



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

석사학위논문

클라리넷과 피아노의 실시간 사운드
프로세싱을 이용한 멀티미디어음악 작품 연구
(멀티미디어음악 작품 <Hexagon>을 중심으로)

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원
멀티미디어학과 컴퓨터음악전공

정 현 철

2020

석사학위논문

클라리넷과 피아노의 실시간 사운드
프로세싱을 이용한 멀티미디어음악 작품 연구
(멀티미디어음악 작품<Hexagon>을 중심으로)

정현철

지도교수 김준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2019년 12월

정현철의 음악석사(컴퓨터음악)학위 논문을 인준함

2020년 1월

위원장 정진현

위원 김정호

위원 김준

동국대학교 영상대학원

목 차

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 사례 연구	3
II. 기술연구	6
1. 음향 효과 연구	6
1) 사운드 시스템	6
2) 사운드 프로세싱 연구	7
① granular synthesis 음향효과	8
② pitch shift 음향효과	10
③ phasor vocoder 음향효과	12
④ delay 음향효과	15
2. 프로젝션 매핑 연구	18
1) 프로젝션 매핑 시스템	18
2) 프로젝션 매핑 연구	19
① Madmapper를 이용한 영상제작	20
② Arena를 이용한 영상제작	27
3. 공연 시스템 연구	29
1) 공연 시스템	29
2) 컨트롤 자동화 시스템	31
① 사운드 컨트롤 시스템	31
② 프로젝션 매핑 컨트롤 시스템	32

III. 연구 기술의 작품적용	34
1. 작품 소개	34
2. 작품 구성	35
1) 음악 구성	35
2) 프로젝션 매핑 영상 구성	37
3. 연구 기술 적용	41
1) intro파트 적용 효과	41
2) A파트 적용 효과	43
3) B파트 적용 효과	46
4) outro파트 적용 효과	48
4. 연구 기술의 적용 효과	49
IV. 결 론	51
참 고 문 헌	54
ABSTARCT	57
부록 - 1 : <HEXAGON> 악보	59
부록 - 2 : 첨부 DVD 설명	71

표 목 차

<표-1> grain pitch 파라미터의 수치에 따른 pitch 변화	10
<표-2> cent(ct) 값에 따른 음정의 변화	11
<표-3> 멀티미디어작품 <HEXAGON>의 음악구성	35
<표-4> 프로젝션 매핑의 영상 시나리오	37
<표-5> intro파트의 구성	41
<표-6> A파트의 구성	43
<표-7> B파트의 구성	46
<표-8> outro파트의 구성	48

그 림 목 차

[그림-1] 프로젝션 매핑을 활용한 멀티미디어 작품 <ray : trace>	3
[그림-2] 프로젝션 매핑을 활용한 멀티미디어 작품 <Orange Amp>	4
[그림-3] 사운드 프로세싱 시스템 설계도	7
[그림-4] granular synthesis에 의해 소리가 grain으로 분해된 모습	8
[그림-5] 단일 grain의 형태	9
[그림-6] munger~오브젝트를 이용한 granular synthesis의 패치	9
[그림-7] pitchshift~오브젝트를 활용한 pitch shift 패치	11
[그림-8] phase vocoder의 FFT 분석 시스템	12
[그림-9] pfft~ mypvoc~를 이용한 phase vocoder 패치	13
[그림-10] pfft~ mypvoc~의 내부패치	14
[그림-11] delay 음향효과의 구조	15

[그림-12] Max에서 구현한 delay 패치	16
[그림-13] pinpong delay를 만들기 위한 panning 패치	17
[그림-14] 프로젝션 매핑 시스템	18
[그림-15] Madmapper의 line animator 프리셋	19
[그림-16] polygon의 제작 과정	20
[그림-17] 조형물에 polygon의 투사 범위를 조절하는 모습	21
[그림-18] cursor 기능을 활성화 하는 방법	21
[그림-19] Madmapper의 OSC address를 활용하는 모습	22
[그림-20] 음량 값의 변화에 따른 curve 값의 변화	23
[그림-21] line의 number를 조형물에 대응시킨 모습	24
[그림-22] line의 인터랙션을 위한 Max패치를 간략화한 모습	25
[그림-23] Arena의 OSC address 확인 방법	27
[그림-24] 음량 값과 bright.contrast 값이 연동 된 모습	28
[그림-25] Arena의 Syphon 기능을 통한 영상 전송 모습	28
[그림-26] 공연 시스템 설계도	29
[그림-27] 무대 구성 모습	30
[그림-28] Max로 구현한 사운드 컨트롤 자동화 패치	31
[그림-29] Max로 구현한 장면 전환 자동화 패치	33
[그림-30] Max로 구현한 파라미터 컨트롤 자동화 패치	33
[그림-31] 조형물에 line이 생성되는 모습	42
[그림-32] cross~오브젝트를 이용한 lowpass filter 효과	44
[그림-33] 인터랙션 시스템을 통한 악기별 구간 지정 방법	45
[그림-34] 공연 당시의 악기별 인터랙션 모습	46
[그림-35] 클라리넷 음의 하행에 따른 polygon 애니메이션 효과	47

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

현대 기술의 발달에 의하여 음악은 귀로만 감상하는 수준을 벗어나 복합적인 예술로 확장하고 있다. 특히 영상, 미디어 파사드 (media facade)¹⁾, 레이저 퍼포먼스 등과 같은 시각적인 요소들과 인터랙션(interaction)²⁾하는 작품들이 끊임없이 만들어지고 있다. 이러한 작품들은 시각과 청각을 동시에 자극하여 청중들에게 다채로운 경험을 제공하고 작품의 의미를 한층 더 강렬하게 전달한다.

<HEXAGON>은 시각적인 요소인 프로젝션 매핑 (projection mapping)과 음악을 결합시킨 멀티미디어(multimedia)³⁾음악 작품이다. 프로젝션 매핑은 대상물의 표면에 영상을 투사하여 변화를 주는 미디어 아트의 일종이다. 이는 빔 프로젝터를 이용하여 현실에 존재하는 대상이 다른 성격을 가진 것처럼 보이도록 하며, 특정한 물건·건물·공간 등을 빛으로 새롭게 표현하여 생동감과 역동성을 부여한다. 본 연구는 프로젝션 매핑을 활용하여 소리의 시각화를 구현하고, 음악과의 인터랙션을 통해 시·청각적인 융복합 작품을 제작하는 것에 목적을 두고 있다.

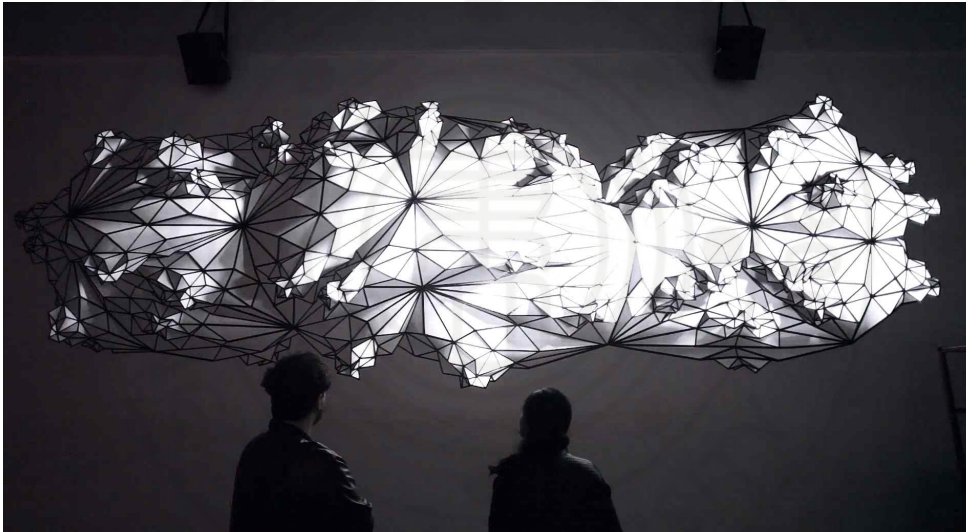
-
- 1) 건물 외벽에 빛을 소재로 한 다양한 콘텐츠를 투사하는 미디어 작품을 이른다. 미디어(media)와 벽(facade)의 합성어.
 - 2) 상호작용을 뜻하며, 2개 이상의 매체가 서로 영향을 미치는 작용을 말한다.
 - 3) 다양한 형태의 미디어 정보가 혼합된 디지털 매체를 이른다. multi(다중, 복합)와 media(매체, 매개물)의 합성어로서 영상 매체·소리·글자의 복합체를 의미하는 동시에 컴퓨터가 처리할 수 있는 디지털 상태의 것을 포괄한다. 「네이버 지식백과」

작품에서 음악은 인터랙션을 제어하는 주체이며, 스토리텔링을 주도하는 요소이다. 비화성적 구조를 통한 어두운 분위기의 연출은 화성적인 구조와 안정적인 진행의 보편적인 표현방식을 탈피하고자 하는 음악적 시도에서 시작하였다. 이는 실시간 사운드 프로세싱을 활용한 독특한 사운드와 어우러져 한층 더 효과적인 연출을 보여지게 된다. 악기 연주의 오리지널 사운드와 그에 반응하는 프로세싱 사운드를 통해 음악의 새로운 표현방식과 발전 가능성을 제시하고자 한다.

본 논문은 청중들에게 다양한 감각과 예술적 경험을 제공하기 위한 기술과 효과들을 멀티미디어음악 작품 <HEXAGON>을 통해 설명한다. 특히 실시간 사운드 프로세싱과 프로젝션 매핑의 기술 연구를 통해 소리의 재창조와 시각화를 구현하고, 작품에 적용하는 방법과 그 효과들을 다루고자 한다.

2. 사례 연구

프로젝션 매핑은 컴퓨터와 빔 프로젝터, 영상을 투사할 대상만 있으면 작업이 가능하다. 또한 투사하는 대상에 따라 표현할 수 있는 퍼포먼스가 매우 다양하고, 저렴한 비용으로 큰 효과를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 이는 음악과의 인터랙션을 통해 청중들의 시·청각적인 감각을 동시에 자극하여 새로운 예술적 경험을 제공한다.



[그림-1] 프로젝션 매핑을 활용한 멀티미디어작품 <ray : trace>

[그림-1]은 2017년 3월 샌프란시스코의 Midway Gallery에 전시된 멀티미디어 작품 <ray : trace>이다. 비주얼 아티스트 Can Buyukberber에 의해 디자인되었으며, 사운드 디자이너 Yagmur Uyanik가 작업에 참여하였다. 조형물을 이용한 프로젝션 매핑과 음악이 조화를 이룬다는 점에서 본 논문의 작품인 <HEXAGON>과 많은 공통점을 가지고 있다.

조형물의 제작을 통한 프로젝션 매핑은 전시 미술의 영역으로 확장하여 미적인 표현을 한층 더 발전시킨다. 이와 같은 작품들은 대부분 조형물의 구조적인미를 강조하기 위해 외형적 변화에 집중한다.

<ray : trace>은 미리 제작된 영상과 음악을 통해 외형적 변화를 보여준다. 이는 프로젝션 매핑의 가장 보편적인 작업 방식이다. 음악과 프로젝션 매핑의 인터랙션은 사전의 약속을 통해 연출되기도 하지만 대부분 까다로운 매칭 작업 때문에 작품에 큰 비중을 차지하지 않게 된다. <ray : trace>의 음악 역시 작품에 어울리는 연출을 하고 있지만 인터랙션의 부재로 인해 프로젝션 매핑의 영상과 다소 동떨어진 느낌을 주고 있다.



[그림-2] 프로젝션 매핑을 활용한 멀티미디어 작품 <Orange Amp>

[그림-2]는 2017년 3월 31일 공개된 멀티미디어 작품 <Orange Amp>이다. 기타리스트 손영민에 의해 제작되었으며 기타 연주를 통한 실시간 인터랙션에 집중한 작품이다. 조형물을 제작하는 것이 아닌

일상에서 흔히 볼 수 있는 대상을 활용하여 영상을 투사한다. 소리를 출력하는 앰프에 파형의 이미지를 투사함으로써 대상이 청각적인 성격과 시각적인 성격을 동시에 가지게 하였다. 본 작품은 악기의 연주를 통한 실시간 인터랙션에 집중하여 소리를 시각화한다는 점에서 <HEXAGON>과 공통점을 가지고 있다.

음악과 프로젝션 매핑의 인터랙션은 두 매체가 하나로 연결된 작품으로 느껴지게 하는 주된 요소이다. 하지만 <Orange Amp>는 다양한 장면의 연출을 통한 스토리텔링이 아닌 소리의 시각화만을 보여주고 있다. 스토리텔링의 부재는 청중들에게 프로젝션 매핑이 음악과 연결된 하나의 작품으로 느껴지게 하기보다는 단순히 음악의 기술적 표현수단으로 인식하게 한다.

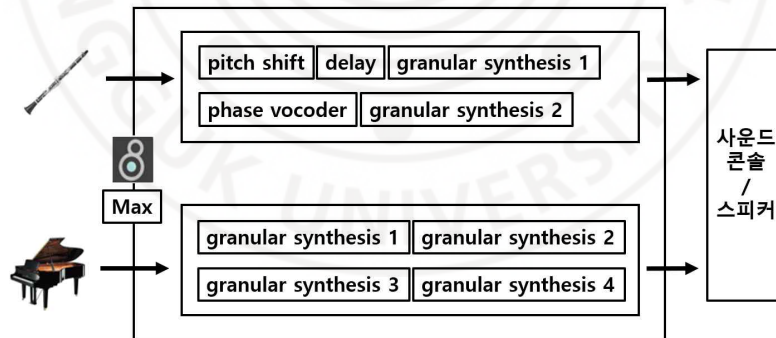
<HEXAGON>은 앞서 언급한 두 가지 사례들을 참고하여 조형물을 활용한 실시간 인터랙션의 장점을 수용하고, 스토리텔링의 부재라는 단점을 보완하고자 하였다. 조형물의 외형적 특징을 강조하여 생동감과 역동성을 부여하였으며, 실시간 인터랙션의 스토리텔링을 통해 음악과 프로젝션 매핑이 하나의 작품으로 융화되게 하였다.

II. 기술 연구

1. 음향 효과 연구

1) 사운드 시스템

[그림-3]은 클라리넷과 피아노의 사운드 프로세싱 시스템 설계도이다. 마이크로 수음한 3채널(클라리넷 1채널, 피아노 2채널)의 신호는 모두 오디오 인터페이스를 거쳐 컴퓨터로 전송된다. 사운드 신호는 Max⁴⁾로 전달되어 사운드 프로세싱이 이루어지게 되며, 오리지널 사운드와 프로세싱 사운드 모두가 콘솔을 거쳐 스피커로 출력된다. 이 과정은 모두 악기의 연주를 통해 실시간으로 이루어진다.



[그림-3] 사운드 프로세싱 시스템 설계도

4) Cycling '74사에서 개발하였으며, 오디오, 비주얼 미디어 및 물리적 컴퓨팅을 다루는 예술가, 교육자 및 연구원들을 위한 소프트웨어이다. 음향신호와 MIDI 데이터를 컨트롤하는 MSP와 real-time video와 3D 그래픽을 다루는 jitter로 이루어져 있다.

2) 사운드 프로세싱 연구

<HEXAGON>의 음악은 클라리넷과 피아노가 선율과 화성을 연주하는 보편적인 방식을 이루고 있다. 하지만 사운드 프로세싱을 활용함으로써 악기의 연주는 보편적인 음악에서 그치지 않고 새로운 음악으로 재탄생한다. 프로세싱이 적용된 사운드를 구현하기 전, 두 악기가 모두 클래식 음악에서 자주 사용된다는 점을 고려하였다. 피아노는 장르를 가리지 않는 악기이지만 클라리넷과 함께 연주될 때 클래식한 느낌을 더 강하게 전달한다. 이를 토대로 프로세싱 사운드를 구현하게 되었다. 클래식 음악은 주로 오케스트라의 악기편성을 통해 표현된다. 특히 오케스트라에서 자주 사용되는 현악기는 소리의 지속시간이 길어 음악의 전체적인 사운드를 아우르기에 용이하다. 이를 synthesizer⁵⁾로 구현한 것이 패드(pad)⁶⁾ 사운드이다. 패드 사운드를 구현하기 위해서 충분한 sustain⁷⁾과 긴 release time⁸⁾을 확보할 수 있는 granular synthesis를 활용하였으며, 넓은 음역대를 표현하기 위해 화성 연주가 가능한 피아노를 사용하였다. 반면 목·금관악기와 같은 선율의 사운드를 만들기 위해서는 클라리넷을 사용하였다. 단선율 악기는 풍부한 표현을 위해 여러 대의 악기를 사용한다. pitch shift를 통한 화음 연주와 phase vocoder를 활용한 새로운 선율의 창조는 단선율 악기가 가진 한계를 뛰어넘게 한다. 앞서 언급한 음향효과들을 구현하기 위해 Max를 활용하였다.

5) 전기적으로 여러 음을 자유롭게 합성하여 새로운 음색을 만드는 악기.

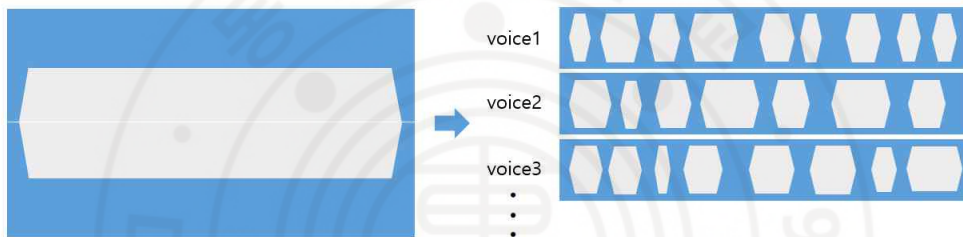
6) 신디사이저로 구현된 지속적인 코드 사운드를 말하며, 이는 오케스트라의 현악기를 모방한 사운드이다.

7) 소리가 지속하는 구간의 음량 값.

8) 소리가 완전히 사라지는데 까지 걸리는 시간.

① granular synthesis 음향효과

granular synthesis는 소리를 아주 작은 시간 단위로 분해한 뒤, 짧은 소리들을 모아 하나의 합성 소리로 재조합하는 합성법을 말한다. [그림-4]는 소리가 작은 입자들로 분해된 모습을 나타낸다. 여러 개의 voice⁹⁾ 안의 작은 입자 하나하나가 마치 곡물 같아 보여 grain이라 부르며, 사운드는 grain의 모양에 큰 영향을 받는다.



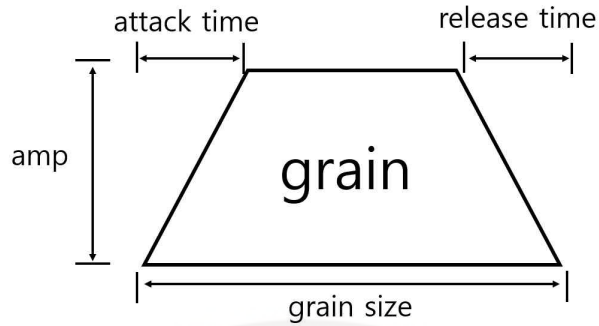
[그림-4] granular synthesis에 의해 소리가 grain으로 분해된 모습

[그림-5]는 grain 하나의 형태를 나타내는 그림이다. grain의 모양은 grain size와 ramp time¹⁰⁾에 의해 크게 영향을 받는데 이는 음색에 직접적으로 관여한다. grain size는 grain의 크기를 제어하고, ramp time은 attack¹¹⁾ 과 release time을 제어한다. ramp time의 파라미터 수치는 attack과 release time에 동일하게 적용되며, grain size에 대한 비율(%)로 지정한다.

9) 목소리라는 단어 뜻을 가지고 있지만, 본 논문에서는 동일한 음원이 동시에 얼마만큼 출력 되는지에 대한 개수의 의미를 뜻한다.

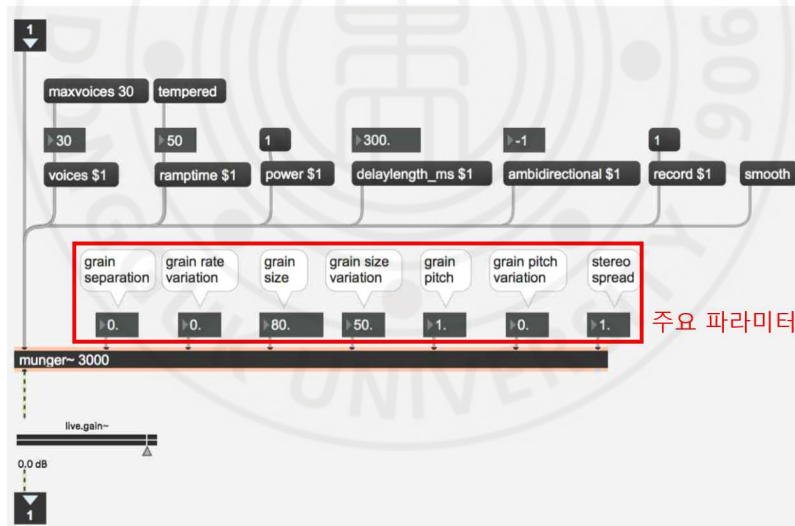
10) 소리가 끊기는 구간에 지정되는 attack과 release time을 통틀어 뜻하는 말이다. 소리의 시작과 끝의 음량 값에 fade 효과를 주어 노이즈를 없애는 역할을 한다.

11) 소리가 최고 음량까지 도달하는데 걸리는 시간을 말한다.



[그림-5] 단일의 grain 형태

본 연구는 granular synthesis를 Max로 구현하기 위해 munger~ 오브젝트¹²⁾를 활용하였다. [그림-6]는 이를 활용한 패치의 모습이다.



[그림-6] munger~오브젝트를 활용한 granular synthesis의 패치

12) Columbia University에서 만든 Max 외부 오브젝트로 프로그램에서 제공하는 Package Manager에서 다운로드가 가능하다. granular synthesis를 구현하기 위해 사용된다.

패드 사운드를 표현하기 위해 다수의 granular synthesis를 활용하였으며, grain pitch 파라미터를 다양한 수치로 지정하여 여러 음역대로 분산시켰다. 또한 30개의 voice를 사용하여 사운드에 풍성한 느낌을 더하였다. <표-1>은 grain pitch 파라미터의 수치에 따른 pitch의 변화를 나타낸다.

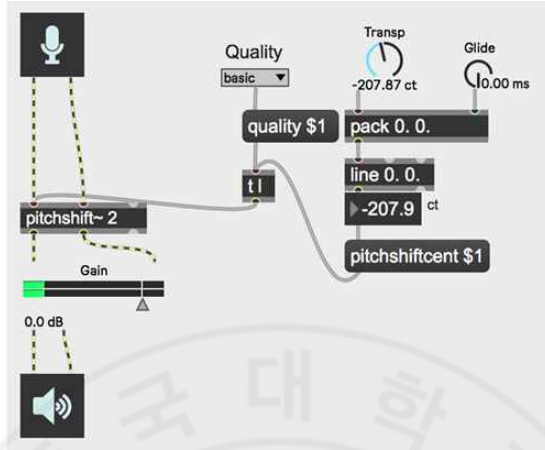
<표-1> grain pitch 파라미터의 수치에 따른 pitch의 변화

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

② pitch shift 음향효과

pitch shift는 음의 높낮이를 변화시키는 기능을 하며 사운드 본연의 음색을 살리며 제어할 수 있다. 음색의 왜곡 없이 음의 높낮이를 조절하기 위해서는 여러 가지 방법이 있지만 일반적으로 두 가지 방법을 사용한다. 이는 pitchshift~오브젝트를 사용하는 방법과 FFT¹³⁾ 분석을 통한 phase vocoder를 사용하는 방법이며, 작품에서는 pitchshift~오브젝트를 사용하였다. FFT 분석을 통한 phase vocoder는 본 연구에서 역재생 효과를 위해 제작되었기 때문에 자세한 설명은 다음 절(③ phase vocoder)에서 설명한다.

13) Fast Fourier Transform의 약자로 고속 푸리에 변환이라고도 한다. 주로 복잡한 파형이나 신호들을 보다 간단하게 변환시켜주는 알고리즘을 말한다. 파형을 분석하여 그 데이터를 이용해 원하는 대로 소리를 재합성 할 때 많이 사용된다.



[그림-7] pitchshift~오브젝트를 활용한 pitch shift 패치

본 작품에서는 클라리넷에 pitch shift 효과를 적용하였다. 클라리넷은 단선율 악기이기 때문에 화성을 연주할 수 없지만 pitch shift를 활용하면 화음 연주가 가능하게 된다. 2개의 pitch shift를 사용하여 고음과 저음 파트를 연출하여 3화음의 연주가 가능하도록 구현하였다. [그림-7]은 pitchshift~오브젝트를 활용한 패치의 모습이다. 음의 높낮이는 cent¹⁴⁾(ct) 단위로 조절이 가능하며, ms(밀리세컨드) 단위로 glide¹⁵⁾ 효과를 연출할 수 있다. 또한 음색의 퀄리티(quality)를 프리셋을 통해 선택할 수도 있다. <표-2>는 cent 값에 따른 음정의 변화를 나타낸다.

<표-2> cent(ct) 값에 따른 음정의 변화

Oct	200ct	400ct	500ct	700ct	900ct	1100ct	1200ct
원전1도	장2도	장3도	원전4도	원전5도	장6도	장7도	원전8도

14) 반음(단 2도) 사이를 100분 한 단위 (1옥타브 = 1200cent)

15) 음악에서 음이 서서히 올라가거나 낮아지는 효과를 말한다.

③ phase vocoder 음향효과

phase vocoder는 FFT 분석을 통해 음원을 재조합 하는 방식으로 음정을 제어할 수 있으며, time stretching¹⁶⁾이 일어나도 음원의 음정과 음색을 그대로 유지할 수 있는 합성 방식이다. 물리적으로 테이프를 빨리 재생하게 되면 파장의 길이가 짧아져 음은 높아지게 되고 느리게 재생하게 되면 파장의 길이가 길어져 음이 낮아진다. 하지만 디지털 음악 작업 환경에 있어서 이런 물리적 효과는 효율적이지 못한 경우가 많다. 특히 샘플 기반의 작업이라면 샘플의 time stretching에 따른 음정의 변화가 매우 번거로운 작업을 가져다줄 수밖에 없다. phase vocoder는 이러한 음정의 변화에 대한 불편함을 해소시키며, 심지어 샘플을 역방향으로 재생시키더라도 음정의 변화나 사운드의 왜곡이 없다는 장점을 가지고 있다. 본 작품에서는 음정의 변화보다는 역방향 재생에 대한 효과를 더 중점적으로 사용하였으며, 이를 역재생 효과¹⁷⁾라고 한다.

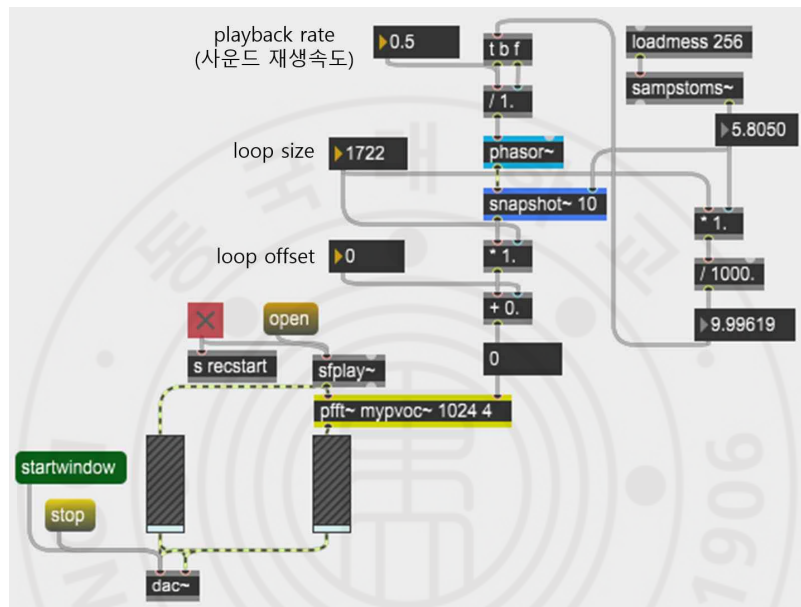


[그림-8] phase vocoder의 FFT 분석 시스템

16) 음원의 시간을 늘리거나 줄이는 기능 및 효과.

17) reverse 효과라고도 하며, 음원의 시작과 끝을 반대 방향으로 재생하는 효과를 말한다.

[그림-8]은 phase vocoder 패치의 FFT 분석 시스템이다. 사운드가 입력되면 패치에서 FFT 분석이 이루어지며, 재생 속도와 루프 사이즈(loop size)를 정해줄 수 있다.



[그림-9] pfft~ mypvoc~를 이용한 phase vocoder 패치

[그림-9]는 pfft~ mypvoc~오브젝트를 이용하여 phase vocoder를 구현한 패치 모습이다. 입력된 신호는 pfft~에서 FFT 분석을 통해 프레임 단위의 데이터로 내부패치의 buffer~오브젝트에 저장된다. 데이터는 phase~오브젝트를 통해 출력되며, playback rate 파라미터의 지정된 값에 따라 재생속도가 결정 되고, 음수로 지정될 경우 역재생이 일어난다.

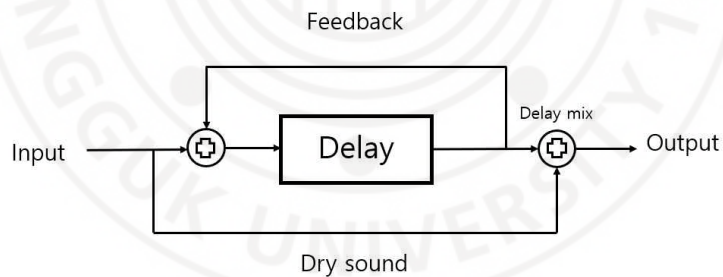


[그림-10] pfft~ mypvoc~의 내부패치

[그림-10]은 phase vocoder의 pfft~ mypvoc~오브젝트 내부 패치이다. fftin~오브젝트로 입력된 데이터는 buffer~오브젝트에 저장되며 index~오브젝트로 전달된다. 입력 값은 프레임 크기와 곱해져 buffer~오브젝트에 저장된 사운드 데이터의 재생구간을 결정한다. Max로 구현한 phase vocoder는 0에서 1까지 반복되는 phasor~오브젝트의 특징을 이용하여 정해진 루프만큼의 데이터를 연속적으로 반복할 수 있다.

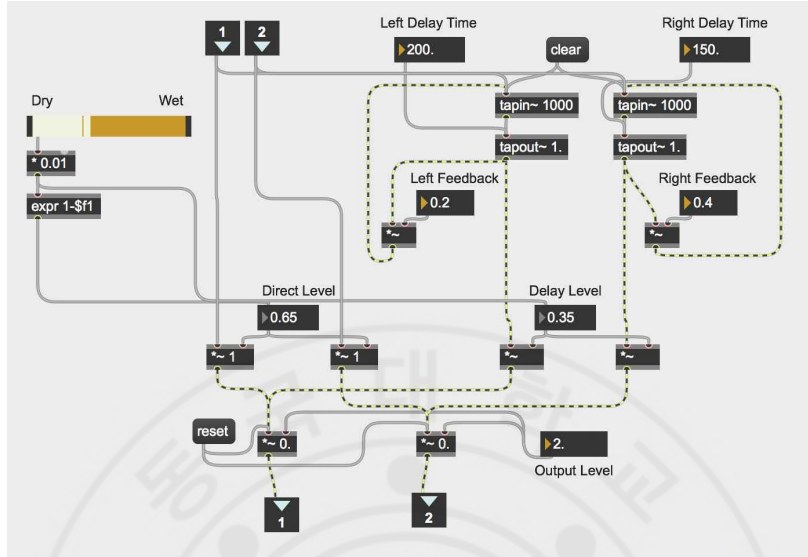
④ delay 음향효과

delay란 사운드 신호를 지연 시키는 효과를 말하며, 이는 지연되지 않은 dry sound¹⁸⁾와 결합되어 최종 출력된다. [그림-11]은 delay 음향효과를 구조화 한 그림이다. 인풋(input)신호는 delay를 거쳐 일정 시간 지연이 되어 출력되며, 이 신호는 정해진 비율로 음량 값이 줄어들어 다시 delay의 인풋으로 입력되는데, 이를 feedback이라고 한다. feedback은 공연장과 같은 마이크를 쓰는 공간에서도 발생한다. 마이크로 입력된 소리가 스피커로 출력된 후 다시 마이크로 유입되는데, 이 과정에서 입력신호보다 큰 출력신호가 다시 유입되면, 이것이 빠르게 반복되어 큰 소음을 일으키게 된다. 이처럼 delay를 음향효과로 쓰기 위해선 feedback의 음량 감소 비율을 100% 이상으로 지정하지 않도록 주의하여야 한다.



[그림-11] delay 음향효과 구조

18) 어떠한 effect도 거치지 않은 순수한 오리지널 사운드. 반대 의미로 wet sound가 있으며, 이는 effect가 적용된 사운드를 의미한다.



[그림-12] Max에서 구현한 delay 패치

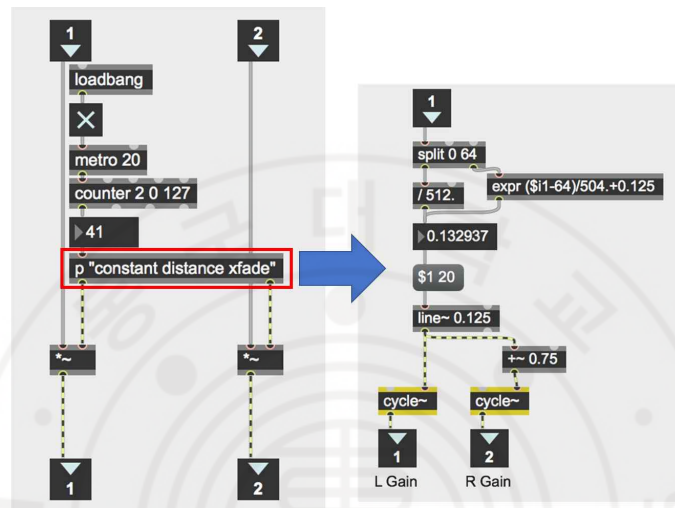
[그림-12]는 Max에서 구현한 delay 패치이며, tapin~오브젝트와 tapout~오브젝트의 조합으로 만들 수 있다. tapin~오브젝트에서 입력된 신호를 저장하게 되며, 용량이 가득 차게 되면 저장된 신호를 내보냄과 동시에 다시 새로운 입력신호를 저장하게 된다. 이 신호는 tapout~ 오브젝트로 전달되며, 저장된 오디오 신호를 정해진 시간만큼 지연시켜 출력하게 된다. 이후 두 오브젝트를 거친 신호에 일정 비율의 곱으로 소리의 음량¹⁹⁾을 낮추어 다시 입력하게 되면 feedback 효과를 얻을 수 있다.

본 작품에서는 delay의 응용을 통해 좌우로 움직이는 pingpong delay²⁰⁾를 구현하는 것이 목적이다. 곡이 최고조에 이르렀을 때 의도적으로 혼란스러움을 표현하고자 했기 때문이다. pingpong delay는

19) 소리가 크기를 나타내는 정도를 말한다.

20) delay 효과가 좌우로 번갈아 가며 출력되는 delay 효과의 일종을 말한다.

스테레오 사운드(stereo sound)²¹⁾로서 공간감을 더욱 뚜렷하게 표현하는 효과가 있다.



[그림-13] pingpong delay를 만들기 위한 panning 패치

[그림-13]은 pingpong delay를 만들기 위한 패닝(panning)²²⁾패치이다. counter오브젝트²³⁾는 metro오브젝트²⁴⁾에서 지정한 시간(ms) 간격으로 실행되며, counter오브젝트는 0~127까지 상행과 하행을 반복하게 된다. 반복적인 움직임은 counter오브젝트의 2번 모드인 반복 모드로 실행이 가능하다. 이는 서브 패치 constant distance xfade²⁵⁾를 통해 음량이 완전히 줄어드는 구간을 제거하고 자연스러운 패닝이 이루어지도록 한다.

21) 2대의 사운드 출력기기를 사용하여 재생음이 입체적으로 느껴지도록 하는 사운드를 말한다.

22) 스테레오 음향에서 좌우 볼륨 값의 조절을 말한다.

23) 지정한 수의 간격으로 수를 세어 가는 Max 오브젝트이다.

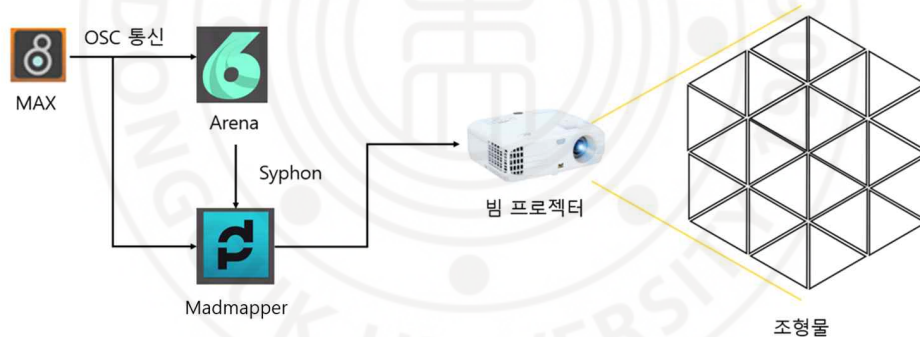
24) 설정한 시간 간격으로 bang 메시지를 출력하는 Max 오브젝트로 비슷한 기능을 하는 pmetro오브젝트 보다 훨씬 정확한 시간간격을 유지하지만 비교적 많은 CPU를 점유한다.

25) 패닝의 좌우 볼륨에 자연스러운 cross fade 효과를 구현하기 위한 계산 방식.

2. 프로젝션 매핑 연구

1) 프로젝션 매핑 시스템

음악과의 인터랙션을 위한 프로젝션 매핑 시스템은 Madmapper²⁶⁾와 Arena²⁷⁾로 이루어졌다. [그림-14]는 프로젝션 매핑 시스템을 구조화한 설계도이다. Max에서 음량 값의 데이터를 OSC²⁸⁾통신을 통해 Madmapper와 Arena로 전송되며, material이라 불리는 영상샘플의 각종 파라미터와 연동된다. Arena의 영상 역시 OSC통신을 통해 제어되며, Syphon²⁹⁾을 통해 Madmapper로 전송된 후 출력된다.



[그림-14] 프로젝션 매핑 시스템

26) Madmapper 사에서 개발한 소프트웨어로 프로젝션 매핑 작업에 특화된 프로그램이다.

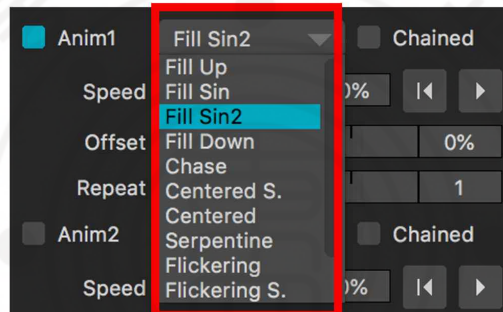
27) Resolume 사에서 개발한 비주얼 퍼포먼스 프로그램으로 본 논문에서는 6 버전이 사용되었다.

28) Open Sound Control의 약자이며 사운드 데이터의 전송을 위해 개발된 통신규약이다.

29) 프로그램간의 영상을 서로 공유할 수 있게 해주는 Mac OS 기반의 오픈소스.

2) 프로젝션 매핑 연구

본 작품의 프로젝션 매핑은 음악과의 인터랙션을 통해 소리를 시각화하는 매개체이다. 하지만 다수의 프로젝션 매핑 프로그램들은 음악과의 인터랙션을 위한 기능들이 미흡한 상태이며, 대부분의 작업은 프리셋을 통해 이루어진다. [그림-15]는 Madmapper의 line³⁰⁾ animator 프리셋들이며, 프로그램의 한계를 단적으로 보여주는 예이다.



[그림-15] Madmapper의 line animator 프리셋

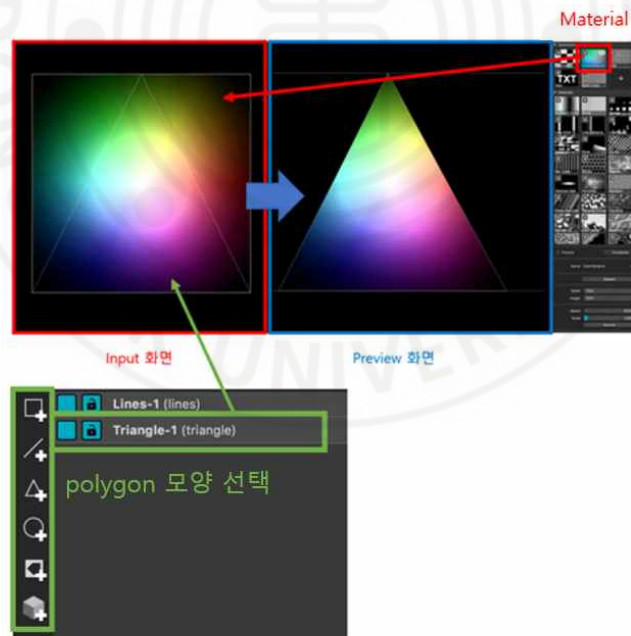
본 작품은 조형물에서 만들어지는 다양한 모양의 polygon 조합과 line들의 움직임을 실시간으로 연출해야했기 때문에, 프리셋을 통한 인터랙션은 적합하지 않았다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위해 Max를 활용한 실시간 인터랙션 시스템을 만들고 응용하는 방식을 제안한다.

30) Madmapper에서 사용되는 polygon과 더불어 대상에 투사되는 선 모양의 객체를 말한다. Max에서 사용하는 line~오브젝트와는 다른 의미를 가지고 있다.

① Madmapper를 이용한 영상제작

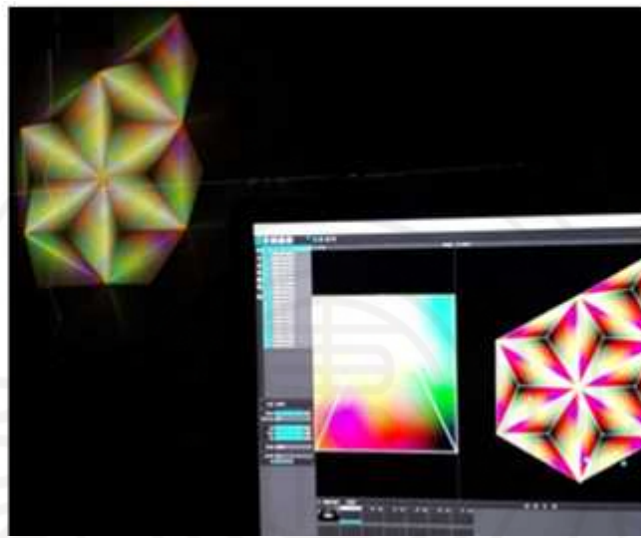
프로젝션 매핑의 최종 영상 출력은 Madmapper로 이루어지며, 영상은 Madmapper와 Arena를 통해 제작되었다.

Madmapper로 조형물 모형의 투사 범위를 지정해주는 방법은 두 가지이다. 스캐너를 사용하여 화면을 보는 방법과 직접 실물을 보며 투사범위를 지정하는 방법이다. 본 작품은 선과 면이 많아서 정밀한 작업을 요구하기 때문에 실물을 보며 투사 범위를 지정하는 방식을 선택하였다. 투사는 polygon의 배치로 이루어진다. [그림-16]은 polygon을 제작하는 과정을 나타낸다. material과 polygon의 모양 또는 line을 지정한 후 input 화면에서 조합을 하면 Preview 화면에 polygon이 생성된다.



[그림-16] polygon의 제작 과정

[그림-17]은 조형물의 크기에 맞춰 polygon의 투사 범위를 조절하는 모습이다. 투사 범위를 지정할 때 cursor 기능을 활성화시켜 조형물에 마우스 커서가 어디에 위치하고 있는지 확인해야 정밀한 작업이 가능하다. [그림-18]은 cursor 기능을 활성화시키는 방법이다.

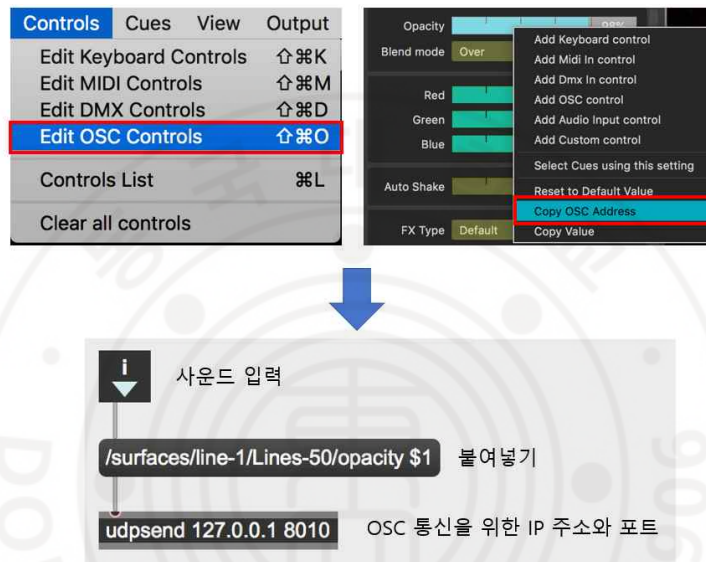


[그림-17] 조형물에 polygon의 투사 범위를 조절하는 모습



[그림-18] cursor 기능을 활성화 하는 방법

프로젝션 매핑의 영상은 악기 연주의 음량 값을 통해 제어 된다. 음량 값은 Madmapper의 material 파라미터와 연동 되어 있으며, 이는 OSC통신을 통해 이루어진다.



[그림-19] Madmapper의 OSC address를 활용하는 모습

[그림-19]는 Madmapper의 OSC address를 활용하는 모습을 나타낸다. 확인된 OSC address를 message 박스에 지정하고, \$1³¹⁾을 사용하여 실시간으로 입력되는 데이터 값을 출력하게 한다. 이 데이터 값은 localhost³²⁾(127.0.0.1)와 port³³⁾를 지정해준 udpsend오브젝트³⁴⁾를 통해 전송된다.

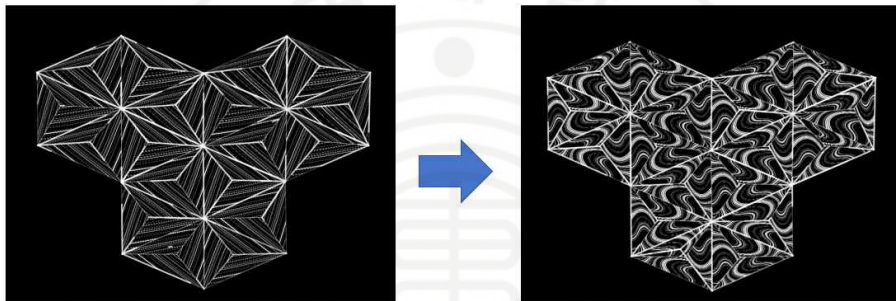
31) 변수의 입력과 출력을 위한 Max의 언어 중 하나.

32) 프로그램과 프로그램 사이의 데이터 전송을 위한 IP 주소를 말한다.

33) UDP 통신을 위한 프로그램의 고유 number를 일컫는다.

34) UDP 통신을 위해 ip와 port를 지정할 수 있는 Max 오브젝트.

Max에서 데이터화된 볼륨 값인 $-70 \sim 0 \text{ dB}^{35)}$ 의 범위는 zmap 오브젝트를 통해 Madmapper의 파라미터 범위인 $0 \sim 1$ 의 값으로 변환된다. 이것은 이미지의 크기나, 선의 왜곡, 색깔 등과 연동이 되며, 음량이 변할 때마다 실시간으로 material의 파라미터를 제어한다. [그림-20]은 사운드의 음량 값이 변화할 때마다 material의 curve 값이 실시간으로 제어되는 모습을 나타낸다.



[그림-20] 음량 값의 변화에 따른 curve 값의 변화

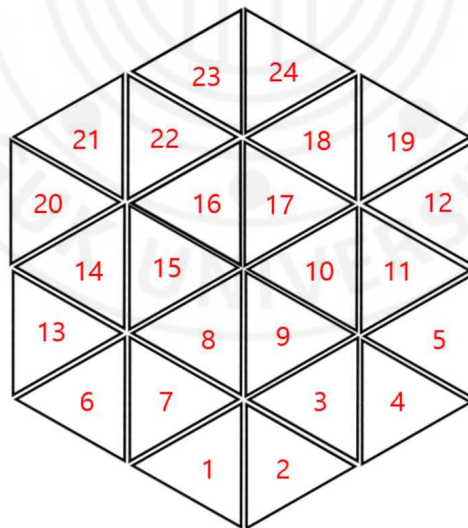
본 작품은 조형물 단면의 변형보다는 전체적인 모양의 변형에 더 집중한다. material의 파라미터 제어는 조형물 단면의 이미지 변형에는 효과적일 수는 있지만, 외형의 변형을 통한 생동감을 강조하기에는 적합한 요소가 아니다. 음악과 프로젝션 매핑의 주된 인터랙션은 조형물의 전체적인 모습을 강조할 수 있는 선과 면의 변형으로 이루어진다.

Madmapper는 선의 변형을 위해서 line이라는 객체를 사용한다. 프로젝션 매핑을 위한 대다수의 프로그램들은 line을 개별적으로

35) decibel의 약자이며 음량의 크기를 비교하기 위해 사용되는 비율의 단위. 「네이버 지식백과」

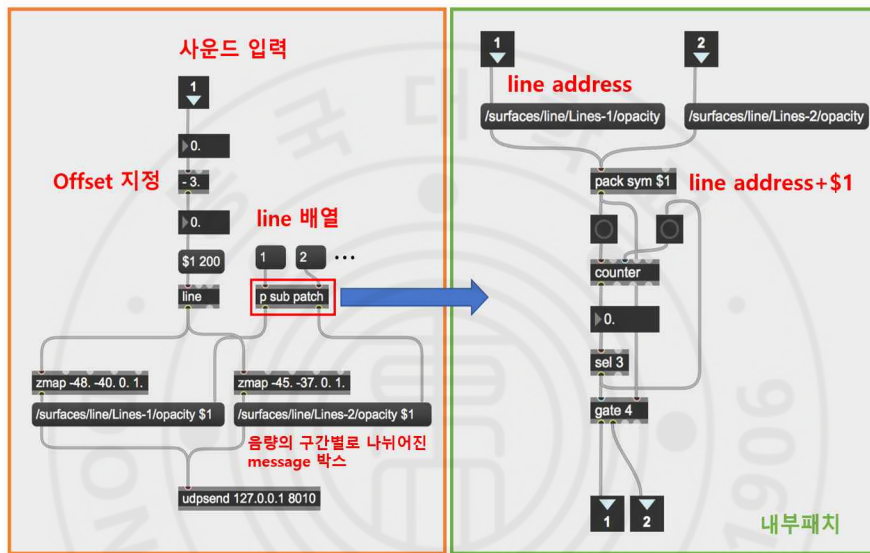
제어하기에 매우 비효율적인 시스템을 가지고 있으며, 제어가 불가능한 경우도 많다. 하지만 본 작품은 악기의 음량 값에 따라 line이 일정한 모양으로 생성되는 실시간 연출이 필요하였다. 이를 위해서 음량 값의 변화에 따른 line의 개별적인 인터랙션 시스템을 구축하였다. 또한 line의 생성 모양이 바뀔 때 마다 그에 맞는 시스템 패치를 추가하여야 하는 불편함을 해결하기 위해서, 이를 효율적으로 제어할 수 있는 커스터마이징 시스템을 제작하였다. 두 시스템은 모두 하나의 Max패치로 구현하였으며, 이를 활용하여 많은 장면의 line 인터랙션을 효과적으로 커스터마이징 하였다.

Madmapper의 line은 모두 고유의 number가 부여되며, 이는 OSC address에 적용된다. line의 개별적인 제어를 위해서는 OSC address의 정보가 유연하게 바뀌어야 한다.



[그림-21] line의 number를 조형물에 대응시킨 모습

[그림-21]은 Madmapper에서 생성된 line의 고유 number를 조형물의 모형에 대응 시킨 모습이며 line을 그룹화하여 총 24개의 삼각형을 만들었다. 본 연구에서 말하는 개별적 분리는 24개의 line 그룹이 각각 분리되어있음을 뜻한다.



[그림-22] line의 인터랙션을 위한 Max패치를 간략화한 모습

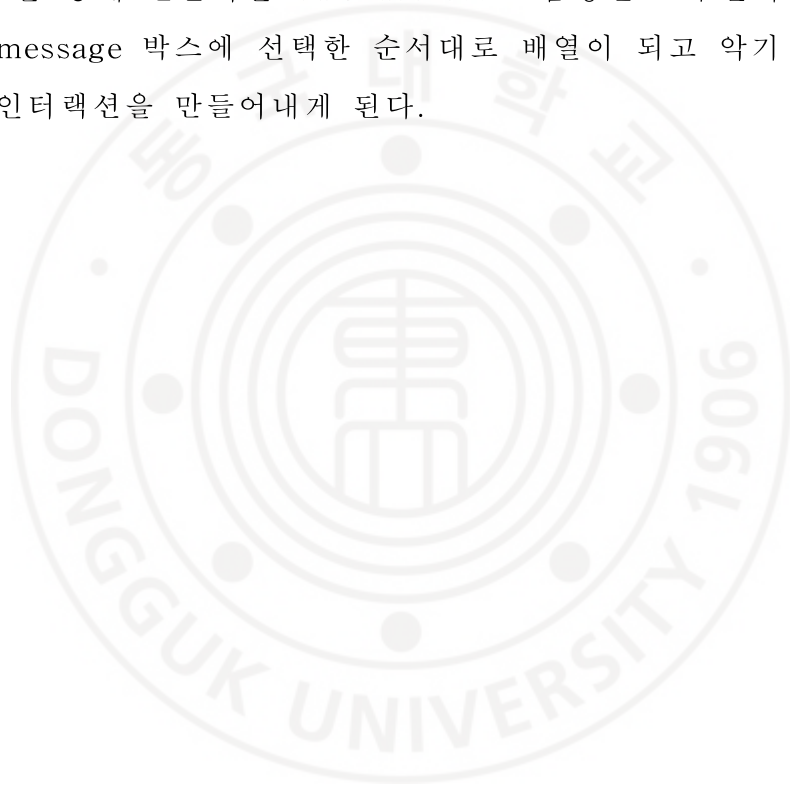
[그림-22]는 line의 인터랙션을 위한 Max패치를 간략화한 모습이다. line의 배열을 위한 message 박스의 숫자는 line의 고유 number와 대응되어 있으며, 이는 내부 패치의 OSC address와 연결되어있다. line 배열을 위한 message 박스의 선택을 통해 OSC address는 음량을 구간별로 나눈 message 박스로 전송이 되는데, 데이터 전송을 위한 \$1 값이 0으로 변환 되어 버리는 문제가 생긴다. 이를 해결하기 위해 pack오브젝트³⁶⁾를 사용한다. 내부패치에서 확인할 수 있듯 OSC

36) input 항목을 결합하여 출력하는 Max 오브젝트이다.

address와 데이터 값의 전송을 위한 \$1의 문자 조합은 pack sym \$1의 입력을 통해 만들어진다.

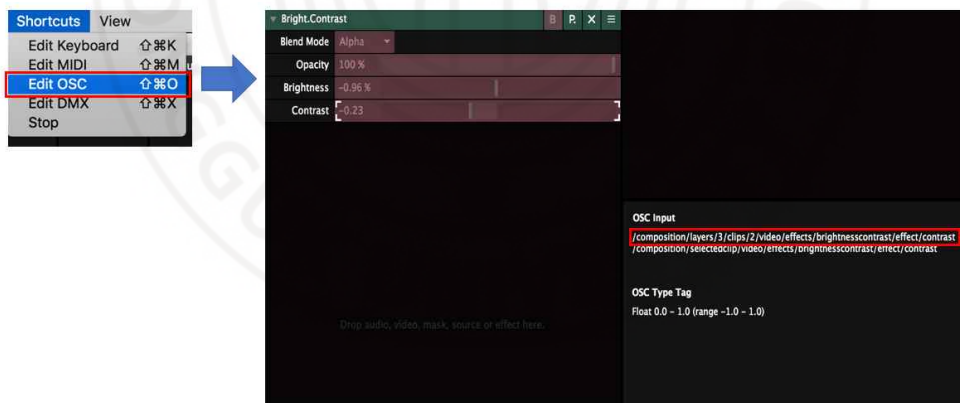
ex) surfaces/line/Line-1/opacity + \$1 = surfaces/line/Line-1/opacity \$1

pack을 통해 만들어진 OSC address는 음량별로 구간이 나뉘져 있는 message 박스에 선택한 순서대로 배열이 되고 악기 연주에 따른 인터랙션을 만들어내게 된다.



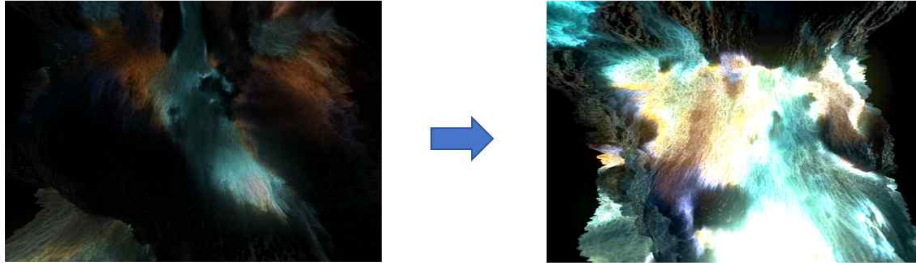
② Arena를 이용한 영상제작

Arena는 미리 제작된 외부 영상을 출력하기 위해 사용되었다. Madmapper 역시 외부 영상을 출력할 수 있는 기능이 있지만 영상을 장시간 출력하게 되면 영상이 되돌아가는 부분에서 끊김 현상이 발생한다. 이러한 이유로 끊김 현상이 적게 발생하는 Arena를 사용하게 되었다. Madmapper를 통해 개별의 polygon에 각각 투사될 이미지를 제작하였다면, Arena는 그룹화된 polygon들의 전체적인 모양에 투사될 영상을 제작하기 위해 사용되었다. 음악과의 연동방식은 Madmapper와 비슷하며, 역시 OSC 통신을 통해 이루어진다. [그림-23]은 Arena의 OSC address 확인 방법이며, [그림-24]는 Max의 사운드 음량 값과 Arena의 bright.contrast³⁷⁾ 값이 연동 된 모습이다.



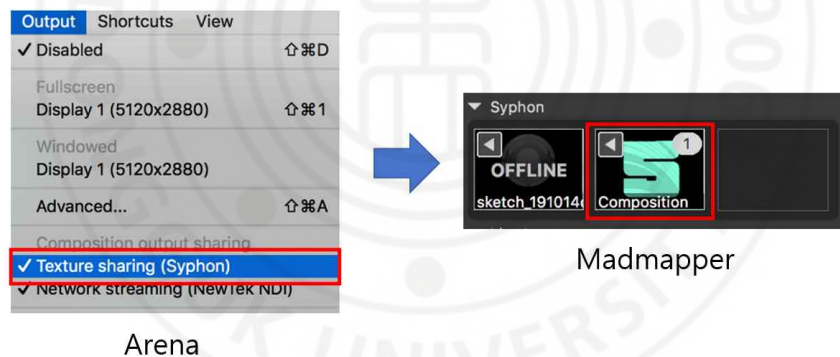
[그림-23] Arena의 OSC address 확인 방법

37) 명암 및 밝기 대비 조절 효과를 뜻한다.



[그림-24] 음량 값과 bright.contrast 값이 연동 된 모습

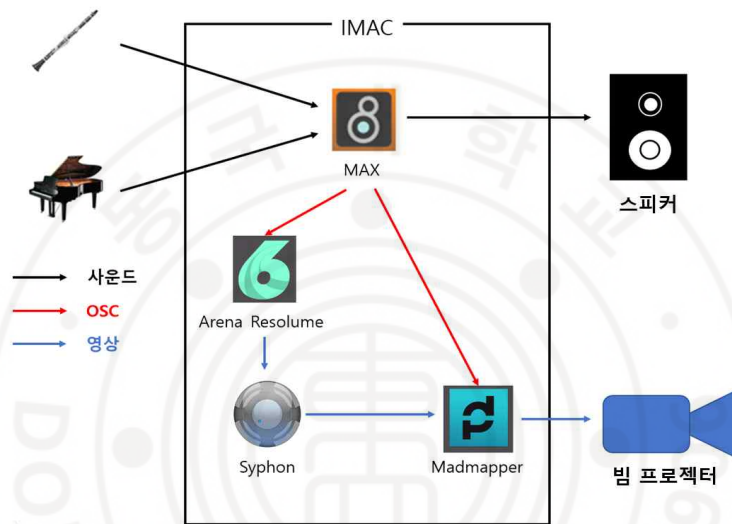
최종 영상은 Syphon을 통해 Madmapper로 전송되는데, Arena에서 제공하는 Syphon 기능으로 전송할 수 있다. [그림-25]는 Syphon 기능을 통해 영상을 전송하는 모습이다. Output 메뉴에서 Texture sharing(Syphon) 기능을 활성화하면 Madmapper의 Syphon 항목에서 영상을 확인할 수 있다.



[그림-25] Arena의 Syphon 기능을 통한 영상 전송 모습

3. 공연 시스템 연구

1) 공연 시스템



[그림-26] 공연 시스템 설계도

[그림-26]은 공연 시스템에 대한 전반적인 설계도이다. 클라리넷은 1개의 마이크를 통해 모노 사운드를 수음하며, 피아노는 2개의 마이크를 통해 스테레오 사운드를 수음한다. 사운드 신호는 모두 오디오 인터페이스를 거쳐 Max로 전송되어 사운드 프로세싱을 구현함과 동시에 Madmapper와 Arena로 전송되어 각종 인터랙션 파라미터와 연동된다. 영상의 최종출력은 Madmapper로 이루어지며, Arena에서 제작된 영상은 syphon을 통해 Madmapper로 전송된다.



[그림-27] 무대 구성 모습

[그림-27]은 작품 <HEXAGON>의 무대 구성 모습이다. 클라리넷과 피아노의 위치가 너무 가까우면 연주소리가 각각의 마이크에 크게 간섭하기 때문에, 이를 최소화하기 위해서 조형물을 중심으로 양쪽에 배치하였다. 조형물과 빔 프로젝터의 거리는 빛의 밝기에 큰 영향을 미친다. 거리가 멀어질수록 밝기가 줄어들기 때문에 조형물을 모두 투사하는 범위 내에서 최소화하여 빛의 밝기가 최대를 이루게 하였다.

2) 컨트롤 자동화 시스템

본 작품의 음향효과 및 사운드 프로세싱, 영상의 컨트롤은 모두 자동화로 이루어졌다. 본 작품에 쓰인 음악의 특성상 두 악기의 연주자가 메트로놈을 기준으로 연주를 하는 것이 더 효율적이었다. 자동화를 선택한 이유는 두 가지이다. 메트로놈을 기준으로 연주를 하게 되면 정확한 타이밍의 연주가 가능하다는 점과, 작동 요소가 많은 컨트롤은 한명의 오퍼레이터에게 부담으로 작용한다는 점이다.

자동화를 위해서 metro오브젝트를 적극 활용하였다. 이를 통해 프로세싱 사운드에 대한 볼륨 값을 제어하였고, 프로젝션 매핑의 장면 전환과 material의 opacity를 제어하였다.

① 사운드 컨트롤 시스템



[그림-28] Max로 구현한 사운드 컨트롤 자동화 패치

자동화 시스템은 모든 프로세싱 사운드에 적용되었다. [그림-28]은 Max로 구현한 사운드 컨트롤 자동화 패치이다. 메트로놈은 연주자의 이어폰으로 출력되었으며, 메트로놈의 재생과 동시에 counter오브젝트가 metro오브젝트에서 지정한 1000ms(1초) 간격으로 수를 세어간다. 이 값은 sel오브젝트³⁸⁾에서 지정한 숫자와 동일한 값이 되었을 때 function 오브젝트³⁹⁾를 통한 line오브젝트⁴⁰⁾가 작동하게 하며, 미리 지정된 수치와 시간만큼 볼륨 값을 제어한다. x축은 setdomain으로 지정되며 ms 단위를 사용한다. 이는 볼륨이 제어될 구간의 시간을 지정한다. y축은 range로 지정되며 시간의 흐름에 따른 사운드의 볼륨을 지정한다.

② 프로젝션 매핑 컨트롤 시스템

프로젝션 매핑은 장면 전환과 미디어의 opacity⁴¹⁾를 컨트롤하기 위해 자동화를 하였다. 프로젝션 매핑의 제어 역시 metro오브젝트를 통해 이루어졌으며 장면 전환이 필요한 순간에 sel오브젝트에서 지정한 수와 일치 하게 되면 OSC 통신을 통해 장면 전환이 이루어진다. 장면 전환은 columns⁴²⁾의 OSC address에 1이라는 message 값의 전송을 통해 이루어진다. [그림-29]는 Madmapper의 장면 전환을 위한 자동화 패치이다.

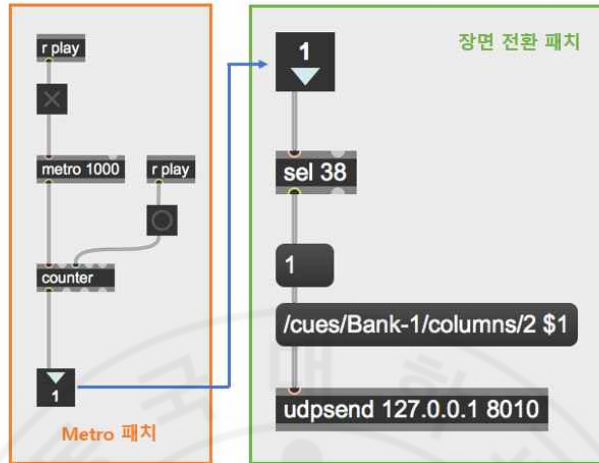
38) 입력된 값이 지정된 값이랑 동일할 때 bang 메시지를 출력하는 Max오브젝트이다.

39) 시간에 따른 값의 변화를 선으로 나타낼 수 있는 Max오브젝트이다.

40) 지정된 시간동안 값의 변화를 제어하는 Max오브젝트이다.

41) 이미지의 불투명한 정도를 일컫는 말이다.

42) Madmapper의 세로로 나열된 scene들의 집합을 말한다.



[그림-29] Max로 구현한 장면 전환 자동화 패치

앞서 언급한 자동화 컨트롤과 마찬가지로 function오브젝트와 line오브젝트의 조합으로 material의 각종 파라미터와 연동되어 있으며, 이는 역시 metro오브젝트와 OSC통신으로 이루어진다. [그림-30]은 material의 파라미터 컨트롤 자동화 패치이다.



[그림-30] Max로 구현한 파라미터 컨트롤 자동화 패치

III. 연구 기술의 작품 적용

연구된 클라리넷과 피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어 작품 <HEXAGON>은 2019년 11월 16일 동국대학교 이해랑 예술극장에서 진행된, ‘SEEING SOUND LISTENING IMAGE (보는 소리 듣는 영상) XVI’ 공연에서 초연 되었다.

1. 작품 소개

본 작품은 육각형의 조형물 안에 영상을 투사하여 스토리를 연출하며, 프로젝션 매핑과 음악이 어우러져 한 작품으로 재탄생한다.

별집의 육각 모양은 건축학적으로 매우 안정적인 구조이다. 이처럼 육각형은 어디에도 기울어지지 않는 중용과 조화를 뜻하며, 이는 끊임없이 흘러가는 세상의 법칙과도 상당히 닮아 있다. 우주의 탄생 이후, 원인 없는 결과는 없었으며 톱니바퀴가 굴러가듯 잘 맞물려 있다. 이런 거대하고도 정교한 인과 속의 조화로운 경이롭다. 육각에서 비춰지는 이야기들은 우주 속 우리들의 이야기이며, 기술의 발전에 따라 커져만 가는 인간의 오만이 얼마나 어리석은지를 경각 시킨다. 우리들 역시 드넓은 우주 속 작은 톱니바퀴 중 하나이며, 경이로운 조화로운 속을 그저 흘러가고 있음을 작품을 통해 다시 한 번 깨닫는다.

2. 작품 구성

1) 음악 구성

<표-3>은 멀티미디어음악 작품 <HEXAGON>에 쓰인 음악의 전체적인 구성이다. intro - A - B - outro로 이루어진 구성으로, 클라리넷은 레가토⁴³⁾, 피치카토⁴⁴⁾, 트릴⁴⁵⁾과 같은 주법으로 연주되고, 피아노는 컴핑⁴⁶⁾(comping) 위주의 연주가 이루어진다.

<표-3> 멀티미디어음악 작품 <HEXAGON>의 음악 구성

파트	intro	A/bridge	B/climax	outro
시간	0:00 ~ 1:44	1:44 ~ 3:41	3:41 ~ 5:41	5:41 ~ 7:21
의미	세계의 탄생/ 조화의 시작	착각	오만과 욕심	조화로 되돌아감
피아노 사운드 프로세싱	granular synthesis1	granular synthesis2,3, 4	granular synthesis1,2, 3,4	granular synthesis1,2
클라리넷 사운드 프로세싱	.	granular synthesis, pitch shift, Phase vocoder	granular synthesis, pitch shift, Phase vocoder, delay	granular synthesis

43) 음과 음 사이를 끊지 않고 원활하게 연주하는 주법.

44) 바이올린이나 비올라·첼로 등의 활현악기에서 활을 사용하지 않고 현을 손가락으로 튕겨 연주하는 주법.

45) 음(으뜸음)과 그 2도 위의 음(도움음)의 빠른 연속적인 반복의 주법.

46) 선율연주나 재즈의 즉흥연주를 보조하기 위한 코드연주를 일컫는다.

피아노의 컴핑으로 단 2도 음정의 불협한 사운드가 음악 전반에 걸쳐 연주되며, 무겁고 어두운 분위기를 연출한다. intro에서 지속되는 D6음이 점차 하행하며 클라리넷이 등장한다. granular synthesis를 이용한 저음 사운드로 음악의 시작을 연출하며, A파트로 이어지게 된다.

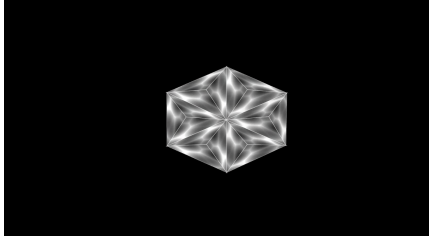
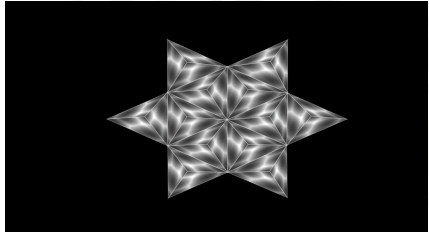
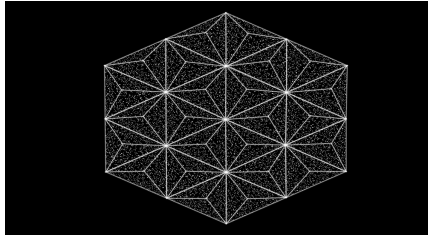
A파트는 클라리넷이 주된 선율을 연주하며 피아노가 반주를 이루는 형식으로 진행된다. 저음에서 시작한 프로세싱 사운드는 여러 음역대로 확장하게 되고, 더운 풍성한 사운드를 만들어 낸다. 특히 높은 음역의 granular synthesis 사운드는 클라리넷에 이용되었는데, A파트뿐만 아니라 B파트까지 주된 프로세싱 사운드로써 가장 돋보이는 역할을 한다. A파트가 진행될수록 점점 고조되는 사운드는 bridge 부분에서 여백을 남긴다.

B파트는 피아노가 조금 더 선율적인 연주를 하게 되며, 클라리넷과 이야기를 주고받는 구조이다. A파트의 사운드보다 한층 더 풍성한 사운드를 위해 모든 음역의 granular synthesis가 활용되며, 분위기의 고조는 클라이맥스(climax)전까지 이어지다 잠시 여운을 남긴다. 뒤이어 템포가 점차 빨라지며 pitch shift와 phase vocoder의 프로세싱 사운드는 delay 효과를 통해 고조를 넘어선 혼란의 분위기를 연출한다. 최고조를 이룬 분위기는 outro에서 intro와 같은 D6음이 지속되며 음의 하행을 통해 곡은 마무리된다.

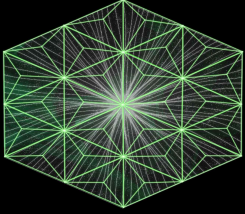
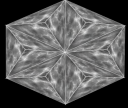
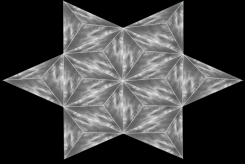
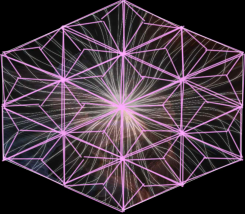
2) 프로젝션 매핑 영상 구성

영상은 크게 13개의 장면으로 나누어져 있으며, 두 악기를 모두 표현하기 위해 조형물에 악기별로 구간을 나누어 주었다. 본 작품은 material의 각종 파라미터 제어와 line의 연출, polygon의 애니메이션 효과 등을 통해 음악과의 인터랙션을 주도하였으며, 이를 통한 이야기 전개로 탄생 - 착각 - 욕심 - 반복의 과정을 보여주고 있다. <표-4>은 프로젝션 매핑의 영상 시나리오이다.

<표-4> 프로젝션 매핑의 영상 시나리오

이미지	장면 및 설명
	#1-1. 0:35 ~ 0:47 세상이 존재하지 않았던 무(無)의 순간
	#1-2. 0:47 ~ 1:47 창조의 시작, 세상이 만들어 지는 과정
	#2. 1:47 ~ 2:33 우주가 만들어지고 그 안의 모든 것은 조화를 이룸 / 인간의 탄생

	<p>#3. 2:33 ~ 2:48 조화를 거스를 수 있다는 인간의 착각과 혼란</p>
	<p>#4. 2:48 ~ 3:14 착각과 혼란을 넘어선 확신의 단계</p>
	<p>#5. 3:14 ~ 3:47 조화로운 흐름 속, 무언가에 대한 결핍</p>
	<p>#6. 3:47 ~ 3:57 찰나를 순간을 살아가는 인간의 일생</p>
	<p>#7. 3:57 ~ 4:20 모든 것을 갖지 못하는 인간의 두려움</p>

	<p>#8. 4:20 ~ 4:48 두려움은 분노로 커져간다.</p>
	<p>#9. 4:48 ~ 5:00 인간의 몸부림에도 세상의 순리는 변하지 않는다. 어느 곳이든 시작과 끝은 계속 일어나고 있다.</p>
	<p>#11. 5:00 ~ 5:31 오만과 욕심으로 조화에 부적응한 존재는 끝을 맞이하게 된다.</p>
	<p>#12. 5:43 ~ 6:11 시간이 되돌려진다.</p>

	<p>#13-1. 6:34 ~ 6:56 다시 무(無)로 돌아간다.</p>
	<p>#13-2 6:56 ~ 7:21 세상은 다시 시작하게 된다.</p>



3. 연구 기술 적용

1) intro파트 적용 효과

<표-5> intro파트의 구성

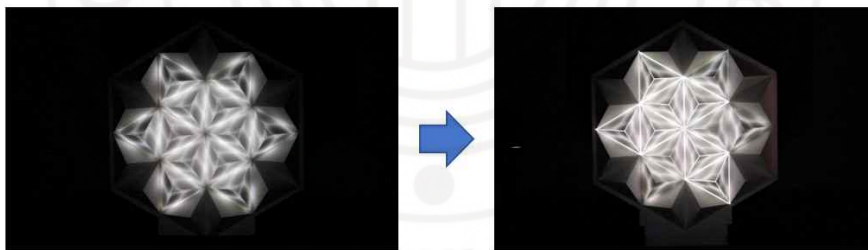
시간	0:00~1:44
피아노 사운드 프로세싱	granular synthesis1 (low1) - pitch 0.5
클라리넷 사운드프로세싱	granular synthesis2 (high)
영상	Madmapper - Material
영상효과	line - opacity

intro파트는 피아노의 D6음의 연속으로 시작하며 작품의 시작을 알리게 된다. 이후 컴핑이 시작되면 granular synthesis1을 통한 저음의 프로세싱 사운드를 만들어낸다. 이후 나올 granular synthesis과는 달리 cross~오브젝트를 이용하여 filter의 효과를 더하지 않고 granular synthesis 본연의 소리를 출력한다. 이는 high frequency⁴⁷⁾ 대역의 사운드를 살리기 위함으로, 만약 cross~오브젝트를 통한 filter 효과로 high frequency 대역을 깎아 버렸다면 한층 더 부드러운 사운드가 연출되었겠지만 그 선명함이 무뎠어 intro 파트의 선명도가 많이 줄어들었을 것이다. 피아노가 혼자 연주되는 부분이 길고 사운드가

47) 높은 음역대역의 주파수를 뜻한다.

전체적으로 비어있는 부분이 많기 때문에 음악적으로 부드러움보다는 선명한 저음이 더 적합하다. granular synthesis의 pitch 값을 0.5로 지정하여 저음을 만들었다. 하지만 high frequency 대역의 선명한 사운드 때문에 피아노의 오리지널 사운드가 많이 왜곡되어 들리는 문제가 발생한다. 이는 컨트롤 자동화를 통해 피아노의 attack 구간을 피해 볼륨이 서서히 커지게 함으로써 해결할 수 있다. 이를 통해 피아노 attack 구간의 오리지널 사운드를 살려주고 release 구간의 프로세싱 사운드는 강조하여 마치 피아노의 release 구간의 사운드만 프로세싱이 이루어진 듯한 효과를 구현하였다.

intro의 프로젝션 매핑 영상은 모두 Madmapper를 통해 제작 되었으며, Max를 통한 인터랙션 시스템으로 제작되었다. [그림-31]은 피아노와 클라리넷의 사운드에 반응하여 line이 생성되는 모습이다.



[그림-31] 조형물에 line이 생성되는 모습

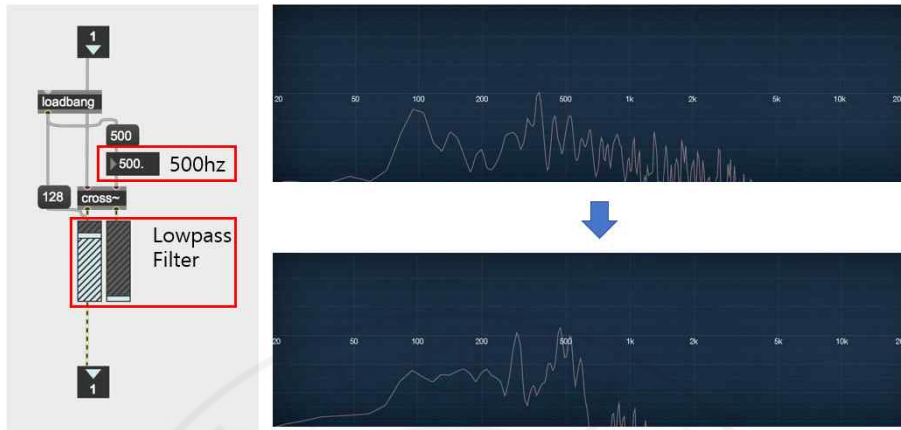
2) A파트 적용 효과

<표-6> A파트의 구성

시간	1:44~3:41
피아노 사운드 프로세싱	granular synthesis2 (low2) - pitch 0.5 granular synthesis3 (middle) - pitch 4 granular synthesis4 (high) - pitch 8
클라리넷 사운드 프로세싱	granular synthesis2 (high) - pitch 4 pitch shift - 8 cent phase vocoder
영상	Madmapper - material
영상효과	line - opacity material (noisy barcode) - curve

A파트에서는 클라리넷이 주선율을 이끌고 간다. 피아노의 박자는 점점 더 모호하게 변주되며, 강박의 위치는 불규칙하게 배치된다. 클라리넷과 피아노에 활용된 granular synthesis는 악기의 오리지널 사운드에 cross~오브젝트를 통한 filter 효과가 적용된 사운드 소스로 만들어졌다. [그림-32]는 cross~오브젝트를 통한 lowpass filter⁴⁸⁾ 효과를 나타낸다. high frequency 대역의 제거는 더욱 부드러운 사운드를 만들어 내고, delay를 통한 긴 release time의 확보는 패드 사운드와 아주 흡사한 표현을 보여준다. 이를 통해 곡의 전체적인 사운드를 한 층 더 풍성하게 만들 수 있었으며, 곡이 진행됨에 따라 분위기를 점점 고조 시키게 된다.

48) 높은 음역대의 소리를 제거하여 저음역대의 소리만 출력하는 filter의 종류 중 하나.

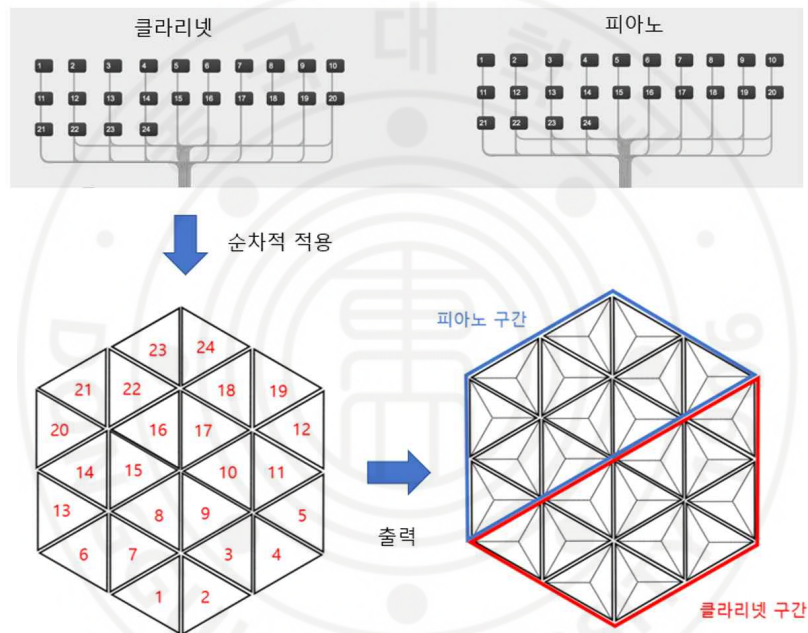


[그림-32] cross~오브젝트를 이용한 lowpass filter 효과

A파트가 고조됨에 따라 선율 악기인 클라리넷의 pitch shift와 phase vocoder의 사운드가 서서히 나타나게 되며, 마치 제3의 악기가 연주되고 있는 듯한 느낌을 자아낸다. pitch shift는 클라리넷 연주의 화음을 만들고, phase vocoder는 pitch shift가 적용된 사운드를 역재생하여 새로운 선율을 만든다.

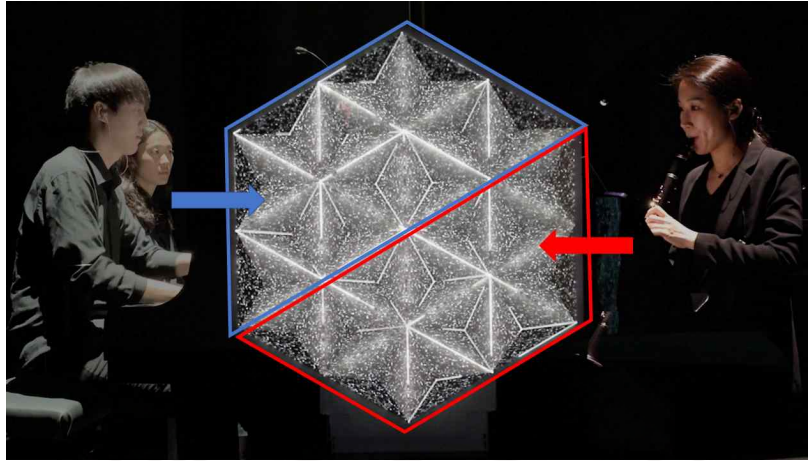
사운드는 Madmapper의 line opacity값과 material의 curve값을 제어한다. 클라리넷의 트릴 주법은 이미지의 굴곡 현상을 표현하였으며, 이를 통한 장면의 전환은 한층 더 자연스러운 느낌을 연출한다. 인터랙션이 이루어지는 장면은 23쪽 [그림-20]을 통해 확인할 수 있다.

[그림-33]은 line 인터랙션 시스템을 통해 악기의 인터랙션 구간을 지정하는 방법을 나타내고 있다. 각 악기별 인터랙션의 구분은 line의 생성 순서를 배열하는 방식으로 이루어진다. 이를 위해 조형물과 대응되는 line number의 message 박스를 line의 모양과 순서에 맞춰 선택하여야 한다.



[그림-33] 인터랙션 시스템을 통한 악기별 구간 지정 방법

이를 통해 클라리넷과 피아노는 각자의 구간에서 line 인터랙션을 구현하며, [그림-34]을 통해 공연 당시 모습을 확인할 수 있다.



[그림-34] 공연 당시의 악기별 인터랙션 모습

3) B파트 적용 효과

<표-7> B파트의 구성

시간	3:41 ~ 5:41
피아노 사운드 프로세싱	granular synthesis1 (low1) - pitch 0.5 granular synthesis2 (low2) - pitch 0.5 granular synthesis3 (middle) - pitch 4 granular synthesis4 (high) - pitch 8
클라리넷 사운드 프로세싱	granular synthesis1 (low) - pitch 1 granular synthesis2 (high) - pitch 4 pitch shift - 8 cent phase vocoder
영상	Madmapper - material Arena - video
영상효과	line - opacity line - autoshake polygon animator

B파트는 곡의 분위기가 최고조에 다다른다. 컴핑 위주의 피아노 연주는 조금 더 선율적인 연주로 변화하여 클라리넷과 조화를 이룬다. 또한 강박의 위치는 더욱 혼란스럽게 변주되며, 템포는 90에서 110 BPM으로 점차 빨라지게 된다. 곡의 클라이맥스는 모든 음역대의 granular synthesis가 활용되고, 클라리넷의 pitch shift와 phase vocoder는 pingpong delay 효과를 거쳐 한 층 더 어지럽고 혼란스러운 연출을 보여준다.

프로젝션 매핑은 polygon 애니메이션을 활용하여 장면의 전환을 효과적으로 풀어낸다. 이는 클라리넷의 음이 빠르게 상승하거나 하행할 때 적용되었다. [그림-35]는 클라리넷의 음이 빠르게 하행할 때 플레이되는 polygon 애니메이션 효과이다.



[그림-35] 클라리넷 음의 하행에 따른 polygon 애니메이션 효과

애니메이션 효과는 Max를 통한 line 인터랙션 시스템을 응용한 방식으로 구현할 수 있다. 메트로놈에 맞춰 악기연주 되기 때문에 정확한 시간에 하행 연주가 이루어진다. 이는 sel오브젝트에 지정된 값과 metro오브젝트를 통한 counter오브젝트의 값이 일치했을 때 작동하며, 지정된 시간만큼 빠르게 변화하게 된다.

이는 line 인터랙션 시스템을 응용한 것이다. 애니메이션 시스템은 line의 OSC address 대신 polygon의 OSC address를 지정해주고, 동작이 이루어지는 시간을 지정할 metro 시스템을 제작함으로써 구현할 수 있다. metro 시스템의 counter 오브젝트 값이 상행함에 따라 순차적으로 polygon opacity를 제어하는 방식이다. 애니메이션이 진행될 모양과 순서는 line 인터랙션 시스템의 방식과 동일하며 polygon의 number를 파악하여 재배열하는 방식으로 이루어진다.

4) outro파트 적용 효과

<표-8> outro파트의 구성

시간	5:41 ~ 7:21
피아노 사운드 프로세싱	granular synthesis2 (low2) - pitch 0.5
클라리넷 사운드 프로세싱	granular synthesis2 (high) - pitch 4
영상	Madmapper - material
영상효과	line - opacity

outro파트는 intro파트와 동일하게 피아노가 D6 음을 지속적으로 이끌어가며, 클라리넷은 긴 선율로 진행을 이끌어간다. 클라리넷과 피아노는 granular synthesis를 통해 각각 맑은 고음과 부드러운 저음을 연출하게 되고, 영상은 intro장면으로 되돌아가며 작품이 마무리된다.

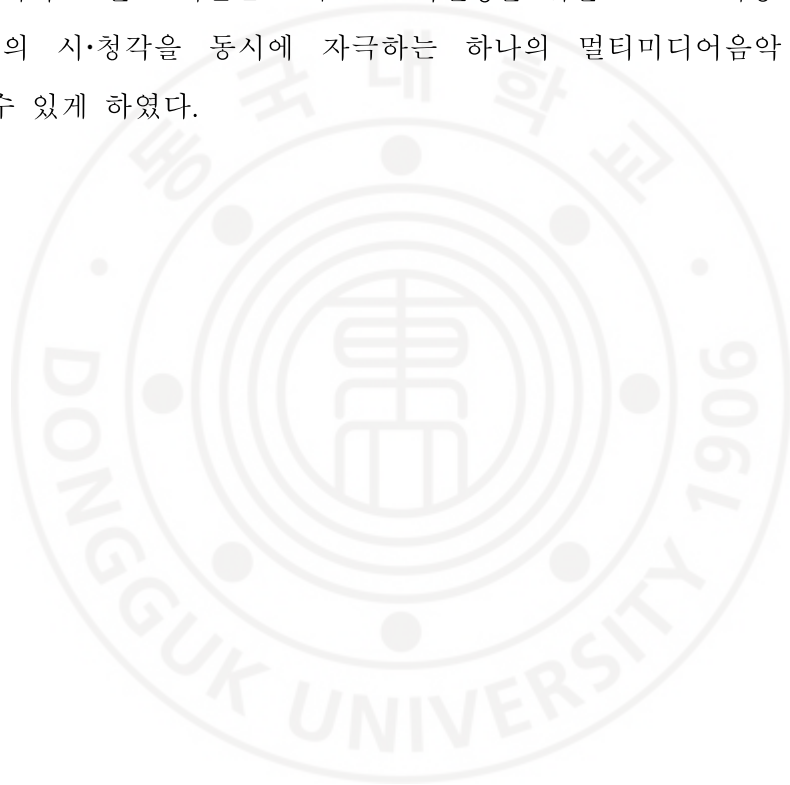
4. 연구 기술의 적용 효과

사운드 프로세싱의 활용을 통해 두 악기만으로 다양한 사운드를 표현할 수 있었다. 클라리넷은 pitch shift를 통해 3화음의 화성연주가 가능하였다. 이는 악기가 가진 음악적 한계의 극복과 사운드 프로세싱이 가지는 새로운 표현방식을 보여주고 있다. phase vocoder를 통해 실시간으로 악기의 연주를 역재생하여 기존의 선율 멜로디를 반대로 연주하는 듯한 효과를 구현하였다. 새로운 선율의 창조는 음악의 기승전결을 표현하는 주된 요소가 된다. 또한 pingpong delay는 선율의 프로세싱 사운드가 더욱 극적인 연출을 하도록 보조한다. 좌우로 번갈아가며 재생되는 소리는 작품에서 의도하고자 한 혼란스러운 분위기의 연출을 효과적으로 표현한다. granular synthesis는 패드사운드를 구현하기 위해 활용되었다. cross~오브젝트의 lowpass filter 효과를 통해 높은 음역대의 소리를 제거함으로써 한층 더 부드러운 사운드를 만들었으며, 다양한 pitch 값을 통한 넓은 음역대의 표현은 음악의 전체적인 사운드를 더욱 풍성하게 하였다.

음악은 프로젝션 매핑의 여러 가지 요소와 결합하여 인터랙션을 주도한다. 클라리넷의 트릴연주는 material의 curve값과 연동되어 조형물 단면의 변화를 보여주었다. 음의 빠른 변화에 따른 곡선의 표현은 장면전환에 어울리는 이미지를 연출하게 된다. 하지만 인터랙션은 단면의 변화보다 전체적인 외형의 변화에 더 집중하였다. 이를 효과적으로 표현하기 위한 요소는 line과 polygon이다. line의 생성을 제어하기 위해서 제작된 인터랙션 시스템은 조형물의 구조적인미를 강조하여 작품의 생동감과 역동성을 발전시키게 된다. 또한 상용화된

프로그램들의 한계를 지적함과 동시에 독창적인 인터랙션을 만들기 위한 새로운 시도를 보여주었다. line 인터랙션 시스템은 polygon을 제어하기 위해서도 활용되었다. 시스템의 응용을 통해 제작된 polygon 애니메이션은 음의 빠른 상·하행을 시각화함으로써 악기 연주가 마치 물리적인 방향성을 가지고 있는 듯한 효과를 만들어 내었다.

작품에서 쓰인 효과들은 모두 스토리텔링을 위한 요소로 작용하였으며, 청중들의 시·청각을 동시에 자극하는 하나의 멀티미디어음악 작품을 만들 수 있게 하였다.



IV. 결 론

본 논문은 클라리넷과 피아노의 실시간 사운드 프로세싱과 프로젝션 매핑을 활용한 멀티미디어음악 작품에 대한 연구이다. 작품은 보편적인 표현방식을 탈피하고자 하는 음악적 시도와 다양한 미디어를 융합하여 새로운 예술적 표현을 요구하는 시대적 흐름에 기반하여 제작되었다.

Max를 사용하여 실시간 사운드 프로세싱을 제작하였으며 granular synthesis, phase vocoder, pitch shift, delay 음향효과들을 조합하여 작품에 적용하였다. 특히 두 악기가 가지는 장르적 특성을 고려한 프로세싱 사운드의 제작은 클래식 음악에 어울리는 사운드를 창조함과 동시에 어쿠스틱 악기가 가지는 한계를 뛰어넘게 한다. 이는 음악적 표현에 대한 또 다른 방향을 제시하며, 새로운 음악에 대한 청중들의 욕구를 자극하게 된다. 오리지널 사운드를 제외한 모든 프로세싱 사운드는 모두 자동화 시스템을 통해 제어되었다. 많은 제어를 요구하는 작업은 한 명의 오퍼레이터에게 큰 부담으로 작용하며, 자동화 시스템을 통해 작업과 연출의 효율을 높일 수 있었다.

음악과 프로젝션 매핑의 인터랙션은 청중들의 다양한 감각을 자극하여 복합적인 예술적 경험을 제공한다. 작품의 조형물은 영상의 투사를 위해 제작하였다. 조형물의 활용은 전시 미술의 영역으로 확장하여 또 다른 예술의 복합을 이루게 된다. 악기의 연주를 통한 인터랙션을 위해 Max를 활용한 line 인터랙션 시스템과 polygon 애니메이션 시스템을 제작하였다. 이는 현재 상용화되어있는 프로그램들의 한계로 지적되는 프리셋 위주의 연출을 보완하고, 조형물의 구조적인 미를 강조하여 한층

더 생동감 있는 표현이 가능하게 하였다.

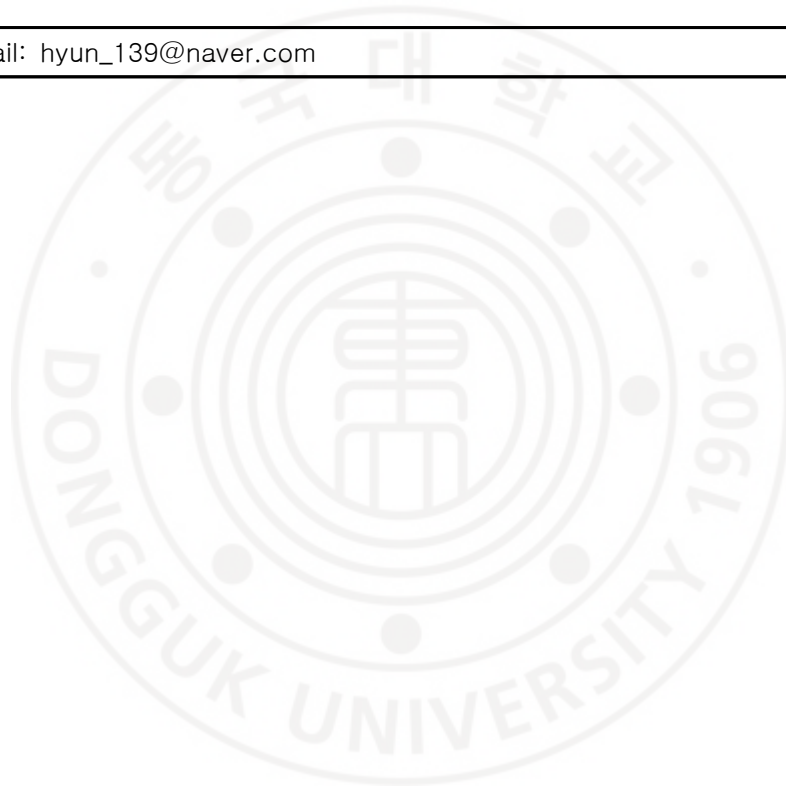
빛의 투사를 활용하는 프로젝션 매핑의 특성과 그로 인한 단점은 작품<HEXAGON>의 제작에 있어 가장 큰 어려움으로 작용하였다. 직진하는 성격을 가지고 있는 빛은 작은 점에서 출발하여 조형물 전체에 투사된다. 이는 빔 프로젝터의 작은 움직임에도 조형물의 영상이 크게 이동해 버리는 현상을 야기한다. 특히 많은 선과 면을 표현하는 작품의 작업에 있어 이러한 현상은 매우 비효율적인 과정을 가져다주며, 공연에 큰 위험요소로 작용한다. 문제를 해결하기 위해서는 빔 프로젝터와 조형물을 완벽히 고정해야 하는 작업이 이루어져야 한다. 하지만 작업과 무대 환경, 공연의 특성 등을 충분히 고려한 최적의 시스템을 구현하는 것은 결코 쉬운 일이 아니며, 향후 연구를 통해 이를 모두 통괄하는 새로운 방식의 작업과 공연 시스템이 모색되어야 할 것이다.

작품은 라이브 연주를 통한 실시간 인터랙션을 지향하며, 두 악기의 구분을 위해 조형물에 각 구간을 나누게 되었다. 악기 간의 소리 또는 스피커에서 출력된 소리가 서로에게 간섭하는 현상은 실시간 공연에서 완벽히 제어될 수 없다. 각 악기를 수음하는 마이크에 여러 소리가 동시에 입력되면 인터랙션의 경계는 모호해져 버린다. 이는 직관적인 인터랙션의 연출을 방해하는 요소이며, 향후 발전되어야 할 과제로 지적된다. 음원을 활용한 작업과 실시간 공연의 환경적인 차이는 매우 크다. 한층 더 완성도 높은 인터랙션 작품을 제작하기 위해서는 마이크와 스피커의 위치, 음량의 밸런스 등과 같은 소리 간섭의 주된 요소를 정확히 파악하고 이를 해결하기 위한 세밀한 작업이 요구되어야 할 것이다.

Keyword(검색어):

컴퓨터음악(computer music), 멀티미디어음악(multimedia music),
인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스(interactive multimedia performance),
프로젝션 매핑(projection mapping), 소리 시각화(sound visualization),
Max/MSP, 실시간 사운드 프로세싱(real-time sound processing)

E-mail: hyun_139@naver.com



참 고 문 헌

1. 단행본

- 김영민, 「사운드 디자인을 위한 맥스」, (Real Lies Media, 2017)
- Samuel Adler, 「관현악기법연구」, (수문당, 2009)
- David J. Benson, 「MUSIC, A Mathematical Offering」, (Cambridge University Press, 2007)
- Charles Dodge, Thomas A. Jerse, 「Computer Music: synthesis, composition and performance, Second Edition」, (Schirmer Books, 1997)
- Donato Maniello, 「Augmented Reality in public spaces. Basic Techniques for video mapping」, (Le Perseur Publisher, 2015)
- Masaru Ozaki, 「Beginner's Guide to Projection Mapping」, (Mook, 2013)
- Curtis Roads, 「The Computer Music Tutorial」, (MIT Press, 1996)

2. 참고 논문

- 김영경, 「클라리넷의 실시간 음색분석을 통한 오디오-비주얼 작품 제작 연구」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2013)
- 이승지, 「북소리의 실시간 프로세싱에 의한 인터랙티브 멀티미디어 음악 제작 연구」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2017)
- 이보강, 「피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스 연구」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)
- 이도경, 「이도경 피아노 연주를 통한 실시간 오디오 비주얼 작품 제작」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)
- 조환희, 「베이스 트롬본과 피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어작품 제작 연구」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2019)
- 최아영, 「피아노 연주의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어작품 제작 연구」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2019)

3. 웹사이트

- Arena

<https://resolume.com/>

- Max

<https://cycling74.com/>

- Madmapper

<https://madmapper.com/>

- Mamapper Tutorial

<https://www.youtube.com/channel/UCyv6zAFYBq3cUisY6rtVCZg/>

- Orange Amp

<https://www.youtube.com/watch?v=GZnyCilXYL0/>

- ray : trace

<https://canbuyukberber.com/luminary-art-tech-music/>

- Syphon

<https://syphon.v002.info/>

ABSTRACT

A Study on Multimedia Music using Real-time Sound Processing for Clarinet and Piano (focus on Multimedia Music <HEXAGON>)

Jung, Hyun Chul

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

With the development of modern technology, music is expanding to a broader sense of art beyond the level of listening only by ear. In particular, works that interact with visual elements such as videos, media facades and laser performances are constantly being created. These works stimulate the visual and auditory at the same time to provide a variety of experiences to the audience and to convey the meaning of the work more intensely.

HEXAGON is a multimedia music work that combines visual mapping and music. Projection mapping is a kind of media art that

changes the surface of an object by projecting an image onto it. This uses a beam projector to make objects in reality appear to have a different personality, and gives vitality and dynamism by expressing new objects, buildings, and spaces with light. The purpose of this study is to realize the visualization of sound by using projection mapping and to produce a visual and auditory convergence work through the interaction with music.

In the work, music is the subject that controls the interaction and is the driving force of storytelling. The dark atmosphere through the non-harmonic structure of music began with the musical attempt to escape the universal expression of harmonious structure and stable progression. This, combined with unique sound utilizing real-time sound processing, creates a more maximized atmosphere. The original sound of musical instrument performances and the processing sounds that respond to it suggest new ways of expressing and developing music.

This paper describes the techniques and effects to provide audiences with various senses and artistic experiences through the multimedia music work <HEXAGON>. In particular, through the study of real-time sound processing and projection mapping, the study deals with how to recreate and visualize sound, to apply it to a work and its effects.

부록-1 : <HEXAGON> 악보

Hexagon

BPM 90

Clarinet in B \flat

Piano

5

Cl.

Pno.

9

Cl.

Pno.

mp

13

Cl.

Pno.

pp

17

Cl.

Pno.

21

Cl.

Pno.

25

Cl.

Pno.

29

Cl.

Pno.

33

Cl.

Pno.

37

Cl.

Pno.

41

Cl.

Pno.

45

Cl.

Pno.

4

49

Cl. *p* *mf* *f*

Pno. *p* *f*

53

Cl. *mp*

Pno.

56

Cl. *fp* *f* *f*

Pno.

59

Cl. *ff* *mp*

Pno. *ff* *mp*

8^{va}

62 5

Cl. 

Pno. 

65

Cl. 

Pno. 

69

Cl. 

Pno. 

73

Cl. 

Pno. 

77

Cl. *p*

Pno. *mp*

Musical score for measures 77-80. The Clarinet part (Cl.) features a trill in measure 77, followed by a triplet in measure 78, and another triplet in measure 79. The Piano part (Pno.) consists of arpeggiated chords in the right hand and sustained bass notes in the left hand. Dynamics include *p* for the Clarinet and *mp* for the Piano.

81

Cl.

Pno. *mp*

Musical score for measures 81-84. The Clarinet part (Cl.) is mostly rests. The Piano part (Pno.) features complex chords and arpeggios in the right hand, with sustained bass notes in the left hand. A dynamic marking of *mp* is present. A watermark for 'Seoul National University' is visible in the background.

85

Cl. *f*

Pno. *f*

Musical score for measures 85-87. The Clarinet part (Cl.) has a melodic line starting in measure 85. The Piano part (Pno.) features dense chords and arpeggios in the right hand, with sustained bass notes in the left hand. Dynamics include *f* for both instruments.

88

Cl. *3*

Pno. *3*

Musical score for measures 88-91. The Clarinet part (Cl.) features a triplet in measure 88. The Piano part (Pno.) has complex chords and arpeggios in the right hand, with sustained bass notes in the left hand. Dynamics include *3* for the Clarinet and *3* for the Piano.

91

Cl. *f*

Pno. *mp*

94

Cl. *f*

Pno. *f*

96

Cl. *mp*

Pno.

98

Cl.

Pno. *f* *mf*

101

Cl. *ff*

Pno. *ff* *f* *mp*

103

Cl.

Pno. *mf* *mp*

BPM 90 - 110
accel.

106

Cl. *accel. p* *mp*

Pno. *p* *mp* *p*

110

Cl. *mf* *f* *f*

Pno. *mf*

Musical score for Clarinet (Cl.) and Piano (Pno.) from measures 115 to 121. The score is in G major (one sharp) and 4/4 time. It features complex rhythmic patterns and dynamic markings.

Measure 115: Cl. starts with a half note G4, quarter note A4, quarter note B4, quarter note C5, quarter note B4, quarter note A4, quarter note G4, quarter rest. Pno. has a dense sixteenth-note accompaniment. Dynamics: *ff* for Cl., *f* for Pno.

Measure 117: Cl. has a melodic line with slurs and accents, including a triplet of eighth notes. Dynamics: *mp*, *ff*, *mp*. Pno. has a steady accompaniment. Dynamics: *ff*.

Measure 119: Cl. has a melodic line with slurs and accents, including a triplet of eighth notes. Dynamics: *ff*, *mp*. Pno. has a steady accompaniment. Dynamics: *ff*.

Measure 121: Cl. has a melodic line with slurs and accents, including a triplet of eighth notes. Dynamics: *fff*. Pno. has a steady accompaniment. Dynamics: *ff*.

10

123

Cl. *f*

Pno. *8va*

128

Cl. *p*

Pno. *mp* *f* *mp*

133

Cl.

Pno. *f*

138

Cl.

Pno. *mp* *p* *8va*

142

Cl.

Pno.

146

Cl.

Pno.

151

Cl.

Pno.

156

Cl.

Pno.

12

161

Cl.

mp

Pno.

p



부록-2 : 첨부 DVD 설명

1. HEXAGON_video : 2019년 11월 16일 이해랑 예술극장 공연 영상
2. HEXAGON_score : 작품 악보 폴더
3. HEXAGON_patch : 작품에 사용된 Max 패치 폴더

