특징적 연주기법중의 하나인 요성<sup>1)</sup>을 분석 연구하였다.

연구 방법으로 FFT 스펙트럼 분석<sup>2)</sup>을 사용하였고, 분석에 쓰인 윈도우 사이즈(window size)는 1024이며 윈도우 타입(window type)은 해밍(Hamming)이다. 기존의 국악기 분석이 스펙트럼을 통한 배음 분석 연구를 위주로 이루어졌던 것과 달리 본 연구에

서는 소리의 발생 과정과 연주법을 고려하여 실제 연주되는 피리 소리에 흡사한 소리를 만들 수 있도록 분석하고자하였다.[2,8,9]

## 2. 본 론

### 2.1 피리의 특징

피리는 외적 형태와 기능에 따라 향피리, 당피리, 세피리의 세 종류로 구분된다. 이중 향피리는 독주는 물론 관현악이나 무용 반주에 편성되며, 관현악 합주에서 주선율을 연주하는 등 세 가지 피리 중에 가장 많이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 향피리를 분석대상으로 하였다.

피리는 관과 서(舌, reed)로 구성되어있으며, 관에는 8개의 구멍이 있고 서는 겹 서를 사용한다. 피리는 갈대 줄기로 두 장의 서가 접착하여 진동해 소리가 발생하는 것으로 서가 얇을수록 음색이 날카로우며 청아한 소리가 난다. 이와 유사한 구조를 가진 서양악기로는 겹 리드를 사용하는 오보에가 있다. 오보에는 갈대 종류의 하나인 케인(cane)<sup>3)</sup>을 사용하는데, 피리와 마찬가지로 입술로 바람을 불어넣어 두 겹의 갈대(케인)의 진동에 의해 소리를 내며, 이를 밀어 넣거나 빼는 것으로 음정을 조절할 수 있다.

### 2.2 피리와 오보에의 배음 스펙트럼 비교 분석

피리는 황(黃), 태(太), 중(仲), 임(林), 남(南), 무(無)의 음을 갖고 있으며, 서양 음 표기로 나타내면 황중은 E $\flat$ 4이다.

아래 악보 1의 음역 중 낮은 음역인 탁남려(備)<sup>4)</sup>와 높은 음역인 청황중(潢)<sup>5)</sup>을 선택하였고, 오보에에서는 이와 같은 음고인 C4와 E $\flat$ 5음을 선택하여 지속 부분(sustain)을 비교분석하였다.

그림 1은 피리의 탁남려와 오보에의 C4의 FFT 스펙트럼으로 가로축은 주파수(Hz)로서 0에서 22000Hz 이고, 세로축의 음량(dB) 크기는 -90에서 0dB이다.

1) 요성 : 서양악기의 비브라토와 같은 연주기법으로 입술과 팔로 흔들며 연주하는 것을 말한다.

2) 본 연구에서는 넥스트(NeXT)사에서 만든 운영체제인 오픈스텝(OpenStep)에서 실행되는 소프트웨어 스펙트로(Spectro) 3.0을 사용하였다. 1966년 미국 벨 전화 연구소에서 컴퓨터로 소리를 분석하는 프로그램을 개발하기 시작하였는데, 이것을 1978년 메사추세츠 기술 연구소의 포트노프(Portnoff)가 FFT를 사용하여 소리를 분석하는 컴퓨터 프로그램으로 발전시켰으며 현재까지도 FFT는 소리 분석에 있어서 주된 분석방법으로 쓰이고 있다. Roads, Curtis. *Computer Music Tutorial*, The MIT Press, p. 549, 1996.

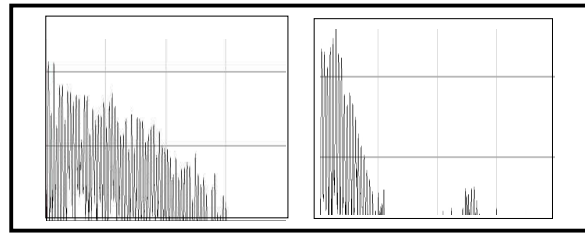
3) 케인(cane) : 서양 갈대나무인 아룬도 도낙스(Arundo Donax)의 줄기로 6mm - 7mm 폭으로 오보에에서 사용되는 리드재료이다.

4) 탁은 한자의 인(亻)을 왼쪽 옆에 넣어 한 옥타브 아래를 나타낸다.

5) 청은 한자의 수(水)자를 왼쪽 옆에 넣어 한 옥타브 위를 나타낸다.

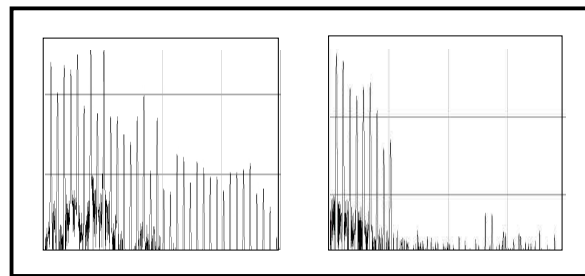


악보 1. 향피리 음역



(a) (b)

그림 1. 피리의 탁남려와 오보에의 C4 스펙트럼 : (a) 피리 - 탁남려, (b) 오보에 - C4



(a) (b)

그림 2. 피리의 청황종과 오보에의 E b5 스펙트럼 : (a) 피리 - 청황종, (b) 오보에 - E b5

그림 1(b)에서 오보에의 C4는 8번째 배음까지 뚜렷이 나타나지만 그 이후의 배음이 선형적으로 급격히 줄어들어 20번째 배음 이후에는 노이즈(noise)처럼 불규칙한 스펙트럼이 나타난다. 반면 그림 1(a)의 피리 탁남려는 32번째 배음까지 일정한 음량을 유지하다 43번째 배음 이후에 서서히 줄어드는 것을 알 수 있다.

그림 2는 동일한 조건으로 높은 음역대인 청황종(E b5)을 분석한 것이다.

낮은 음역과 마찬가지로 위의 그림 2(b)의 오보에는 9번째 배음 이후 음량이 급격히 줄어드는 반면, 그림 2(a)의 피리는 35번째 배음까지 일정한 음량의 배음을 유지하다가 그 이후 서서히 줄어들고 있다. 여기에서도 오보에의 9번째 배음의 음량과 피리의 9번째 배음의 음량 차이는 약 25dB 이상 나타나는 것을 알 수 있다.

이러한 현상은 위의 두 음정뿐만 아니라 전 음역대에 걸쳐 동일하게 나타나는데, 이것은 서양관악기와는 달리 피리만이 가진 독특하고 강한 음색의 특징을 결정짓는 요소라 볼 수 있다. 이를 정리하면 아래의 표 1과 같다.

표 1. 피리와 오보에의 배음 스펙트럼 비교 분석

	배음의 특징	음량의 특징
피리	고음역까지 배음 분포. 약 35번째 배음 이후 서서히 음량 감소.	32번째에서 35번째 배음 이후 서서히 음량 감소.
오보에	약 8번째 이후의 배음 급격히 소멸됨.	약 8 번째 배음에서 피리와의 음량 차는 약 25dB에서 30dB. 급격한 음량 감소를 동반한 노이즈 형성.

### 2.3 피리 어택(attack)부분의 시간에 따른 음색 특징

피리 연주 시 소리발생 과정 중 시작부분의 음색 변화를 알아보기 위해 어택 부분의 FFT 스펙트럼을 분석하였다. 그림 3과 그림 4는 각각 황종(E b 4)과 탁임종(B b 3)을 분석한 것으로, 어택 부분 0초에서 0.2초까지를 분석한 후 그 중 가장 뚜렷한 특징을 보이는 앞부분의 프레임을 나타낸 것이다.

두 그림의 가로축은 0부터 20000Hz이고 세로축은 위로부터 0에서 -100dB이며 1프레임(frame)당 길이는 0.0125초이다. 그림 3은 황종의 1부터 4프레임을 보여주며, 그림 4는 탁임종의 1, 3, 5, 7 프레임에 보여 주고 있다.

1프레임에 해당하는 그림 3(a)를 살펴보면 전 주 파수대역에서 정확한 배음의 형태가 보이지 않고 노이즈가 나타나며, 시간경과에 따라 이 음역대의 노이

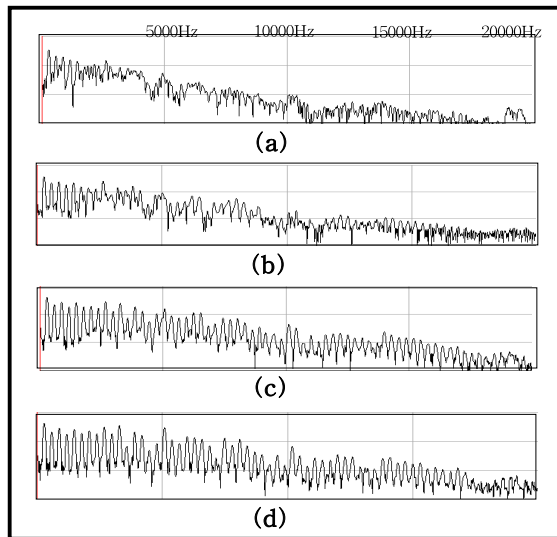


그림 3. 황종 어택부분의 시간에 따른 프레임별 스펙트럼 : (a) 황종 어택부분의 1 프레임, (b) 황종 어택부분의 2 프레임, (c) 황종 어택부분의 3 프레임, (d) 황종 어택부분의 4 프레임

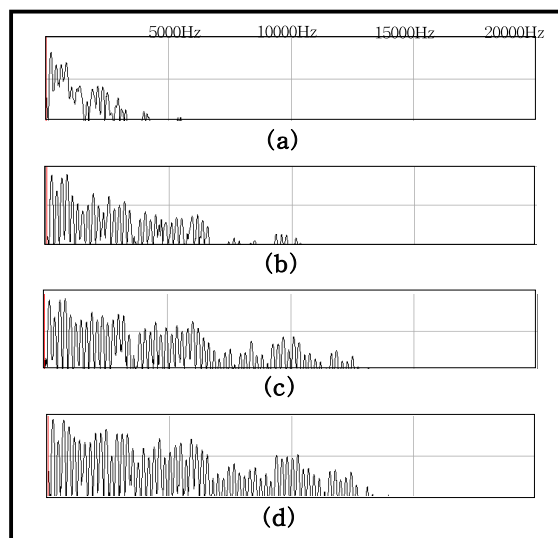


그림 4. 탁임종 어택부분의 시간에 따른 프레임별 스펙트럼 : (a) 탁임종 어택부분의 1 프레임, (b) 탁임종 어택부분의 3 프레임, (c) 탁임종 어택부분의 5 프레임, (d) 탁임종 어택부분의 7 프레임

즈 양이 급격히 줄어드는 것에 반하여 배음 음량 값들은 명확한 형태로 나타난 것을 알 수 있다. 또한 15000Hz 근처의 고 음역 배음들은 점차 높은 음량 값으로 변화했다.

위의 결과는 다른 음정인 탁임중에서도 동일하게 나타난다.

1프레임에 해당하는 그림 4(a)에서도 약 5000Hz 이하의 음역에서는 노이즈가 포함된 형태를 보이며, 그림 4(b)에서는 노이즈의 양이 줄고 배음의 음량이 커지며 뚜렷한 배음의 간격이 나타난다. 또한 점차 시간이 경과함에 따라 5, 7 프레임에 해당하는 그림 4(c)와 그림 4(d)에서는 1, 3 프레임에는 없었던 약 10000Hz에서 15000Hz의 고 음역 배음이 나타나는 것을 알 수 있다.

피리 어택 부분의 시간에 따른 음색 특징은 크게 두 가지로 요약 할 수 있다. 첫째, 피리 어택 부분의 시작인 1프레임에서는 노이즈가 많고 뚜렷한 배음이 나타나지 않는 것에 반하여, 점차 시간이 경과 할수록 노이즈는 줄어들며 뚜렷한 배음이 나타난다. 둘째, 10000Hz 이상의 고음역대에서는 시간에 따라 배음의 음량 값이 점차 증가한다. 이 같은 결과로 피리 연주 시 어택 부분에 나타나는 피리의 강렬하고 날카로운 음색이 이러한 특성에 기인한다는 것을 알 수 있었다.

#### 2.4 피리 비브라토(요성)의 특징

피리에서의 소리 떨림은 요성이라 하여 이는 독특

한 피리음색을 나타내는데 중요한 역할을 한다. 요성은 서양악기의 비브라토와 유사하지만 일반적인 서양 관악기에서의 비브라토는 음량 비브라토(amplitude vibrato)만 나타나는 것에 반하여 피리에서는 음량 비브라토와 더불어 음고 비브라토(pitch vibrato)가 매우 큰 폭으로 나타난다는 점에서 현격한 차이가 있다.

본 연구에서는 피리 요성의 특징을 살펴보기 위하여 오보에의 비브라토와 비교 분석하였다. 피리의 분석대상은 황종과 남려이고, 오보에의 분석대상은 이와 가장 가까운 음정들인 E $\flat$ 4와 C5이다. 분석대상은 요성과 비브라토가 안정적으로 나타나는 지속(sustain)음 부분의 약 2.5초로 하였다.

아래 그림 5는 피리와 오보에 요성(비브라토)의 음고 변화(a)(c)와 음량 변화(b)(d)를 나타내고 있다. (a), (b)는 피리 황종의 요성을 분석한 것이고, (c), (d)는 오보에 E $\flat$ 4의 비브라토를 분석한 것이다. 그림의 x축은 시간이며, (a)와 (c)의 y축은 Hz 단위의 주파수이고, (b)와 (d)의 y축은 dB 단위의 음량이다.

피리의 요성은 음고 그림 5(a)와 음량 그림 5(b)이 같은 시간대에 동일한 모양으로 함께 변하고 있지만, 오보에의 비브라토는 음량 그림 5(d)은 변화하지만 음고 그림 5(c)는 변화가 거의 나타나지 않는다. 요성으로 인한 피리의 음고 차는 약 41Hz로 나타나는 반면, 오보에는 약 3Hz 정도의 변화 폭만 있어 이는 귀로 듣기에 음정이 변한다는 느낌이 거의 없을 정도이다. 피리의 경우는 위 아래로 각각 반음정도의 음정

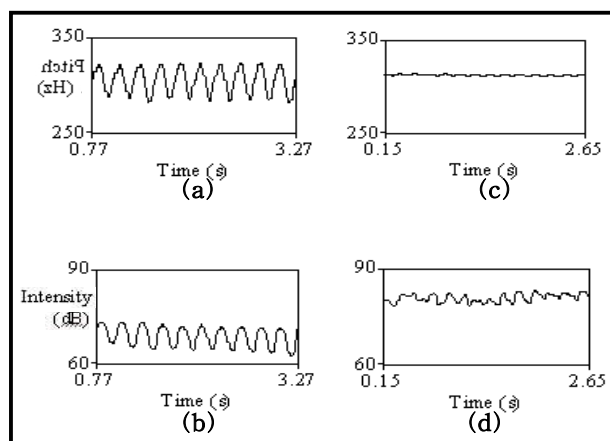


그림 5. 피리 황종과 오보에 E $\flat$ 4의 비브라토(요성) : (a)피리 황종 음고변화, (b)피리 황종 음량변화, (c)오보에 E $\flat$ 4 음고변화, (d)오보에 E $\flat$ 4 음량변화

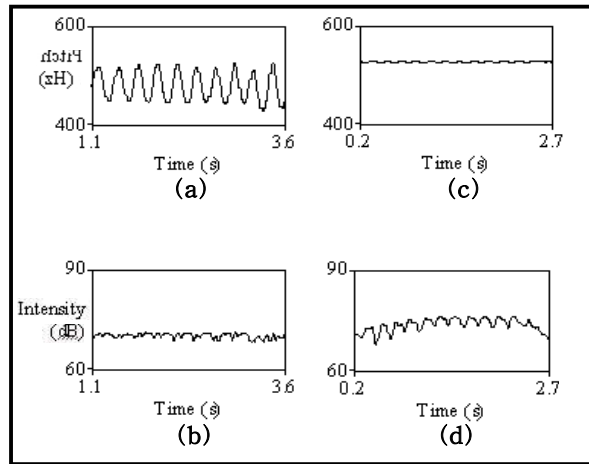


그림 6. 피리 남려와 오보에 C5의 비브라토(요성) : (a)피리 남려 음고 변화, (b)피리 남려 음량 변화, (c)오보에 C5 음고 변화, (d)오보에 C5 음량 변화

차를 감지할 수 있다. 높은 음정인 남려(피리)와 C5(오보에)에서도 같은 결과가 나타나는 것을 알 수 있다.

피리의 음고 그림 6(a)와 피리의 음량 그림 6(b)이 같이 변화하고 있는데 음량의 변화가 황종에 비해 크지 않은 것은 고음 연주 시 세계 불어야 하는 특성에 의한 것이다. 오보에는 음량 그림 6(d)만 변화하고 있으며 음고 그림 6(c)는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

피리의 요성은 서양악기의 비브라토와 달리 음량과 함께 음고가 현저하게 변화하는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성은 서양악기에 비해 강렬하고 풍부한 표현력을 갖는 국악 관악기의 독특한 특성으로서 피리 음색을 합성할 때에 반드시 고려해야 할 중요한 요소이다.

### 3. 결 론

국악기 피리의 소리 합성을 위해 피리의 음색특징을 밝히고자 본 연구가 진행되었는데, 이를 위한 분석은 세 가지로 방향으로 이루어졌다. 첫째, 피리 음색의 배음 특징을 오보에와 비교하여 스펙트럼 분석을 하였고, 둘째, 피리 어택 부분의 소리 발생과정을 시간대별로 분석하였으며, 셋째, 피리 연주에서 중요한 역할을 하는 요성의 특징을 분석하였는데, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 피리의 FFT 스펙트럼을 분석한 결과 높은

주파수대역의 배음도 일정한 음량을 유지하는 것으로 나타났다. 8번째 이후의 배음의 음량이 급격히 감소하는 오보에와 달리 피리는 35번째 배음까지 일정한 음량 값을 가지고 있다.

둘째, 피리의 어택 부분의 스펙트럼을 시간에 따라 분석한 결과, 초기에는 전 음역 대에 걸쳐 노이즈가 많고 뚜렷한 배음이 나타나지 않으나 시간이 경과할수록 노이즈는 줄어들고 배음이 뚜렷하게 나타나는 특징을 보였다. 그리고 10000Hz 이상 음역대의 배음 음량 값도 시간이 경과함에 따라 점차 증가하였다. 이 같은 결과는 피리 연주 시작부분의 강렬하고 날카로운 음색이 어택 부분의 스펙트럼에 나타난 배음과 노이즈의 특성과 관련이 있음을 나타내고 있다.

셋째, 피리의 요성은 음량의 변화 위주로 이루어지는 오보에의 비브라토와는 달리 음량과 음고가 같이 변화하는 독특한 특징을 보였다.

위의 분석 결과와 같이, 피리 스펙트럼 분석에서 나타난 높은 배음의 특징, 소리발생 과정에서 노이즈를 포함한 어택 부분의 음색변화, 그리고 요성에서의 음고, 음량 변화는 피리 음색특징의 중요한 요소들로서 피리의 물리적 모델링 합성에서 최우선적으로 고려되어야 할 특성이다.

### 참 고 문 헌

[ 1 ] John R. Pierce, *The Science of Musical Sound*, Scientific American Books, W. H. Freeman

Company, New York, 1992.

[2] Curtis Roads, *Computer Music Tutorial*, The MIT Press, 1996.

[3] William A. Sethares, *Tuning Timbre Spectrum Scale*, Springer, 2004.

[4] 박홍수, “국악의 기본음의 절대고도에 관한 연구,” *성대논문집*, 제12권, pp. 35-42, 1967.

[5] 박홍수, 이성수, “피리에 관하여,” *성대 논문집*, 제35호, pp. 59-60, 1984.

[6] 성덕현, “Physical Modeling을 이용한 단소 음합성에 관한 연구,” *울산대학교 대학원, 전자계산학과*, 2000.

[7] 송혜진, 강운구, *한국악기*, 열화당, 2001.

[8] 이경구, “사운드 스펙트럼성분을 이용한 국악 관악기음의 다중음 분석,” *경기대학교 대학원, 물리학과*, 1989.

[9] 이주연, “대금과 플루트의 음색비교 분석-사운드 스펙트럼을 중심으로,” *이화여자대학교 대학원, 실용음악학과*, 2000.

[10] 장사훈, *국악대사전*, 세광음악출판사, 1991.



**김 혜 지**

1996년 서울대학교 음악대학 작곡과 졸업(음악학사)  
 1998년 Berklee College of Music, Film Scoring  
 2001년 이화여자대학교 실용음악대학원 음악공학과 졸업 (음악공학 석사)

2005년~현재 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 박사과정  
 2000년~현재 우송정보대학 실용음악과 교수  
 관심분야 : 컴퓨터음악, 소리합성, 인터랙티브 뮤직, 하이브리드 인스트루먼트  
 준회원, 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 박사과정



**윤 혜 정**

1997년 이화여자대학교 작곡과 졸업 (학사)  
 2001년 이화여자대학교 대학원 음악학과 작곡전공 졸업 (음악석사)  
 2004년~현재 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 박사과정

**사과정**

관심분야 : 컴퓨터음악, HCI, 국악기분석, 인터랙티브 뮤직  
 준회원, 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 박사과정



**조 형 제**

1973년 부산대학교 전자공학과 (학사)  
 1975년 한국과학기술원 전기·전자공학과 (공학석사)  
 1986년 한국과학기술원 전기·전자공학과 (공학박사)  
 1986년~현재 동국대학교 멀티미디어학과 교수

**디어학과 교수**

관심분야 : 디지털사운드처리, 컴퓨터 그래픽스, 게임, 컴퓨터비전  
 정회원, 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 교수



**김 준**

1989년 경희대학교 작곡과 (학사)  
 1994년 미국 Boston대학교 작곡과 (음악석사)  
 1999년 미국 Stanford대학교 작곡/컴퓨터음악 전공 (음악박사)  
 2001년~현재 동국대학교 멀티미디어학과 교수

**디어학과 교수**

관심분야 : 컴퓨터음악, 멀티미디어음악, 소리 합성, Sound Visualization  
 정회원, 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 교수