

# 한국악기의 음색 특징 비교 연구

조희영, 김준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

## A Study on the Timbre Features of Korean Traditional Musical Instruments

Hee Young Cho, Jun Kim

Department of Multimedia, Graduate School of Digital Image & Contents, Dongguk University

### 요 약

소리의 3요소인 음고, 음량, 음색을 인간이 감지하는 척도로 나타낼 때 음고와 음량은 1차원 척도로 가능하지만, 음색은 여러 물리량에 관계하여 복잡하게 변화하므로 다차원으로만 표현이 가능하다. 본 연구는 한국악기들의 음색 특징을 비교하기 위하여 가야금, 거문고, 대금, 피리, 해금의 5가지 악기의 8가지 연주법을 스펙트럼 도심, 단시간 영점횡단 빈도, 단시간 에너지 함수를 분석하여 비교하였다. 본 연구는 한국악기들의 음색의 다차원 척도 구성을 위한 첫 단계로 향후 더 다양한 음색 특징들의 분석이 이루어져야 할 것이다.

### I. 서 론

소리는 물체의 진동에 의하여 생긴 음파(sound wave)가 귀청을 울리어 청각을 일으키는 것이다. 소리의 특징은 음파의 진동수, 진폭, 모양에 의하여 결정되는데, 이것들은 각각 음고(pitch), 음량(loudness), 음색(timbre)으로 인간에게 지각된다. 이러한 소리의 요소들은 인간이 감지하는 정도를 나타내는 심리적 척도로 표현이 가능한데, 음고와 음량은 각각 멜(mel)<sup>1)</sup>과 손(sones)<sup>2)</sup>의 1차원 척도를 사용한다. 그러나 음색

은 여러 물리량에 관계하여 복잡하게 변화하므로 1차원 척도로 표현이 불가능하고 다차원으로 표현하여야 한다.

음색에 관한 음향학적 특징에 관한 연구는 전통적으로 스펙트럼(spectrum)의 특징에 관한 연구와 시간적 특징의 연구, 두 가지 범주로 나뉜다. 음색에 관한 스펙트럼의 연구는 100년 이상 이루어지고 있고, 이는 음색을 나타내는 특징으로 인식되고 있으며, 소리의 시간적 특징은 소리의 음색을 인지하는데 큰 영향을 미친다는 연구 결과들이 근래에 보고되고 있다.

한국악기의 음색에 관하여 스펙트럼 분석을 위주로 한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 음색의 인간의 지각에 관하여는 막연히 '청아한 소리'라던가 '둔탁한 소리' 등 추상적인 표현들이 많이 사용되고 체계적인 연구가 부족한 것이 사실이다. 이에 한국악기의 음색에 관한 연구의 필요성을 느껴 현재 가장 많이 사용되고 있는 한국악기들의 음색의 특징을 비교하여 보았다. 본 연구는 한국악기의 음색의 다차원 척도 구성을 위한 첫 단계의 연구이다.

- 1) 멜(mel): 1000Hz의 순음을 1000mel의 단위를 설정하는 것을 기본으로 하여 1000Hz의 음보다 두 배 높다고 느껴지는 음을 2000mel로 정하고, 그보다 반쯤 낮다고 느껴지는 음에 500mel의 값을 지정하는 방법으로 소리 크기를 표현하는 단위.
- 2) 손(sones): 40폰(phons)을 1손(sones)으로 맞추고, 정상적인 청각을 가진 사람이 그 n배로 느끼는 소리를 n손으로 지정한 사람의 청각에 맞춘 음량의 단위.

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

## II. 한국악기의 음색 특징 비교

### 2.1. 음색에 관한 선행 연구

음색은 보통 소리의 색(color), 또는 질(quality)라는 단어로 대응되기도 하지만 이러한 단어들도 음색의 본질을 명확하게 나타내 주지는 못한다. 1960년 미국표준협회(The American National Standards Institute)에서는 음색을 “음량과 음고에 있어서는 똑같은 두 개의 소리를 듣는 이가 다르다고 구별할 수 있게 하는 청각각의 속성”이라고 정의하였고, 또한 “음고, 음량, 음가와 다른 판단 기준을 사용하여 두 소리가 다르다고 판단하는 청각각 속성”이라는 정의도 있다.

스펙트럼과 음색의 관계에 관한 연구는 다양한 방법으로 지속적으로 이루어지고 있다. 헬름홀츠(Helmholtz, 1954)가 사운드 배음의 음량의 관계가 음색을 결정하는 중요한 요소라는 것을 밝혀낸 이후, 사운드 스펙트럼에 관하여 중요한 연구들이 많이 발표되었다. 스트롱(Strong, 1963)은 오케스트라 악기의 스펙트럼들을 포르만트(formant)란 단어를 사용하여 해설하고, 오보에(oboe), 클라리넷(clarinet), 바순(bassoon)의 음색은 처음 몇 개의 배음들에 의해 결정된다는 것을 증명하였다. 스펙트럼의 무게 중심을 보여주는 스펙트럼 도심(spectrum centroid)은 소리의 밝기(brightness)를 나타내주는 척도인데, 음색의 주요한 척도 기준이 된다고 밝혔다. (Grey, 1977; Lichte, 1941; von Bismarck, 1974).

소리의 시간적 특성이 음색에 주는 영향에 관한 연구도 많이 이루어지고 있다. 스트롱(1963)은 트럼펫(trumpet), 플루트(flute), 트롬본(trombone), 프렌치 호른(french horn)을 포함하는 많은 오케스트라 악기들의 소리가 기본적으로 그것들의 시간 엔벨로프(temporal envelope)에 의해 구분된다고 발표하였다.

그레이(Grey)는 최초로 음색을 세가지 척도로 측정하여 다차원 공간속에 배치시키고 이를 'Timbre Space'라고 칭하였다. Grey에 이어 Hourdin, Charbonneau, & Moussa(1997)과 Wessel(1979) 등도 음색의 다차원 척도에 관한 연구를 계속하였다.

### 2.2. 한국악기 음색표본

음색분석을 위하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 한국악기인 가야금, 거문고, 대금, 해금, 피

리 총 5가지의 한국악기의 8가지 연주기법을 샘플링 주파수 44.1kHz, 16bit로 양자화된 웨이브 파일(wave file)로 샘플링(sampling)하여 노멀라이즈(normalize)하였다. 분석에 사용된 샘플의 음고는 모두 임종(林, ≒ 평균율 B♭3)으로, 임종은 한국악기의 합주 시 조율할 때 기준이 되는 음고로, 모든 악기가 비교적 안정된 음을 연주하는 것이 가능하기 때문에 본 연구에 적합하다.

표 1.은 한국악기의 음색 특징의 비교 분석을 위하여 사용한 악기와 연주기법이다.

악기명	연주기법
가야금	뜯는 기법
	팅기는 기법
거문고	뜯 <sup>3)</sup>
	대집 <sup>4)</sup>
대금	청을 사용하지 않고 연주한 일반 소리
	청을 사용하여 연주한 청소리
피리	-
해금	-

표 1. 분석에 사용된 악기와 연주기법

### 2.3. 한국악기의 음색 특징 비교 분석

디지털화 된 음악신호를 시간단위의 프레임(frame)으로 나누었고 프레임 사이즈는 1024이다. 각 프레임으로부터 악기 음색의 특징을 나타낼 수 있는 특성벡터를 추출하여 한국악기의 음색을 분석하였다. 본 연구에서 분석한 요소는 스펙트럼 도심(spectral centroid), 단시간 에너지함수(short-time energy), 단시간 영점횡단 빈도함수(short-time average zero-crossing rate)이다.

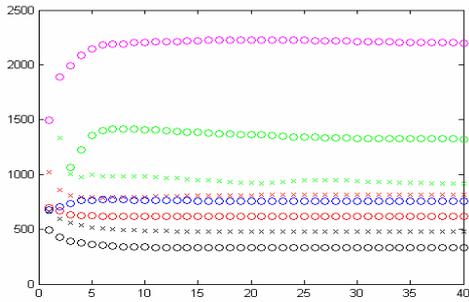
#### 3.2.1 스펙트럼 도심(spectral centroid)

스펙트럼 도심은 푸리에 변환을 통하여 추출된 스펙트럼의 무게중심을 구한 것으로, 일반적으로 소리의 밝기(brightness)를 나타내는 척도가 된다. 악기의 소리신호가 높은 주파수를 많이 포

3) 뜯: 거문고 연주 기법 중 술대로 안쪽으로 뜯는 방법

4) 대집: 거문고 연주 기법 중 술대를 높이 들어 위에서 아래로 강하게 치는 방법

함하고 있으면 스펙트럼 도심 값은 높아지고, 밝은 소리를 낸다. 그림 1.은 각 한국악기의 연주기법별 스펙트럼 도심의 시간별 변화를 나타낸 것이다.



위로 부터 **o피리** **o대금(청소리)** **x대금(일반)**  
**x거문고 (뜰)** **o해금** **o거문고(대점)**  
**x가야금(뜰는주법)** **o가야금(튀기는주법)**

그림 1. 각 악기별 시간에 따른 스펙트럼 도심

피리가 가장 높은 주파수 요소들을 포함하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 청을 울리면서 연주한 대금, 청소리 없이 연주한 대금, 거문고 뜰, 해금, 거문고 대점, 뜰는 주법으로 연주한 가야금 순으로 높은 주파수의 요소를 많이 포함하고 있으며, 튀기는 기법으로 연주한 가야금이 낮은 주파수 요소들을 많이 포함하고 있는 것으로 나타났다. 이는 실험을 한 악기 음색 중 피리의 소리가 가장 밝고, 가야금을 튀기는 주법으로 연주하였을 때, 가장 어두운 음색을 가지고 있다고도 표현할 수 있다.

### 3.2.2. 단시간 영점횡단 빈도 (Short Time Average Zero-Crossing Rate)

단시간 영점횡단 빈도함수는 시간의 변화에 따라 각 시간에 소리신호가 진폭축의 0을 지나는 빈도를 나타내는 것이다. 이 함수는 소리신호의 주파수 성질을 나타내는 척도로 소리 주파수의 유동성 정도를 나타내며 소리의 노이즈 포함 정도를 나타낸다.

그림 2.는 발현악기의 연주기법 별 단시간 영점횡단 빈도이다. 실험에 사용된 가야금과 거문고는 모두 비슷한 패턴으로 변화하여 어택(attack) 부분의 노이즈가 가장 많이 포함되어 있고, 중간 부분은 비교적 정적인 소리가 지속되다 점차 노이즈의 함량이 많아지고 있음을 알 수 있다. 가야금과 거문고 모두 연주 기법에 관계없이 단시간 영점횡단 빈도는 비슷한 양상으로 변화하고

있음을 알 수 있다.

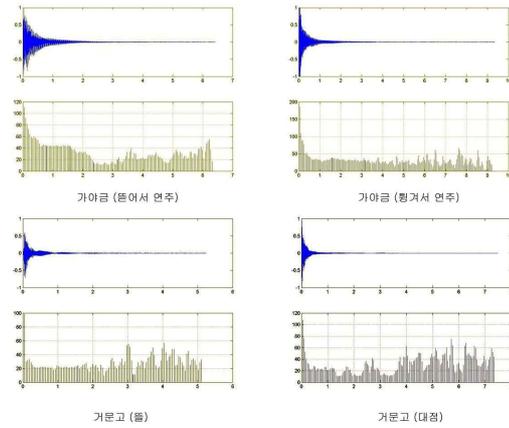


그림 2. 발현악기의 시간에 따른 단시간 영점횡단 빈도의 변화

그림 3.은 관악기와 해금의 단시간 영점횡단 빈도이다. 관악기의 경우 악기별 단시간 영점횡단 빈도의 양상의 차이가 있는 것으로 나타났다. 대금의 경우 청을 사용하지 않고 연주한 일반 소리의 경우 첫 어택부분을 제외하고 일정한 단시간 영점횡단 빈도를 가지고 있는 반면, 청을 울리면서 연주한 경우 주파수의 성분이 유동적인 앞부분에 비하여 뒷부분은 주파수가 정적인 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 청을 울리면서 대금을 연주할 경우 소리를 내는 처음 부분에 청의 울림이 많고 뒤로 갈수록 청이 적게 울리는 특성에 기인한 것으로 보인다. 피리는 단시간 영점횡단의 빈도가 가장 유동적이었으며, 실험에 사용된 유일한 활현악기인 해금은 가장 고정적인 단시간 영점횡단의 양상을 보였다.

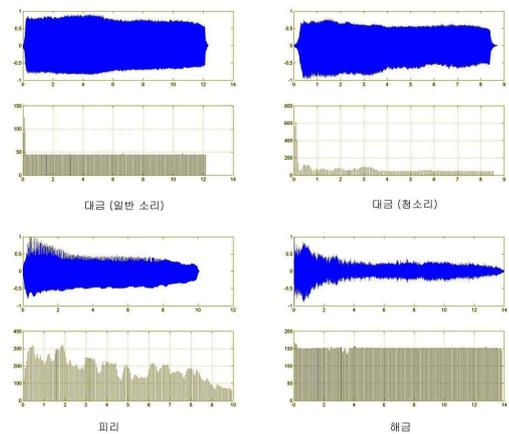


그림 3. 관악기와 해금의 시간에 따른 단시간 영점횡단 빈도의 변화

### 3.2.3. 단시간 에너지 함수(Short-time Energy Function)

단시간 에너지 함수는 소리의 시간에 따른 진폭의 변화를 나타내는 척도로 음량 엔벨로프(amplitude envelope)와 동일하다.

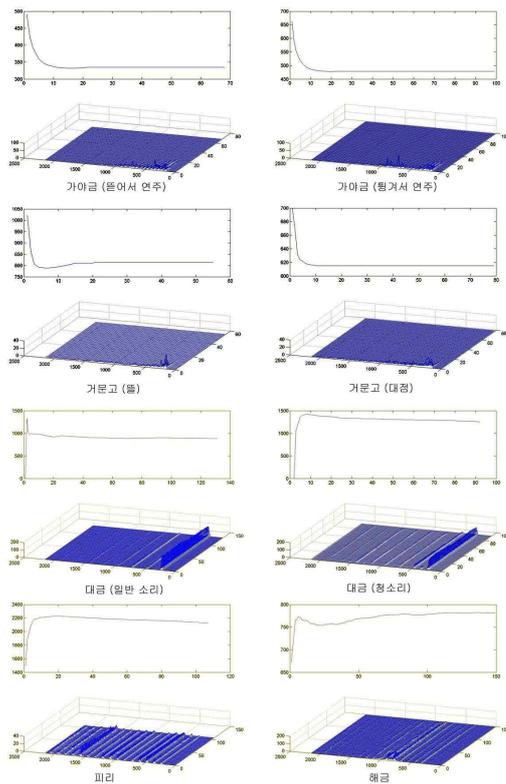


그림 4. 각 악기별 시간에 따른 단시간 에너지의 변화

그림 4.는 각 악기별 시간에 따른 단시간 에너지의 변화를 보여주고 있다. 각 악기군 별로 비교해 보면 발현악기인 가야금과 거문고는 최대의 진폭에서 시작하여 급격히 감소한 후 일정한 값으로 유지되고 있다. 관악기인 대금과 피리는 초기에 진폭이 급격히 증가한 후 일정한 값으로 유지되고 있었으며, 실험군 중 유일한찰현악기인 해금은 관악기와 비슷한 패턴을 보이고 있다.

### III. 결 론

본 연구는 한국악기의 음색의 특징을 스펙트럼 도심, 단시간 영점횡단 빈도함수, 단시간 에너지 함수를 사용하여 살펴보았다. 소리의 밝기를 나타내는 척도가 되는 스펙트럼 도심의 측정결과 피리가 가장 밝은 음색을 가지고 있으며 가야금

을 튕기는 소리가 가장 어두운 음색을 가지고 있는 것으로 나타났다. 단시간 영점횡단 빈도함수는 사운드 주파수의 유동성을 나타내는 척도인데, 해금이 가장 고정적이고 현악기군이 비교적 유동적이었다. 특히 대금의 경우에는 일반적으로 연주할 때에는 사운드 주파수가 고정적인데 반하여 청소리를 내면서 연주하는 경우에는 사운드 주파수가 유동적이라는 것이 실험결과 밝혀졌다. 시간에 따른 음량의 변화인 음량 엔벨로프(amplitude envelope)는 단시간 에너지 함수에 의해 구할 수 있는데, 악기군에 따라 각각 다른 특징을 보였다. 가야금, 거문고와 같은 현악기는 소리가 최대 음량에서 시작되며, 대금, 피리, 해금과 같은 관악기는 소리가 시작되는 초기에 음량이 급격히 증가한 후 일정한 음량을 유지하는 것으로 나타났다.

음색이라는 것은 매우 복잡한 물리적 요소들을 함께 가지고 있고 그것을 측정하는 기준을 만드는 것에 어려움이 많아서 음색에 관한 많은 요소들이 아직도 미지수로 남아있다. 본 연구에서는 현재 한국음악에 가장 많이 사용되고 있는 5개의 악기의 8가지 기법에 관하여만 연구하였는데, 앞으로 더 포괄적인 악기들의 연구가 필요하다. 또한 음색의 특징을 나타내는 특성 벡터로 스펙트럼 도심, 단시간 에너지 함수, 단시간 영점횡단 빈도함수, 세 가지 특징 요소를 살펴보았는데, 음색을 나타낼 수 있는 더 많은 특징 요소들에 관한 연구가 필요하다. 이렇게 연구된 결과를 토대로 향후 한국악기 음색을 다차원 척도 구성을 완성하는 데 사용될 것이다.

### IV. 참고문헌

- [1] Giulio Agostini, Maurizio Longari, Emanuele Pollastri, "Musical Instrument Timbres Classification with Spectral Features", EURASIP Journal on Applied Signal Processing 2003:1, 5 - 14, 2003
- [2] John M. Grey, "Multidimensional perceptual scaling of musical timbres", The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 61, Issue 5, pp. 1270-1277, 1977
- [3] Olivier Lartillot, Petri Toivainen, "A Matlab Toolbox for Musical Feature Extration from Audio", Proc. of the 10th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-07), 2007
- [4] Curtis Roads., The Computer Music Tutorial, MIT Press, Cambridge, 1996

[5] Xin Zhang, W. Ras Zbigniew, "Analysis of Sound Features for Music Timbre Recognition," 2007 International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering (MUE'07), pp.3-8, 2007