



## 저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

석 사 학 위 작 품

가야금의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한  
멀티미디어 작품 제작 연구  
(멀티미디어 작품 <Ineffable Balance>를 중심으로)

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원  
멀티미디어학과 컴퓨터음악전공

이 영 민

2 0 2 1

석사학위작품

가야금의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한

멀티미디어 작품 제작 연구

(멀티미디어 작품 <Ineffable Balance>를 중심으로)

이영민

지도교수 김준

이 작품을 석사학위 작품으로 제출함

2021년 6월

이영민의 음악석사(컴퓨터음악)학위 작품을 인준함

2021년 7월

위원장 정진헌



위원 김정호



위원 김준



동국대학교 영상대학원

# 목 차

I. 서론 .....	1
1. 연구 배경 및 목적 .....	1
2. 사례 연구 .....	3
II. 기술 연구 .....	5
1. 사운드 시스템 연구 .....	5
1) 사운드 시스템 .....	5
2) 테이프음악을 위한 사운드 디자인 .....	7
3) 실시간 사운드 프로세싱을 위한 음향효과 .....	8
① delay 음향효과 .....	9
② flanger 음향효과 .....	10
③ chorus 음향효과 .....	11
④ granular synthesis 음향효과 .....	12
⑤ pitch shift 음향효과 .....	14
⑥ FFT 분석을 이용한 phase vocoder 음향효과 .....	15
⑦ comb filter 음향효과 .....	17
2. 영상 시스템 연구 .....	19
1) 영상 시스템 .....	19
2) After Effect를 이용한 영상 제작 .....	21
3) Processing을 이용한 영상 제작 .....	23
4) Arena를 이용한 영상효과 .....	24



3. 공연 및 연동 시스템 .....	25
1) 공연 시스템 .....	25
2) 음악과 영상의 연동 시스템 .....	27
① OSC 통신을 이용한 음악과 영상의 연동 .....	27
② Syphon을 이용한 Processing과 Arena의 연동 .....	30
<b>III. 연구 기술의 작품 적용 .....</b>	<b>32</b>
1. 작품 소개 .....	32
2. 작품 구성 .....	34
1) 음악 구성 .....	34
2) 영상 구성 .....	36
3. 작품 내 사운드 및 영상 기술 적용 .....	38
1) 파트별 사운드 적용 효과 .....	38
① A, A' 적용 효과 .....	38
② B, C 적용 효과 .....	39
2) 영상 적용 효과 .....	40
4. 기술 적용의 예술적 효과 .....	41
<b>IV. 결 론 .....</b>	<b>42</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>44</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>47</b>
<b>부록-1 : &lt;Ineffable Balance&gt; 악보 .....</b>	<b>49</b>
<b>부록-2 : 첨부 DVD 설명 .....</b>	<b>53</b>

## 표 목 차

<표-1> munger~오브젝트 각 파라미터 설명 .....	12
<표-2> grain pitch 파라미터 값 정리 .....	13
<표-3> Arena 영상효과 .....	24
<표-4> 음악 구성 .....	34
<표-5> 영상 시나리오 .....	36
<표-6> A, A' 에 적용된 사운드 프로세싱 .....	38
<표-7> B, C 에 적용된 사운드 프로세싱 .....	39

## 그 립 목 차

[그림-1] 전통 가야금(좌) 과 25현 가야금(우) .....	2
[그림-2] 공연 <신폴이> 연출 송해인 .....	3
[그림-3] 사운드 시스템 설계도 .....	6
[그림-4] Max를 통한 사운드 프로세싱(상) 과 Logic pro X로 편집 된 사운드 파형(하) .....	7
[그림-5] delay 음향효과를 구현한 Max 패치 .....	9
[그림-6] flanger 음향효과를 구현한 Max 패치 .....	10
[그림-7] chorus 음향효과를 구현한 Max 패치 .....	11
[그림-8] granular synthesis 음향효과를 구현한 Max 패치 .....	12
[그림-9] pitch shift 음향효과를 구현한 Max 패치 .....	14
[그림-10] phase vocoder 음향효과를 구현한 Max 패치 .....	16
[그림-11] comb filter 음향효과 .....	17
[그림-12] comb filter 패치 구현 .....	18
[그림-13] 영상 시스템 .....	20
[그림-14] 음원의 주파수 스펙트럼 .....	21
[그림-15] 영상 인터랙션 구현 .....	22
[그림-16] Processing 영상제작 코드 예시 .....	23
[그림-17] 공연 시스템 설계도 .....	25
[그림-18] 무대 구성 .....	26
[그림-19] Max와 Processing의 OSC 통신을 위한 Max 패치 .....	27
[그림-20] Processing에서 OSC 라이브러리를 받는 모습 .....	28
[그림-21] OSC 라이브러리를 불러오는 코드 .....	28
[그림-22] OSC 통신을 하기 위한 주소 설정 코드 .....	29
[그림-23] OSC 입력 데이터를 변수로 설정하는 코드 .....	29
[그림-24] OSC 통신을 이용한 Max와 Arena의 연동 .....	30

[그림-25] Processing에서 Syphon을 사용하는 코드 ..... 31  
[그림-26] Syphon을 통해 공유된 영상소스 ..... 31  
[그림-27] 효과들에 의한 영상 변화 ..... 40



# I. 서론

## 1. 연구 배경 및 목적

19세기 초까지 전개된 산업혁명 이후로 모든 대중문화는 과학 기술의 발전과 더불어 성장해왔다. 21세기를 넘어 기술의 발전 속도는 더욱 빨라졌으며, 영상과 오디오, 도서 등 대부분의 매체들이 아날로그에서 디지털로 대체되었다. 이에 따라 두 가지 이상의 감각적 요소를 활용하여 감상할 수 있는 멀티미디어(multimedia)<sup>1)</sup> 예술 작품들 또한 대중들에게도 더 이상 낯설지 않은 시대가 되었다. 특히 청각적 매체는 시각적 정보를 함께 수용하여 감상하는 것이 어렵지 않다. 사람들은 공연장에서 음악을 감상할 때 스크린과 조명을 통해 시각적 정보를 함께 받아들이며, 휴대폰이나 컴퓨터 모니터를 통해 시청각 매체를 감상할 때 또한 청각적, 시각적인 정보를 함께 수용하여 스스로 인지하지 못하는 사이에 인터랙션(interaction)<sup>2)</sup>이 이루어지고 있다.

음악의 예술적 순수성을 고려할 때, 청각적 요소를 이용하여 듣는 사람으로 하여금 다양한 감각의 정보를 청취자 스스로 만들어낼 수 있게 하는 것이 바람직하다. 그 정보들 또한 감상자가 지니고 있는 기억과 경험에 따라 다르게 나타날 수 있는 것이 자연스럽다. 하지만 멀티미디어 콘텐츠(multimedia contents)<sup>3)</sup>는 기술의 발전에 따른 자연스러운 흐름이며 미래에는 더욱 발전할 가능성을 가지고 있다.

---

1) 다양한 형태의 미디어 정보가 혼합된 디지털 매체를 말한다. multi(다중, 복합)와 media(매체, 매개물)의 합성어로서, 컴퓨터가 처리할 수 있는 디지털 상태의 것을 포괄한다.

2) 2개 이상의 매체가 서로 영향을 미치는 작용으로, 상호작용을 뜻한다.

3) 오디오, 그래픽, 텍스트 등의 서로 다른 정보 전달 수단들이 통합된 것으로 다양한 정보기기를 통해 생산, 유통, 소비된다.

본 논문에서 설명하는 <Ineffable Balance>는 악기 연주와 동시에 실시간으로 프로세싱 된 사운드와 그에 반응하는 영상이 함께 보여질 수 있는 멀티미디어 작품이다. 악기 소리와 함께 실시간으로 상호작용(interaction)되어 나오는 변형된 소리가 단순한 어쿠스틱 사운드<sup>4)</sup>의 입체적인 효과를 주고, 음악에 반응하는 영상을 통하여 음악을 시각화하여 하나의 멀티미디어 작품을 만들어 내는 것에 초점을 두었다.

<Ineffable Balance>에 사용된 악기는 가야금 이다. 가야금은 풍류가야금, 산조가야금, 개량가야금으로 나뉘어 지고, 종류에 따라 음역대도 나뉘어 진다. 풍류가야금은 Eb2 - Ab4 , 산조가야금은 G2 - D5 , 개량가야금은 Eb2 - Ab5 의 음역대를 가지고 있다. 작품에서 사용한 가야금은 음역대가 가장 넓은 개량가야금으로, 25현 가야금을 사용하였다. 25현 가야금으로 표현하기 가장 좋은 음역대는 3옥타브에서 4옥타브 사이였으며, 전통 가야금이 명주실을 사용하는데 비해, 폴리에스터줄을 사용하여 훨씬 선명한 음색과 음량을 보여주었다. 따라서 악기를 통한 사운드 프로세싱에 적합하며, 다양한 효과 구현이 가능하였다.



[그림-1] 전통 가야금(좌) 과 25현 가야금(우)

4) 음향적으로 가공되지 않은 가공되지 않은 것을 의미한다.



## 2. 사례 연구

공연예술이 발전하면서 멀티미디어의 활용은 다양하게 시도되고 있다. 일반적으로 공연에서 무대는 배경을 표현하는 목적으로 활용 되었다. 그러나 현대 공연에서는 무대가 지니고 있는 연출의 한계를 미디어와 결합하여 개선시킬 수 있다. 인터랙티브 미디어(interactive media)<sup>5)</sup>를 활용하여 실시간 데이터와 영상 결합을 통한 새로운 미디어 연출은 다양한 역할을 하고 있다. 이는 국악에서도 마찬가지인데, [그림-2]는 국악과 멀티미디어가 혼합 된 공연 <신폴이><sup>6)</sup>의 한 장면이다.



[그림-2] 공연 <신폴이> 연출 송해인

이 작품은 사운드와 무대를 비추는 조명(영상)이 실시간으로 인터랙션을 보여주는 작품이다. 북의 음량값을 데이터로 수집한 뒤, 값의 맞춰 보여지는 영상이 보다 크게, 밝게 변화하는 모습을 보여준다. 실시간으로

5) 매체간의 상호작용을 적용한 미디어라 한다.

6) 연출 '송해인', 특별출연 '서순실'. 출연 '김다혜, 기종석, 오유정, 윤정현, 양호성', 공연일시 '2015년 10월 24일 오후 7시 30분' 공연장소 '서귀포 예술의 전당 대극장'

변화하는 영상의 형태는 연주자의 퍼포먼스를 극대화 시켜주는 효과를 가져온다.

사례 연구 결과에 따라 작품 <Ineffable Balance>를 위하여 마이크를 통해 가야금 소리를 수집하고 음량값을 Max7)를 통해 디지털 데이터로 바꾸었다. 수집한 데이터 값은 제작한 사운드가 실시간으로 프로세싱 되어 새로운 형태의 사운드를 만들고, 그에 맞춰 반응하는 영상의 인터랙션을 표현하는데 활용하였다. 국악이 가진 동양적인 면과 멀티미디어 음악이 주는 서양적인 면의 결합을 얼마나 조화롭게 이루어 낼 것인지, 더 나아가 성공적인 하나의 예술 작품으로 이루어지기 위함을 목표로 삼고 제작하였다.

---

7) Cycling '74에서 개발한 것으로, 오디오, 비주얼, 미디어 및 물리적 컴퓨터 사용을 다루는 예술가, 교육자 및 연구원들을 위한 프로그램이다. 음향신호를 컨트롤하는 MSP와 real-time video, 3D 그래픽을 다루는 jitter로 이루어져 있다.

## II. 기술 연구

### 1. 사운드 시스템 연구

#### 1) 사운드 시스템

작품 <Ineffable Balance>는 테이프음악<sup>8)</sup>과 가야금 연주에 실시간으로 프로세싱한 사운드를 사용하여 제작하였다. 가야금 실시간 사운드 프로세싱은 granular synthesis, flanger, delay, chorus, phase vocoder, pitch shift가 사용되었고, 테이프음악에는 filter, comb filter, distortion이 사용되었다.

[그림-3]은 가야금과 테이프음악의 실시간 프로세싱을 위해 제작한 사운드 시스템이다. 가야금은 콘덴서 마이크<sup>9)</sup>를 사용하여 모노 채널<sup>10)</sup>을 오디오 인터페이스(audio interface)<sup>11)</sup>로 전송했으며, 이 신호를 컴퓨터에 입력한다. 컴퓨터에 입력된 가야금 소리는 Max/MSP(이하 Max)로 전송되며, 곡 구성을 따라 음향효과들이 적용된다. 가야금의 오리지널 사운드와 프로세싱 된 사운드는 하나로 합쳐져서 사운드 콘솔을 통해 스피커로 송출된다.

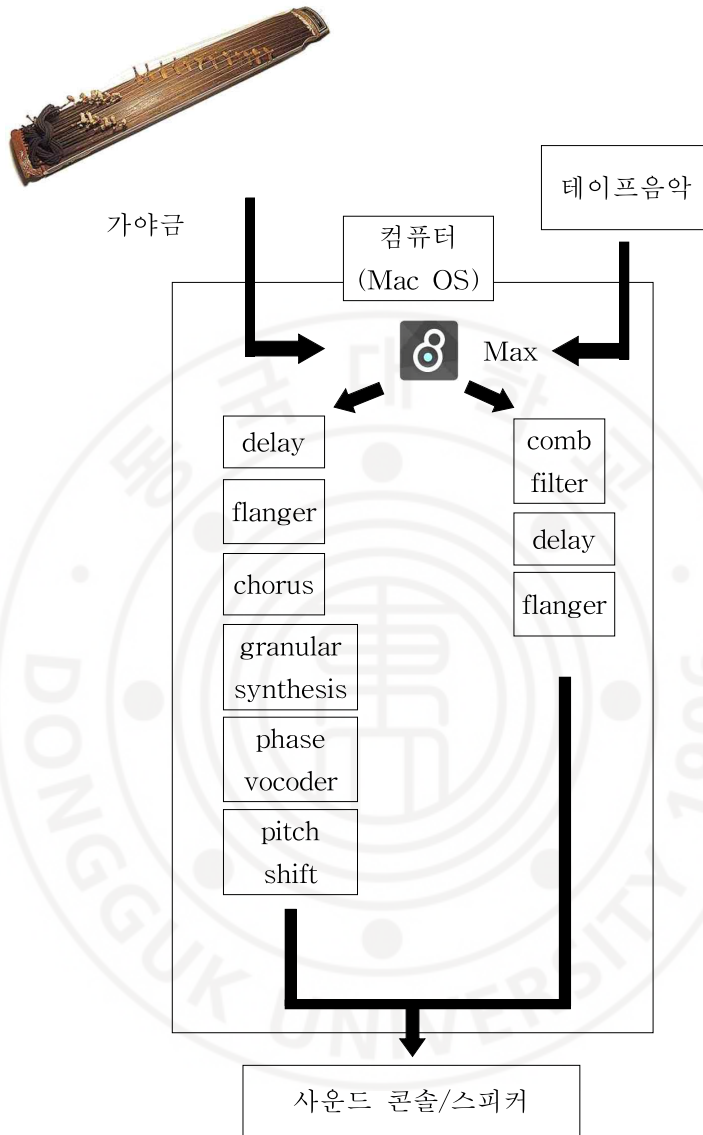
---

8) 전자음악 초기의 한 분류로 구체 음악, 구상 음악을 말한다. 본 논문에서는 합성한 사운드 소스를 미리 제작하여 공연에 활용된 음악을 의미한다.

9) 미세한 소리까지 잘 받아들여 스튜디오 녹음으로 많이 사용한다.

10) 사운드가 하나의 채널에 형성되는 것을 말한다.

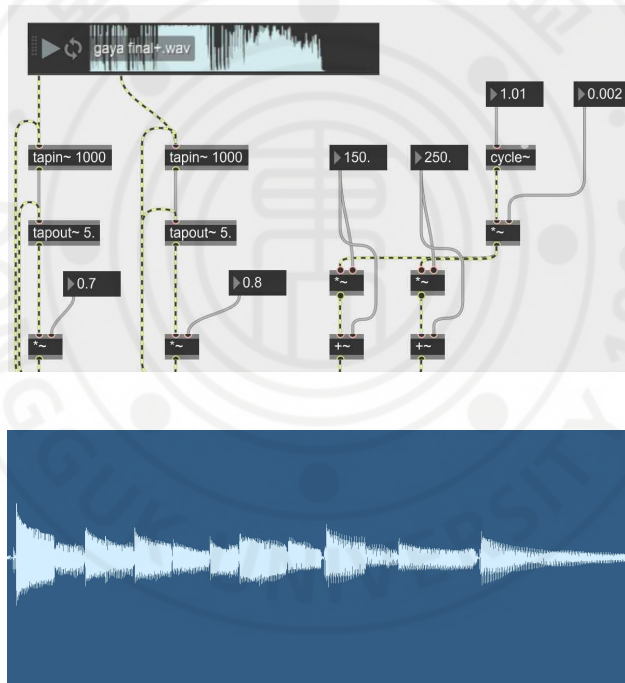
11) 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하며, 외부로 출력하는 장비이다.



[그림-3] 사운드 시스템 설계도

## 2) 테이프음악을 위한 사운드 디자인

테이프 음악은 기존의 사운드 샘플을 Max를 통해 사운드 프로세싱 하였다. 사운드는 날카로운 노이즈 같은 전자음악적인 느낌을 보장하기 위해서 comb filter 와 distortion을 사용하였다. 이렇게 만들어진 사운드는 컴퓨터 음악적인 요소를 보완하기 위해 flanger가 사용되었다. 프로세싱 된 사운드 소스는 Logic pro X를 통해 자르거나 재배치함으로써 새로운 사운드를 연출하였다.



[그림-4] Max를 통한 사운드 프로세싱(상) 과  
Logic pro X로 편집 된 사운드 파형(하)

### 3) 실시간 사운드 프로세싱을 위한 음향효과

가야금 본연의 사운드와 가야금의 특성을 최대한 살린 효과를 연출하기 위해서 많은 프로세싱이 하나로 혼합해 들어갔다.

가야금은 악기 특성상, 음의 서스테인(sustain)<sup>12)</sup>이 길지 않은 악기로써, 효과적인 프로세싱 사운드를 연출하기 위해 많은 효과를 이용하여 보완하였다. 사용한 효과는 delay와 granular synthesis이다. 이 효과를 이용하여 의도적으로 음의 길이를 늘려 빈공간이 채워지는 느낌을 표현하였다. 또한 가야금 오리지널 사운드를 더욱 풍성하게 만들어줄 느낌이 필요 하였다. 이를 해결하기 위해 우선 fiddle~오브젝트를 이용한 주파수(frequency)<sup>13)</sup> 정보를 사인파(sine wave)<sup>14)</sup>, 톱니파(saw wave)<sup>15)</sup>에 적용하였다. 이 과정을 통해 나오는 사운드를 가야금 오리지널 사운드에 혼합하여 독특한 사운드를 연출하였다. 이렇게 나온 사운드는 몽환적이고 거친 효과가 필요했기 때문에 flanger 와 chorus가 사용되었다.

앞에서 언급한 음향효과는 다양하게 조합해 사용되었으며 조합 방법과 자세한 효과는 연구 기술의 작품 적용에서 언급한다.

---

12) 악기에 있어서 음이 나오는 것 또는 감쇠음(減衰音)이 남는 것을 말한다.

13) 진동운동에서 단위시간당 반복운동이 일어난 횟수를 말한다.

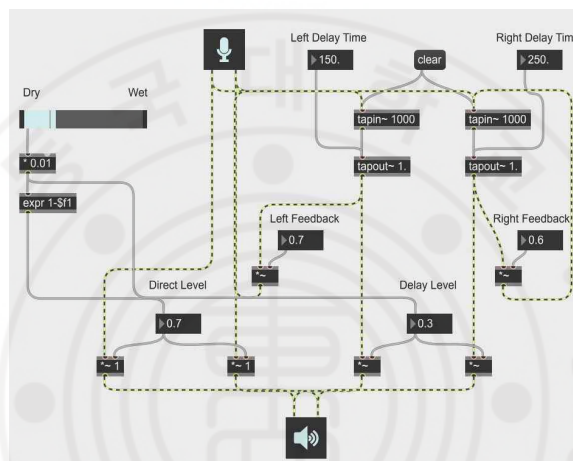
14) 주기적이고 연속적으로 진동하는 가장 간단한 파동을 말한다.

15) 톱니모양의 파동을 말한다.



### ① delay 음향효과

delay 음향효과는 사운드 신호를 지연하여 오리지널 사운드와 결합해 나오는 효과를 말한다. delay 음향효과를 Max에서는 tapin~오브젝트와 tapout~오브젝트를 사용해서 구현할 수 있다. [그림-5]는 delay 음향효과를 Max로 구현한 패치이다.



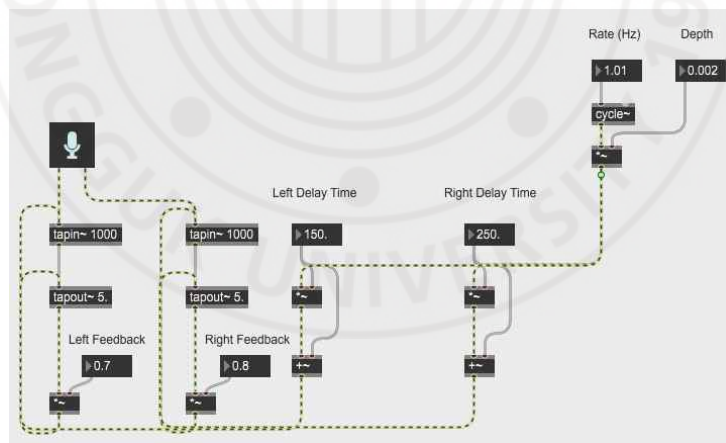
[그림-5] delay 음향효과를 구현한 Max 패치

tapin~오브젝트는 오디오 신호를 저장하며, 정보가 입력되면 자동적으로 저장한 신호를 전달함과 동시에 새로운 신호를 받는다. tapout~오브젝트는 tapin~오브젝트에 저장한 신호를 임의에 시간만큼 지연시켜 전달한다. 송출시간이 다른 두 오브젝트를 활용하게 되면 지정 했던 임의의 시간만큼 delay 효과를 만들어낼 수 있다. tapin~과 tapout~를 지난 지연된 신호를 일정한 값만큼 곱하여 다시 tapin~에 전달하면 feedback효과를 만들 수 있다. 또한 expr오브젝트<sup>16)</sup>를 이용해 오리지널 사운드와 delay 사운드의 비율을 설정할 수 있고, 이것은 dry/wet의 명칭을 가진다.

16) 입력된 인수를 계산식으로 인식하여 연산해주는 오브젝트.

## ② flanger 음향효과

flanger 음향효과는 delay 계열의 효과로서, 출력한 음과 약간의 시간적 차이를 두고 다시 원음을 출력하여 두 가지 동일한 사운드의 위상 차이에서 음색이 변하는 현상을 응용한 효과이다. doppler(도플러)효과를 예로 들 수 있는데, 이것은 어떠한 사운드와 청취자의 상대 속도에 따라서 주파수와 파장이 변화하여 들리는 것을 말한다. 사이렌 소리가 멀리서부터 가까워지면 음정이 높아지고 다시 멀어지면 낮게 들리는 현상을 확인할 수 있다. 거리가 멀어지면 음정이 낮아진다는 것을 착안하여, 이 정보를 토대로 반복적으로 시간을 지연시키면 음정이 주기적으로 변한다는 것을 확인할 수 있다. [그림-6]은 flanger 음향효과를 Max로 구현한 패치이다. cycle~오브젝트17)를 이용해 주기적인 파형의 정보를 delay time마다 곱하고 더하여 tapout~오브젝트의 입력한다. 그 결과로 원음과 짧게 지연된 음이 합쳐져서 음정이 주기적으로 변한다.

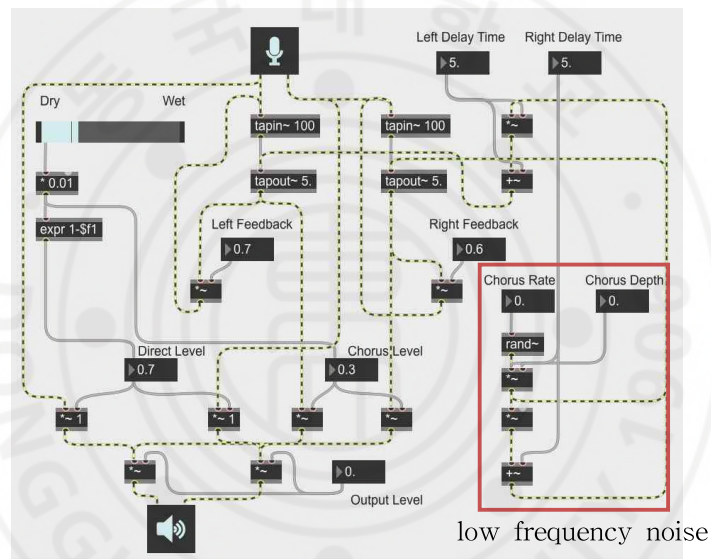


[그림-6] flanger 음향효과를 구현한 Max 패치

17) 주기적으로 cosine 파형을 생성하는 오브젝트.

### ③ chorus 음향효과

chorus 음향효과는 delay 계열의 음향효과이며, 여러 사운드를 동시에 내보낼 때 사운드의 음높이나 위상이 미세하게 다른 것이다. chorus 음향효과는 delay time에 rand~오브젝트<sup>18)</sup>를 이용하여 만들어낸 noise를 모듈레이션에 적용하여 구현하였다.

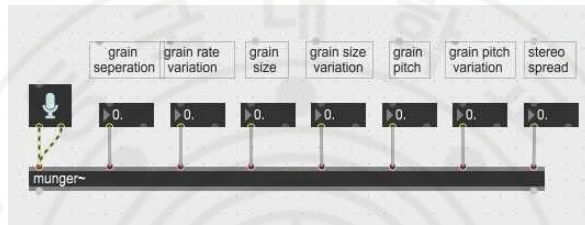


[그림-7] chorus 음향효과를 구현한 Max 패치

18) 무작위의 사운드 시그널을 출력하는 오브젝트이다.

#### ④ granular synthesis 음향효과

granular synthesis는 입력한 사운드가 짧은 시간 단위의 샘플 조각으로 쪼개져 재합성하는 소리 합성 방법이다. 나뉘어진 여러 파형의 grain(샘플 조각)들이 새롭게 생성되고, 오리지널 사운드가 변형되게 된다. [그림-8]과 같이 Max에서 munger~ 오브젝트<sup>19)</sup>를 이용하여 구현 가능하며, 7개의 파라미터 값을 조절할 수 있다.



[그림-8] granular synthesis 음향효과를 구현한 Max 패치

munger~오브젝트에서 각 파라미터가 갖고 있는 의미는 <표-1>과 같다.

<표-1> munger~오브젝트 각 파라미터 설명

파라미터 명칭	파라미터 기능
grain separation	샘플 조각 간격
grain rate variation	샘플 조각 간격의 변화 값
grain size	샘플 조각 크기
grain size variation	샘플 조각 크기의 변화 값
grain pitch	샘플 조각의 음정
grain pitch variation	샘플 조각의 음정 변화 값
stereo spread	샘플 음들의 스테레오 이미지 정도 값

19) Max의 외부 오브젝트로 Max의 Package manager에서 다운받을 수 있다. Columbia University에서 만들었으며 본 작품에서 사용된 버전은 Dan Trueman과 R.Luke Dubois에 의해 수정된 버전이다.

munger~오브젝트의 파라미터 중, grain pitch는 음정을 변화시키는 역할을 한다. 원음을 1로 잡았을 때, 한 옥타브 위는 2, 두 옥타브 위는 4이며, 반대로 0.5는 한 옥타브 아래, 0.25는 두 옥타브 아래이다. 즉,  $2^n$ 에서 지수의 값에 따라 달라지는 것을 의미한다. <표-2>는 grain pitch 파라미터 값을 정리한 표이다.<sup>20)</sup>

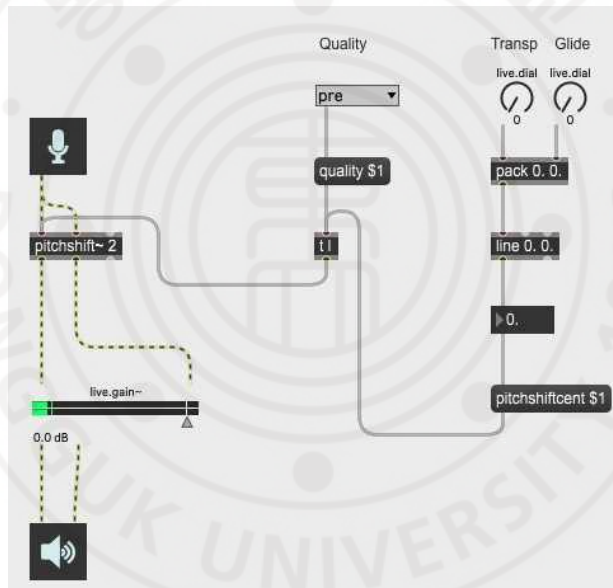
<표-2> grain pitch 파라미터 값 정리

파라미터	$2^{-n}$	$2^{-2}=0.25$	$2^{-1}=0.5$	$2^0=1$	$2^1=2$	$2^2=4$	$2^n$
음역	n옥타브 아래	2옥타브 아래	1옥타브 아래	원음	1옥타브 위	2옥타브 아래	n옥타브 위

20) 한승욱 피아노의 실시간 프로세싱을 이용한 멀티미디어음악 제작 연구 멀티미디어 음악 「작품 <Midnight Peace>를 중심으로」, 동국대학교 영상 대학원 : 멀티미디어 학과. 석사학위논문, 2018, p. 4

### ⑤ pitch shift 음향효과

pitch shift 음향효과는 음색 및 음질의 왜곡 없이 음높이를 변화시킨다. Max에서는 pitchshift~오브젝트를 사용하여 구현한다. quality를 이용해 음향효과의 품질을 조절할 수 있다. 음의 높낮이는 cent<sup>21)</sup> 단위로 조절이 가능하며, ms<sup>22)</sup> 단위로 glide<sup>23)</sup> 효과가 구현 가능하다. [그림-9]는 Max에서 pitchshift~오브젝트를 사용하여 pitch shift 음향효과를 구현한 패치이다.



[그림-9] pitch shift 음향효과를 구현한 Max 패치

21) 음정의 단위이며, 1200cent는 1옥타브이다.  
 22) 밀리세컨. 1/1060초.  
 23) 한 음에서 다른 음으로 서서히 변화하는 효과이다.



## ⑥ FFT 분석을 이용한 phase vocoder 음향효과

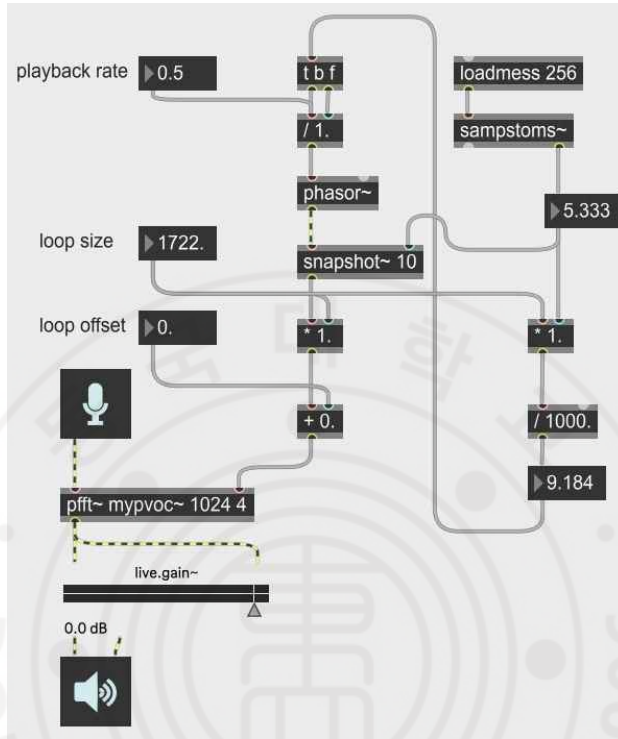
phase vocoder 음향효과란 사운드에 time-stretching<sup>24)</sup> 과 pitch-shifting<sup>25)</sup>을 하는 것을 말한다. 일반적인 time-stretching은 샘플의 원본 음정이 유지되지 않는다. pitch-shifting은 샘플 손상의 확률이 높다. 하지만 FFT 분석을 이용한 phase vocoder는 수없이 많은 bandpass filter<sup>26)</sup>를 통하여 원본이 가지고 있는 주파수 대역을 나누어 분석한 뒤 다시 합성하는 방식으로, 음정의 변화 없이 time-stretching이 가능하다. 즉, 샘플 원본이 손상되지 않으면서 pitch-shifting이 가능하다. [그림-10]은 phase vocoder 음향효과를 Max에서 구현한 패치이다. playback rate는 분석된 사운드의 속도를 정할 수 있다. 1이라는 수치는 그대로 재생하는 것을 의미하며, 수치를 높이거나 낮춤으로써, 속도를 높이거나 낮출 수 있다. 역재생은 음수를 입력하면 된다. loop size는 사운드가 반복을 하는 구간을 의미하며, 1722프레임으로 고정하였다. 44100Hz의 sample rate값을 가진 사운드 데이터의 20초는 882000의 sample 수를 가지며, 1024개의 FFT사이즈를 가짐과 동시에 1722의 프레임 값을 가진다. 20초라는 설정은 현재 사용하고 있는 phase vocoder 내부의 buffer~의 저장 공간 크기에서 비롯되었다. loop offset는 loop size의 시작지점을 의미한다. 여러 파라미터를 조절하여 다양한 사운드 변형을 연출할 수 있다.

---

24) 샘플의 재생시간을 줄이거나 늘리는 것.

25) 샘플의 음정을 낮추거나 높이는 것.

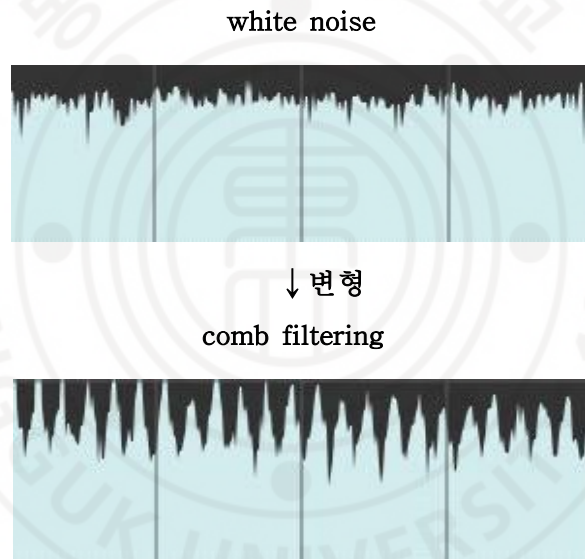
26) 특정 주파수 사이의 신호만 통과시키는 필터이다.



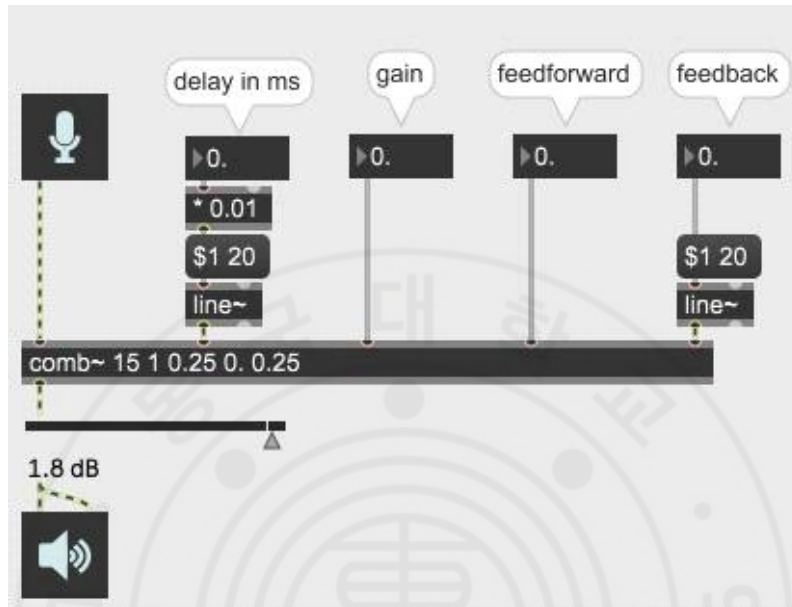
[그림-10] phase vocoder 음향효과를 구현한 Max 패치

### ⑦ comb filter 음향효과

comb filter 음향효과는 직접음과 간섭음이 미세한 시간차로 인하여 겹쳐지는 효과이다. 주로 마이크 사이의 거리에 따라 발생하는 현상으로 음색의 왜곡이 발생한다. [그림-11]은 white noise에 comb filter 효과를 적용시켜 파형이 변화한 모습이다. 그림과 같이 파형이 겹쳐지며 특정한 주파수에서 상쇄 또는 보강이 발생한다. 머리빗(comb)의 모양과 유사하여 comb filter라고 불린다.



[그림-11] comb filter 음향효과



[그림-12] comb filter 패치 구현

위 그림은 comb filter 음향효과를 Max로 구현한 패치이다. comb~ 오브젝트를 사용하며, delay 와 feedback을 통하여 음색을 변화 시킨다. 사운드 프로세싱에서 comb filter 음향효과는 차갑고 날카로운 금속성 사운드 효과를 표현하기 위해 의도적으로 사용하였다.

## 2. 영상 시스템 연구

### 1) 영상 시스템

영상 시스템을 구현하기 위하여 세가지의 소프트웨어 프로그램을 사용하였다. 사운드 데이터를 받아 실시간으로 음악과 연동되는 영상물의 제작을 위해, 프로그래밍을 기반한 영상제작 응용프로그램인 Processing<sup>27)</sup>과 영상물 콘텐츠 제작이 가능한 After Effect<sup>28)</sup>를 사용하였다. 또한, 영상의 믹싱과 실시간 효과를 위한 프로그램으로 Arena를 사용하였다. Arena<sup>29)</sup>는 영상의 배치, 믹싱과 효과 그리고 OSC<sup>30)</sup> 데이터의 입력을 지원하기 때문에 사운드와의 실시간 연동 시스템을 만드는 것이 가능하다. 실시간으로 움직이는 Processing 영상을 Arena로 입력하기 위하여 Syphon<sup>31)</sup>을 사용하였다.

---

27) 자바 언어를 기반으로 만들어진 애니메이션과 이미지, 사운드를 프로그래밍 할 수 있는 언어이자 환경이다.

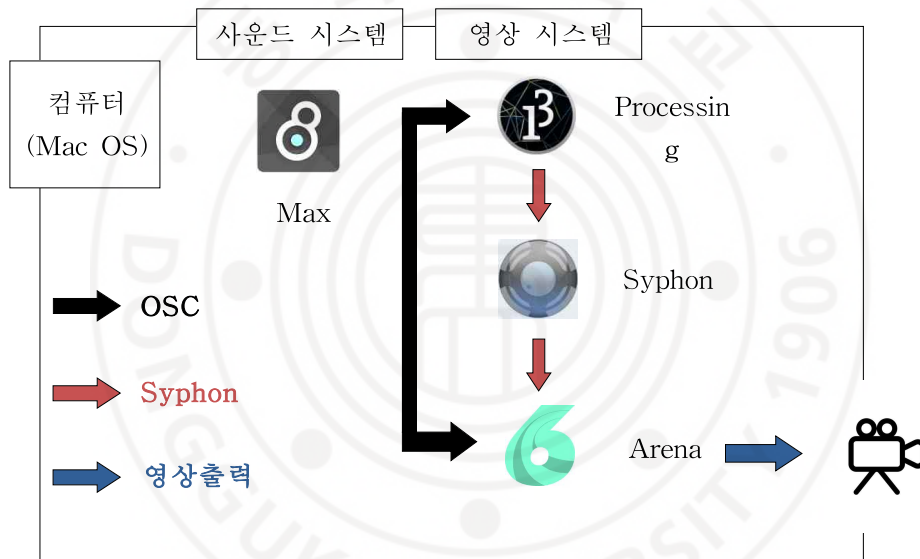
28) 어도비 시스템즈가 개발한 디지털 모션 그래픽 및 합성 소프트웨어이다. 영화의 비선형 영상 편집이나 광고 제작, TV, 게임, 애니메이션, 웹 등의 콘텐츠 제작에 쓰인다.

29) Resolume사에서 제작한 프로그램으로 영상과 사운드의 결합형 프로그램으로 발전하고 있으며 쉽게 사용할 수 있는 다양한 영상효과를 제공한다.

30) UC Berkeley의 CNMAT에서 사운드 데이터의 전송을 위해 개발된 네트워크를 이용한 통신규약이다.

31) 응용 프로그램사이의 영상 프레임을 서로 공유할 수 있게 해주는 Mac OS 기반의 오픈소스 유틸리티이다.

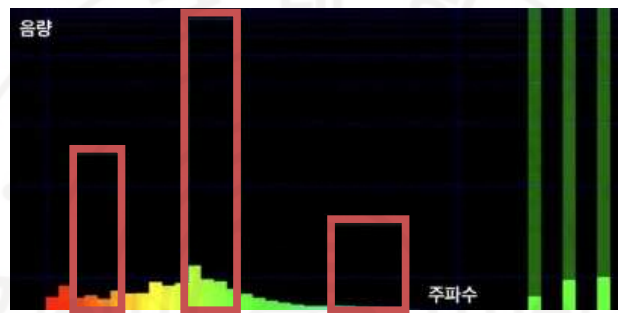
음악과 영상의 실시간 연동 시스템은 가야금 연주의 실시간 사운드 프로세싱으로부터 출력된 사운드 데이터를 Max로 받아 Processing과 Arena로 전송한다. Processing은 전송받는 데이터를 코드 내에 변수로 설정하여 영상에 실시간 변화를 주었으며, Arena로 전송된 데이터는 영상 이펙트를 조절하는 파라미터로 설정하였다. 이렇게 연동된 영상은 프로젝트를 통해 스크린으로 투사된다. [그림-13]은 영상 시스템을 도식화한 그림이다.



[그림-13] 영상 시스템

## 2) After Effect를 이용한 영상 제작

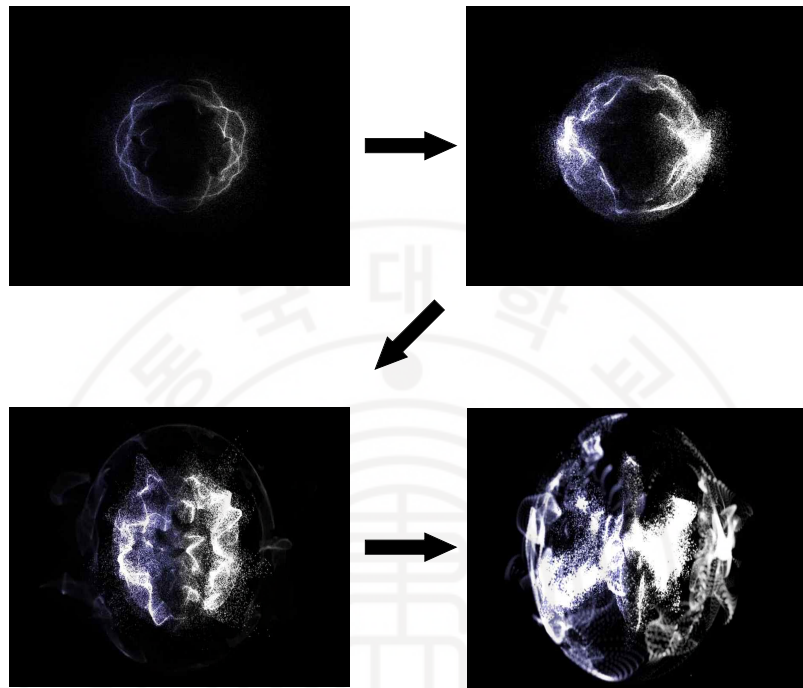
After Effect를 활용하여 작품을 위한 영상을 미리 제작하였다. 음악의 구성을 따라 영상 시나리오를 구축한 뒤, 프로그램 안에 <Ineffable Balance>의 녹음된 음원 파일을 삽입했다. 음원과 영상의 인터랙션을 위하여 [그림-14] 같이 불러온 음원의 주파수 구역을 나누어 범위를 지정하였다.



[그림-14] 음원의 주파수 스펙트럼

음원을 음역대별로 나눠준 뒤, 각 주파수 구역의 음량 값을 일정한 비율로 영상 파라미터에 적용시켰다. 이를 통하여 영상의 확대와 밝기, 형태의 변형 등을 표현하였다. [그림-15]는 음원의 음량 값에 따라 바뀌는 이미지를 나타낸 것이다.





음량 값 증가

[그림-15] 음량값에 따른 영상 인터랙션 변화

### 3) Processing을 이용한 영상 제작

Processing은 OSC 통신을 사용하여 영상의 실시간 제어가 가능하다. 음악과 실시간 인터랙션을 위하여 Processing 코드에 변수<sup>32)</sup>를 설정하고 음악의 데이터값을 변수와 연동하여 실시간으로 반응하는 영상을 제작하였다. [그림-16]과 같이 코드 첫줄에 변수를 선언하고 도형이 가진 선의 폭 부분을 변화시키기 위하여 수식에 변수를 대입하였다. 다음으로, 가야금 연주의 사운드 데이터를 OSC 통신을 사용하여 지정한 변수에 전송하게 되면 가야금 연주와 실시간으로 인터랙션 하는 Processing 영상을 만들 수 있다.

```
float data1; 변수 선언

void setup(){
  background(0);
  size(1920,1080,P3D);
}

void draw(){
  background(0);
  angle+= 3.0;
  stroke(255,255);

  translate(width/2, height/2);
  for(inr i=1; i < NUM_LINES; i++){
    strokeWeight(data1); 변수에 의해 선의 폭이 변화한다
    point(x(t+i), y(t+i));
    point(x2(t+i), y2(t+i));
    strokeWeight(0.000001);
  }
}
```

[그림-16] Processing 영상제작 코드 예시

32) 데이터가 저장되는 컴퓨터 메모리상의 특정 위치(메모리 주소)를 가리키는 명령된 지시자(named pointer)로 값을 기억하는 기능 외에도 그 값들이 달라지게 변경할 수 있다.

#### 4) Arena를 이용한 영상효과

After Effect와 Processing으로 만들어진 영상을 최종출력 하기 위해 영상 소프트웨어인 Arena를 사용하였다. Processing에서 만든 영상은 Syphon을 이용하여 전송하였다. 영상들을 겹치거나 재배치하는 효과를 사용할 수 있으며, 각 장면에 따른 영상효과 및 시나리오를 구현할 수 있다. <표-3>은 작품에 사용된 Arena 내장 효과들에 대한 설명이다.

<표-3> Arena 영상효과

영상효과	효과 설명
transform	영상의 위치와 크기 각도를 변형시키는 효과
edge detection	영상의 경계선을 강조하는 효과
opacity	영상의 투명도를 조절해주는 효과
goo	영상을 울렁이게 하는 효과
blur	영상을 흐리거나 번지게 하는 효과
radialblur	영상의 중심점을 기준으로 번지게 하는 효과
twisted	영상을 뒤틀는 효과
suckr	영상을 빨려 들어가게 하는 효과
flip	영상을 수직 및 수평으로 뒤집는 효과
trails	영상의 잔향을 조절해주는 효과

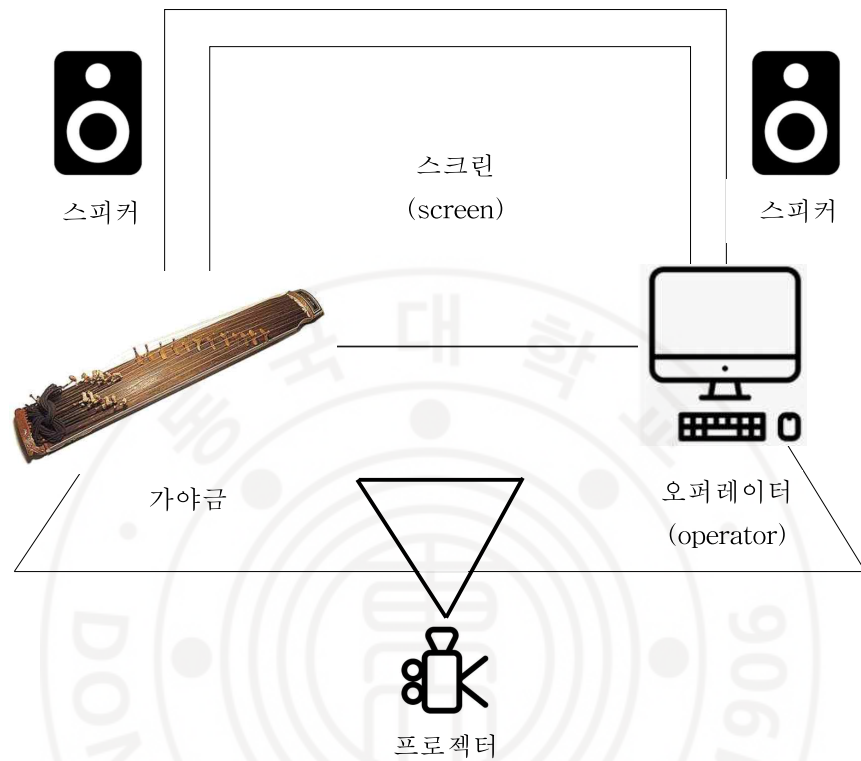
### 3. 공연 및 연동 시스템

#### 1) 공연 시스템



[그림-17] 공연 시스템 설계도

[그림-17]은 무대에서 사용되는 사운드와 영상의 총 시스템 설계도이다. Max에서 사운드 프로세싱을 거쳐 스피커로 출력된다. Max에서 출력된 OSC 데이터는 Processing과 Arena로 전송이 되며, Processing에서 Syphon을 통해 Arena로 영상이 전달되어 효과를 입힌 후에 프로젝터로 출력된다.



[그림-18] 무대 구성

[그림-18]은 작품의 무대 구성이다. 무대를 기준으로 왼편에 가야금이 위치하고, 오퍼레이터는 반대 방향인 오른쪽에 위치하여 사운드와 영상을 제어한다. 가야금에서 마이크를 통해 사운드 시그널을 받아 오퍼레이터의 컴퓨터로 전송이 되며, 실시간으로 오퍼레이터가 받은 정보를 기반으로 사운드 프로세싱을 하여 믹서를 통해 스피커로 전송한다.

## 2) 음악과 영상의 연동 시스템

### ① OSC 통신을 이용한 음악과 영상의 연동

Processing으로 실시간 인터랙션이 가능한 영상을 제작할 때, 음악에서 보내주는 특정한 신호값이 있어야 한다. 그러기 위하여 사운드를 담당하는 Max에서 어떠한 수치를 입력 받아야 한다. 그러나 Processing과 Max는 서로 다른 프로그램이므로 서로 연동 시켜주는 통신을 필요로 한다. 따라서 두 프로그램의 연동을 위해 OSC 통신을 사용하였으며, Max에서 전달받은 데이터를 OSC 데이터로 변환해 Processing에서 연동되는 수치값으로 전달하였다.



[그림-19] Max와 Processing의 OSC 통신을 위한 Max 패치

[그림-19]를 보면 Processing과 Max를 연동할 때, udpsend오브젝트를 사용한다. UDP<sup>33)</sup> 통신 프로토콜을 사용하며, IP주소<sup>34)</sup>와 포트번호<sup>35)</sup>를

33) User Datagram Protocol의 약어. 서로 교환하는 형식이 아닌 일방적으로 이뤄지는 방식의 통신 프로토콜이며 고속으로 데이터 처리가 가능하다.

34) Internet Protocol address의 약어. 컴퓨터 네트워크에서 장치들이 서로를 인식하고 통신을 하기 위해서 사용하는 특수한 번호이다.

35) 데이터의 입출력을 위한 통로.

지정해야 한다. IP주소는 동일한 컴퓨터에서 통신을 하므로, localhost 또는 127.0.0.1로 설정한다. 포트번호는 프로그램끼리 같은 번호를 지정해야 한다.

Processing에서 Max와 OSC 통신을 하기 위해서는 Contribution Manager에 있는 OSC 라이브러리를 설치해야 한다.



[그림-20] Processing에서 OSC 라이브러리를 받는 모습

설치가 끝난 후에는 통신 가능한 명령어를 입력해야 한다. [그림-21]은 Processing에서 OSC 라이브러리를 불러오는 코드를 입력한 것이다. Processing은 위에서 아래로 입력된 코드를 순차적으로 읽기 때문에, 첫 번째 단에 코드를 입력해야 한다.

```
import oscP5.*;
import netP5.*;

OscP5 oscP5;
NetAddress myRemoteLocation;
```

[그림-21] OSC 라이브러리를 불러오는 코드



[그림-22]는 불러온 OSC 라이브러리를 설정하는 코드이다. Processing을 실행하였을 때, void setup은 처음 한 번만 입력하는 함수이다. Max와의 통신을 위하여 IP주소와 포트번호를 동일하게 설정해야 한다.

```
void setup(){
  size(1920,1080,P2D);
  oscP5 = new OscP5(this,11234);
  myRemoteLocation = new NetAddress("127.0.0.1",11234);
```

[그림-22] OSC 통신을 하기 위한 주소 설정 코드

예를 들어, Max에서 2개의 수치를 Processing으로 전송해야 한다면 각각 고유인 인식 가능한 이름이 있어야 한다. Processing에서는 변수로 인식이 되며, Max에서는 prepend오브젝트<sup>36)</sup>를 사용하여 변수 이름을 설정하고 [그림-23]과 같이 코드를 입력해야 한다. 다음으로 전송하는 데이터의 형태를 지정해야 하는데, int<sup>37)</sup> 정보를 보내려면 intValue라고 수식하고, float<sup>38)</sup> 정보를 보내려면 floatValue를 수식해야 Processing에서 데이터 정보를 처리하는데 오류가 발생하지 않는다.

```
void oscEvent(OscMessage myMessage) {
  if (myMessage.checkAddrPattern("/highTrb") == true) {
    //println(myMessage.get(0).floatValue());
    r1 = myMessage.get(0).intValue();
  }
}
```

[그림-23] OSC 입력 데이터를 변수로 설정하는 코드

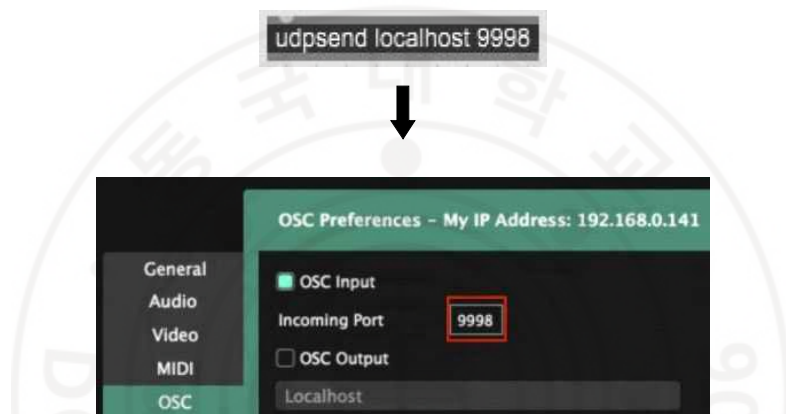
---

36) 전송하려는 메시지 앞에 다른 메시지를 추가로 입력해주는 오브젝트.

37) integer의 약자이며, 정수를 의미한다.

38) 부동소수점을 의미한다.

Max에서 Arena와 연동을 하기 위한 방법은 다음과 같다. IP주소와 포트 번호를 지정해야 하며 IP주소는 동일한 컴퓨터에서 통신하기 때문에 127.0.0.1 또는 localhost를 입력한다. 그러나 포트번호는 Max와 Processing을 연동시키기 위해 사용한 번호를 제외한 다른 번호를 사용해야 한다. Max와 Arena의 포트번호를 동일 시킨 것을 [그림-24]에서 볼 수 있다.



[그림-24] OSC 통신을 이용한 Max와 Arena의 연동

## ② Syphon을 이용한 Processing과 Arena의 연동

OSC 데이터는 수치화된 값은 전송이 가능하지만, 영상 프레임과 같은 비디오 데이터는 전송할 수 없다. 또한 실시간으로 영상이 프로세싱 되기 때문에 렌더링(rendering)<sup>39)</sup>을 할 수 없다. 따라서 Processing 화면을 Arena로 전달할 수 있는 방법은 다음과 같다.

39) 수식이나 수치로 서술된 2차원 혹은 3차원 데이터를 사람이 인지할 수 있는 영상으로 변환하는 과정을 말한다.

Syphon을 이용하여 실시간 Processing 영상을 공유한다. Processing에서 Syphon을 사용하기 위해서는 Contribution Manager에 있는 Syphon 라이브러리를 설치해야 한다.

```
import codeanticode.syphon.*;

SyphonServer server;

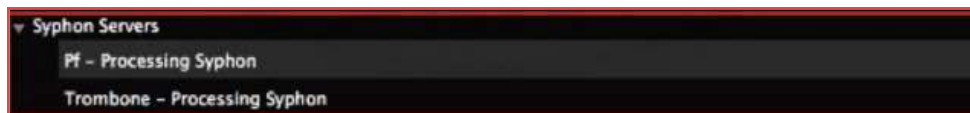
void setup(){
  size(1920,1080,P2D);
  server = new SyphonServer(this, "Processing Syphon");
}

void draw(){
  background(127);
  rect(30,20,55,55);
  server.sendscreen();
}
```

[그림-25] Processing에서 Syphon을 사용하는 코드

Syphon 라이브러리를 불러오기 위하여 첫 번째 단에 입력을 하고 void setup함수에서 서버를 생성한다. void draw는 입력한 코드가 반복적으로 실행되게 하는 함수이다. 실시간으로 영상을 계속 전송해야 하기 때문에, void draw 함수에 스크린으로 영상을 보내는 코드를 입력한다.

마찬가지로 Arena에서도 Syphon을 통하여 전송되는 영상을 전달 받아야 한다.



[그림-26] Syphon을 통해 공유된 영상소스

### Ⅲ. 연구 기술의 작품 적용

연구된 가야금의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어작품 <Ineffable Balance>는 2020년 12월 30일 동국대학교 소극장에서 온라인으로 진행된 ‘SEEING SOUND LISTENING IMAGE(보는 소리, 듣는 영상)XVII’ 공연에 초연되었다.

#### 1. 작품 소개

<Ineffable Balance>는 모든 근원의 ‘균형’을 모티브로 가지고 동양적인 곡 진행과 영상을 연출한 멀티미디어 작품이다. 영상의 메인 이미지로 ‘연꽃’ 과 ‘음양’ 의 조합을 사용 하였으며, 연꽃과 음양의 의미는 다음과 같다.

연꽃의 의미는 여러 가지가 있으며, 그중 본체청정(本體淸淨), 면상희이(面相喜怡), 유연불삽(柔軟不澁)이 있다. 본체청정은 늘 몸과 마음을 깨끗이 하라는 의미를 가지고 있으며, 면상희이는 세상을 둥글둥글 모가 나지 않게 살아가라는 의미를 가지고 있고, 유연불삽은 남과 부딪치지 말고 선하게 살라는 의미를 가지고 있다.

음양은 음과 양의 조화를 뜻하며 어느 한쪽으로 쏠리지 않는 ‘균형’을 뜻하고 있다.

가야금으로 진행되는 동양적인 멜로디 라인은 익숙함을 느끼게 한다. 그러나 함께 연출되는 실시간 프로세싱 사운드와 스크린으로 비치는 영상은 난해할 수 있는 현대 과학기술을 담고 있다. 이 두 가지 요소는 전혀 다른 성질을 가지고 있지만 자연스럽게 조화를 이루면서, 이는 멀티미디어 작품의 장점을 표현하고 있다.

이러한 주제를 가지고 작품 <Ineffable Balance>는 ‘조화와 균형’이라는 부분에서 대중들에게 메시지를 보내고 있으며, 갈수록 경쟁이 치열해지는 현대사회를 고민해보게끔 방향성을 제시하고 있다.



## 2. 작품 구성

### 1) 음악 구성

<Ineffable Balance>는 A-B-A'-C의 형식으로 구성하고 기-승-전-결의 흐름으로 전개한다. 가야금의 주법과 리듬감을 형식마다 나누어 연주하여 곡의 분위기 전환과 진행을 이어갔다. A와 A'는 음절마다 음을 길게 배치하여 정적인 분위기를 연출하면서도 농현<sup>40)</sup>을 이용한 가야금 본연의 사운드를 더 부각되게 연출하였다. 반면에 B와 C에서는 상대적으로 리듬을 나눠, 곡의 다이내믹을 표현 하였다. 또한 프로세싱 된 테이프 음악을 함께 재생시켜 풍부한 사운드를 연출 하였다. 다음 <표-4>는 작품의 음악 구성과 의미를 정리 하였다.

구성	A	B	A'	C
시간	00:00~01:42	01:42~03:00	03:00~03:51	03:51~05:50
의미	하나의 빛이 조화를 의미하는 음양의 연꽃으로 만들어 진다.	본격적인 조화의 움직임	새로운 존재와의 융합	만개하여 피어나는 음양의 빛

<표-4> 음악 구성

40) 거문고나 가야금 등의 현악기 연주에서 왼손으로 줄을 짚어 원래의 음 이외의 여러 가지 장식음을 내는 기법

A 부분은 정적인 느낌으로 악곡을 시작하여 점차 고조되는 요소를 담아 곡의 진행감을 증가시킨다. B 부분은 테이프 음악을 사용한 부분으로, 그와 함께 가야금의 리듬감도 상승한다. 곡의 형태가 한번 바뀌는 부분이며, 국악의 느낌을 표현하는 멜로디 라인이 연주된다. A' 부분에서 다시 차분한 느낌으로 돌아오며 클라이맥스로 향하는 진행을 한다. C 부분에서 테이프 음악과 함께 응집된 에너지가 분산됨을 표현하기 위해 화성적 음형을 아르페지오(arpeggio)<sup>41)</sup>로 연주하며, 연주의 강도를 이용하여 리듬감을 표현 하였다. 마무리는 랄레탄도(rallentando)<sup>42)</sup>를 이용하여 곡의 여운감을 표현하였다.

가야금 연주의 실시간 사운드 프로세싱은 A 부분의 서두 부분부터 서서히 시작된다. 클라이맥스인 C 부분에서는 프로세싱 사운드와 가야금의 소리가 함께 어우러져 연주되며, 악곡의 종지부에서는 사운드 프로세싱 소리가 작은 음량으로 함께 연주되며 작품을 종결한다.

---



41) 화음을 구성하는 각 음을 동시에 연주하지 않고 연속적으로 연주하는 주법.  
42) 점점 느리게 연주할 것을 나타내는 지시어.


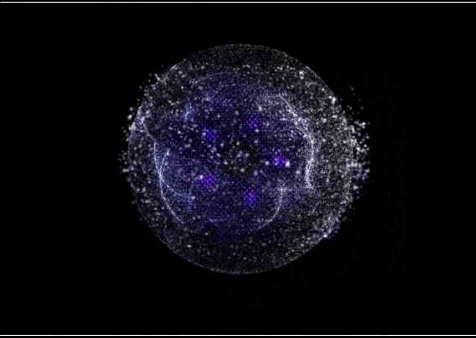
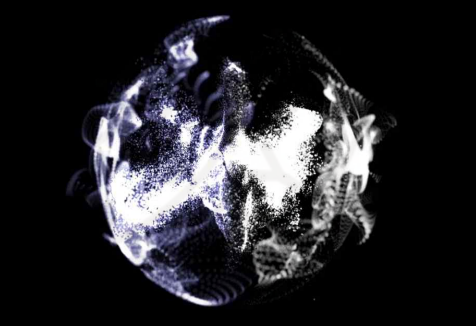


## 2) 영상 구성

영상은 크게 6가지의 구성으로 나뉜다. 각각의 섹션마다 오브젝트는 사운드와 인터랙션 하여 여러 가지 형태로 변화하였다. 이 변화는 단조로움을 해결 하였고, 하나의 이야기로 진행될 수 있었다. 오브젝트가 곡이 진행됨에 따라 ‘연꽃’이라는 이미지에 부합하여 꽃잎이 퍼지는 과정을 보여준다. <표-5>는 진행되는 영상의 시나리오이다.

<표-5> 영상 시나리오

장면 및 설명	이미지
#1. 00:00~00:50 하나의 빛(씨앗)이 존재했다	
#2. 00:50~01:41 빛은 음양의 조화를 이루는 연꽃의 형태로 변한다.	

<p>#3. 01:41~03:05          앞을 펼치고 빛을 내면서 움직이는          음양의 연꽃</p>	
<p>#4 03:05~03:45          새로운 존재를 확인하고 융화를 시작</p>	
<p>#5 03:45~05:50          더욱 크고 아름다운 존재가 되어          빛을 내다가 서서히 하나의 빛으로          사라져 간다.</p>	

‘음양 연꽃’이라는 이미지가 서서히 커지고 화려해 지면서, 곡의 상징적인 의미를 부각 시키게 된다. 영상은 계속해서 ‘흑과 백’의 색감을 대칭으로 유지하여 균형감을 가지고 진행하며, 마지막 부분에서 하나의 점으로 사라져, 태초의 빛으로 흩어지는 이야기를 영상으로 전개했다.

### 3. 작품 내 사운드 및 영상 기술 적용

#### 1) 파트별 사운드 적용 효과

##### ① A, A' 적용 효과

악기 파트	가야금	
	A	A'
시간	00:00~01:42	03:00~03:51
사운드 프로세싱	delay granular synthesis phase vocoder (playback rate=-0.7)	

<표-6> A, A' 에 적용된 사운드 프로세싱

A, A' 에서는 국악의 전통적인 연주기법을 사용하였으며, granular synthesis를 이용하여 음원을 짧은 시간 안에 많은 조각들로 내어 소리가 끊기게 들리는 현상을 만들었다. 또한 delay 음향효과를 적용시켜 잘게 쪼개진 음원들을 울리게 만들어 하나의 음 덩어리로 표현했으며, 이는 몽환적인 분위기를 연출했다. 연주중 현을 강하게 튕기는 부분은 phase vocoder의 play back rate를 -0.7로 지정하여 연주하는 음의 길이보다 느리게 거꾸로 재생하였다. A'에서 마지막 고조되는 부분은 프로세싱 사운드를 강하게 믹싱하여 곡의 긴장감을 표현 하였다.

② B, C 적용 효과

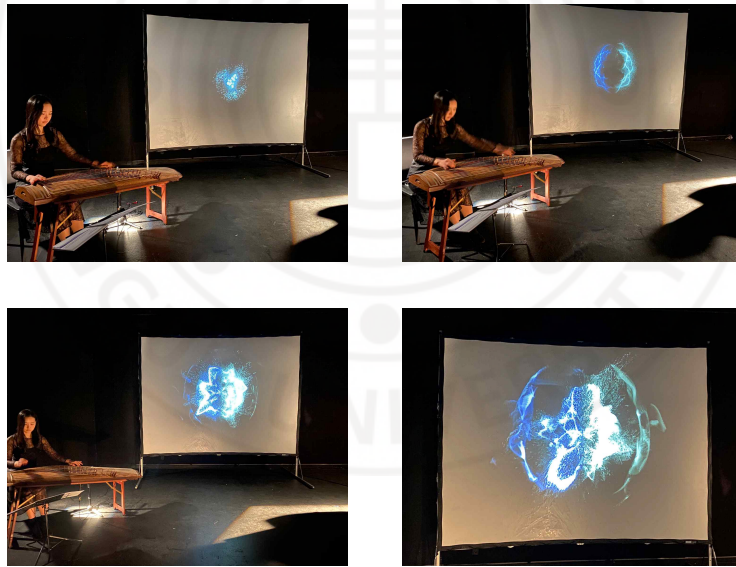
악기	가야금	
파트	B	C
시간	00:00~01:42	03:00~03:51
사운드 프로세싱	delay granular synthesis phase vocoder (playback rate=-0.7) comb filter pitch shift chorus flanger	

<표-7> B, C 에 적용된 사운드 프로세싱

B, C 에서는 가야금이 보다 리듬감 있는 연주기법을 사용하였다. A, A' 에서 사용한 프로세싱에 더하여, flanger, chorus, comb filter를 사용하여 풍부한 사운드를 표현하였다. pitch shift를 사용하여 원음보다 5도 낮은 음이 지속적으로 어우러져 곡의 화음 효과를 더했다. flanger로 자연스러운 소리가 아님을 표현하도록 효과를 주었다. flanger 음향효과는 비행기가 이륙하는 소리와 같은 울림을 표현할 수 있다. 테이프 음악에는 comb filter 를 사용하여 날카로운 느낌이 표현 되도록 효과를 적용시켰다.

## 2) 영상의 적용 효과

곡이 진행됨에 따라 opacity 효과를 이용하여 사운드에 맞춰 영상이 스크린에 비춰지다 사라지면서 실시간으로 인터랙션 되게 적용시켰다. 또한 transform 효과를 이용하여 오브젝트가 곡의 다이내믹에 따라 크기 변화를 하도록 적용시켰다. twisted 효과는 음량값이 순간적으로 커지는 순간을 이용하여 영상의 일그러짐을 표현하였다. 효과적인 클라이맥스를 표현하기 위해서 효과 적용값에 많은 변화를 주었으며, 사방으로 펼쳐진 오브젝트가 점차 하나의 점으로 돌아가는 형태를 이용하여 곡의 outro를 장식하였다. [그림-27]은 여러 효과들에 의한 영상 변화를 나타낸 그림이다.



[그림-27] 효과들에 의한 영상 변화

#### 4. 기술 적용의 예술적 효과

사운드 디자인을 통해 만든 테이프음악은 화려한 사운드로, 사운드 프로세싱과 함께 따뜻한 배경을 제시하여 곡 전체를 이끌어 갔다. 익숙하지 않은 사운드로 제작한 테이프음악은 곡이 제시하는 방향성을 관객이 공감할 수 있도록 도와주었다.

Max를 통해 프로세싱된 사운드는 한 대의 가야금만으로도 화려한 음향효과를 표현할 수 있었다. 의도적인 delay 효과는 상대적으로 지속음이 약한 가야금의 특성을 변화시키기에 충분했으며, comb filter 음향효과를 이용하여 금속성 느낌의 날카로운 소리를 연출하게 함으로써 부드러운 악기의 음색을 변화시켜줄 수 있었다. 또한 granular synthesis를 사용하여 음의 화성적인 면을 넓힌 결과, 훨씬 풍부하고 화려한 사운드를 낼 수 있었다. 리듬과 멜로디가 강조되는 부분에서는 pitch shift와 chorus 음향효과를 이용하여 하나의 음이 여러 방면에서 수많은 음으로 울려 퍼져 나오는 신비한 음색에 대한 연출을 하였다. 전자 음향을 이용하여 음을 길게 유지하기 힘들다는 가야금의 특성을 보완할 수 있었으며, 작품에서 역시 가야금과 혼합하여 다채롭고 풍부한 사운드를 표현할 수 있게 되었다.

음악과 연동시킨 영상은 작품을 표현하는 이미지를 만들어 작품의 기승전결에 대한 이해를 도왔다. 악기의 음량 값을 활용하여 영상과 연동되었으며, 악기가 연주를 시작함과 끝났음을 시각적으로 표현하였다. 이 효과는 음악과 영상이 상호작용 한다는 것을 느끼게 하였고, 청각적인 부분과 시각적인 부분이 하나가 된 멀티미디어 작품을 만들 수 있게 되었다.

## IV. 결론

본 연구는 서로 다른 두 가지 종류의 예술을 융합하기 위한 목적으로 제작한 멀티미디어 작품이다. 국악기인 가야금을 연주하여 작품 전체를 이끌어가며, 테이터화한 음악의 주파수 값과 음량 값을 실시간으로 반응하는 영상에 프로세싱 하여, 청각적 요소와 시각적 요소 두 가지로 인터랙션이 이루어지게 하였다.

Max를 사용하여 테이프음악을 제작하였으며, 실시간 사운드 프로세싱에 대한 연구를 실시하였다. delay, flanger, chorus, granular synthesis, pitch shift, phase vocoder, comb filter 음향효과를 가야금의 특성에 맞춰 조합 하였으며, 어쿠스틱 악기로 한계가 있는 사운드를 전자 음향적으로 생성하여 음악에 접목시켰다. 이러한 효과로 악기의 음색, 고유의 음역, 악기의 구조로 인한 음의 길이를 기반으로 써야 했던 작곡법에 제한성을 벗어날 수 있었다.

영상은 테이프음악과 실시간 프로세싱된 사운드 데이터를 After Effect, Processing, Arena에 적용하여 실시간 인터랙션을 하였다. 영상은 가야금의 음량값에 반응하도록 제작 되었으며, 영상 이미지는 각 사운드 요소와 시나리오에 맞춰 변화 하였다. 효과적인 영상 표현을 위하여 여러 가지 영상 효과를 사용하였으며, 제작된 영상들은 시각적 요소와 청각적 요소가 어떻게 상호작용 하는 것인지를 명확하게 전달할 수 있었다. 음악과 영상의 연동 시스템 또한 OSC 통신을 통하여 제어 하였으며, 여러 가지 오류 없이 원활한 표현이 가능했다. 그러나 이번 연구를 통해 발생한 문제점 및 남은 연구과제는 다음과 같다.



첫째는 사운드와 영상의 실시간 프로세싱이 자동화를 거치는 것이다. 실시간으로 연출되는 음향효과와 영상, 영상효과를 오퍼레이터가 공연장에서 모두 제어하기는 위험부담이 크다. 오퍼레이터가 실수할 수 있는 요소를 최대한 줄이고 실시간 요소를 자동화 시스템하여 안정적인 공연환경으로 만드는 것이 필요하다. 멀티미디어 작품을 공연할 때, 발생할 수 있는 위험 요소를 줄이고 안정적인 시스템을 구축하는 것에 대한 연구가 이루어져야 한다.

둘째는 악기의 음량 값만 받아서 영상과 인터랙션을 하는 것이다. 악기의 음량값 외에 리듬, 화성, 음정 등을 인터랙션 요소로 활용하기 위한 연구가 필요하다. 음량값 만으로는 예술적 표현의 한계가 있으며, 다양한 요소들을 음악과 인터랙션할 수 있는 연구가 이루어져야 한다.

과학 기술의 발전으로 인해 예술 작품은 형식과 기법이 날이 갈수록 진보하고 있으며, 두 가지 이상의 요소를 활용한 멀티미디어 콘텐츠 또한 끊임없이 쏟아지고 있다. 음악, 미술, 영화 등 각 예술 분야 안에서의 경계는 물론이고, 각 예술 분야를 구분 짓는 경계 또한 모호해지고 있다. 이러한 시대에 한 가지 예술 분야 안에서 장르에 대한 구분을 짓는 것은 큰 의미가 없다. 예술가는 새롭게 등장하는 디지털 매체에 대한 분석을 어떻게 할 것이며, 또한 그것을 어떻게 활용할 것인지 스스로 판단하여야 한다. 다만 시대가 발전함에 따라 예술도 진보하는 것이 부정할 수 없는 사실이라면, 예술가로써 열린 시각과 마음을 가지고 새로운 접근을 시도하는 것이 예술의 영역을 넓히는데 기여할 수 있는 방법이 될 것이다.

Keyword(검색어)

컴퓨터음악(computer music), 멀티미디어음악(multimedia music), 소리합성(sound synthesis), 소리시각화(sound visualization), Gayaguem, Max/MSP, 실시간 사운드 프로세싱(real-time sound processing)

E-mail: sksmgjf@naver.com

## 참 고 문 헌

### 1. 단행본

- 김영민, 「사운드 디자인을 위한 맥스」, (Real Lies Media, 2017)
- 이석원, 「음악음향학」, (심설당, 2003)
- Michael Barr, 「Introduction to Pulse Width Modulation(PWM)」, (O'Reilly Network, 2003)
- J.M. Chowning. 「The synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation」, (J. Audio Eng. Soc. 1973)
- Charles Dodge, Thomas A. Jerse, 「Computer Music: synthesis, composition and performance, Second Edition」, (Schirmer Books, 1997)
- Bob Katz, 「Mastering Audio the art and the science, third edition」, (Focal Press, 2007)
- Curtis Roads, 「The Computer for music」, (MIT Press, 1996)
- Daniel Shiffman 저 「Learning Proccesing」, (비제이퍼블릭, 2015)

## 2. 참고논문

- 강현우, 「인도음악 연구를 통한 인터랙티브 멀티미디어음악 제작연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2017)
- 라지웅, 「Max/MSP와 Generative Art를 이용한 멀티미디어음악 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)
- 이보강, 「피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)
- 전우진, 「컴퓨터음악과 phase music을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2017)
- 조환희, 「베이스 트롬본과 피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어작품 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2019)
- 한승욱, 「피아노의 실시간 프로세싱을 이용한 멀티미디어음악 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)

### 3. 웹사이트

- CNMAT: external Max object, OSC  
<http://cnmat.berkeley.edu/>
- Learning Processing  
<http://learningprocessing.com/>
- Max  
<https://cycling74.com/>
- NI mate  
<http://ni-mate.com/>
- Processing  
<https://processing.org>
- Syphon  
<http://syphon.v002.info/>

## ABSTRACT

### A Study on Interactive Multimedia Music using Real-time Sound Processing for Gayageum (focus on Multimedia Music <Ineffable Balance>)

Lee, Young Min

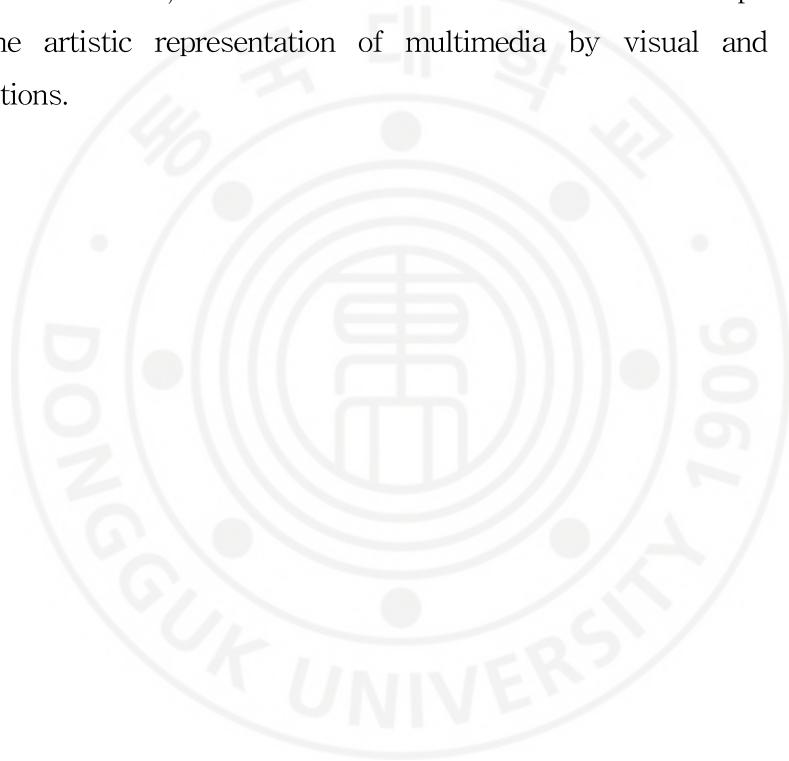
Department of Multimedia  
Graduate School of Digital Image and Contents  
Dongguk University

<Ineffable Balance> is a multimedia music artwork created using real-time sound processing of Gayageum performance. From this research, tried to create a new kind of multimedia work by combining computer music and other media, unlike traditional Korean instruments, using Gayageum. Implementing a real-time interaction system of music and video, visual production was done through sound visualization. This multimedia artwork allows viewers to show multimedia music that combines aspects of vision and hearing.

The configurations of <Ineffable Balance> can be divided into two systems: a music system and a video system. The Max/MSP program was used for sound processing and it was also used to create a control system for music and video. For creating videos using Processing and

After Effects program, and use Arena program to mix them with more effectiveness.

This study implements multimedia music works that combine music and video. Maintained real-time sound processing for Gayageum performance, interacted the sound and video, and applied it to the task which was performed on. The artwork was to combine two or more multimedia content, audio and video to create a aesthetic performance and the artistic representation of multimedia by visual and auditory interactions.



부록-1 : <Ineffable Balance> 악보

Ineffable Balance

1

Classical Acoustic Guitar

1 5 9 13 17 21 25 29 33 37 41 45 49 53 57 61



This musical score consists of ten staves of music. The first staff begins at measure 65. The second staff begins at measure 69. The third staff begins at measure 73 and contains a section of slurs from measure 73 to 77. The fourth staff begins at measure 85. The fifth staff begins at measure 89 and features two triplet markings. The sixth staff begins at measure 97. The seventh staff begins at measure 101. The eighth staff begins at measure 105. The ninth staff begins at measure 109. The tenth staff continues the melodic line from the previous staff. The music is written in a single system with a key signature of one flat and a 4/4 time signature.



113

117

121

Musical score for four staves. The first three staves contain a complex melodic line with many slurs and accidentals. The fourth staff contains a few notes and rests. A large watermark for Dongguk University is visible in the background.

## 부록-2 : 첨부 DVD 설명

1. Ineffable Balance\_video : 온라인 소극장 공연 영상
2. Ineffable Balance\_score : 작품 악보 폴더
3. Ineffable Balance\_patch : 작품에 사용된 Max 패치 폴더

