

---

## 요성을 중심으로 한 피리의 음색 변화 분석 및 필터 디자인

Timbral Analysis of the Piri Sound and Designing an Audio Filter for Yoseong Expression

남상봉, Sangbong Nam\*, 이선진, Sun-jin Lee\*\*,  
이강성, Gangseong Lee\*\*\*, 이돈웅, Donoung Lee\*\*\*\*

---

**요약** 요성은 음을 떨어서 내는 소리로 국악기 피리의 중요한 연주 표현 기법 중 하나이다. 본 연구에서는 이러한 피리의 요성 시에 나타나는 음색 특징을 분석하고 이를 반영하는 필터를 제시하였다. 이를 위하여 우선 피리의 구조에서 발생하는 음향 특성을 비슷한 구조의 서양악기와 비교하였으며, 그 결과를 바탕으로 요성 시에 발생하는 음색 변화를 집중적으로 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 피리의 평소리를 요성소리로 변화시킬 수 있는 필터를 제시하였다.

**Abstract** Yoseong sound is one of the Piri's representative techniques including unique timbre of Korean traditional musical instrument. This paper presents the acoustic characteristics of Yoseong sound by analyzing the sound of Piri and suggests audio filters that make Yoseong sound from ordinary sound of the Piri.

**핵심어** : 피리, 요성, 음향 분석, 소리 합성  
*Piri, Yoseong, Sound Analysis, Sound Synthesis*

---

\* 주저자: 서울대학교 예술과학센터 선임연구원, sangbongnam@gmail.com

\*\* 공동저자: 서울대학교 음악대학 작곡과 박사과정, sun-jin.lee@hotmail.fr

\*\*\* 공동저자: 광운대학교 교양학부 교수, gslee0115@gmail.com

\*\*\*\* 교신저자: 서울대학교 음악대학 작곡과 교수, dolee@snu.ac.kr

■ 접수일 : 2015년 3월 16일 / 심사일 : 2015년 4월 8일 / 게재확정일 : 2015년 11월 16일

## 1. 서론

악기의 소리를 전자적인 합성으로 표현하려는 연구는 1920년대부터 지속적으로 이루어지고 있다. 이는 합성하는 방법에 따라 크게 기능적 신서사이저 (Functional synthesizers)와 샘플링 신서사이저 (Sampling synthesizer)로 나눌 수 있으며, 최근에는 이 두 가지 방법을 혼합하여 악기 소리의 재현 사실도를 극대화시키는 전자적 합성 방법이 연구되고 있다[1]. 현재 서울대학교 예술과학센터에서는 이와 같은 혼합 방식 중 하나인 음원기반 피지컬 모델링 (Hybrid physical modeling) 연구가 진행 중에 있으며[2], 본 연구는 이의 일환으로 피리의 음색 특징을 분석하여 평취의 음원을 요성에 가까운 음색으로 합성해 내는 것을 목표로 한다. 우선 피리의 구조를 파악하고 그 구조에서 일반적으로 보일 수 있는 음향 특성이 피리에도 적용되는지 분석하였으며, 그 결과를 바탕으로 요성 시에 발생하는 음색 특성을 집중적으로 분석하였다. 더불어 분석 결과들을 바탕으로 평취의 음원에서 요성에 가까운 음색을 구현할 수 있는 기능적인 샘플링을 모델링했다. 연구방법으로 FFT 스펙트럼 분석이 사용되었으며, 적절한 그래프를 도출하고 모델링하기 위해 프라트(praat)[3], 오디오 스킵트(AudioSculpt)[4], 스피어(SPEAR)[5], 파이썬(Python)[6] 그리고 맥스(Max)[7] 등의 프로그램이 사용되었다.

## 2. 본론

### 2.1. 피리의 구조 및 특징

피리는 대나무로 만든 관에 떨림판 역할을 하는 서를 끼워 연주하는 세로로 부는 관악기로 음색과 음량, 사용되는 음악 장르에 따라 향피리, 당피리, 세피리로 구분된다. 향피리와 당피리는 주로 골격이 되는 선율을 연주하거나 전체 음악을 리드하는 역할을 하며, 세피리는 그 크기와 음량이 앞의 두 피리에 비해 작기 때문에 현악기나 성악이 중심이 되는 음악에서 빈 공간을 메꿔주는 역할을 주로 한다. 본 연구에서는 향피리를 주요 분석 대상으로 하였는데 이는 향피리가 궁중음악을 비롯하여 민속음악, 합주, 무속음악, 무용반주 등 가장 폭넓게 사용되기 때문이다.

피리의 구조는 크게 서(舌, reed)와 관(管, pipe)으로 되어 있다. 서는 겹서(더블리드)를 사용하며 관은 한쪽이 막힌 원통형 관으로 되어 있다[그림 1].

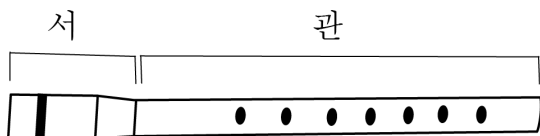


그림 1. 피리 구조

이와 유사한 구조를 가진 서양 악기로는 오보에와 클라리넷

을 들 수 있는데, 오보에는 더블리드라는 점에서 피리와 유사하지만 원뿔형(Cornical) 관을 가진다는 점에서 다르며, 클라리넷은 원통형 폐관이라는 점에서 피리와 유사하지만 싱글리드라는 점에서는 다르다. 아래 [표 1]에서는 피리와 세 종류의 서양 목관 악기의 구조를 비교할 수 있다.

표 1. 피리와 서양악기의 구조 비교

피리		플룻
서(reed)	겹리드 (Double Reed)	리드 없음 (Non-reed)
관(pipe)	막힌 원통형 (Stopped-Cylindrical)	열린 원통형 (Opened-Cylindrical)
오보에		클라리넷
서(reed)	겹리드 (Double Reed)	홀리드 (Single-reed)
관(pipe)	원뿔형 (Conical)	막힌 원통형 (Stopped-Cylindrical)

### 2.2. 리드악기로서 보여지는 음향적 특징

#### 2.2.1. 리드의 종류

먼저 리드의 재료를 살펴보면, 피리의 리드인 서는 대나무를, 서양 목관악기는 갈대를 가지고 만든다. 탄성을 가진 재료를 사용한다는 점에서는 공통점을 가지지만, 서로 다른 재료를 사용하며 그 크기도 다르다.

리드의 종류에 있어 피리는 더블리드이다. 싱글리드의 경우, 1장의 리드가 관 내부나 베크(beck)에 닿아 공기를 진동시키는 반면, 더블리드는 2장의 리드가 서로 접촉하면서 공기를 진동시켜 소리를 발생한다.

#### 2.2.2. 컷오프 주파수(cutoff frequency)

피리와 같이 더블리드를 가지고 있는 오보에 소리의 스펙트럼은 [그림 2]에서 보는바와 같이 1000Hz와 3000Hz와 같은 높은 주파수 대역대에서 컷오프 주파수가 설정되며 포만트가 형성되는 것을 볼 수 있으며, 여린 세기(pp)에서는 1000Hz에서만 컷오프 주파수가 설정되는 것을 볼 수 있다. Fransson(1967)은 이 포만트들이 더블리드의 특징이라 보고 있다[8].

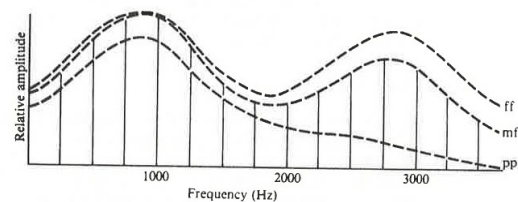


그림 2. 오보에 컷오프 주파수(250Hz\_B3)[9]

피리의 소리에서도 이와 같은 특성을 보여주고 있는데, [그림 3]을 보면 평균의 Bb를 f로 연주했을 경우 3000Hz와 7000Hz 대역에서 컷오프 주파수가 생기며 포먼트가 형성되는 것을 볼 수 있다. 반면 여린 세기(pp)에서는 3000Hz 대역에서만 컷오프 주파수가 생기는 것을 확인할 수 있다.

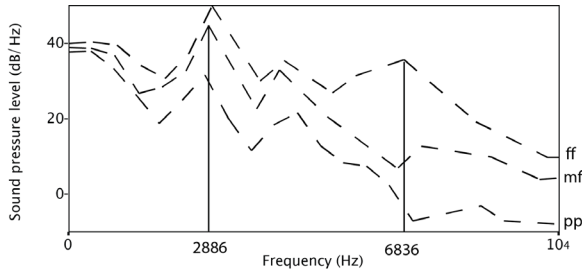


그림 3. 피리 컷오프 주파수, 평\_Bb3

## 2.2. 원통형 폐관에서 보여지는 음향적 특징

피리는 관의 구조상 원통형 폐관이다. 원통형 폐관은 물리적으로 홀수 배음이 두드러지게 나타나는 특성을 가지고 있다. 피리와 유사한 원통형 폐관의 구조를 가지고 있는 서양악기는 클라리넷으로 [그림 4]에서 보면 기음이 가장 크고, 홀수 배음의 크기가 차례대로 줄어드는 것을 알 수 있다. 짝수 배음의 음량은 현저히 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

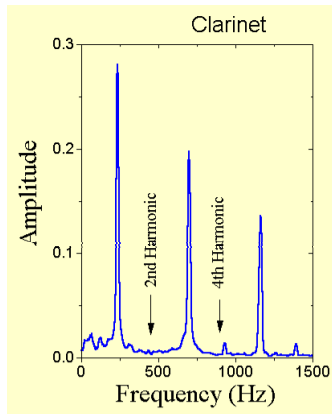


그림 4. 클라리넷 배음 구조[10]

같은 더블리드를 쓴다는 이유로 피리와 가장 비슷한 서양악기라고 알려져 있는 오보에는 원뿔형 관으로 [그림 5]에서 보는 것과 같이 기음이 2, 3배음보다 크기 않은 배음 특성을 가지고 있다.

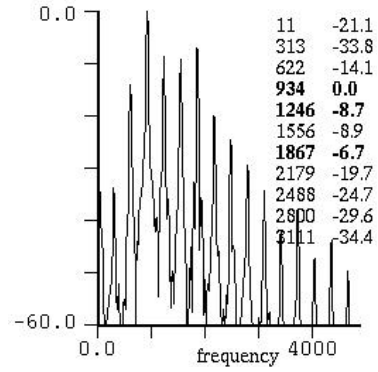


그림 5. 오보에 배음 구조[11]

피리는 유사한 구조의 관을 가지고 있는 클라리넷과 비슷한 음색특징을 보여준다. 분석을 위하여 Praat를 사용하였으며 윈도우길이(window length)를 30ms로 설정하였고 피리는 C3(260.9Hz)에서 F4(679.2Hz)까지 음역의 평음을 사용하였다. 분석결과 저음역 (C3-F3)에서는 1,3배음이 2,4배음에 비해 큰 것을 알 수 있었으며, Gb3이후 고음역으로 갈수록 이러한 특성이 사라지는 것을 볼 수 있었다[그림 7].

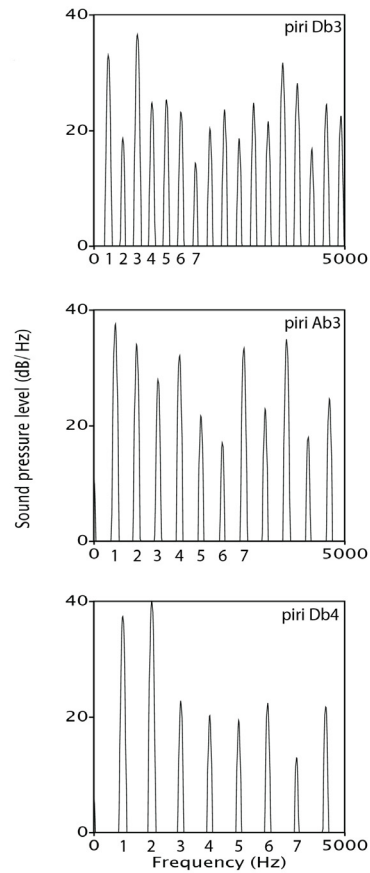


그림 6. 음역에 따른 피리의 배음 특성

이렇게 고음으로 갈수록 배음특성이 변하는 현상은 [그림

7]에서 볼 수 있듯이 클라리넷과도 유사하다. D3에서는 2.4 배 음이 거의 보이지 않는데 D4에서는 4배음이 보이기 시작하고 G5에서는 완전히 다른 음색을 보여준다.

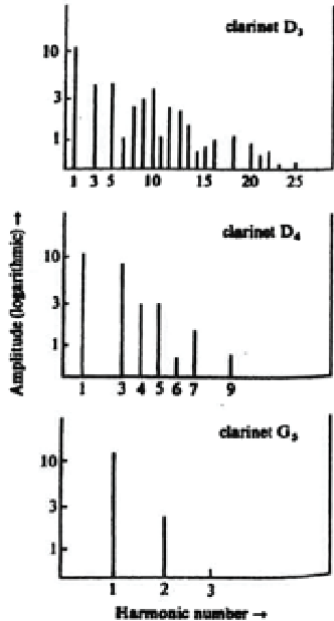


그림 7. 음역에 따른 클라리넷의 배음 특성[12]

### 2.3. 요성 시에 나타나는 음색 특징

피리의 연주에 있어서 대부분의 경우 국악의 가장 큰 특징 중 하나인 요성이 들어간다. 이는 서양악기의 비브라토와 유사한 점이 있지만 국악의 요성은 더 다양한 방법과 다이내믹하면서 넓은 폭으로 변하는 특징을 가진다. 어택과 요성에 관한 선행 연구는 김혜지(2006)[13]에 의해 연구된 바 있으며, 피리의 요성은 오보에의 비브라토보다 음량과 음고가 현저하게 변화하는 특성을 가지고 있다고 보았다. 본 연구에서는 이러한 피리의 요성 연주가 시간 축에서 음량과 음고 그리고 배음들의 어떤 상관 관계를 가지고 변하고 있는지 그 특징을 분석/연구 하였다.

분석을 위하여 피리의 C3(255Hz)대역의 요성을 녹음하여 사용하였으며, 각 배음의 에너지 변화를 시간의 흐름에 따라 보여주는 그래프를 얻기 위해 파이썬을 사용하였다. 1024 윈도우 사이즈로 설정했으며, 음고(pitch)와 음의 크기(rms) 그리고 기음을 포함한 5배음까지의 에너지 크기의 변화를 비교하였다.

#### 2.3.1. 음고 변화

우선 [그림 8]에서 보이는 음고의 변화는 250Hz에서 275Hz까지로 약 25Hz의 폭으로 상행과 하행을 반복하는 것을 볼 수 있다. 더불어 대략 일정한 비율과 시간을 가지고 변하고 있다.

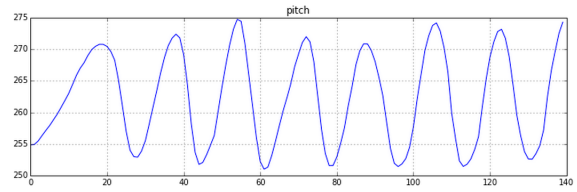


그림 8. 요성 시 음의 음고 변화

#### 2.3.2. 음량 변화

다음 [그림 9]에서 볼 수 있는 것은 음량 변화이다. 음량을 나타내기 위해 RMS 를 사용하였다. 첫 번째 피리어드에서 크게 등감한 후 2000에서 4000 사이를 주기적으로 등감하는 것을 볼 수 있다. 하지만 음고 변화와 달리 음량 변화는 후반부로 갈수록 등감한 후 다시 등감할 때까지 일정시간 머물러 있는 것을 볼 수 있다.

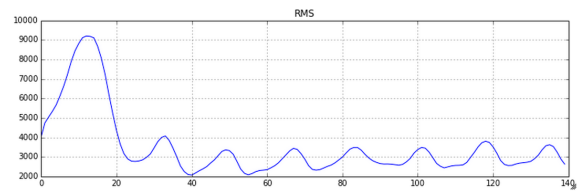


그림 9. 요성 시 음량 변화

#### 2.3.3. 배음들의 에너지 변화

다음은 시간의 흐름에 따른 1에서 5배음까지의 에너지 변화이다. [그림 10]에서는 5개의 레이어들이 각각 변하는 모습을 볼 수 있다. 1-3-5 배음은 비슷한 비율로 커졌다 작아졌다를 반복하며, 2-4배음은 그 반대 비율로 변하는 것을 알 수 있다. 다시 말하자면 1-3-5 배음이 커질 때 2-4배음은 작아지며 그 반대로 1-3-5배음이 작아질 때는 2-4배음이 커지는 현상이 일어난다. 1-3-5배음이 커지고 2-4배음이 작아지는 것은 음고가 높아짐과 함께 음량이 커지면서 폐관 특성이 살아나는 것으로 볼 수 있으며, 반대의 경우에는 음량이 매우 작아지면서 폐관 특성이 없어지는 것으로 볼 수 있다.

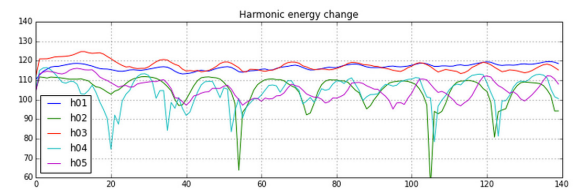


그림 10. 요성 시 배음들의 에너지 변화

#### 2.3.4. 음고, 음량, 배음들의 에너지 변화의 상관관계

마지막으로 위 세 가지 변수가 시간의 흐름에 따라 어떤 상관 관계를 가지는지 분석하였다. [그림 11] 을 보면 음고 그래프 기울기의 변곡점을 지날 때마다 점선으로 구분해 놓은 것을 볼

수 있다. 우선 음고와 음량의 변화는 같은 비율로 이루어 지지 않음을 알 수 있다. 음고가 높아질 때 음량이 커졌다 작아지며 음고가 낮아질 때 음량은 작아진 상태에서 유지된다. 다음은 배음과 다른 매개변수와의 상관관계이다. 1-3-5배음의 변화는 음의 크기 변화에 비례하는 모습을 보여주며, 2-4배음은 음의 높이 변화에 반비례하는 모습을 보여준다.

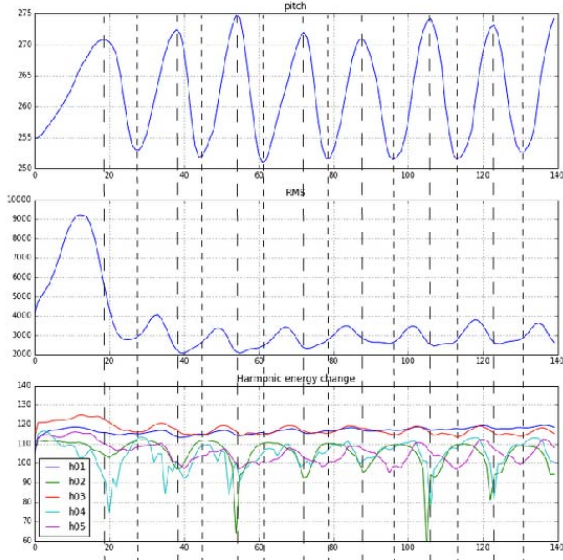


그림 11. 요성 시 음고, 음의 크기, 배음들의 에너지 변화와의 상관관계[14]

## 2.4. 피리 요성 필터 설계

분석된 정보를 바탕으로 피리 요성의 필터를 디자인 했다. 피리의 평소리에 음고, 음의 크기, 배음들의 에너지 변화와 관련한 정보들을 연결시켜 피리 요성의 소리에 가까워질 수 있도록 필터를 설계하였다.

### 2.4.1. 음고 변화

[그림 8]에서 볼 수 있듯이 요성의 음고변화는 정현파와 비슷한 형태를 가진다[그림 12]. 주기함수 T는 사인함수를 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$p(t) = \frac{1}{2}(\sin(sx - \frac{1}{2}\pi) + 1) \quad (1)$$

s는 요성 효과 주기의 길이를 나타낸다.

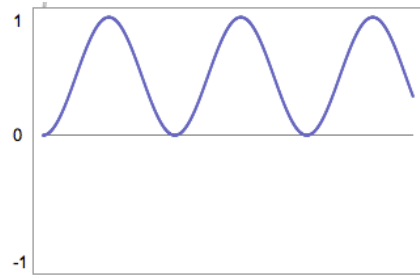


그림 12. 음고변화 필터

### 2.4.2. 음량 변화

요성에서 음량 변화 또한 정현파를 이용하여 표현할 수 있다 [그림 13]. 주기함수 T는 사인함수를 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y = \frac{1}{2}(\sin(sx) + 1) \quad \text{for } 0 < x < \frac{\pi}{s} \quad (2)$$

$$y = 0.5 \quad \text{for } \frac{\pi}{s} < x < \frac{2\pi}{s}$$

s는 요성 효과 주기의 길이를 나타낸다.

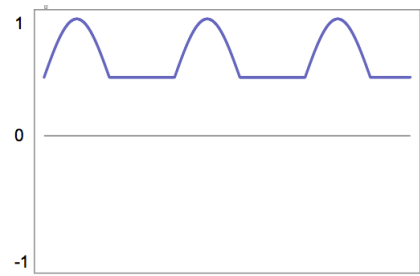


그림 13. 음의 크기 변화 필터

### 2.4.3. 음의 배음 변화

배음들의 에너지 상태를 변화시키기 위해 노치 피크 필터를 사용하였다. 2배음과 4배음에 해당하는 주파수를 밴드의 음고 변화와 반비례하도록 높이거나 낮추어 배음들의 에너지 변화가 [그림 10]과 유사해 지도록 설계하였다.

## 2.5. 설문조사

피리요성 필터를 이용하여 만들어진 소리가 얼마나 사실적으로 실제 피리요성 소리를 닮고 있는지 알아보기 위해 설문조사를 실시하였다[15]. 세 가지의 소리를 준비해 놓고 그 중 어느 것이 가장 피리의 요성과 유사하다고 생각했는지 물어보았다. 세 가지의 소리는 각각 음고만 변화시킨 소리, 음고와 음량을 변화시킨 소리, 그리고 음고, 음량, 배음 에너지를 변화시킨 소리이다. 설문에 응답한 음악을 전공하는 21명 중 6명이 음고만 변화시킨 소리를 선택했고 10명이 음고와 음량을 변화시킨

소리를 선택했으며, 4명이 음고, 음량, 배음을 변화시킨 소리를 선택했다. 1명은 세 가지 소리 모두 요성과 유사하지 않다고 답했다[표 2].

표 2. 설문 조사 결과

	선택자 수 (명)
음고만 변화시킨 소리	6
음고, 음량을 변화시킨 소리	10
음고, 음량, 배음을 변화시킨 소리	4
모두 요성과 유사하지 않음	1

조사 결과를 보면 음고, 음량을 변화시킨 소리가 음고만을 변화시킨 소리보다 피리 요성과 더 유사하다고 생각되어진 것을 알 수 있었다. 음고, 음량, 배음을 모두 변화시킨 소리를 선택한 사람은 상대적으로 가장 적었는데, 이는 배음을 변화시키는 방법적인 면에서 개선이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 3. 결론

이상 피리의 구조 및 음향적 특징에 대해 알아보았다. 특히 요성 연주 시 음고, 음량, 그리고 배음들의 에너지 변화와의 상관관계에 대해 분석해 보았다. 그 결과 피리의 음색에서는 더블 리드와 페관에서 보이는 음향 특성을 볼 수 있었으며 요성 시에는 음고 뿐만 아니라 배음과 음량이 복합적으로 변하는 특징을 발견할 수 있었다. 이를 바탕으로 피리의 평소리에 요성 시 나타나는 음향적 특징을 대입해 보았으며, 그 결과 음고와 음량을 변화시킨 소리가 피리의 요성과 가장 유사하다고 생각한 사람이 가장 많았다. 더 유사한 소리를 얻기 위하여 배음의 에너지를 변화시킬 개선된 방법이 요구되어지며, 이번 연구가 소리의 서스테인 구간에 집중하였다면 어택 구간과 릴리즈 구간에 대한 추가적인 연구도 필요한 시점이다. 이렇게 향후 더욱 개선될 사실적이면서도 효율적인 피리 요성 필터는 국악 가상악기와 같은 디지털 국악기에 적용되어 국악 고유의 연주 표현 기법을 디지털로 구현하는데 효율적인 방안을 제시할 것이다.

### 참고문헌

[1] Lindemann, E. Music synthesis with reconstructive phrase modeling. *IEEE Signal Processing Magazine*, March 2007, pp. 80~91.  
 [2] 남상봉, 이강성, 유리나, 이돈웅. 대금의 청소리 출몰 지점에 나타나는 음색변화에 대한 연구. *HCI Korea International Conference*, February 2014.

[3] [www.praat.org/](http://www.praat.org/)  
 [4] <http://anasyntn.ircam.fr/home/english/software/audiosculpt>  
 [5] <http://www.klingbeil.com/spear/>  
 [6] <https://www.python.org/>  
 [7] <http://cycling74.com/>  
 [8] Fransson, F. *The Source Spectrum of Double-Reed Woodwind Instruments*, 2nd ed. New York: Springer Verlag. Chapters 15 and 16, 1967.  
 [9] Strong, W. J. and Plitnik, G. R. *Music, Speech, and High Fidelity*, 2nd ed. Provo, Utah: Soundprint, Chapter 6, 1983.  
 [10] <http://www.phy.mtu.edu/~suits/clarinet.html>  
 [11] <https://ccrma.stanford.edu/~carmenng/220a/demo/>  
 [12] Thomas D. R., Richard, M. and Paul, A. W. *The Science of Sound*, 3rd Edition. Addison Wesley Publishing, 2002, 257p.  
 [13] 김혜지, 윤혜정, 조형제, 김준. 국악기 피리의 소리합성을 위한 음색분석 연구. *Journal of Korea Multimedia Society* Vol. 9, No. 7, July 2006, pp. 801-807.  
 [14] Nam, S., Lee, S., Lee, G. and Lee, D. Sound Synthesis of the Piri Focusing on Yoseong Sound. *International Journal of Applied Engineering Research* Vol. 9, No. 24, 2014, pp. 24783-24791.  
 [15] <https://docs.google.com/forms/d/1rLudomSZC34OT-4XLNtuz-uN3m-pt9ViLR8AR2zCB60/viewform?c=0&w=1>



#### 남 상 봉

현 서울대학교 강사 및 예술과학센터 선임 연구원. 신시내티대학교 음악 박사. 서울대학교 음악대학 작곡과 졸업 및 음악학 석사 (작곡)



#### 이 선 진

현 서울대학교 음악대학 작곡과 박사 과정. 프랑스 INA-GRM 협력 Paris-Est Marne-laVallee 대학교 전자음악 석사. 국립 프랑스 페르피냥 음악원 전자음악 작곡 졸업.



**이강성**

현 광운대학교 교양학부 교수. 광운대학교 전자계산기 공학 박사. 서울대학교 음악학 석사(작곡).



**이돈웅**

현 서울대학교 음악대학 작곡과 교수, 서울대 예술과학센터장. 전 (사) 한국 작곡가협회 이사장.