

색소폰 리드의 종류에 따른 음색변화 연구

홍의식, 김준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어과

A study on timbre analysis of saxophone sound by different reeds

Euy shick Hong, Jun Kim

*Department of Multimedia, Graduate School of Digital Image &Contents,
Dongguk University(antaresax@naver.com)

- 논문지 구분 : 한국 공학·예술학회 (분야 : 사운드)
- 키워드 : 색소폰, 합성리드, 마우스피스, 음색분석, 소리 합성, 피지컬 모델링, 국악기, 태평소, 갈대 리드, 싱글리드,

● E-mail : antaresax@naver.com

색소폰 리드의 종류에 따른 음색변화 연구

A study on timbre analysis of saxophone sound by different reeds

요 약

본 연구는 리드악기에서 음색을 결정짓는 중요한 요소인 리드재질에 따른 소리와 특징을 비교분석하였다. 인터페이스(Interface)개발 및 소리 합성, 피지컬 모델링(physical modeling synthesis)합성을 위한 기초 선행 연구로, 각기 다른 형태와 재질로 제작된 리드의 음색 특징을 스펙트럼(spectrum)분석을 통해 비교하였고 마우스피스의 베플(baffle)과 리드의 재질에 따른 음색 차이를 소리발생 과정에 따라 음색분석을 해보았다. 그 결과 마우스피스의 베플과 리드의 재질에 따라 높은 배음들의 음량과 노이즈의 차이가 두드러졌고 리드의 재질에 따른 서로 다른 특징들을 나타내고 있었다. 이러한 리드와 마우스피스의 형태와 재질에 따른 음색특징과 당잉에 의한 음색변화는 색소폰의 음색을 결정짓는 중요한 특징들이다. 이러한 특징들을 중심으로 다양한 리드악기의 음색을 분석하였다.

Abstract

In this paper, Mouthpieces and reeds have significant factors of saxophone sound that advanced by musicians and music companies. on study that analysis of reeds are preceding research for music interface production and instrument improve with sound synthesis. analyzed sound has primary feature that various loudness of harmonics, metallic edge tone and noisy sound by reeds of different material with baffle of mouthpieces. such results are important factors for music interface production and instrument improve. follow on study, reed has significant feature by various materials about timbre of saxophone.

I. 서 론

시대의 한계를 뛰어넘는 최첨단 기술의 발전과 더불어 융합, 복합, 퓨전, 하이브리드 등의 신조어 등이 등장하기 시작하였다. 이미 모든 분야에서 “창조”라는 관점보다는 융, 복합이란 용어를 앞세우면서 특정 관점의 경계선을 무의미하게 만들고 있다. 이미 서양에서는 “퓨전”이라는 장르를 내세우면서 다양한 장르의 음악이 발전하였고 장르뿐만 아니라 음악에 실험적이고 창의적인 다른 미디어나 공학

테크놀로지를 접목시켜 다양한 문화 콘텐츠 연구에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 세계 각 선진국에서는 자국 민속음악을 중심으로 새로운 기술과 미디어를 접목시켜 새로운 콘텐츠를 개발하고 있으며 민속음악의 독창성과 우월성을 내세워 악기개발 및 악기개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 더불어 컴퓨터의 발전을 통해 다양한 악기 음색에 대한 연구가 발전되면서 가상악기나 전자악기 등이 발전하였고 다양한 악기들이 소리 합성, 피지컬 모델링합성 연구를 통해 가상악기로 재현되고 있다. 악기재현에 있어서 음색분석은 소리 합성, 피지컬모델링 합성에서 가장 중요하게 연구되어야 할 부분이며 FFT)스펙트럼 분석을 통한 배음분석은 악기의 음향적 구조와 함께 실제 악기음색 재현과 창조적인 사운드를 만들어내는 중요한 분석방법이다.

현재 색소폰의 독창적이고 다양한 음색은 많은 연주자들의 노력과 연구에 의해 발전되었고, 모든 장르에서 활발히 사용되고 있다. 또한 기차를 표현하는 소리나 새의 울음소리, 20분 이상 음이 끊어지지 않게 연주하는 방법(순환호흡) 등은 새로운 장르를 지향하는 음향적 효과를 가지고 있기도 하다.

색소폰은 본체(body)와 마우스피스(mouth piece), 리드(reed)로 구성되어 있으며, 마우스피스와 리드에 의해 소리가 발생된다. 다양한 음색과 주법의 발전으로 인해 색소폰의 음색에 중요한 역할을 하는 마우스피스의 형태와 재질도 다양하게 발전되었는데 고무나 플라스틱으로 제작되던 마우스 피스가 알루미늄, 은, 구리 등의 금속으로 제작되면서 무겁고 금속적인 음색을 갖게 되었고, 배플(baffle)의 모양과 각도에 따라 날카로운 하이음과 엣지톤(edge tone)을 강조하게 되었다. 색소폰에 사용되는 리드는 일반적으로 갈대로 제작되었으나 현재에 이르러 합성리드나 플라스틱리드등이 개발되면서 또 다른 음색을 나타내고 있다.

이러한 다양한 소리와 음색을 표현하는 색소폰의 음색분석을 통해 서양 리드악기, 국악 리드악기 등의 소리발생과정을 연구하고 독창적이고 한국적인 음색을 가지고 있는 국악기의 음색합성 및 소리연구를 위해 피지컬 모델링 합성 방식을 사용할 계획이다. 본 연구는 국악기 소리 합성에 앞서서 진행되는 선행 연구로 다양한 음색을 지닌 색소폰을 선택하여 두 과정으로 음색을 분석하였다.

첫째, 악기 음색의 기본적 요소인 배음들(harmonics)의 FFT(Fast Fourier Transform)스펙트럼 분석을 통하여 다양한 재질의 리드와 다른 배플 형태의 마우스피스의 음색차이를 비교분석 하였고, 두 번째로 색소폰의 소리발생과정에서 텅깅에 의한 소리가 발생하는 어택(attack)부분을 통하여 음색변화를 연구하였다.

[표 1] 색소폰의 특징적인 주법

	Growing Tone	Edge Tone	Multiphonic Tech	Altissimo
특징	중저음을 많이 가진 노이즈성의 거친 음색	현재 컨트롤러리 제즈에서 많이 연주됨 소리가 날카롭고 하이음이 많이 포함되어 있다	다양한 운지를 통해 울음소리 같은 음향적 사운드 연주	악기의 배음을 이용해 기본 음역이상을 연주하는 테크닉

1) Fast Fourier Transform: 시간과 주파수의 도메인을 서로간의 도메인으로 변환하는 것을 가능하도록 해주는 푸리에 변환에서 신호만을 골라 계산시간을 줄인 변환법이다.

2) baffle : 마우스피스의 음색을 결정짓는 가장 큰 요소로 바람이 들어가는 마우스피스 입구안쪽의 형태를 일컫는다.

II. 리드와 마우스피스의 종류

1. 리드의 중요성

리드는 악기의 소리를 발생시키는 부분으로 소리의 음량, 음색 등을 결정짓는 중요한 부분이다. 리드를 사용하는 국악기와 서양악기에도 리드만이 가진 유사한 특징을 나타내고 있다. 리드악기는 일반적으로 싱글리드와 더블 리드로 구분되는데 색소폰, 클라리넷 등이 싱글리드 악기이며 싱글리드는 마우스피스와 함께 사용된다. 더블리드의 경우 마우스피스 없이 리드만으로 소리를 발생시키는데 오보에, 태평소, 피리, 등이 널리 연주되고 있다.

리드악기 중에서도 개성이 강한 색소폰의 다양한 음색과 현란한 테크닉은 마우스피스와 더불어 리드에 의해 표현되기 때문에 연주자 및 악기 회사들은 리드에 관련된 다양한 연구를 진행하고 있다.

특히, 많은 리드악기 연주자들은 본인의 소리를 찾는데 중요함을 느끼며 많은 시간을 연주에 편한 리드를 제작하거나 출시되어있는 리드를 구입하여 사용한다. 일반적으로 갈대나무(cane)를 손질하여 리드를 만들게 되는데 나무의 결이나 재질이 일정하지 않다보니 미세한 손질을 통해서 연주자에게 맞게 손질하여 사용하고 있다.



리드 한통을 구입하면 보통 1-2개정도만이 좋은 상태로 바로 연주에 사용하여도 손색이 없을 정도이고 나머지 정밀한 손질과 관리가 필요하다. 본인에게 맞지 않는 리드를 사용할 경우 리드 강도의 변화에 의한 호흡이 불안정하게 되고 텅잉이나 비브라토 테크닉에 어려움이 생긴다. 또한 스크(squeak)등의 불안정한 톤과 텅잉에 의해 운지에도 어려움 생길 수 있다.

이러한 불편함을 해소하기위해 리드의 구조가 일정한 합성 재질의 리드가 제작되었고 요즘에 이르러서는 플라스틱 재질도 상용화되어 널리 사용되고 있다.

2. 리드의 종류 와 특징

리드는 기본적으로 filed cut 과 unfiled cut 으로 나눌 수 있는데 french cut이나 america cut으로도 불린다. 이는 리드를 제작한 나라를 지칭하여 사용하는 것이기도 하다.

[표 2] 리드의 재질과 종류

	filed cut (French cut)	unfiled cut (america cut)	plasticover	Fibracell reed
디자인				
재질	cane	cane	plastic + cane	fibracell
장르	클래식	제즈, 블루스, 펑키	가요, 팝, 트로트	모든 장르
특징	무게감, 반응속도	강한 엣지톤	엣지톤, 시원한 하이음	엣지톤과 컨트롤
회사	vandoreen, rico	vandoreen, lavoz	rico	fibracell

두 리드는 컨트롤에 있어 차이를 가지고 있는데 filed cut의 경우 반응 속도와 무게감이 있어서 클래식 연주자들이 많이 선호하는 편이다. unfiled cut의 경우는 주로 파퓰러한 대중음악이나 제즈 등에서

주로 사용되며 개성 있고 시원한 음색을 가지고 있다. 하지만 연주자의 개성에 따라 다르게 사용되기도 한다. 리드의 수명, 재질, 음색 등 여러 가지 단점이 보완되면서 하이브리드 리드가 개발되기도 하였는데 대표적인 리드가 plasticover이다. 이 제품은 기존의 갈대나무에 플라스틱을 입혀서 리드의 많은 단점을 보완하였다. 기존의 갈대리드에 비해 2-3배정도의 긴 수명을 유지하면서도 본래의 탄성을 유지하는 장점을 가지고 있다. 하지만 본인에 맞도록 리드를 손질할 수 없는 단점이 있다. fibracell reed는 합성 섬유 재질로 만들어진 리드로 갈대 리드의 특징을 가지면서 반영구적 수명과 온도나 습도 등 갈대리드의 단점을 보완하여 제작 되었다. 일반적인 경우 연주전 리드를 물에 2-3분정도 담가 수분을 충분히 공급하여 사용하는데 본 리드의 경우 별도의 리드 셋팅 시간을 필요로 하지 않고 바로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 갈대리드에 비해 경제적이면서 음색의 개성을 가지고 있다.

3. 배플의 형태에 따른 마우스 피스 종류와 특징

리드와 더불어 색소폰의 음색을 결정짓는 마우스피스의 경우 재질과 배플의 형태에 의해 음색 변화에 많은 차이가 있다. 일반적으로 가장 널리 사용되는 마우스피스는 하드러버, 플라스틱 재질로 배플의 형태가 완만한 형태를 취하고 있다. 클래식, 재즈, 군악대 등에서 가장 무난하게 사용되고 있다. 점차 다양한 장르가 발전하면서 자연스럽게 색소폰 음색에도 변화가 생기기 시작하였다. 일렉기타, 신디사이저 등 전자악기가 등장하면서 음색적, 음량적인 한계를 뛰어넘는 더욱 강하고 거칠고 개성 있는 음색을 필요로 했다. 마우스피스의 재질이 금속으로 바뀌었고 배플의 형태도 변하기 시작하였다. 다양한 재질의 하이베플 형태의 피스들이 등장하였고 가장 대표적인 피스들이 Dukof, Jumbo jaba A45등이 있다. 하이베플의 피스는 강한 옛지톤과 시원한 고음을 가진 매력적인 피스이다. 그러나 빈약한 저음과 호흡 컨트롤, 개성이강해서 앙상블이나 오케스트라 합주에서는 사용하지 않는 편이다.

[표 3] 배플의 형태에 의한 마우스피스 특징

	A35	Meyer	비고
배플 형태			요즘은 다양한 모양의 배플 형태가 제작되고 있으나, 기본적인 두 형태를 기본으로 제작되고 있다.
재질	하드러버	하드러버	금, 은, 스테인레스, 플라스틱 등으로 제작되기도 한다
주법	피스를 얇게 물고 연주	피스를 1-2cm물고 연주	배플의 형태가 높은 경우 세심한 컨트롤과 배플이 낮은 피스에 비해 마우스피스를 적게 물고 연주하여야 컨트롤이 용이하다.
특징	시원한 고음과 옛지톤을 가지고 있음	부드러운 중저음의 톤과	장르에 따른 여러 가지 피스를 사용한다.
회사	Vandoreen,	Meyer, Selmer	현재에 이르러 수많은 회사제품 출시

A45는 Jumbo Jaba A45 모델을 바탕으로 제작된 피스로 현재 재즈, 블루스, 컨템포러리 재즈, 팝, 가요에서 널리 사용되고 있다. 하이베플의 마우스피스의 형태를 지니고 있으며 재질은 보통 구리, 은, 황동 등에 의해 제작된다. 하이베플의 형태를 취하면서도 곡선으로 마무리되어 강하면서도 부드러운 음색을 지니고 있고 소리의 무게감을 더 깊이해주는 특징이 있다. Vandoreen Jumbo Jaba A35는 일반적인 하이베플피스인 메탈피스의 상식을 넘어 하드러버 재질로 하이베플 피스를 제작하여 현재 널리 사용되고 있다. 이 피스의 특징은 메탈피스에 비해 경제적인 가격을 형성 하고 있고 메탈피스와 같은 시원한사운드로 개성 있는 옛지(edge)톤을 가지고 있다. 배플의 형태가 직각으로 되어있어 보다 거칠고 날카로운 소리를 가지고 있다. Meyer는 재즈의 역사라고 할 수 있는 하드러버 피스이다. 재즈가 태동된 이래 가장 많이 연주되는 피스로 따뜻하고 부드러운면서 중저음이 강한 특징을 가지고 있다. 배플이 완만하여 부드럽고 따뜻한 톤을 연주하는데 용이하나 옛지톤이나 거친하이음, 강한 사운드를 표현하기에는 위의 피스들에 비해 다소 약한 모습을 보여주고 있다.

II. 리드의 음색 분석 비교

1. 음색분석에 사용된 마우스피스 와 리드

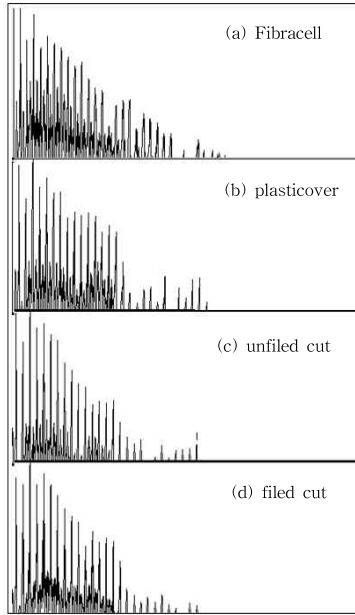
리드의 음색 분석에는 가장 일반적인 플라스틱 재질과 완만한 배플을 가진 Meyer피스와 플라스틱 재질에 하이베플피스인 A35피스를 사용하였다. 이는 재질의 차이보다는 배플의 형태에 따른 음색변화의 차이가 두드러지기 때문이다. 위의 두 종류의 피스에 위에서 언급된 각각의 4종류 리드를 사용하여 리드의 음색적 특징을 규정하였다.

2. 마우스피스 배플과 리드재질에 따른 음색 분석

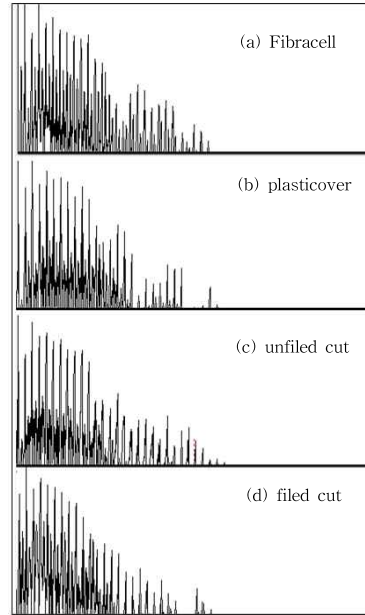
색소폰 연주시 소리발생 과정 중에서 시작부분의 음색 변화를 알아보기 위해 어택부분의 FFT스펙트럼을 분석하였다. FFT 스펙트럼 분석에 사용된 윈도우 사이즈(window size)는 1024이고, 윈도우 타입(window type)는 해밍(hamming)이다. 스펙트럼의 가로축은 0 에서 22000Hz의 주파수(Hz)이고, 세로축은 음량(dB)크기는 -90에서 0 dB이다. 사운드 샘플은 색소폰 튜닝음을 콘덴서마이크로 10초 가량녹음 후 어택부분을 사용하였다.

[표 4] Attack 부분배음 스펙트럼 분석비교

	Meyer	A35
Fibracell reed	1번째, 2번째, 4번째 배음 두드러짐, 많은 노이즈 14번째 배음에서 감소 후 다시증가	2번째, 4번째 배음 두드러짐, 많은 노이즈 16번째 배음에서 감소 후 다시증가
plasticover	2번째, 4번째 배음 두드러짐 빈약한 노이즈 16번째 배음에서 감소	20번째 배음에서 급 감소
unfiled cut (america cut)	2번째, 4번째 배음 두드러짐 적은 노이즈 17번째 배음에서 감소	완만한 용기, 12번째 배음에서 음량값 차이
filed cut (French cut)	2번째, 4번째 배음 두드러짐 많은 노이즈 16번째 배음에서 감소	완만한 용기를 형성하고 있다. 27번째 배음 특징



[그림 1] meyer 피스의 스펙트럼 분석



[그림 2] A35피스의 스펙트럼 분석

[그림 1]의 (a)에서 fibracell 리드는 전체적으로 높은 음량의 배음을 확인할 수 있으며 특히 2번째, 4번째 배음이 두드러짐을 확인할 수 있다. 이는 일반적인 관악기 스펙트럼 용기의 형태로 14번째 배음에서 감소하다가 15번째 다시 원래의 용기를 형성한다. 다른 리드에 비해 많은 노이즈를 확인할 수 있는데 이는 거친 톤이나 옛지 사운드를 예상할 수 있다. (b)는 plasticover 리드로 2번째, 4번째 배음에서 두드러지고 (a)에 비해 적은 양의 노이즈를 확인할 수 있다. 16번째 배음에서 감소하다가 미세한 변화 후 사라진다. 이는 보다 안정적인 부드러운 톤을 예상할 수 있다. 가장 일반적인 리드 중에 하나인 (c) unfiled cut 리드는 2번째, 4번째 배음이 두드러지고 17번째 배음에서 서서히 감소한다. 전형적인 관악기 스펙트럼 용기를 보여주고 있다. 부드러운 소리를 예상할 수 있으며 완만한 배플 모양을 예상할 수 있다. (d) filed cut 리드는 2번째, 4번째 배음에서 두드러지며 적은 노이즈를 가지고 있다. 상대적으로 적은 음량과 배음을 가지고 있다. 중저음이 강한 사운드를 예상할 수 있으며 안정적인 하모니를 목적으로 하는 클래식이나 군악대에서 많이 사용되는 음색이다.

[그림 2]의 (a)는 [그림 1]의 (a)에 비해 많은 노이즈를 가지고 있으며 더 높은 음량을 가지고 있고 전체적인 용기 모양도 비슷한 형태를 취하고 있다. 2번째, 4번째 배음이 두드러지고 16번째 배음에서부터 급작스럽게 감소 후 다시 증가 하게 된다. 많은 노이즈는 직각모양의 배플과 fibracell 리드의 재질의 영향인 것을 확인할 수 있고 거칠고 강한 사운드를 예상할 수 있다. 이 음색은 화려하고 다이내믹이 많은 음악에 많이 사용된다. (b)는 plasticover 리드로 2번째, 4번째 배음이 두드러지고 20번째 배음에서 급격히 감소한다. [그림 2]의 (a)에 비해 많은 양의 노이즈를 확인할 수 있다. 이는 옛지톤과 거친 음색을 예상할 수 있다. 또한 [그림 1]의 (b)의 보편 같은 plasticover 리드에 다른 배플의 모양에 의해 노이즈 양과 스펙트럼 용기와 배음의 특징을 비교분석 할 수 있는데 배플의 모양과 각도가 음색에 많은 영향이 있다는 것을 확인할 수 있다. 이는 다른 리드에도 동일하게 적용되는 것을 예상할 수 있다.

[그림 2]의 (c)unfiled cut 리드는 15번째 배음에서 급격히 감소하게 되며 서서히 작아진다 한다. 전형적인 관악기 스펙트럼 용기를 보여주고 있다. 배플에 의해 노이즈를 가지고 있으며 실제 연주시 약간 중저음이 강하고 고음 이 부족한 음색을 가지고 있다. 편안하고 부드러운 음악에 어울리는 음색이다. [그림 1]의 (c)보다는 높은 배음과 노이즈를 가지고 있다. 이를 통해 피스의 배플의 모양만으로도 음량의 크기를 예상할 수 있다. (d) filed cut 리드는 완만한 용기를 가지고 있고 27번째 배음에서 미세하게 증가 후 감소한다. 가장 완만한 스펙트럼 용기는 부드럽고 안정적인 음색을 예상할 수 있다. 불규칙적인 노이즈양은 리드와 피스가 조화롭지 않음을 예상할 수 있다. 일반적으로 마우스피스와 리드의 성향이 안 맞는 경우 컨트롤에 어려움이 있고 사운드가 안정적이지 않아 연주에 많은 어려움이 있다. 전체적으로 A35피스는 meyer 피스에 비해 높은 음량과 노이즈를 가지고 있는데 이는 배플의 모양에 따른 음색변화를 예상할 수 있고 강하고 거친 음색을 예상할 수 있다. 다양한 재질의 리드에 따른 서로 다른 모양의 스펙트럼 용기는 색소폰만이 가진 독특하고 개성 있는 음색의 특징을 결정짓는 요소라고 볼 수 있다.

[표 5] 리드 분석에 따른 음색과 특징

	filed cut (French cut)	unfiled cut (america cut)	plasticover	Fibracell reed
장점	부드럽고 안정적인 음색	시원한 톤과 중저음	큰 음량, 옛지톤과 시원한 하이음, 긴 수명	반영구적인 수명과 모든 음역대에서 쉬운 컨트롤
단점	빈약한 하이음	환경에 민감	거친 노이즈	강한 옛지톤
장르	클래식, 오케스트라	재즈, 팝, 펑키	가요, 팝	가요, 팝, 재즈

IV. 결과 및 결론

리드악기에서 음색을 결정짓는 중요한 요소인 리드의 종류에 따른 음색 변화의 특징을 밝히고자 본 연구를 진행하였다. 서로 다른 재질의 리드와 마우스피스의 배플의 모양에 따른 음색의 특징을 스펙트럼 분석을 통해 비교하였고 녹음된 사운드 샘플 중에서 소리발생부분인 어택부분의 특징을 비교 분석하였다. 어택부분은 텅잉에 의해 음색이 결정되는데 리드와 더불어 음색을 결정하는 중요한 부분이다. 마우스피스의 배플의 모양에 따라 노이즈와 스펙트럼 용기 모양의 차이가 두드러졌고 음량의 차이도 나타내고 있다. 이는 높은 음량과 강하고 거친 옛지톤을 예상할 수 있다. 완만한 배플의 마우스피스는 매우 안정적이고 부드러운 사운드를 예상할 수 있겠다. 리드는 재질에 따라 다양한 특징을 가지고 있는데 일반적인 갈대나무 리드의 경우 전형적인 관악기 스펙트럼 용기를 보여주고 있고 적은 노이즈와 완만한 용기는 부드러운 톤을 예상할 수 있다. 합성 리드 경우 강한 옛지톤을 예상할 수 있는 노이즈와 배음의 특징을 확인할 수 있었다. 마우스피스의 배플이 완만한 경우 가공된 리드보다는 갈대 나무로 제작된 리드가 안정적인 음색임을 보여주고 있고 배플의 각도에 의한 노이즈의 차이를 확인할 수 있었다. 리드의 재질에 따른 서로 다른 특징들은 음색 연구에 있어 매우 중요한 부분이며 이러한 특징들을 중심으로 다양한 악기의 음색적 특징을 연구 계획 중에 있다.

위 분석 결과와 같이 리드의 재질에 따른 다양한 음색적 특징들을 연구 분석하여 다른 악기의 리드 개발 및 개선에 목적을 두고 있으며 하이브리드 리드, 합성리드 연구는 리드 손질에 많은 시간을 투자하는 단점을 최소화할 수 있는 중요한 요소들이다. 또한 국악기 리드연구 및 음색 분석은 인터페이스 개발, 악기개량 및 소리 합성, 퍼지컬모델링합성에 최우선적으로 연구되어야 할 부분들이다.

참고문헌

- [1] 홍의식 “Saxophone의 음색분석을 통한 오디오-비주얼 작품 제작 연구”석사학위논문, 동국대학교 2010
- [2] 홍의식 “색소폰 마우스피스의 종류에 따른 음색변화 비교 연구”(한국공학예술학회 학술 발표대회논문집, 2014)
- [3] 홍의식 “기적의 비법 색소폰”(리얼라이즈 출판사, 2015)
- [4] 김영민 “쟁가리의 배음구조와 주법에 의한 음색변화연구”(한국공학예술학회, 2010)
- [5] 고수진 “거문고와 가야금, 어쿠스틱 기타의 배음구조에 따른 색청연구”(한국공학예술학회, 2012)
- [6] John M.Grey, “Multidimensional perceptual scaling of musical timbres”, The Journal of the Acoustical Society of America, 1977
- [7] William A. Sethares, “Tuning Timbre Spectrum scale, Springer”, 2004
- [8] Donald E. Hall “ Musical Acoustics”. 2001
- [9] John Strawn, “Digital Audio Signal Processing An Anthology”. 1985
- [10] Mark Ballora “Essentials of Music Technology” 2003
- [11] Curtis Roads, The Computer Music Tutorial, MIT Press, Cambridge, 1996
- [12] Perry R. Cook, Music, Cognition, and Computerized Sound “An Introduction to Psychoacoustics” 1999
- [13] Mary Simoni, Analytical Methods of Electroacoustic Music, 2006