

# 거문고 인터페이스 제작을 위한 현의 진동에 관한 연구

조희영, 윤지원, 김준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

## A Study on the Vibration of String for Geomungo Interface

Heeyoung Cho, Jiwon Yoon, and Jun Kim

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

### 요 약

본 연구는 거문고의 물리적 모델링(physical modeling)을 위한 인터페이스 제작에 관한 것으로, 인터페이스 설계의 기초 단계에 해당하는 현의 진동 감지에 관한 부분을 다루고 있다. 연구결과, 일반 현악기의 목재 브리지(bridge)를 인터페이스에 세우고 그 측면에 피에조 필름 트랜스듀서(piezo film transducer)를 대어 진동의 데이터를 받아들였을 때, 실제 현의 진동과 가장 유사한 것으로 나타났다. 실험에 사용된 현의 다양한 소재는 피에조 트랜스듀서를 통한 진동 감지 시 대부분 일정한 결과로 나타났으며, 소리의 발생과 소멸을 제어하기 위한 의미있는 데이터 추출에서도 만족할만한 성과를 얻었다. 현의 진동에 관한 이 같은 연구는 앞으로 현악기 인터페이스와 관련된 연구를 위한 중요한 기초 자료가 될 것이며, 악기별 특성을 고려한 연주 데이터 분석 수치가 적용된다면 그 응용 범위는 크게 확장 될 수 있을 것으로 본다. 연주자의 연주 데이터 분석을 통한 기준 수치 산출에 관한 연구로부터 음고 및 음색을 컨트롤할 수 있는 제어부의 연구에 이르기까지 거문고 인터페이스 제작에 관한 연구는 계속 이어질 것이다.

### I. 서 론

현재 우리나라의 음악교육과정을 살펴보면 국악기에 관한 내용의 비중이 과거에 비해 많이 확대되어 있음을 알 수 있다. 그러나 이 같은 실정에도 불구하고 일반인들이 실제의 생활에서 국악기를 접할 수 있는 기회는 극히 제한되어 있으며 서양악기의 경우와 비교한다면 매우 열악한 것이 현실이다.

일반인들이 기존의 전통 국악기를 학습하고자 할 때 직면하게 되는 가장 큰 문제점은, 연주방법이 어렵고 숙련되기까지 많은 시간을 투자하여야 한다는 점일 것이다. 쉬운 방법으로 흥미롭게 연주할 수 있는 국악기를 개발하여 보급할 수 있다면 국악 연주의 저변확대 또한 기대할 수 있을 것으로 본다.

연구의 배경은 거문고의 물리적 모델링을 위한 인터페

이스 제작으로, 기존의 개량 거문고나 전자 거문고(Electric Komungo)<sup>1)</sup>와는 다른 것임을 분명히 해 두고자 한다. 인터페이스 제작을 위한 설계 자체는 제작의도를 벗어나지 않는 한도 내에서 사용의 편의성과 음악적 표현 효과의 확장 등을 고려하여 진행되었다. 본 연구는 인터페이스의 설계 및 제작을 위한 기초 단계에 해당하는 것으로, 인터페이스 설계 중 현의 진동을 받아들이는 발현부를 중점적으로 다루고 있다. 현재까지 현의 진동에 관한 연구들이 다양한 분야에서 진행되어 왔으나, 현악기의 진동을 효과적으로 감지할 수 있는 방법에 관한 연구는 충분히 이루어지지 못한 실정이다. 본 연구는 현의 진동을 감지하여 증폭하기 위한 일반적인 픽업(pickup)의 용도와 차별화된 것으로, 각 현의 진동을 개별적으로 감지한 후 분석결과를 통해 음악적 의미를 가지는 이벤트(event)를 추출해내고자 하는 목적을 가지고 있다. 거문고의 특성을 고려한 인터페이스 디자인에 따라 안쪽에 해당하는 브리지(bridge)를 현부에 세우고, 이 브리지에

본 연구는 2005년도 서울시 산학연 협력사업의 지원으로 수행되었음.

1) 김진희, <http://www.jinhikim.com/projects.html>.

피에조 트랜스듀서(piezo transducer)<sup>2)</sup>를 부착하는 방식으로 연주 데이터를 받아들이는 인터페이스 제작은 연구의 궁극적인 목표가 된다. 본 논문은 그 첫 번째 단계로, 피에조 트랜스듀서에 의한 현의 진동감지 결과 분석과 음악적 이벤트 추출 등의 과정은 Max/MSP를 통해 구현된다.

## II. 거문고 인터페이스 디자인

### 2.1 전통 거문고의 구조

거문고는 6개의 줄을 가지고 있는 현악기이다. 몸체를 구성하는 울림통은 길이 150cm, 폭 19cm 정도의 오동나무로 만들어진 앞판과 밤나무로 만들어진 뒤판으로 제작된다. 몸체 위에는 높이가 각각 다른 10cm 정도 길이의 껍 16개가 붙어있으며, 6개의 현 중 3개는 껍에, 3개는 안죽 위에 얹어져 있다. 오른손에 해죽(海竹)으로 만든 술대를 끼고 현을 뜯거나 내리쳐 연주하며, 왼손으로 껍을 짚어 음고를 조절한다. 몸체의 술대가 부딪치는 부분에는 잡음을 줄이기 위한 가죽을 대는데 이를 ‘대모’라고 한다 (<그림 1>). 거문고는 3옥타브에 이르는 음역을 가진 악기로 국악 현악기 중 음역이 가장 넓다.

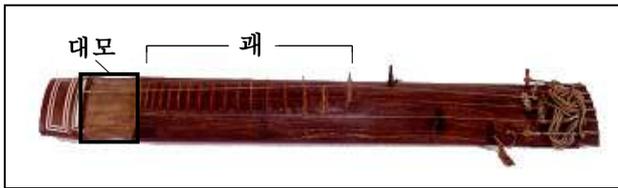


그림 1. 전통적인 거문고의 모습 및 구조

### 2.2 거문고 인터페이스의 구조

거문고 인터페이스는 기존의 거문고를 개량하여 제작되었다. 크게 발현을 위한 현부와 음고 생성, 농현(弄絃), 퇴성(退聲) 등 음고 변화와 관계된 연주기법 구현을 위한 제어부의 두 부분으로 구성된다. 기존의 거문고로부터 계승된 부분은 현의 수(6현)와 간격, 술대와 같은 체를 이용한 연주방식 등이며 악기의 전체 크기와 구조 등은 연주의 편의성과 효과적인 현의 진동감지 측면을 고려하여 개량되었다.

현부의 제어방식은 술대를 이용하여 줄을 뜯는 방식으로 거문고 본래의 연주 방식을 따르며, 제어부는 손가락의 압력전달에 의해 제어된다. 현부에 센서로 사용된 피에조 트랜스듀서는 현의 진동을 감지하기 위한 용도로

쓰이며, 압력 센서(press sensor)는 대점을 감지하기 위한 용도로 추가된다. 제어부의 슬라이드 센서는 음정 제어를 위한 용도로 사용되며 음고 변화와 관계된 다양한 연주 기법에도 활용된다(표 1 참고).

	현 부	제 어 부
역할	소리의 발생을 구현	음고 변화에 관한 연주기법 구현
제어 방식	술대를 이용한 발현	손가락을 이용한 압력 전달
사용된 센서	<b>피에조 방식: 현의 진동 감지</b> (*프레스 센서: 대점 <sup>3)</sup> 감지)	슬라이드 센서: 음정 제어

표 1. 거문고 인터페이스의 각 부분별 제어 방식

본 연구는 거문고 인터페이스의 전체 구조 중 현부의 피에조 트랜스듀서를 이용한 부분을 중심으로 하며, 현의 진동 감지에 관한 내용을 그 핵심으로 한다.

## III. 현의 진동감지 연구

### 3.1 현의 진동에 관한 선행연구

#### 3.1.1 픽업

픽업은 악기로부터 진동을 감지해내기 위한 용도로 고안된 장치이다. 현의 진동을 전기적인 신호로 바꾸어 증폭하기 위한 목적을 가진 전기 기타(electric guitar)나 전자 바이올린(electric violin)의 픽업은 그 대표적인 예로, 전기 기타에 사용되는 마그네틱 픽업(magnetic pickup)<sup>4)</sup> 또는 바이올린의 브리지에 사용되는 피에조 픽업(piezo pickup)<sup>5)</sup> 등이 잘 알려져 있다. 전자와 같이 소리의 증폭을 목적으로 하는 일반적인 픽업의 경우 픽업 하나로 모든 현의 진동을 한꺼번에 감지해내는 것이 일반적이나, 본 연구에서는 연주 정보로부터 각 현의 개별적인 소리 발생을 감지해야 하는 이유로 이와 같은 일반적인 형태의 픽업 타입을 활용할 수 없다.

#### 3.1.2 멀티 트랜스듀서 픽업(multi-transducer pickup)

각 현에 대한 독립적인 신호 처리 및 증폭을 하려면 현마다 개별적인 채널을 통해 작동하는 픽업을 요구하게 되는데, 이러한 용도로 고안된 것이 멀티 트랜스듀서 픽업이다. 멀티 트랜스듀서 픽업을 사용한 제품으로는 Zeta

3) 대점(大點): 술대로 줄을 세게 내려치는 거문고 고유의 연주기법.

4) 현의 진동에 의해 유도된 자기장의 변화를 이용한 픽업.

5) 현과 직접 접촉하여 받아들인 진동을 전기 신호로 변환하는 픽업.

2) 피에조 트랜스듀서(piezo transducer) : 금속판 사이에 얇은 압전 소자를 삽입한 부품으로 소리, 진동, 압력 등을 감지. 압전 소자는 압력을 가하면 전기를 발생시키고, 교류 전기를 가하면 진동하는 성질이 있다.

Music<sup>6)</sup> 또는 Barbera Transducer Systems<sup>7)</sup>의 현악기 픽업 등이 있다. 여기서 더 나아가 GK-3 hexaphonic pickup<sup>8)</sup>을 사용하는 Roland의 Virtual Guitar와 같은 기타 신디사이저 시스템과 같이 각 현으로부터 발생한 아날로그 신호를 분석하고 이로부터 얻어낸 소리의 강도와 음정을 다시 디지털 미디신호로 변환하여 주는 제품도 있다. 그러나 거문고를 비롯한 국악 현악기의 현 진동을 감지하기 위한 픽업에 대한 시도는 찾아보기 어려운 실정이다. 본 연구에서는 거문고의 현 진동을 감지하기 위한 멀티 트랜스듀서 픽업을 자체 제작하는 것을 목표로 한다.

### 3.2 현의 진동 감지 요소

현 단계에서 위와 같은 멀티 트랜스듀서 픽업을 통해 현의 진동으로부터 감지해 내고자 하는 요소는 다음의 표 2와 같다.

감 지 요 소	용 도
트리거(trigger)	소리 발생의 정보를 얻기 위한 것으로, 미디(MIDI)의 경우 노트 온(note on) 메시지에 해당
현의 어택(attack) 강도	미디 메시지의 벨로시티(velocity) 정보에 해당

표 2. 센서로 측정된 현의 진동에서 감지하려는 요소

### 3.3 감도에 영향을 미치는 요소

현의 진동 감지 실험에서 감도에 영향을 미치는 요소는 매우 다양하나, 특별히 이와 같은 연구에서는 센서가 부착되는 위치가 매우 큰 중요성을 가진다. 본 연구에서는 현악기의 특성상 효과적인 측정을 위한 다양한 실험과 선행 연구를 참고하여 피에조 트랜스듀서를 브리지에 부착하기로 한다. 따라서 진동에 대한 감도 실험은 사용된 피에조 트랜스듀서의 종류와 브리지의 형태, 현의 재질, 그리고 브리지 상에서 트랜스듀서의 위치 등으로 분류하여 진행되었다.

#### 3.3.1. 피에조 트랜스듀서

본 연구에서는 현의 진동감지를 위해 피에조 트랜스듀서를 채택하였다. 마그네틱 픽업을 사용할 경우 현의 진동에 관한 안정적인 감도를 유지할 수 있을 것이나, 최종적으로 멀티 트랜스듀서 픽업의 형태가 되어야 하므로 거문고에서의 각 현의 간격을 고려할 때 자기장의 간섭을 받을 우려가 있어 적합하지 않은 것으로 판단된다.

사용된 피에조 트랜스듀서는 Measurement specialties

의 Piezo Film Sensor 이다 (<그림 2>). 이 필름(film) 형태의 트랜스듀서는 공기의 진동 전체에 대해 무지향성으로 작동하지 않고, 접촉하고 있는 브리지 자체의 진동에 대해서만 매우 민감한 반응을 보인다. 또한 인접한 다른 현 진동에 의한 간섭이 거의 없고, 신호를 받아들일 때 증폭 이득(amplification gain) 설정에 의한 감도조절이 용이하여 본 연구를 위해 가장 적합하다는 결론을 얻었다.

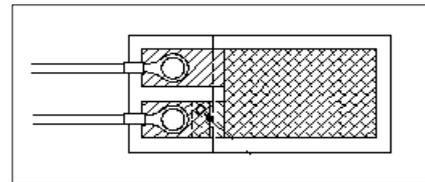


그림 2. 피에조 필름 센서

#### 3.3.2. 브리지의 형태

브리지는 현과 직접 닿아있는 부분으로서 현의 진동이 일차적으로 전달되는 곳이다. 연구를 위해 준비된 피에조 필름 트랜스듀서의 형태와 부착 위치 등은 브리지의 형태와 밀접한 상관관계를 가지고 있다. 실험에 사용된 트랜스듀서는 대부분 납작한 형태의 것으로, 센서부의 마모 및 고유형태의 변형을 피하면서도 적절한 감도를 유지할 수 있도록 설치되어야 한다.

일반적인 현악기에 사용되어 현의 진동을 잘 받아들이고 있는 것으로 알려져 있는 얇은 목재 재질의 브리지는 이 같은 형태적 특성을 가진 피에조 트랜스듀서를 부착하기에 적합하다. 바이올린의 브리지를 사용한 결과, 피에조 트랜스듀서가 현과 직접 접촉하지 않더라도 브리지를 통하여 데이터를 높은 감도로 받아들이면서도 인접한 현의 진동에는 거의 반응하지 않는 것으로 나타났다. 나아가 각 현마다 브리지를 장착하여 독립적으로 사용하면 멀티 트랜스듀서 픽업을 구현할 수 있다.

#### 3.3.3. 현의 재질

최종적인 거문고 인터페이스의 음원은 실제의 현에서 발생한 사운드가 아닌 가상음원이 될 것이므로, 현 진동의 감도 실험에서 현의 재질로 사용될 수 있는 소재를 제한할 필요는 없다. 본 실험에서는 실제의 거문고 현과 어쿠스틱 기타의 현 그리고 전자기타의 현 등 다양한 재질의 현을 사용하여 감도를 비교하여 보았다. 실험 결과 재질에 따라 조금씩 다른 음색을 보였으나, 인터페이스로 사용하기 위한 이벤트 추출에는 영향을 주지 않는 정도의 차이에 불과하였고, 따라서 실제 인터페이스 제작의 경우 현의 재질에 크게 구애받지 않을 수 있음을 알 수 있다.

6) <http://www.zetamusic.com>.

7) <http://www.barberatransducers.com/>.

8) <http://www.roland.co.jp/products/jp/GK-3/index.html>.

### 3.3.4. 트랜스듀서의 위치

현의 진동 감지를 위해 피에조 트랜스듀서를 브리지에 부착할 경우, 현이 닿는 부분에 흠을 파 내장시키거나 브리지의 바닥에 끼워 넣는 식으로 설계하기도 한다. 그러나 본 실험에서 적절한 감도 및 안정적인 데이터 확보를 유지하기 위한 트랜스듀서의 위치는 <그림 3>과 같이 브리지의 측면으로 결론지어졌다.

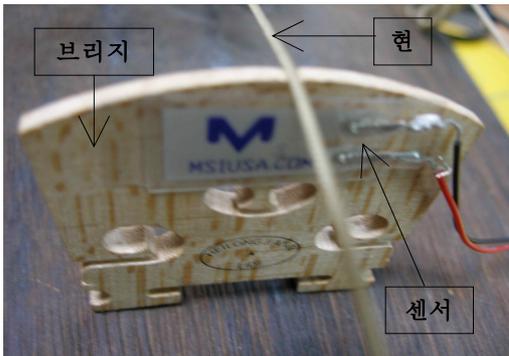


그림 3. 브리지에 장착된 피에조 트랜스듀서

## 3.4 현의 진동감지

### 3.4.1 현의 진동감지 실험

실험은 <그림 3>과 같이 목재 판 위에 세워진 바이올린 브리지에 하나의 현을 올리고, 브리지의 측면에 부착된 피에조 트랜스듀서로부터 진동 데이터를 얻는 형식으로 이루어졌다.

본 연구에서는 피에조 트랜스듀서의 특성 파악 및 정확한 측정 데이터를 얻기 위하여 디지털이저를 이용하는 대신 <그림 4>와 같이 트랜스듀서의 출력을 1/8" 마이크로폰 단자에 연결한 후 컴퓨터의 오디오 인터페이스를 통해 사운드 리코딩 소프트웨어를 이용하여 데이터를 기록하였다. 그 결과, 현의 진폭과 시간에 대응하는 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.



그림 4. 트랜스듀서의 출력단

### 3.4.2 마이크로폰으로 녹음된 데이터와의 비교

<그림 5>는 전문 연주자의 실제 거문고 연주를 녹음한 데이터이고, <그림 6>은 현의 진동감지 실험에서 피에조 트랜스듀서를 통해 얻은 데이터이다.

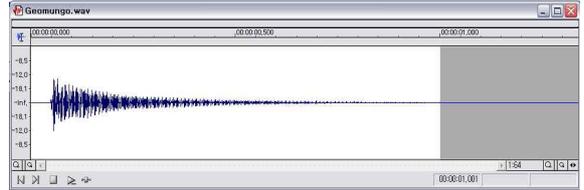


그림 5. 마이크로폰으로 녹음된 거문고 소리 파형

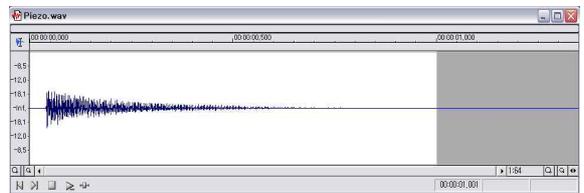


그림 6. 피에조 트랜스듀서로 측정된 파형

두 그림의 비교를 통해 현의 진동감지 결과 실제 사운드의 웨이브 파형과 매우 흡사하게 나타나고 있는 것을 확인 할 수 있다.

### 3.4.3 현의 진동감지 데이터 분석

다음은 거문고 현의 진동과 매우 유사하게 나타난 위의 데이터를 가지고 Max/MSP를 통하여 음악적인 이벤트, 즉 음이 발생한 시점의 정확한 정보를 추출해내는 단계이다. 정확한 어택부분을 잡아 이벤트의 발생시점을 찾으려 할 경우 고려해야 할 요소는 다음 <표 3>과 같다.

	요 소	요소 적용 의미
1	노이즈 레벨	신호 처리 전 제거하려는 잡음의 최대 레벨
2	기준 레벨 (threshold)	음악적 의미를 가지는 이벤트의 최소 레벨
3	이벤트 지속시간	잡음이나 충격, 센서 오동작에 의한 오류방지를 위해 의미 있는 데이터로서의 최소 지속시간 설정
4	이벤트 간 간격	서로 다른 이벤트를 구분해내기 위한 시간간격 설정

표 3. 측정된 현의 진동에서 감지하려는 요소

<그림 7>은 Max/MSP로 구현된 이벤트 추출 알고리즘의 예를 보여준다<sup>9)</sup>. 이 알고리즘을 이용하면 노이즈 레벨(A), 기준 레벨(threshold)(B), 이벤트 지속시간(C), 이

9) Cycling '74, "Jitter 1.6.3. Documentation", pp.247-256, <http://www.cycling74.com>.

벤트 간 간격(D)을 설정할 수 있고, 이벤트가 추출된 경우(F) 그에 해당하는 소리의 크기(E) 또한 얻을 수 있다.

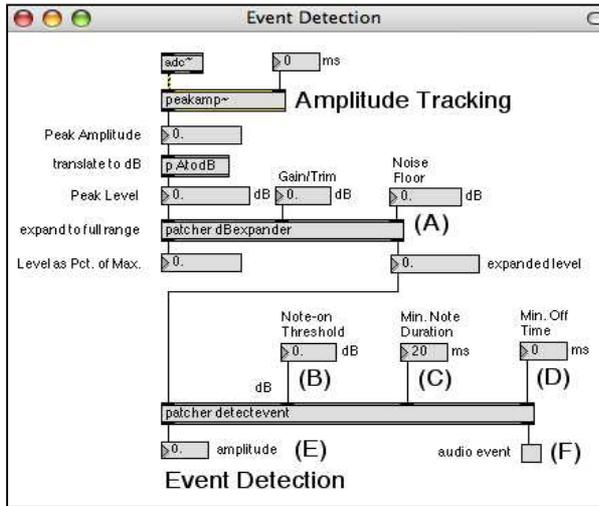


그림 7. Max/MSP로 구현된 이벤트 추출 알고리즘

여기서 더 나아가 스펙트럼의 변화까지 고려한 이벤트 추출을 하고자 한다면 'bonk~'와 같은 오브젝트를 이용해서도 쉽게 구현 가능하다.<sup>10)</sup> 또한 현악기의 특성상 뮤트(mute) 주법 정보를 추가하고자 할 경우, 기준치 이하로 떨어진 볼륨 레벨의 정보로부터 쉽게 추출해낼 수 있다.

거문고 연주자의 연주 데이터 분석을 통해 위 네 가지 요소의 기준 수치를 산출해 내는 과정은 후행 연구로 이어져야 할 중요한 과정이 될 것이다.

#### IV. 결 론

거문고의 물리적 모델링을 위한 인터페이스 제작 연구에서 가장 기초가 되는 단계는 소리의 발생을 컨트롤하는 현부의 모델링이다. 술대를 이용하여 현을 뜯도록 고안된 거문고 인터페이스의 현부는 소리의 발생시점과 어택 강도, 엔벨로프(envelope) 곡선을 얻을 수 있다는 점에서 매우 큰 중요성을 가진다.

실제 거문고 사운드의 강도와 엔벨로프 곡선에 부합하는 데이터를 얻어내고, 인터페이스의 현부 연주 데이터로부터 정확한 소리 발생시점을 찾아내기 위한 다양한 실험 결과 그 해답으로 얻은 것은 오디오 단자를 연결한 피에조 필름 트랜스듀서이다. 목재 바이올린 브리지에 현을 얹어 진행된 실험에서 정확한 데이터 확보를 위한 피에조 필름의 위치는 브리지의 측면으로 나타났으며, 현에 가까울수록 높은 효율을 보였다. 인터페이스의 현부를 통해 들어온 데이터는 실제 거문고 연주의 데이터와 매우 흡사한 결과를 보였으며, 이로부터 소리의 정확한 발생시

점과 어택 강도, 엔벨로프 곡선을 얻기 위한 음악적 이벤트 추출 과정 또한 시도되었다. Max/MSP를 통한 오디오 신호 분석을 기반으로 실제 거문고 연주 분석을 통한 기준 레벨, 이벤트의 지속시간 및 시간 간격에 관한 기준 수치 산출 연구가 병행된다면 인터페이스 현부 제작의 중요 기초 요소들은 모두 마련될 것으로 기대된다.

현의 진동을 감지하기 위한 연구의 결과로는 만족할만한 결과를 얻었으나, 보다 정확하고 안정적인 데이터를 얻기 위해서는 실험조건을 제한할 수 있는 더욱 구체적인 주변조건이 필요할 것이다. 현부의 완벽한 설계가 이루어진 이후의 연구는 피치와 농음, 퇴성, 대점 등 음정 컨트롤과 관계된 거문고 연주기법 구현과 대점 등의 연주 동작을 감지하여 음색을 추가할 수 있도록 고안될 제어부의 구현 등으로 이어질 것이다.

#### V. 참고문헌

- [1] Edgar J. Berdahl and Julius O. Smith III, "Active Damping of a Vibrating String", Proceedings of the International Symposium on Active Noise and Vibration Control, Adelaide, Australia, 2006.
- [2] Andrian Freed and Osman Isvan, "Musical Applications of New, Multi-axis Guitar String Sensors", Proceedings of the International Computer Music Conference, Berlin, Germany, 2000.
- [3] Loic Kessous, Julien Castet, and Daniel Arfib, "'GXtar', and interface using guitar techniques", Proceedings of the International Conference on New Interface for Musical Expression, Paris, France, 2006.
- [4] Dan Overholt, "The Overtone Violin: A New Computer Music Instrument", Proceedings of the International Computer Music Conference, Barcelona, Spain, 2005.
- [5] Cornelius Poepel and Dan Overholt, "Recent Developments in Violin-related Digital Musical Instruments: Where Are We and Where Are We Going?", Proceedings of the International Conference on New Interface for Musical Expression, Paris, France, 2006.
- [6] Miller Puckette and Ted Apel, "Real-time Analysis Tools for Pd and MSP", Proceedings of the International Computer Music Conference, pp.109-112, San Francisco, USA, 1998.
- [7] Chris Waltham and Andrzej Cottlicki, "A versatile sensor for string motion", <http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0605/0605201.pdf>, 2006.
- [8] 이성천, 『알기쉬운 국악개론』, 풍남, 2001.

10) <http://crca.ucsd.edu/~tapel/software.html>.