



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

피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한
인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스 연구
(멀티미디어음악 작품 <Meaningless II>를 중심으로)

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원
멀티미디어학과 컴퓨터음악전공

이 보 강

2018

석사학위논문

피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한
인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스 연구
(멀티미디어음악 작품 <Meaningless II>를 중심으로)

이 보 강

지도교수 김 준

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2017년 12월

이보강의 음악석사(컴퓨터음악)학위 논문을 인준함

2018년 1월

위원장 김 정 호



위 원 정 진 현



위 원 김 준



동국대학교 영상대학원

목 차

I. 서 론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 사례 연구	3
II. 기술 연구	7
1. 사운드 시스템	7
1) 사운드 시스템	7
2) 음향효과 연구 과정	9
3) FFT분석을 이용한 pfft~ xover~오브젝트 활용	10
4) 실시간 granular synthesis	11
5) 실시간 phase vocoder	13
6) 딜레이 음향효과	15
7) Max for Live 활용	17
2. 영상 시스템	19
1) 영상 시스템	19
2) 영상 시스템 연구 과정	21
3) 사운드와 영상의 연동을 위한 기술 연구	23
① OSC를 이용한 영상과 영상효과의 실시간 제어	24
② Soundflower를 이용한 사운드와 영상의 연동	33
4) 프로젝션 매핑 적용 연구	35
5) 영상 배치 및 연출	38

Ⅲ. 연구 기술의 작품 적용	39
1. 작품 소개	40
2. 작품 구성	40
1) 음악 구성	40
2) 시스템 구성	43
3) 무대 구성	44
3. 작품 내 연구 기술 적용	45
1) intro 파트 적용 효과	45
2) A 파트 적용 효과	46
3) B 파트 적용 효과	49
4) A' 파트 적용 효과	51
Ⅳ. 결론 및 향후 계획	53
참 고 문 헌	55
ABSTRACT	58
부록-1 : 작품 <Meaningless II> 연주 악보	60
부록-2 : 첨부 DVD 설명	65

표 목 차

<표-1> Processing 영상의 의미와 주요 장면	29
<표-2> 작품 구성	41
<표-3> intro 파트 구성	45
<표-4> A 파트 구성	46
<표-5> B 파트 구성	49
<표-6> A' 파트 구성	51

그 립 목 차

[그림-1] 프로젝션 매핑을 이용한 vivid light festival 2016 공연 장면	3
[그림-2] 3D 프로젝션 매핑을 이용한 작품 <Pixel>	4
[그림-3] 프로젝션 매핑을 이용한 그룹 ALB의 공연 장면	5
[그림-4] 사운드 시스템 설계도	8
[그림-5] 사운드의 주파수 대역을 나누는 pfft~ xover~ 패치	10
[그림-6] disis_munger~오브젝트를 이용한 granular synthesis 패치	12
[그림-7] pfft~ mypvoc~를 사용한 phase vocoder 패치	13
[그림-8] pfft~ mypvoc~ 패치 내부	14
[그림-9] 딜레이 음향효과를 구현한 Max/MSP 패치	16
[그림-10] Live9에 적용한 Max audio effect	17
[그림-11] KORG사의 nanoKONTROL2	18

[그림-12] 영상 시스템 설계도	21
[그림-13] Processing에서 Syphon을 사용하는 코드 예시	22
[그림-14] Syphon을 통해 공유된 영상소스	23
[그림-15] Processing으로 OSC 데이터를 전송하는 Max/MSP 패치	24
[그림-16] OSC 통신을 위한 oscP5 활용 예시	26
[그림-17] OSC 데이터 송신을 위한 오브젝트 구성	27
[그림-18] 예시 [그림-16]의 음량 값에 따른 영상의 변화	28
[그림-19] 저음역대 음량 값에 따른 소스 A 영상의 변화	30
[그림-20] 저음역대 음량 값에 따른 소스 B 영상의 변화	31
[그림-21] 고음역대 음량 값에 따른 소스 C 영상의 변화	31
[그림-22] 고음역대 음량 값에 따른 소스 D 영상의 변화	32
[그림-23] Arena5의 OSC 입력 설정과 위치	32
[그림-24] Soundflower를 이용한 통합기기 생성과 설정	33
[그림-25] 음악의 음량 값에 따른 영상의 발전	34
[그림-26] 그랜드 피아노의 상판 안쪽에 전지를 부착한 모습	36
[그림-27] mask기능을 이용한 투사범위 지정	36
[그림-28] 피아노에 프로젝션 매핑을 적용한 모습	37
[그림-29] Arena5를 이용한 영상 매핑 배치	38
[그림-30] <Meaningless II> 공연 장면	39
[그림-31] 공연 작품의 시스템 설계도	43
[그림-32] 무대 구성	44
[그림-33] 피아노 상판에 투사된 intro 파트 시각화 영상의 변화	46
[그림-34] 피아노 연주에 의해 실시간 영상이 그려지는 장면	47
[그림-35] 두 개의 시각화 영상이 합쳐지는 장면	48

[그림-36] 피아노의 상판에 투사된 Quartz composer 영상	48
[그림-37] Noisy 영상효과에 의한 영상의 변화	50
[그림-38] A' 파트에 적용된 Processing 소스 C	51
[그림-39] 피아노의 상판에 투사된 엔딩영상	52

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

지금의 예술 공연은 뮤지션이나 배우 혹은 아티스트의 퍼포먼스에만 집중하는 공연의 형태가 아닌 음악, 영상, 조명, 컴퓨터 그래픽, 프로젝션 매핑(projection mapping)¹⁾, 유사 홀로그램(hologram)²⁾, 레이저 쇼, 무대장치 등 여러 분야의 기술이 합쳐진 멀티미디어(multimedia)³⁾ 공연이라고 할 수 있다. 다양한 감각의 경험을 제공하는 것이 멀티미디어 공연의 가장 큰 장점이자 특징이다.

음악 공연 또한 멀티미디어 기술을 도입하면서 다양한 형태로 발전하고 있다. 이러한 발전의 이유는 공연을 관람하는 대중들이 더 이상 음악에만 감동하는 것이 아닌 시각적 화려함과 새로운 경험의 다양성을 원한다는 것이다. 아티스트들 또한 다른 분야와의 융합을 통해 예술영역을 넓히고, 표현의 다양성을 추구하며 새로운 형태의 공연들이 시도되고 있다.

본 연구는 멀티미디어음악 작품 제작을 위한 음향효과와 소리 합성법, 영상 시스템 제작을 연구한다. <Meaningless II>에 사용된 악기는 피아노이다. 피아노는 서양 고전음악에서부터 대중음악까지 시대와 장르를 불문하고 가장 널리 쓰이는 악기이다. 피아노는 넓은 음역과 풍부한 배음을 가지고 있고, 표현할 수 있는 다이내믹레인지(dynamic range)⁴⁾가 넓으며

-
- 1) 대상물의 표면에 영상을 투사하여 현실에 존재하는 대상이 다른 성격으로 보이게 하는 기술이다.
 - 2) 실제 홀로그래피 기술을 사용한 3차원 공간에 아닌 특정 스크린이나 영상기술로 홀로그램처럼 보이게 하는 기술이다.
 - 3) 멀티미디어 또는 다중 매체라고 부르며 여러 형식의 정보 콘텐츠(텍스트, 오디오, 그래픽, 애니메이션, 비디오, 상호 작용 등)를 사용하여 정보를 제공하는 미디어를 말한다.

연주자의 감정이나 다양한 연주법으로 섬세한 표현을 할 수 있는 악기이기 때문에 소리 합성과 음향효과 적용에 유리하다. 피아노의 사운드를 Max/MSP⁵⁾로 제작한 소리 합성법과 음향효과를 적용하여 새로운 음색과 사운드를 만들고, 영상과 연동하여 음악과 영상의 인터랙션(interaction)을 표현한다. 또한, 악기에 직접적으로 프로젝션 매핑을 적용하여 공연장의 스크린이나 제작한 오브제⁶⁾를 사용하는 일반적인 작품들과 차별화된 소리 시각화를 표현하는 것을 목적으로 한다. 악기 연주를 통한 실시간 소리 시각화의 부각을 유도하는 멀티미디어음악 작품 제작방법과 그 과정에 대해 기술한다.

-
- 4) 음향신호의 동적 범위를 뜻하며 데시벨(dB)로 나타낸다. 자연음에서는 음원의 최소음량과 최대음량의 비를 나타내고, 음향 시스템에서는 장비의 입력한계 또는 최소 노이즈 레벨과 최대 신호 레벨의 비를 나타낸다.
 - 5) Cycling'74에서 개발한 소프트웨어로 음악과 멀티미디어를 위한 개발 환경을 제공하는 프로그램이다. 데이터의 연산처리 및 프로그래밍이 가능한 Max와 음향신호 및 MIDI 데이터 처리가 가능한 MSP로 나누어진다. 본 연구에서는 최신 버전인 Max7을 사용한다.
 - 6) 예술과 무관한 물건을 본래의 용도와 성격에서 벗어나 작품에 사용함으로써 새로운 느낌을 일으키는 상징적 기능의 물체를 말한다.

2. 사례 연구

프로젝션 매핑의 예술적 활용은 다양한 방면에서 시도되고 있다. 프로젝션 매핑을 적용하려면 미리 제작된 영상이나 컴퓨터 그래픽, 디지털 이미지가 필요하다. 이를 제작하거나 컨트롤하는 컴퓨터 프로그램과 프로젝터가 필요하다. 프로젝션 매핑은 비교적 저렴한 비용으로 화려한 시각적 퍼포먼스가 가능하다. 따라서 가장 많이 쓰이는 영상 기술이며 프로모션 광고, 대형 멀티미디어 쇼, 미디어 아트, 콘서트 등에 사용된다. [그림-1]은 시드니 vivid light festival 2016 중 오페라 하우스의 조가비 모양의 둥근 외곽에 프로젝션 매핑을 적용한 작품이다.



[그림-1] 프로젝션 매핑을 이용한 vivid light festival 2016 공연 장면

이 작품은 프로젝션 매핑 기술을 미디어 파사드(media facade)⁷⁾에 적용한 프로젝션 파사드(projection facade)⁸⁾ 작품이다. 실제 공연을 촬영한 영상을 보면 천장 외벽으로 뱀이 올라가거나 완전히 다른 공간이 생성되는 모습을 보여주는 영상 기술이 돋보인다. 실제로는 둥근 천장의 외벽일 뿐이지만 프로젝션 매핑 기술을 이용하여 마치 천장이 전혀 다른 성격을 가진 듯한 모습을 보여준다.



[그림-2] 3D 프로젝션 매핑을 이용한 작품 <Pixel>

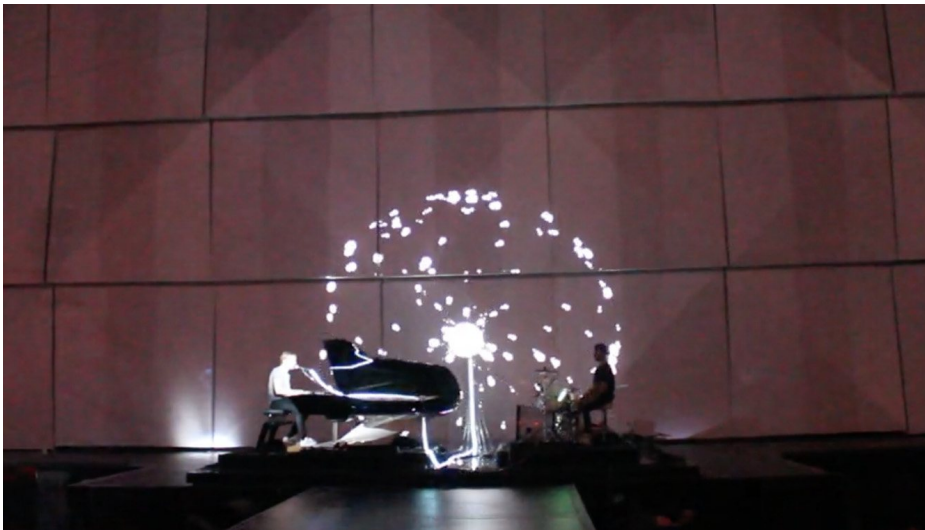
[그림-2]는 Mourad Merzouki, Claire Bardainne, Adrien Mondot가 만든 <Pixel>이라는 작품으로 무용과 음악, 3D 프로젝션 매핑이 융합된 형태의

7) 건축물 외벽의 중심을 가리키는 ‘파사드(facade)’와 ‘미디어(media)’의 합성어로 건축물 외벽 등에 LED 조명을 설치해 미디어 기능을 구현하게 하는 것을 말하며 건축물을 정보를 전달하는 매체로 사용하는 것이다.

8) 프로젝션 매핑(projection mapping)과 미디어 파사드(media facade)의 합성어이다.

작품이다. 영상에 입체감을 주어서 바닥의 형태가 변형된 것처럼 보이며, 무용수들도 그 형태에 맞춘 동작을 보여준다.

[그림-3]은 음악공연에 프로젝션 매핑을 적용한 그룹 ALB의 공연 장면이다. 마이크 위치에서부터 시작되는 영상이 바닥을 통해 스크린으로 이동하고 또 다른 영상이 나타난다. 보컬의 목소리가 나올 때부터 영상이 시작되기 때문에 보컬의 목소리가 영상을 만들어내는 것 같은 효과이다. 이 공연에서는 목소리와 피아노 연주, 드럼 연주에 의해 영상이 변화한다. 음악의 정보로 영상을 컨트롤하는 인터랙티브 음악작품이다.



[그림-3] 프로젝션 매핑을 이용한 그룹 ALB의 공연 장면

사례연구를 통해 볼 수 있듯이 프로젝션 매핑은 영상을 투사하는 대상이 전혀 다른 성격을 가진 것처럼 보이게 하거나 음악작품에 적용할 경우, 악기나 연주자에 의해 영상이 생성되는 것처럼 보이게 할 수 있다.

본 연구의 프로젝션 매핑 기술 활용에 있어서 공연장의 스크린이나 의도를 가지고 제작된 오브제를 사용하는 일반적인 작품들과 다르게 연주되는 악기에 직접적으로 적용하여 차별화된 소리 시각화를 표현하는 것을 시도한다. 스크린을 사용할 때에도 영상의 투사범위가 피아노에도 적용되게 하여 스크린과 피아노가 연결되어 있다는 느낌을 연출하였다.

II. 기술 연구

1. 사운드 시스템

1) 사운드 시스템

피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 위한 시스템에는 딜레이(delay) 음향효과⁹⁾와 granular synthesis¹⁰⁾, phase vocoder¹¹⁾가 사용되었다. 사용된 음향효과와 소리 합성법은 모두 Max/MSP로 제작하였고, Max for Live¹²⁾를 이용하여 제작한 Max/MSP패치를 Live9에 실시간 사운드 이펙트로 적용시켜 사용하였다.

[그림-4]는 피아노의 실시간 프로세싱을 위해 제작한 사운드 시스템이다. 피아노 연주는 마이크를 통해서 컴퓨터로 입력되고 Max/MSP로 전달되어 각각의 음향효과와 소리 합성법으로 변형되어 출력된다. 출력되는 사운드는 믹서로 입력되어 스피커를 통해 재생되고, 영상시스템에 입력되어 영상과 적용된 효과들을 컨트롤 한다.

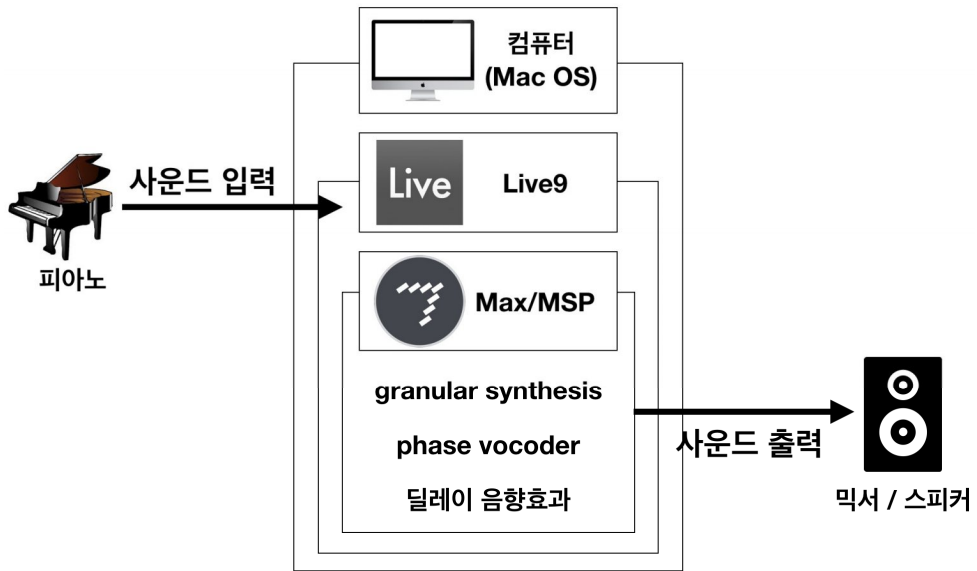
피아노 사운드는 파라미터 값이 각기 다른 4개의 granular synthesis와 하나의 phase vocoder, 2개의 딜레이 음향효과로 입력된다.

9) 입력된 사운드를 지정한 시간만큼 지연시켜 출력하는 음향효과를 말한다.

10) 입력된 사운드샘플을 아주 작은 단위(grain)로 나누어 재조합 및 변형하여 새로운 사운드를 제작하는 소리 합성방식이다.

11) 입력된 사운드를 분석하고 그 데이터를 재합성하여 음의 길이나 높낮이를 변형시키는 소리 합성방식이다.

12) Live9에서 제공하는 기능으로 Max/MSP로 제작한 패치를 Live9에서 편집 및 적용을 할 수 있는 기능이다.



[그림-4] 사운드 시스템 설계도

2) 음향효과 연구 과정

작품에 쓰인 음향효과 외에도 사운드를 변형할 수 있는 comb-filter¹³⁾, flanger¹⁴⁾ 등 다양한 음향효과들이 존재한다. 그 중에 사용하는 악기인 피아노의 음색에 어울리거나 음악의 색채를 위한 음향효과를 선택하였다. 음악에 적용할 음향효과를 선택하는 과정에서 음악의 주제인 ‘무의미’를 음악적으로 표현하는 것에 초점을 두었다.

의미 없이 사라지는 것에 대한 보편적 비유로 ‘먼지처럼 사라지다’, ‘한줌의 재가 되어 날아가다’ 등의 표현을 사용한다. 이런 의미를 가질 수 있는 음향효과를 연구하다가 사운드 샘플을 작은 단위로 나누어 재조합하는 소리 합성방식인 granular synthesis를 선택하였다. 또한 ‘스쳐 지나가는’, ‘회상’ 등을 표현하기 위해 phase vocoder를 이용하여 입력된 사운드의 재생 방향을 역방향으로 뒤집는 reverse효과¹⁵⁾를 사용하였다.

언급한 음향효과를 다양한 조합으로 구성하고 딜레이 음향효과를 적절히 섞어주어 원하는 사운드를 만들었다.

입력되는 피아노 연주에 여러 가지 음향효과를 적용하다보니 음악을 구성하는 사운드들이 잘 섞이지 않거나 특정 사운드가 가려지는 등 음향적 문제가 발생했고 이를 해결하기 위해 피아노 연주에 의해 입력되는 사운드의 주파수 대역을 나누어 음향효과를 적용하였다. 이 해결방법을 위해서는 FFT¹⁶⁾분석이 필요하기 때문에 pfft~오브젝트를 이용하였다.

13) 주파수 특성에 빗살(comb)모양이 나타나는 필터이며 빗살모양 필터라고 부른다.

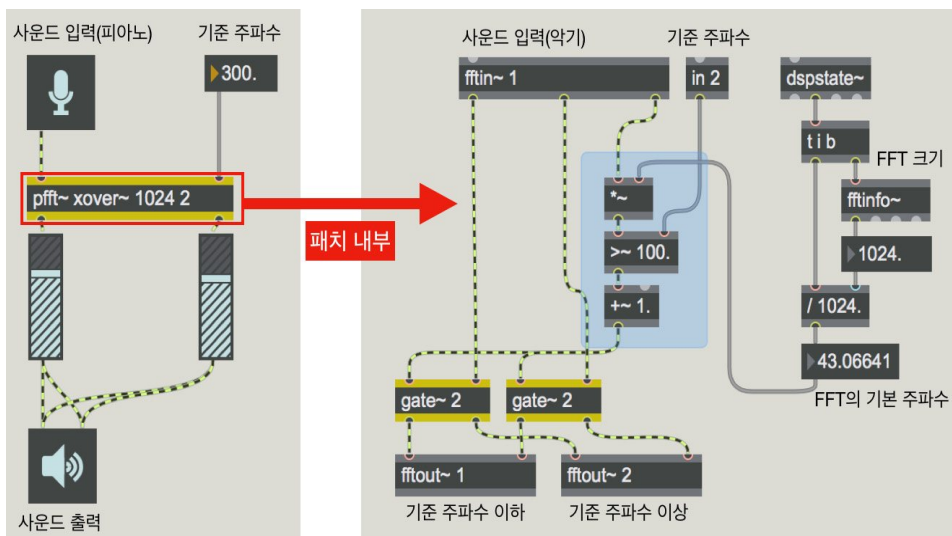
14) 딜레이를 응용한 음향효과 중 하나이다. 입력된 음을 약간 지연시켜서 원음에 보태는 방식으로 주파수 특성이 톱니바퀴모양을 띠는 특수 필터이다.

15) 입력된 사운드 샘플을 뒤집어서 재생방향을 역방향으로 만들어주는 음향효과이다.

16) Fast Fourier Transform의 약자이며 우리말로 고속 푸리에 변환이다. 시간 영역의 사운드 데이터를 주파수 영역으로 옮겨서 구성하고 있는 주파수를 분석할 때 사용한다.

3) FFT분석을 이용한 pfft~ xover~오브젝트 활용

[그림-5]는 입력된 악기의 사운드를 FFT분석을 통해 지정된 기준 주파수 (crossover frequency)에 따라 주파수 대역을 나누어주는 pfft~ xover~가 사용된 패치이다.



[그림-5] 사운드의 주파수 대역을 나누는 pfft~ xover~ 패치

pfft~ xover~의 내부를 보면 악기 연주에 따른 사운드 데이터를 fftin~오브젝트¹⁷⁾로 입력 받아 FFT분석이 된 데이터로 변환한다. 또한 fftinfo~오브젝트¹⁸⁾와 dspstate~오브젝트¹⁹⁾에 의해 데이터의 기본 주파수(fundamental frequency)가 결정되고 이 주파수는 FFT로 분석한 최저 주파수이다. 분석된 기본 주파수는 >~오브젝트로 입력되어

17) pfft~오브젝트에 의해 로드된 패치에 신호입력을 제공한다.

18) pfft~오브젝트에 의해 로드된 패치에서 FFTframe에 대한 정보를 얻는 기능을 한다.

19) 현재 컴퓨터에 기본 값으로 지정된 DSP의 설정을 알려주는 기능을 한다.

지정된 기준 주파수와 비교된다. 기본 주파수가 기준 주파수보다 크면 부등식의 결과가 참이므로 1이 출력되어 +~오브젝트20)에 지정된 값인 1과 더해져 2가 되고 gate~오브젝트21)의 2번째 아웃렛을 연다. 반대로 기본 주파수가 기준 주파수보다 작으면 부등식의 결과가 거짓이므로 0이 출력되고 +~를 거친 값이 1이며 gate~의 첫 번째 아웃렛을 연다. 이러한 방식을 통해 입력된 사운드 데이터는 기준 주파수를 중심으로 나누어져 각각의 아웃렛으로 출력되며 각기 다른 조합의 음향효과를 적용하였다.

4) 실시간 granular synthesis

granular synthesis는 입력된 사운드를 작은 샘플조각(grain)으로 나누어 재조합하는 소리 합성방식이다. [그림-6]은 granular synthesis를 구현하기 위해 disis_munger~오브젝트22)를 사용한 Max/MSP 패치이다. disis_munger~의 오브젝트 이름 옆에 입력된 값들은 오브젝트에 지정된 인수(argument)이다. 첫 번째 인수인 3000은 최대 버퍼사이즈, 두 번째 인수인 8은 오디오 아웃 채널의 수, 세 번째 인수인 55는 최대 보이스이다.

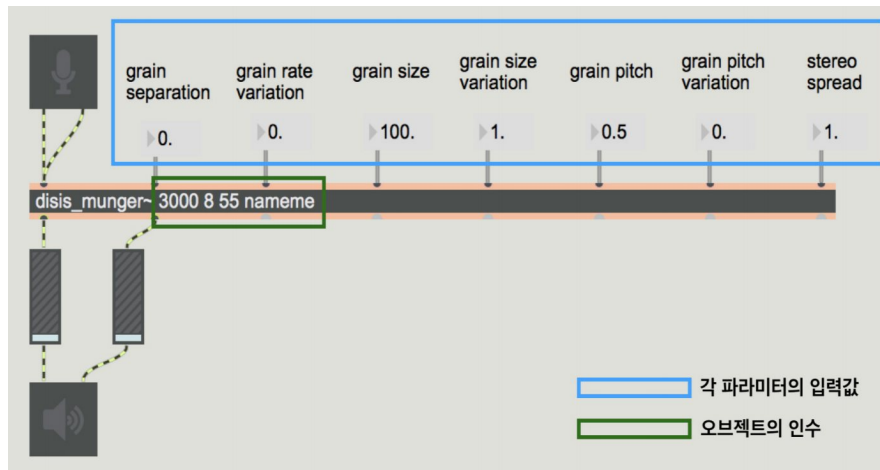
disis_munger~는 첫 번째 인렛으로 들어오는 사운드의 변형을 위해 7가지 파라미터를 조절할 수 있다. grain separation(grain들의 간격),

20) 입력된 두 개의 MSP신호를 더하는데 사용된다.

21) 왼쪽 인렛으로 들어오는 숫자데이터에 따라 오른쪽 인렛으로 입력되는 신호를 어떤 아웃렛으로 출력할 것인지를 결정할 수 있는 오브젝트이다. 입력 값이 0이면 모든 아웃렛이 닫히고 입력 값이 숫자면 숫자에 해당하는 아웃렛이 열린다.

22) Columbia University에서 개발하였고 Virginia Tech에 의해 수정된 버전의 외부(external)오브젝트이다. 멀티채널 granular synthesis의 기능을 제공하며 Max/Msp 32bit 환경에서만 사용할 수 있다.

grain rate variation(간격의 변화), grain size(grain 하나의 크기), grain size variation(크기의 변화), grain pitch(grain의 음높이), grain pitch variation(음높이의 변화), stereo spread(스테레오 이미지의 확산)를 조절하여 입력된 사운드를 실시간으로 변형할 수 있다.

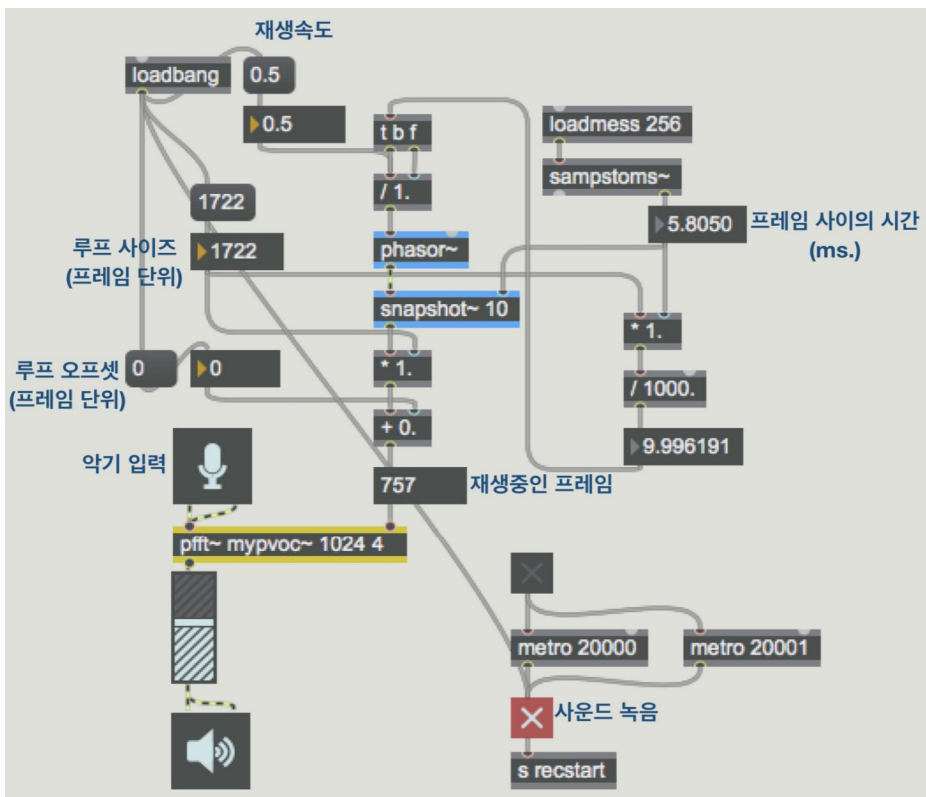


[그림-6] disis_munger~오브젝트를 이용한 granular synthesis 패치

이번 작품을 위해서 사용한 disis_munger~는 [그림-6]과 같이 grain separation과 grain rate variation의 값은 0, grain size는 100, grain size variation은 1, grain pitch variation은 0, stereo spread는 1로 입력된 값을 고정하고 grain pitch의 값만 각각 0.5(한 옥타브 아래), 1(옥타브 변화 없음), 2(한 옥타브 위), 4(두 옥타브 위)로 지정하여 4개의 granular synthesis를 구현하여 적용하였다.

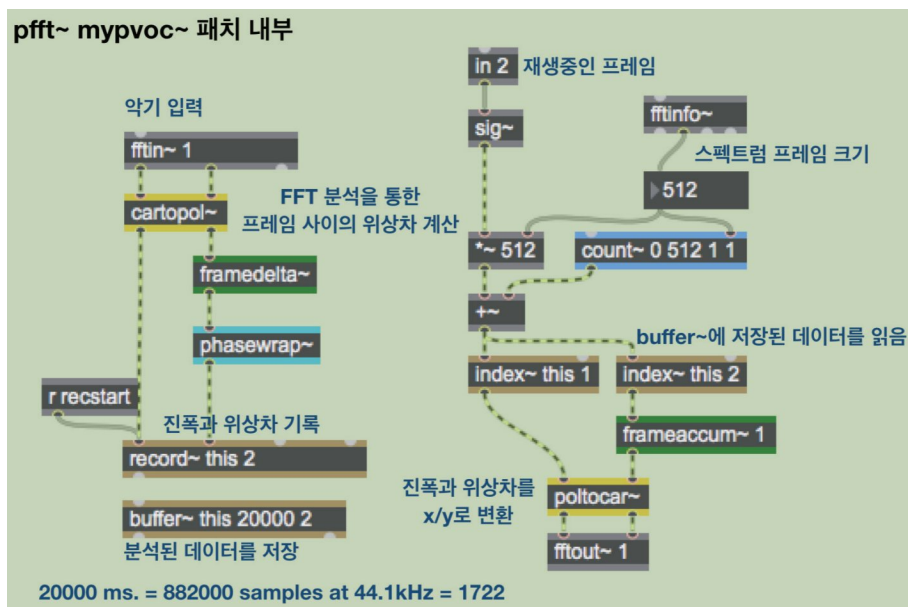
5) 실시간 phase vocoder

phase vocoder는 FFT 분석을 통해 음원을 재조합하는 방식으로 피치의 높낮이를 조절하거나 샘플 원본의 피치를 유지한 채 time stretching을 할 수 있는 소리 합성법이다. phase vocoder의 장점은 음원의 재생속도를 변화시키거나 재생방향을 역방향으로 변경하여도 피치의 변화나 사운드의 왜곡이 없다는 것이다. 피치의 변화가 없이 재생속도를 조절하기 위해 FFT분석을 이용하며 분석된 데이터를 원하는 속도로 변경할 수 있다.



[그림-7] pfft~ mypvoc~를 사용한 phase vocoder 패치

[그림-7]은 pfft~ mypvoc~오브젝트를 활용하여 phase vocoder를 구현한 패치이다. 녹음기능을 활성화 시키면 입력되는 악기연주가 pfft~로 입력되어 FFT분석을 거친 후 프레임단위의 데이터로 buffer~오브젝트²³⁾에 저장된다. 저장된 사운드 데이터를 phasor~오브젝트²⁴⁾의 입력된 값으로 재생하고 값에 따라 재생속도와 재생방향이 결정된다.



[그림-8] pfft~ mypvoc~ 패치 내부

[그림-8]은 pfft~ mypvoc~의 패치 내부이다. 이 패치는 fftin~로 입력된 사운드 데이터를 FFT분석 데이터로 가공하여 record~오브젝트²⁵⁾로 입력되어 녹음된 데이터가 buffer~오브젝트에 저장된다. 이렇게 저장된

23) 컴퓨터 메모리에 오디오 샘플을 저장하는 공간이다.

24) 톱니파형을 만들어내는 오브젝트로 왼쪽 인렛으로 들어가는 숫자데이터가 1초 동안 0에서 1까지 몇 번 반복하느냐를 결정한다.

25) 입력되는 사운드 데이터를 buffer~에 녹음하는 기능을 가진 오브젝트이다.

사운드 데이터를 읽기 위해 index~오브젝트²⁶⁾를 사용한다. 재생중인 구간은 상위패치에서 지정한 프레임 단위로 입력되고, 이 입력 값은 프레임 크기와 곱해져 buffer~에 저장된 사운드 데이터를 재생할 index~의 연속적인 샘플 값으로 입력되어 원하는 구간이 재생된다.

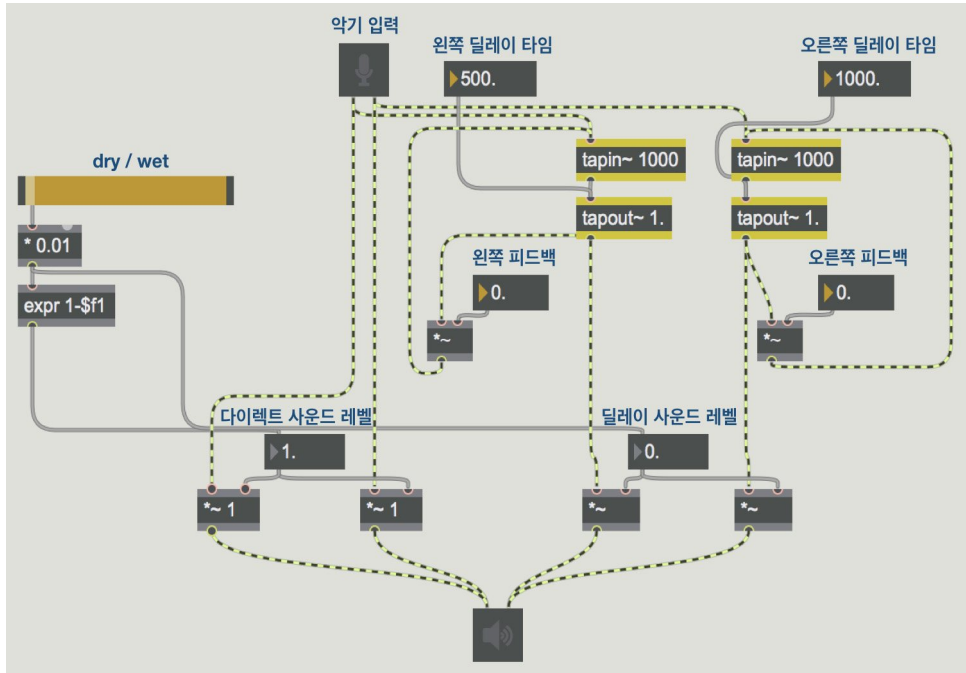
[그림-7]에서 보이듯 0에서 1까지 반복적으로 움직이는 phasor~의 특징을 사용하여 지정된 루프사이즈 만큼의 데이터를 반복적으로 재생할 수 있다. 재생속도를 변경해도 피치에는 영향을 주지 않으며 속도와 방향만 영향을 받는다. 입력한 재생속도가 음수일 경우 사운드가 역방향으로 재생된다.

6) 딜레이 음향효과

딜레이는 오디오 신호를 지연시키고 원래의 신호와 믹싱하는 음향효과이다. Max/MSP의 tapin~오브젝트와 tapout~오브젝트를 사용하여 딜레이 음향효과를 구성하였다. 딜레이 타임은 지연된 신호를 저장할 수 있는 RAM²⁷⁾의 양에 의해서 제한된다. 또한 딜레이 타임이 길어질수록 지연된 신호가 먼 산에서 반사되는 메아리처럼 개별적으로 들린다. tapin~오브젝트는 입력받은 오디오 신호를 저장하고 지속적으로 업데이트하는 버퍼이며 tapout~오브젝트는 하나 이상의 특정지점에서 tapin~에 저장된 사운드 데이터를 읽는다. 즉 tapin~에 실시간으로 저장되는 사운드 데이터를 tapout~에 입력된 딜레이 타임만큼 지연시켜 내보내는 것이다.

26) buffer~에 저장된 사운드 데이터를 샘플단위로 읽어 재생하는 오브젝트이다.

27) Random Access Memory의 약자이며 정보의 읽기와 쓰기가 가능한 휘발성 메모리이다.



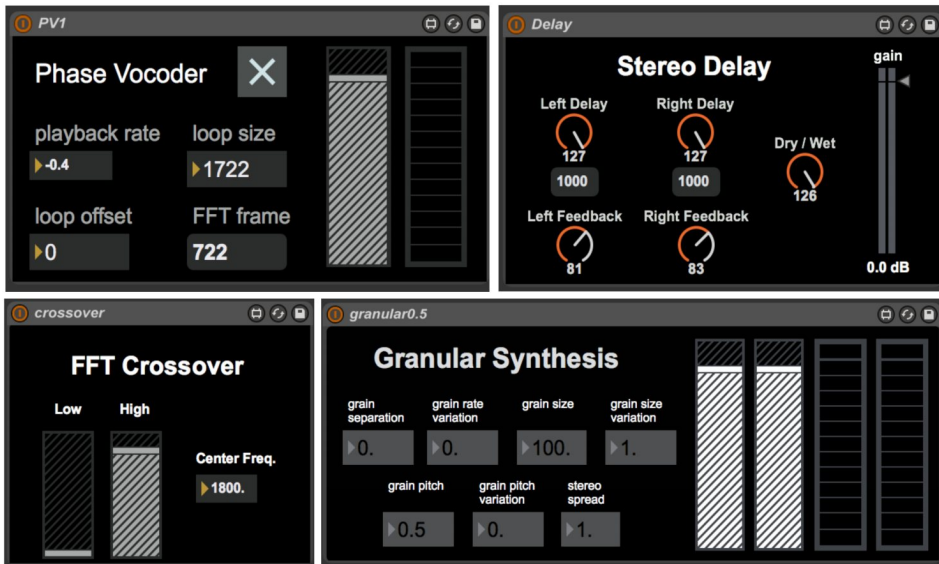
[그림-9] 딜레이 음향효과를 구현한 Max/MSP 패치

[그림-9]는 딜레이 음향효과를 구현한 Max/MSP 패치이다. 왼쪽 신호와 오른쪽 신호의 딜레이 시간을 다르게 지정할 수 있는 스테레오 딜레이 음향효과이다. tapin~와 tapout~를 거쳐 지연된 신호를 다시 tapin~로 입력시켜 지연된 사운드가 반복되는 피드백 효과를 만들어낼 수 있다. expr오브젝트²⁸⁾에 입력된 수식을 통해 다이렉트 사운드와 딜레이 음향 효과를 거친 사운드의 볼륨 조절을 통한 믹싱을 할 수 있다.

28) 입력된 인수를 계산식으로 인식하여 연산해주는 오브젝트이다.

7) Max for Live 활용

Max/MSP로 제작한 모든 사운드 프로세싱 시스템은 Live9안에서 구동 되도록 Max for Live를 활용하였다. Max for Live는 Live9환경 안에서 Max/MSP로 제작한 악기나 음향효과 시스템을 적용하여 컨트롤할 수 있으며 편집도 가능하다.



[그림-10] Live9에 적용한 Max audio effect

Live9의 카테고리 중 Max for Live탭에서 Max audio effect를 통해 직접 Max/MSP를 실행하여 사운드 이펙트를 제작할 수 있고, 미리 제작된 패치를 불러와서 사용할 수 있다.

Max/MSP의 기능인 오리엔테이션 모드를 활용하여 조절해야하는 오브젝트의 파라미터나 출력 값을 선택하여 모니터링할 수 있으며 live.gain~29)오브젝트,

live.slider~오브젝트³⁰⁾ 등을 활용하여 Live9안에서 MIDI 컨트롤러나 키보드로 직접적인 조절을 할 수 있다.

Max for Live로 적용한 사운드 프로세싱 시스템들을 컨트롤하기 위해 KORG사의 미디 컨트롤러인 nanoKONTROL2를 사용하였다.



[그림-11] KORG사의 nanoKONTROL2

Live9의 MIDI매핑 기능을 이용하여 nanoKONTROL2와 연동하였고 각 트랙의 음량 값과 입력한 사운드 이펙트들의 파라미터 값, 오브젝트들의 입력 값을 실시간으로 조절하였다.

29) Max for live를 위한 오브젝트로 입력되는 오디오 신호의 데시벨(dB)값을 시각적으로 확인할 수 있는 볼륨 페이더이다.

30) Max for live를 위한 오브젝트로 숫자 데이터를 출력하는 슬라이더의 역할을 한다.

2. 영상 시스템

1) 영상 시스템

작품을 위해 설계한 영상 시스템에서는 피아노 연주와 실시간 사운드 프로세싱으로부터 사운드 데이터를 추출하여 영상을 제어 하거나 영상 효과의 특정 파라미터를 조절하게 하였다. 피아노 연주의 다이렉트 사운드는 앞선 사운드 시스템에서 언급한 pfft~ xover~오브젝트를 통해 입력된 기준 주파수에 따라 저음역대와 고음역대로 나누어 영상에 적용하였다. 사운드 프로세싱을 거친 데이터도 특정 영상을 재생하거나 영상효과의 적용 범위를 조절하는 값으로 사용하였다. 사운드와 연동된 영상이 프로젝터를 통해 피아노와 스크린에 매핑되는 시스템이다.

실시간으로 생성되는 영상의 제작을 위해서 프로그래밍 기반의 영상 제작 응용프로그램인 Processing과 Quartz composer를 사용하였다.

Processing은 자바 언어를 기반으로 만들어진 애니메이션과 이미지, 사운드를 프로그래밍 할 수 있는 언어이자 환경이다. Quartz composer는 애플에서 제공하는 개발 툴에 포함된 그래픽스 툴의 한 부분이며, 각기 기능이 다른 패치들을 연결하여 원하는 그래픽을 만들어내는 노드방식을 사용한다.

프로젝션 매핑을 위한 프로그램으로는 Mad mapper³¹⁾, VDMX³²⁾, Arena5³³⁾ 등이 있다. 이 작품에서는 실시간 영상에 사운드와 연동되는 영상효과를 적용하기 위해 Arena5를 사용하였다. Arena5는 오디오 신호를 직접 입력할 수 있으며 OSC³⁴⁾데이터와 MIDI³⁵⁾데이터의 입력을 지원하여 사운드와의 연동이 가능하다.

위 프로그램들을 사용한 이유는 앞서 언급했듯이 오디오 신호 또는 OSC 데이터 등 입력되는 데이터의 적용과 사운드 제작 프로그램이나 다른 영상 관련 프로그램과의 호환이 가능하여 인터랙티브 그래픽을 표현하는데 최적화되어있기 때문이다.

실시간으로 생성되는 Processing의 영상은 Arena5에 직접 입력되지 않기 때문에 이를 해결하기 위해 Syphon³⁶⁾을 이용하였고 Quartz composer로 생성되는 영상은 Arena5에 직접 입력하였다. 입력된 영상에 Arena5에서 제공하는 영상효과를 걸어주어 사운드와 영상의 인터랙션이 더욱 부각되는 것을 유도하였다. 영상은 프로젝터를 통해 피아노의 상판과 공연장의 스크린에 투사된다.

31) 대표적인 비주얼 매핑 툴이며 제공되는 플러그인들을 통해 간단하고 쉽게 콘텐츠를 제작할 수 있다는 것이 특징이다.

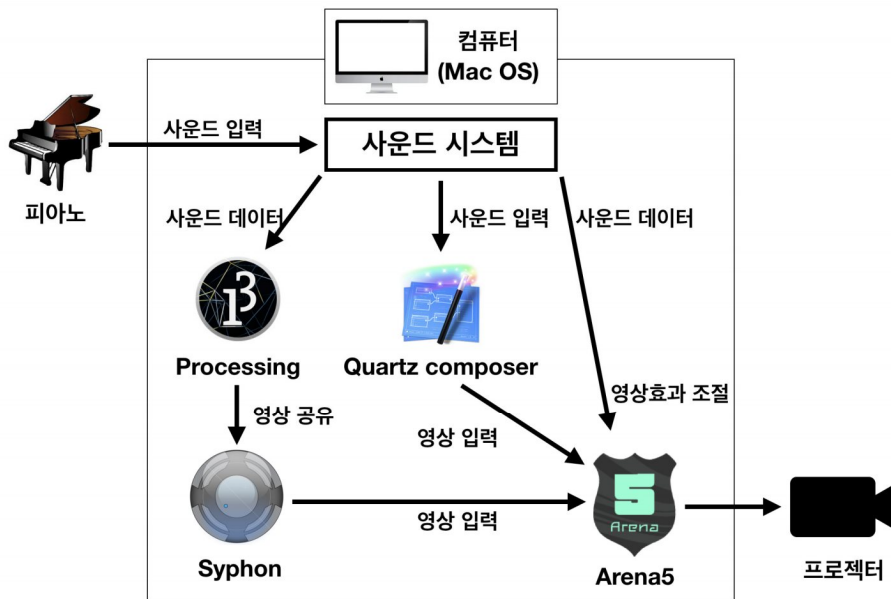
32) Mac OS 기반의 실시간 모션그래픽을 가능하게 하는 프레젠테이션 프로그램이다.

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

34) Open Sound Control의 약자로 사운드 데이터 전송을 위해 개발된 네트워크를 이용한 통신규약이다.

35) Musical Instrument Digital Interface의 약자로 서로 다른 전자악기간의 데이터를 전송하고 공유하기 위해 제정한 업계 표준이다.

36) 응용 프로그램간의 영상 프레임을 서로 공유할 수 있게 해주는 Mac OS기반의 오픈 소스이다.



[그림-12] 영상 시스템 설계도

2) 영상 시스템 연구 과정³⁷⁾

Processing과 Quartz composer로 제작한 실시간 영상에 영상효과와 프로젝션 매핑을 적용하기 위해 Arena5로 입력해야한다.

앞서 언급했듯이 Quartz composer로 제작한 영상은 별도의 렌더링(rendering)³⁸⁾을 거치지 않고도 저장된 Quartz composer의 프로젝트가 곧바로 Arena5로 입력이 가능하다. 하지만 Processing의 경우 렌더링을 거쳐야 영상소스로 활용할 수 있는데 렌더링을 거치면 더 이상 실시간으로

37) 이보강, 김준, 「프로젝션 매핑을 활용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」, 한국공학·예술학회 2017학술발표대회 논문집 Vol.15, 2017.에서 부분 발췌.

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

제작되는 영상이 아니므로 이 문제를 해결해야했다.

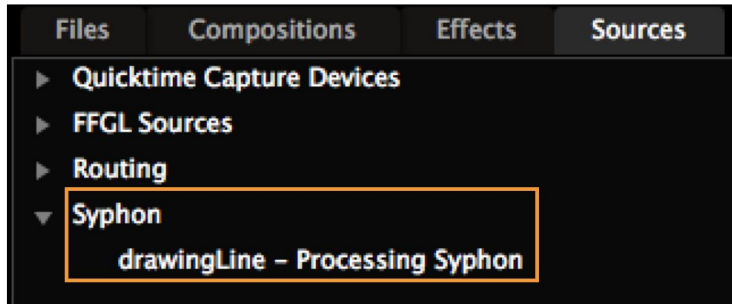
해결방안은 Syphon을 이용해서 생성되고 있는 실시간 영상을 Arena5로 공유해주는 방법이다. Processing에서 제공하는 Syphon라이브러리를 설치하여 사용 목적에 맞는 코드를 영상을 제작하는 스케치(sketches)³⁹⁾에 입력하면 Syphon서버에 Processing영상이 공유되고 Arena5에서 영상소스로 입력 받을 수 있다.

```
1 import codeanticode.syphon.*;
2
3 SyphonServer server;
4
5 void setup() {
6   size(500,500, P3D);
7   server = new SyphonServer(this, "Processing Syphon");
8 }
9
10 void draw() {
11   background(127);
12   ellipse(250,250,250,250);
13   server.sendScreen();
14 }
```

[그림-13] Processing에서 Syphon을 사용하는 코드 예시

[그림-13]은 Processing에서 Syphon을 통해 영상을 공유하는 코드의 예시이다. 영상을 제작하는 Processing 코드에 Syphon코드를 입력하면 현재 생성중인 실시간 영상을 Arena5에서 입력소스로 사용할 수 있다. 또한 Syphon을 지원하는 Max/MSP, Mad mapper 등 다른 응용프로그램에서도 사용이 가능하다.

39) Processing환경에서 코드를 작성하는 공간을 이야기한다.



[그림-14] Syphon을 통해 공유된 영상소스

Syphon코드에 서버이름을 입력해서 'Processing Syphon'이라는 이름을 가진 Syphon서버를 생성하고 그 서버에 실시간으로 생성중인 영상의 스크린을 공유하는 방식이다. 이렇게 공유된 실시간 영상은 Arena5의 Sources메뉴에서 프로젝트의 이름과 서버이름으로 확인이 가능하고 실시간 영상소스로 사용이 가능해진다.

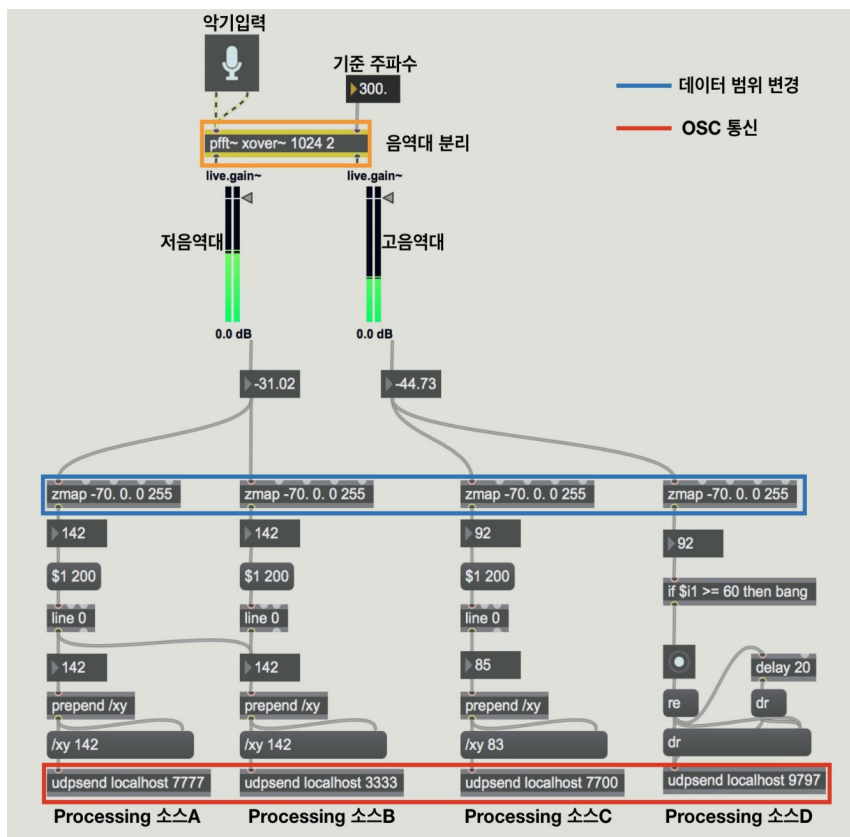
3) 사운드와 영상의 연동을 위한 기술 연구

사운드와 영상의 연동을 위해 OSC와 Soundflower⁴⁰⁾를 이용하였다. Processing으로 제작한 실시간 영상과 Arena5의 영상효과에 사운드 데이터를 입력하기 위한 수단으로 OSC통신을 사용했고, Quartz composer에 오디오 신호를 입력하기 위해 Soundflower를 사용하였다.

40) 오디오 장치를 소프트웨어적으로 구현한 가상 오디오 드라이버이며, Mac OS 사용자들에게 무료로 배포되고 있다.

① OSC를 이용한 영상과 영상효과의 실시간 제어⁴¹⁾

Processing의 실시간 영상과 사운드의 연동을 위해 OSC 통신을 이용하였다. Max/MSP에서 입력받은 피아노 연주의 사운드 데이터를 OSC 데이터로 변환하여 Processing으로 보내주는 방식이다.



[그림-15] Proessing으로 OSC 데이터를 전송하는 Max/MSP 패치

41) 이보강, 김준, 「프로젝션 매핑을 활용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」, 한국공학·예술학회 2017학술발표대회 논문집 Vol.15, 2017.에서 부분 발췌.

Processing에 입력되는 사운드 데이터는 사운드 프로세싱을 거치지 않은 피아노 연주의 다이렉트 사운드이다. 이 사운드를 Max/MSP의 `pffft~ xover~`를 이용해 주파수 대역을 저음역대와 고음역대로 나누어 Processing으로 입력한다. 사운드 데이터를 적용할 Processing의 파라미터에 맞는 값으로 치환해주는 과정이 필요하다. `live.gain~`을 통해 나오는 오디오 신호의 음량 값을 오브젝트나 수식을 통해 그 값의 범위를 변경하는 방식이다. `live.gain~`에서 나오는 음량 데이터 범위인 -70.0에서 6.0을 적용할 파라미터 값의 범위로 변경해주어야 한다.

앞의 [그림-15]는 사운드와 영상의 인터랙션을 위해서 Max/MSP로 입력된 피아노 연주의 사운드 데이터를 OSC 데이터로 치환하여 Processing으로 전송하는 시스템이다.

음량 데이터의 범위를 적용할 파라미터의 범위로 변경해주기 위해 `zmap`오브젝트를 사용하였다. `zmap`오브젝트는 입력되는 데이터 값의 범위를 사용자가 지정한 범위로 바꾸어주는 오브젝트이다. 변경된 범위의 데이터 값들은 `line`오브젝트⁴²⁾를 통해 값이 변경될 때마다 200ms의 시간으로 그 사이의 값을 생성하며 증가하거나 감소한다. 파라미터의 값이 급격하게 변화하면 영상의 변화가 끊어지는 것처럼 보이기 때문에 이를 방지하기 위함이다. 오브젝트들을 거치면서 변경된 데이터들이 `udpsend`오브젝트⁴³⁾를 통해 각각의 Processing영상을 조절하기 위해 전송된다. `udpsend`오브젝트는 2개의 인수를 가진다. 첫 번째 인수는 통신할 주소이며, 시스템을 사용하는 컴퓨터 안에서 통신이 이뤄지기 때문에 `localhost`⁴⁴⁾로

42) 숫자데이터 A에서 B까지를 사용자가 지정한 시간(ramp time)만큼 일정한 간격으로 이동하게 하는 오브젝트이다.

43) OSC데이터가 호환되는 UDP(User Datagram Protocol)의 약자이며 네트워크를 통해 데이터를 송신할 때 사용되는 오브젝트이다.

44) 컴퓨터 네트워크에서 자신의 컴퓨터를 의미하는 호스트명이다.

지정한다. 두 번째 인수는 OSC를 통신할 포트⁴⁵⁾번호(port number)이다. Processing영상마다 각기 다른 포트번호를 지정하여 데이터 송신의 목적지를 구분한다.

udpSEND오브젝트를 통해 송신된 데이터를 Processing에서 수신하려면 oscP5라이브러리를 사용해야한다. oscP5는 Processing환경에서 OSC 통신 기능을 제공하는 라이브러리이다.

```

import oscP5.*;
import netP5.*;
OscP5 oscP5;
NetAddress myRemoteLocation; oscP5 라이브러리 입력

int oscx;

void setup() {
    size(400,400);
    oscP5 = new OscP5(this,3333);
    myRemoteLocation = new NetAddress("127.0.0.1",3333);
} OSC데이터를 받을 주소와 포트 설정

void draw() {
    background(oscx); 변수 대입
}

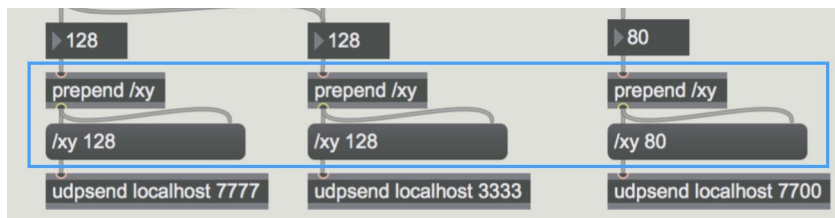
void oscEvent(OscMessage theOscMessage) {
    if(theOscMessage.checkAddrPattern("/xy")==true) {
        int firstValue = theOscMessage.get(0).intValue();
        oscxy(firstValue);
    }
}
void oscxy(int ox)
{
    oscx = ox; OSC통신의 조건과 입력받는 데이터를 변수로 설정
}

```

[그림-16] OSC 통신을 위한 oscP5 활용 예시

45) 컴퓨터 안에서 데이터의 입·출력을 위한 통로를 의미한다.

[그림-16]은 Processing에서 OSC데이터를 수신하기 위해 oscP5를 이용하는 코드의 예시이다. 실시간 영상을 생성하는 Processing에 oscP5 라이브러리를 불러와서 OSC데이터를 받을 주소와 포트를 설정한다. 예시 코드에 입력되어있는 127.0.0.1은 localhost를 뜻하는 IP주소이다. 통신 간의 데이터 입력의 혼동을 방지하기 위한 특정 메시지를 조건문에 지정하고 그 메시지와 함께 들어오는 숫자 데이터만을 입력받는다. 이를 위해 Max/MSP 패치에서 prepend오브젝트⁴⁶⁾를 이용하여 송신할 데이터 앞에 조건문에 지정된 메시지를 붙여서 보낸다.

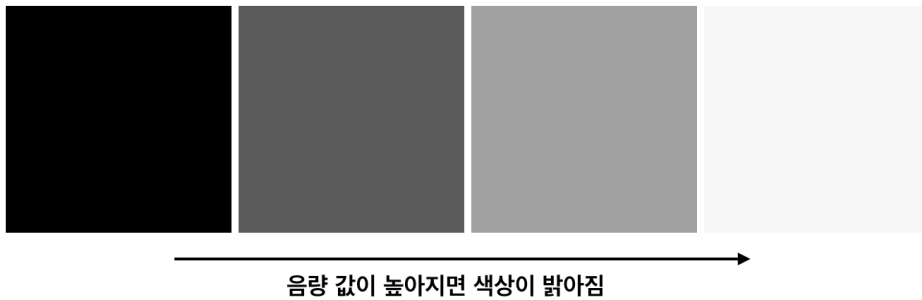


[그림-17] OSC 데이터 송신을 위한 오브젝트 구성

Processing에서 조건문에 지정한 메시지인 '/xy'를 prepend오브젝트에 인수로 지정하여 입력되는 데이터 앞에 '/xy'를 붙여서 udp send오브젝트로 보내도록 한다. 이렇게 입력받은 데이터를 영상에서 조절할 파라미터에 적용하기 위해 변수로 설정해준다. [그림-16]의 예시는 입력되는 악기 연주의 처음역대 음량이 클수록 background⁴⁷⁾의 입력 값이 높아지므로 [그림-18]과 같은 변화가 일어난다.

46) 입력되는 데이터에 인수로 지정된 메시지나 숫자를 붙여서 출력하는 오브젝트이다.

47) Processing 환경에서 생성되는 영상의 배경색상을 결정하는 기능의 함수이다.

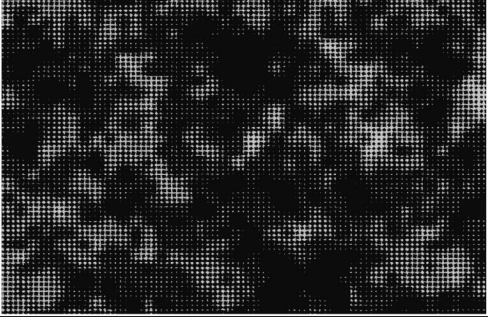
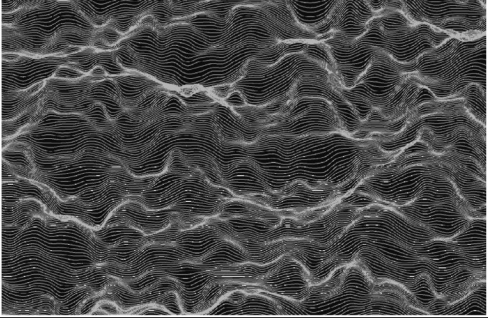
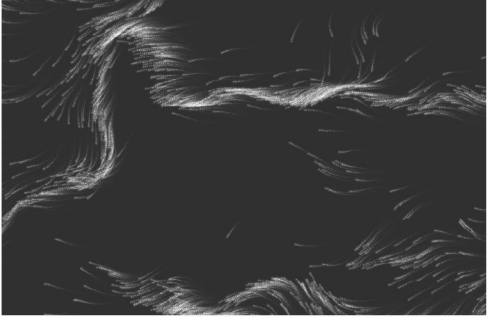



[그림-18] 예시 [그림-16]의 음량 값에 따른 영상의 변화

위와 같은 방법으로 Processing에서 생성되는 실시간 영상의 특정 파라미터에 OSC 통신으로 입력받은 사운드 데이터를 적용하여 영상과 사운드의 실시간 인터랙션을 만들어냈다.

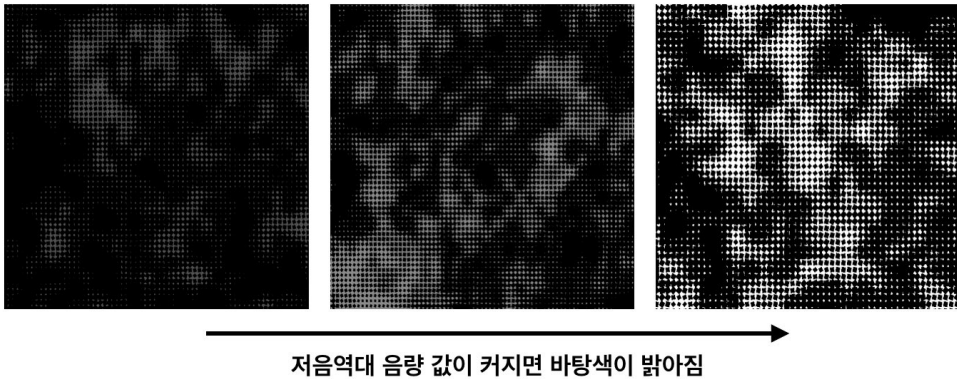
작품에 사용한 Processing으로 제작한 실시간 영상은 총 4개이다. 각 영상소스를 구성하는 코드의 특정 파라미터에 사운드 데이터를 적용하여 사운드 음량 값에 따라 영상이 변화하는 인터랙션을 부여하였다. 제작한 영상의 종류와 의미는 <표-1>과 같다.

<표-1> Processing 영상의 의미와 주요 장면

구분	의미	주요 장면
소스 A	희미해지다	
소스 B	무너지다	
소스 C	흩어지다	
소스 D	방향을 잃다	

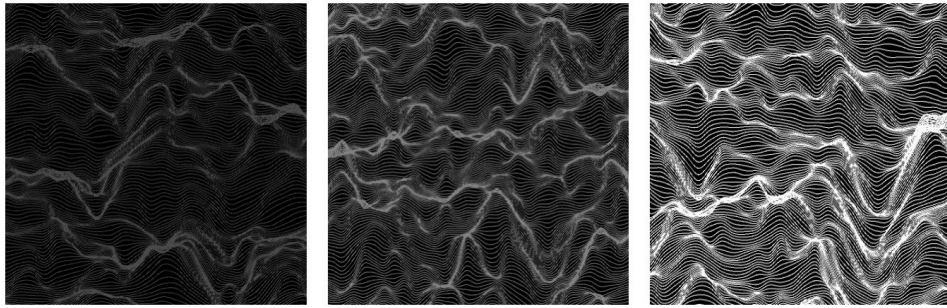
<표-1>과 같이 각기 다른 의미를 가진 4개의 영상에 OSC 통신을 이용한 사운드와의 인터랙션을 부여하였다.

소스 A와 소스 C의 경우 바탕색을 결정하는 background함수에 사운드 데이터를 적용하여 저음역대의 음량이 커지면 [그림-19]처럼 바탕색이 흰색으로 밝아지면서 영상을 이루고 있는 검은색 도형들의 윤곽이 드러나게 하였다.



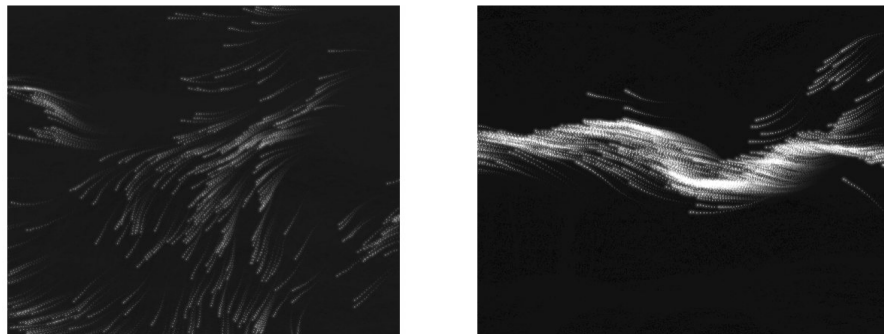
[그림-19] 저음역대 음량 값에 따른 소스 A 영상의 변화

소스 B와 소스 C의 경우 생성되는 도형의 색상을 결정하는 fill함수에 사운드 데이터를 적용하였다. 소스 B는 저음역대의 음량 값이 커질수록 [그림-20]처럼 영상을 이루고 있는 선들이 부각되게 하였고 소스 C는 입력 값에 기초 값을 80으로 지정하여 영상의 움직임은 보이게 하였다. 고음역대 음량 값이 들어오면 [그림-21]처럼 영상을 이루고 있는 파티클 (particles)들이 선명해지게 하였다.



저음역대 음량 값이 커지면 도형을 채우는 색이 밝아짐

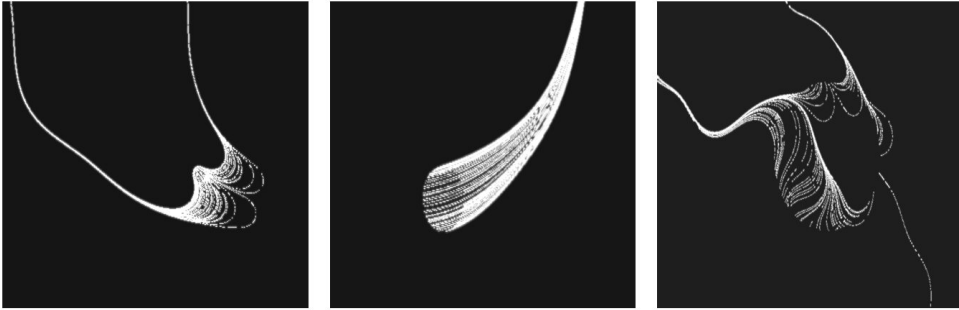
[그림-20] 저음역대 음량 값에 따른 소스 B 영상의 변화



고음역대 음량 값이 입력되면 영상의 움직임이 선명하게 보임

[그림-21] 고음역대 음량 값에 따른 소스 C 영상의 변화

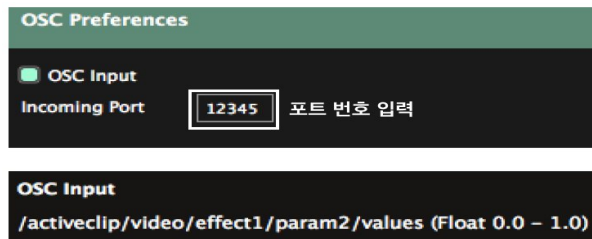
소스 D의 경우 앞선 영상들과는 다른 방법으로 인터랙션을 부여했다. 소스 C 영상은 영상이 초기화 될 때마다 그려지는 선의 출발지와 진행 방향이 바뀐다. 이 특징을 이용하여 고음역대 음량 값이 조건문에 지정한 값보다 크게 들어오면, 영상을 초기화 시켜 [그림-22]처럼 매번 다른 영상이 그려지는 효과를 주었다.



고음역대 음량 값이 지정한 기준 값을 넘을 때마다 다른 모습의 영상이 생성됨

[그림-22] 고음역대 음량 값에 따른 소스 D 영상의 변화

Arena5에서는 위와 같은 방법으로 영상효과의 파라미터 값을 조절하게 하였다. Arena5는 OSC 데이터를 입력받기 위해서 [그림-23]처럼 OSC preferences에서 입력받을 OSC 인풋을 활성화시키고 포트넘버를 지정해야 한다. 데이터를 적용할 파라미터의 지정된 위치는 OSC mapping기능을 이용하여 알아낼 수 있다.



[그림-23] Arena5의 OSC 입력 설정과 위치

작품에 적용한 Arena5의 영상효과는 Noizy⁴⁸⁾와 Bright/Contrast⁴⁹⁾이다. Bright/Contrast의 contrast값에 사운드 데이터를 적용하여 고음역대 음량이

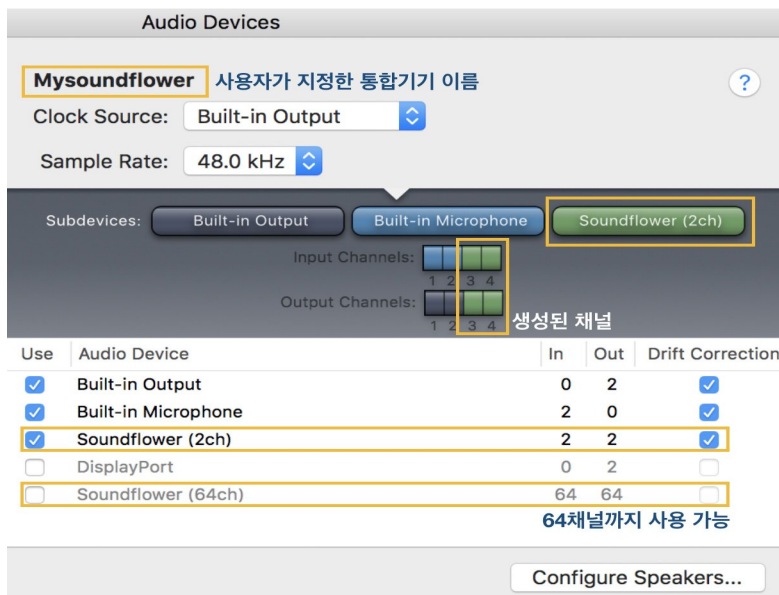
48) 영상에 노이즈 효과를 주어 변형하는 영상효과이다.

49) 영상의 밝기와 대비를 조절하는 영상효과이다.

커지면 영상이 반짝거리는 효과를 주었고 Noisy의 noise값에 음악 전체의 음량 값을 적용하여 음량이 일정치를 넘어서면 영상의 그림이 부서지는 효과를 주었다.

② Soundflower를 이용한 사운드와 영상의 연동

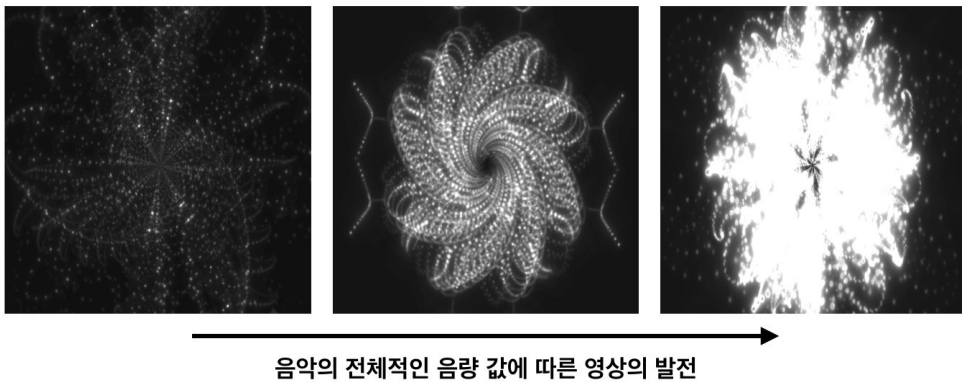
Quartz composer를 이용하여 만들어진 영상은 입력되는 값에 의해 영상이 실시간으로 변화한다. 프로그램의 오디오 인풋을 이용하여 사운드를 직접 입력하는 방법을 선택했고 이를 위해 Soundflower라는 가상 오디오 장치를 활용하였다. Soundflower를 이용하여 생성한 가상 오디오 장치는 64채널 까지 생성할 수 있다.



[그림-24] Soundflower를 이용한 통합기기 생성과 설정

Soundflower는 Mac OS의 Audio MIDI setup⁵⁰⁾에서 통합기기생성을 통해 오디오 장치로 사용할 수 있다. Soundflower의 장점은 생성한 오디오 장치의 아웃풋채널로 나가는 오디오 신호를 동일한 채널의 인풋채널로 입력받을 수 있다는 점이다.

Live9에서 피아노의 연주와 사운드 프로세싱을 거친 모든 사운드를 하나의 return트랙으로 보내주고 그 트랙의 아웃풋을 Soundflower에 할당된 아웃풋으로 설정하여 같은 채널의 인풋을 통해 Quartz composer로 보내주는 방식이다. [그림-25]와 같이 진행 되는 음악의 음량 값을 실시간으로 받아서 변화하는 영상을 만들어내는 시스템이다.



[그림-25] 음악의 음량 값에 따른 영상의 발전

50) Mac OS 환경에서 오디오 장치나 미디 장치를 관리하고 입출력을 설정한다.

4) 프로젝션 매핑 적용 연구⁵¹⁾

프로젝션 매핑을 구현하기 위해서는 디지털 이미지 혹은 제작된 영상이나 사물의 실제 크기를 변환하는 소프트웨어와 컴퓨터, 프로젝터 등 하드웨어를 필요로 한다. 또한 프로젝션 매핑을 적용할 오브제를 선택해야 하고 그 모양에 따라 적용범위를 지정해야한다. 현재 프로젝션 매핑을 위해 만들어진 응용프로그램들은 오브제의 모양으로 영상 투사범위를 지정할 수 있게 해주며 다양한 영상효과도 제공하고 있다. 이 연구에 사용한 Arena5도 투사영역을 사용자가 임의대로 조절할 수 있으며 여러 가지 영상효과도 제공한다.

악기 연주를 이용한 멀티미디어음악 작품인 만큼 악기 자체를 오브제로 삼아 프로젝션 매핑을 적용하였고 피아노 사운드에 반응하는 영상의 부각을 유도하였다.

작품에 사용한 YAMAHA사의 C6 피아노는 흔히 볼 수 있는 검은색 유광 그랜드 피아노이다. 빛을 사용하는 프로젝션 매핑에서 유광 재질의 오브제는 반사가 심해서 적절하지 못하다. 따라서 피아노 위에 프로젝터의 상이 맺힐 수 있는 재질의 천이나 종이를 부착하는 방법을 선택했다.

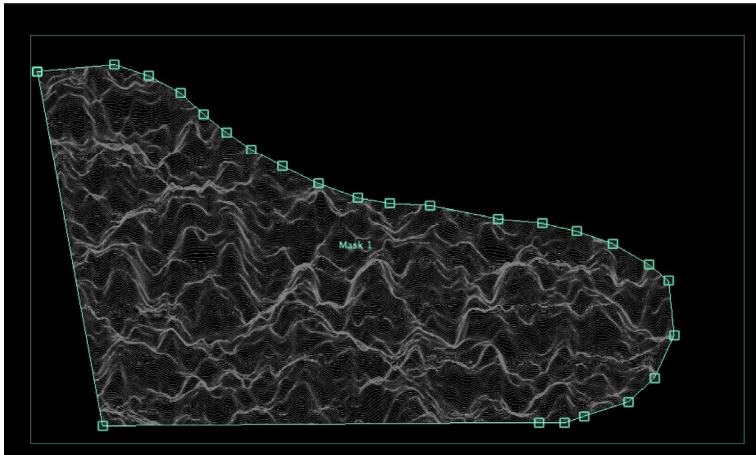
천은 재질의 특성상 부착이 어렵다는 단점이 있어서 종이를 선택했고, 작품을 발표한 공연장의 메인 스크린이 흰색이기 때문에 영상의 색감을 통일하기 위해 흰색 전지를 사용하였다. [그림-26]과 같이 피아노 상판의 안쪽에 흰색 전지를 부착하여 그 모양에 맞추어 실시간 영상을 투사하였다.

51) 이보강, 김준, 「프로젝션 매핑을 활용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」, 한국공학·예술학회 2017학술발표대회 논문집 Vol.15, 2017.에서 부분 발췌.



[그림-26] 그랜드 피아노의 상판 안쪽에 전지를 부착한 모습

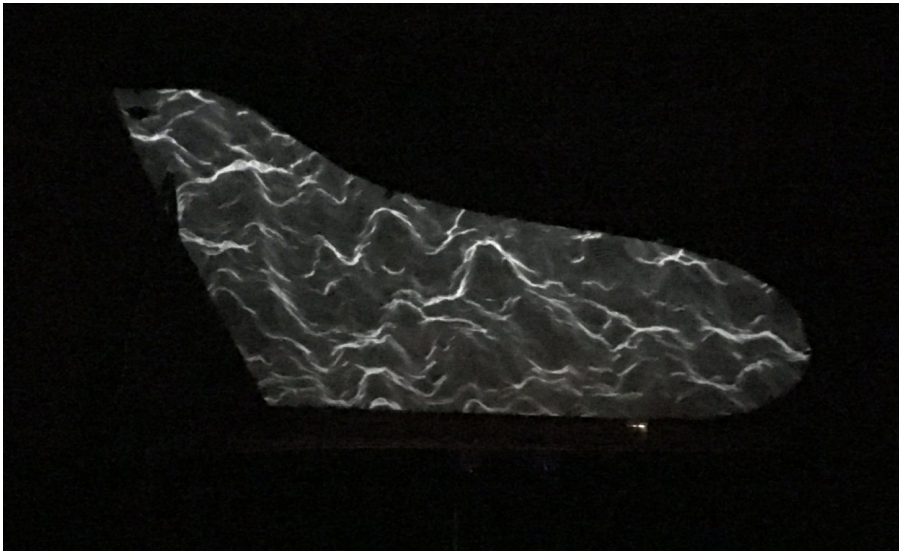
제작된 실시간 영상들은 피아노 상판 모양에 맞추어져 있지 않기 때문에 Arena5의 mask기능을 사용하여 영상이 투사될 범위를 지정해주었다.



[그림-27] mask기능을 이용한 투사범위 지정

투사범위를 지정하는 방법은 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 영상의 크기를 조절하여 오브제 모양에 맞추는 것이고 두 번째 방법은 Arena5의 mask기능을 이용해서 원하는 범위만큼만 보이게 하는 방법이다.

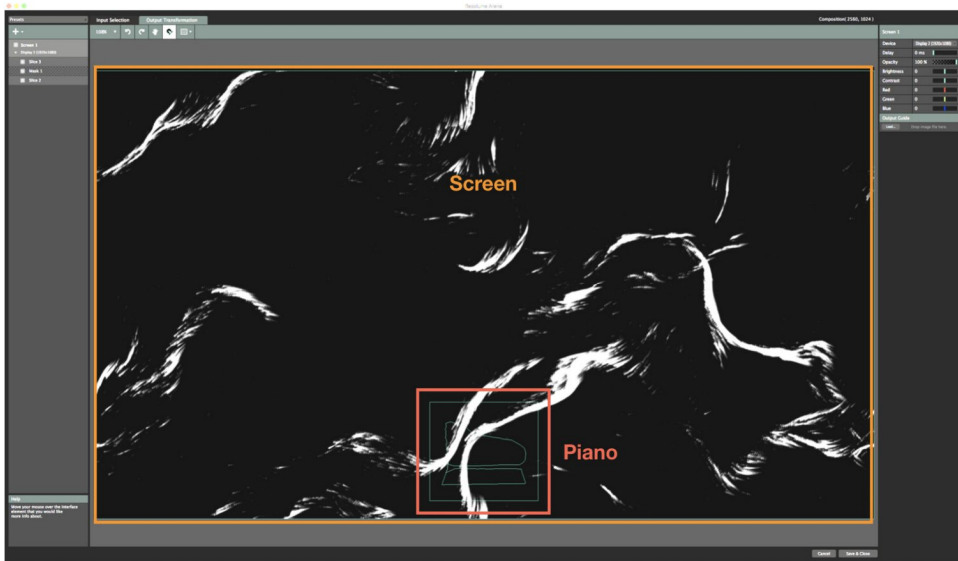
전자는 원본영상이 변형한 모양대로 왜곡이 되는 현상이 나타난다. 이 문제를 피하기 위해 [그림-27]처럼 mask를 이용하여 오브제의 모양에 맞춘 투사범위를 지정하였다. [그림-28]은 지정된 투사범위에 맞춰 영상이 실제 피아노에 적용된 모습이다.



[그림-28] 피아노에 프로젝션 매핑을 적용한 모습

5) 영상 배치 및 연출

모든 실시간 영상들은 Arena5안에서 조합 및 배치가 되어 프로젝터를 통해 스크린과 피아노로 투사된다.

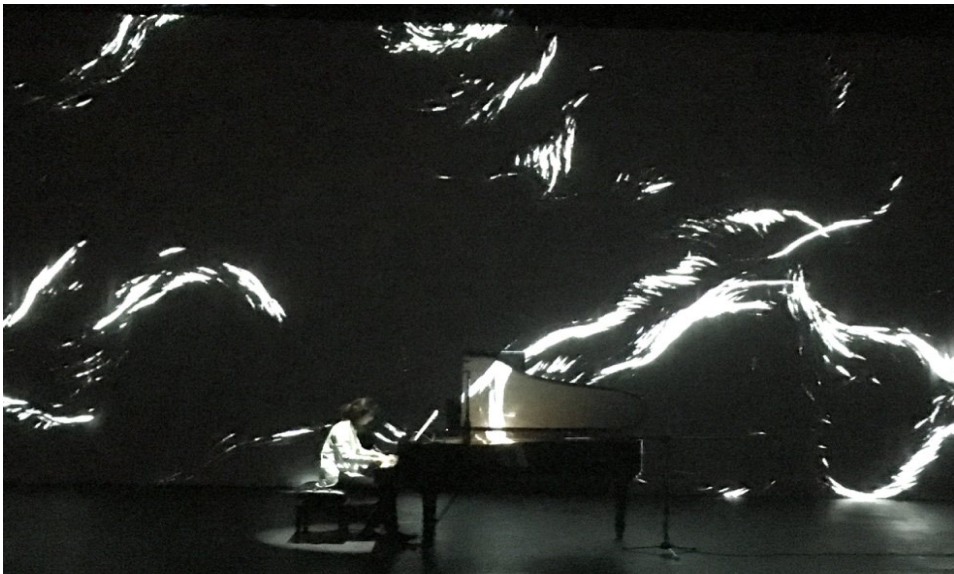


[그림-29] Arena5를 이용한 영상 매핑 배치

작품에 사용된 프로젝터는 1대이며 [그림-29]와 같이 영상의 투사범위를 지정하여 피아노가 메인 스크린의 투사범위 안에 들어오도록 배치하였다. 피아노에만 투사되는 영상일 경우 메인 스크린에 영향을 주지 않고, 메인 스크린에 투사되는 영상일 경우 피아노에도 멩히게 하여 메인 스크린과 피아노가 연결되어있는 느낌을 연출하였다.

Ⅲ. 연구 기술의 작품 적용

연구한 시스템은 2017년 11월 11일 동국대학교 이해랑 예술극장에서 진행된 멀티미디어음악 공연 ‘SEEING SOUND LISTENING IMAGE (보는 소리, 듣는 영상) XIV’ 중 멀티미디어음악 작품 <Meaningless II>에 적용하였다.



[그림-30] <Meaningless II> 공연 장면

1. 작품 소개

<Meaningless II>는 ‘반복되는 일상’, ‘식어버린 열정’, ‘가치 없는 희망’, ‘느껴지는 공허’, ‘무의미’ 등 현대인들이 일상 속에서 느끼는 감정들을 멀티미디어음악으로 표현한 작품이다. 피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 작품이며, Max/MSP로 제작한 다양한 소리 합성법과 음향효과를 사용하였다. 사운드를 이용한 실시간 영상제어와 프로젝션 매핑 기술이 적용된 인터랙티브 멀티미디어음악 작품이다. 피아노의 열린 상판 하단에 프로젝션 매핑을 적용하였고 사운드에 의해 실시간으로 제어되는 영상을 투사해 피아노의 연주와 영상의 인터랙션을 부각시키는 효과를 유도하였다. 메인 스크린에 영상이 투사될 때 피아노 상판과 연주자에게 영상이 멎히게 하여 메인 스크린과 피아노, 연주자가 연결되어있는 느낌을 연출하였다.

2. 작품 구성

1) 음악 구성

<표-2>는 멀티미디어음악 작품 <Meaningless II>의 전체적인 구성이다. 음악의 구성은 가장 단순하고 기본적인 세도막형식⁵²⁾을 따른다. intro 파트에서는 톤 클러스터(tone cluster)⁵³⁾주법과 같은 현대적인 음악기법들이 사용되었고 저음역대 위주의 사운드 프로세싱이 음악의 분위기를 어둡고

52) 3부분형식 또는 3부형식이라고도 한다. 2개의 같은 부분과 그에 대조되는 하나의 부분으로 이루어지는 기본적인 A-B-A의 음악형식이다.

53) 현대음악 작곡기법의 하나로 손바닥이나 팔로 연주하는 경우가 많으며 2도의 다중 화음을 통한 울림이다.

우울하게 표현한다. 또한 화려한 아티큘레이션(articulation)⁵⁴과 피아니시시모(pianississimo, 아주 여리게)부터 포르티시모(fortissimo, 매우 세게)까지의 넓은 다이내믹 레인지를 가지며 A1부터 E6까지의 연주 음역의 큰 움직임으로 식어버린 열정을 음악적으로 표현한다. 피아노 연주의 음량 값에 반응하는 영상이 피아노 상판 안쪽에 투사되어 음악을 시각화 한다. 강하게 연주되는 톤 클러스터를 끝으로 A파트로 넘어간다.

<표-2> 작품 구성

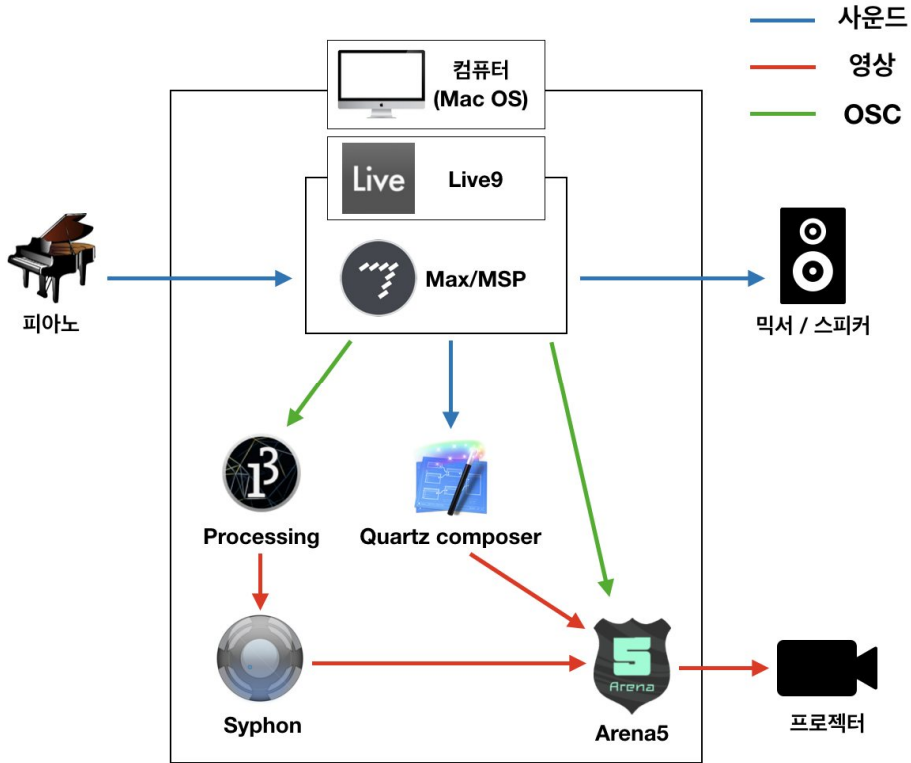
파트	intro	A/bridge	B/climax	A'
시간	00:00~01:35	01:35~04:19	04:19~05:02	05:02~06:22
의미	식어버린 열정	반복되는 일상 / 느껴지는 공허	가치 없는 희망 / 무의미	또 다시 반복되는 일상
피아노	Adagio	Andante expressivo	Allegro	Andante expressivo
사운드 프로세싱	granular synthesis, phase vocoder	granular synthesis, phase vocoder, delay effect	granular synthesis, phase vocoder, delay effect	granular synthesis, phase vocoder, delay effect
영상	피아노	스크린/피아노	스크린	스크린/피아노

54) 음악에서 연속되는 선율을 작은 단위로 구분하여 각각의 형과 의미를 부여하는 연주 기법이다.

A파트에서는 단순한 멜로디의 주제선율이 연주된다. intro와 비교하여, 아티클레이션이 단순하고 좁은 음역대 안에서 ‘의미 없이 반복되는 일상’의 느낌을 표현한다. 피아노 연주가 저음역대로 내려가면서 시각화 영상이 스크린에 나타난다. bridge파트로 넘어가면서 점점 강하게 연주되며 어두운 느낌의 사운드 프로세싱과 여백이 많은 영상이 피아노에 투사되며 공허함을 표현한다.

B파트는 A파트와 대조되며 음악이 가장 고조되는 부분으로 점점 빨라지는 템포와 고음역대 위주의 반복되는 멜로디를 가진다. 연구된 프로세싱이 모두 적용된 부분으로, 클라이맥스를 표현한다. 시각화 영상이 피아노에서 스크린으로 확장되고 음악이 고조되는 느낌을 돕는다. 사운드 프로세싱이 모두 사라진 후 주제선율이 낮게 연주되며 A'파트가 시작된다. 느린 연주와 몽환적인 느낌의 사운드 프로세싱으로 ‘또 다시 반복되는 일상’을 표현하며 음악을 마친다.

2) 시스템 구성

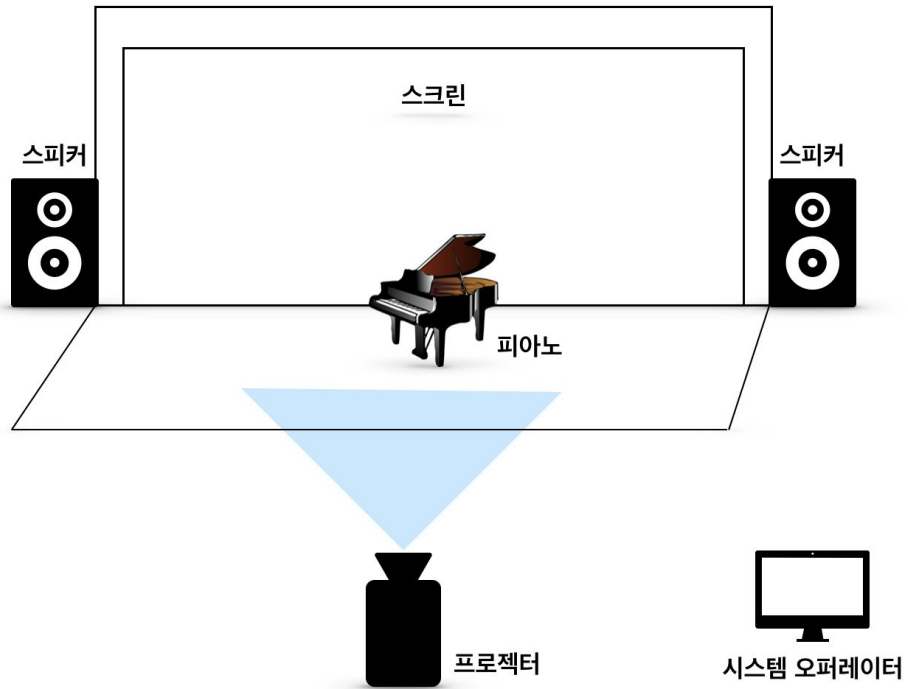


[그림-31] 공연 작품의 시스템 설계도

[그림-31]은 작품의 시스템 구성도이다. 컴퓨터로 입력된 피아노의 사운드 신호는 Live9로 입력되어 Max/MSP에서 사운드 프로세싱을 거쳐 스피커로 출력된다.

오디오 신호는 Quartz composer로 입력되고, OSC 데이터는 Processing과 Arena5로 입력되어 영상과 적용된 영상효과를 제어한다. 실시간으로 생성되는 영상은 Arena5를 통해 프로젝터로 출력된다.

3) 무대 구성



[그림-32] 무대 구성

작품의 무대 구성은 [그림-32]와 같다. 피아노는 무대의 정중앙에 위치하며 스크린에서부터 2미터 정도 앞으로 나오게 하여 스크린에 투사되는 영상이 피아노 상판 안쪽에도 멩히게 하였다. 프로젝터는 객석 뒤에서 정면으로 영상을 투사한다. 시스템 오퍼레이터는 객석의 오른쪽 뒤에 위치하여 무대를 모니터하면서 시스템을 제어한다.

3. 작품 내 연구 기술 적용

1) intro 파트 적용 효과

<표-3> intro 파트 구성

시간	00:00~01:35
사운드 프로세싱	granular synthesis(pitch 0.5) phase vocoder(playback rate -0.4)
영상	Processing 소스 B
영상효과	Bright.Contrast
투사 범위	피아노의 상판

intro 파트에서는 피아노의 현대적인 연주기법과 피치를 한 옥타브 내린 granular synthesis를 사용하여 전체적으로 어둡고 우울한 분위기를 낸다.

[그림-33]처럼 피아노의 연주 강도에 따라 달라지는 음량 값에 반응하는 영상이 피아노의 상판 안쪽에 투사되어 저음역대 음량이 커지면 Processing에서 생성하는 실시간 영상의 윤곽이 드러나고 고음역대 음량이 커지면 Arena5에서 Bright.Contrast 영상효과의 contrast 값이 높아지며 음악과의 인터랙션을 보여준다. 사용된 영상은 각기 굴곡이 다른 선들로 이루어져 있으며 열정의 무너짐을 표현한다. granular synthesis의 pitch 값을 0.5로 지정하여 피아노가 저음역대를 연주할 때 더욱 낮고 풍성한 저음을 더해주고 intro파트의 담긴 의미인 ‘식어버린 열정’의 표현을 돕는다.



[그림-33] 피아노 상판에 투사된 intro 파트 시각화 영상의 변화

파트의 마지막 부분에서 연주자가 톤 클러스터를 연주하면 phase vocoder의 재생속도를 -0.5로 지정하여 리버스 효과를 주어 사운드가 서서히 커지다가 갑자기 끊기는 느낌을 주었다.

2) A 파트 적용 효과

<표-4> A 파트 구성

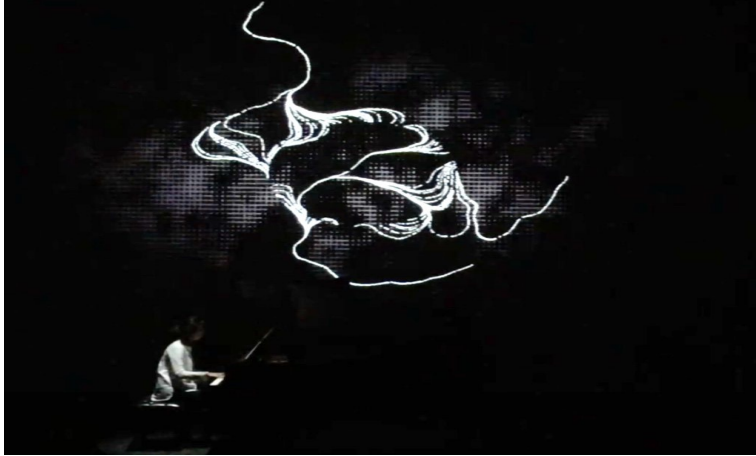
시간	01:35~04:19
사운드 프로세싱	granular synthesis(pitch 0.5) phase vocoder(playback rate -0.5) 딜레이 음향효과(stereo)
영상	Processing 소스 A, 소스 D, Quartz composer 영상
영상효과	Bright.Contrast
투사 범위	스크린 → 피아노의 상판

A 파트에서는 메인 선율이 나오는 부분에서부터 실시간으로 그려지는 영상이 스크린에 투사된다. 피아노의 음량 값이 일정 범위를 넘을 때마다 지워지며 전혀 다른 모양으로 다시 그려진다.



[그림-34] 피아노 연주에 의해 실시간 영상이 그려지는 장면

[그림-34]는 피아노 연주에 의해 실시간 영상이 그려지는 장면이다. 연주되는 주선율은 반복 되지만 시각화 영상은 그려지는 모양과 방향이 일정치 않게 변화하여 ‘반복되는 일상’ 속에서 방향을 잃어가는 모습을 표현했다. phase vocoder가 고음역대의 선율만을 입력받아 리버스 효과를 주어 음악의 표현을 돕는다. 한 옥타브 낮은 피치의 granular synthesis가 적용되는 부분에서부터 [그림-35]같이 또 다른 영상과 겹쳐 보이며 음악과 영상이 변화할 것을 암시한다.



[그림-35] 두 개의 시각화 영상이 합쳐지는 장면

bridge부분으로 넘어가면서 리버스 효과가 걸린 고음역대의 사운드에 딜레이 효과를 적용하였고 스크린의 영상은 사라지며 피아노 상판에 투사되는 Quartz composer 영상이 보인다.



[그림-36] 피아노의 상판에 투사된 Quartz composer 영상

피아노 연주와 사운드 프로세싱에 의해 모양이 변화하고 고음역대 음량이 커짐에 따라 Bright.Contrast 영상효과의 적용 값이 커지도록 하여 반짝거리는 효과를 주었다. 파트의 마지막 부분에서는 영상의 크기가 커져서 피아노 상판을 모두 채운다.

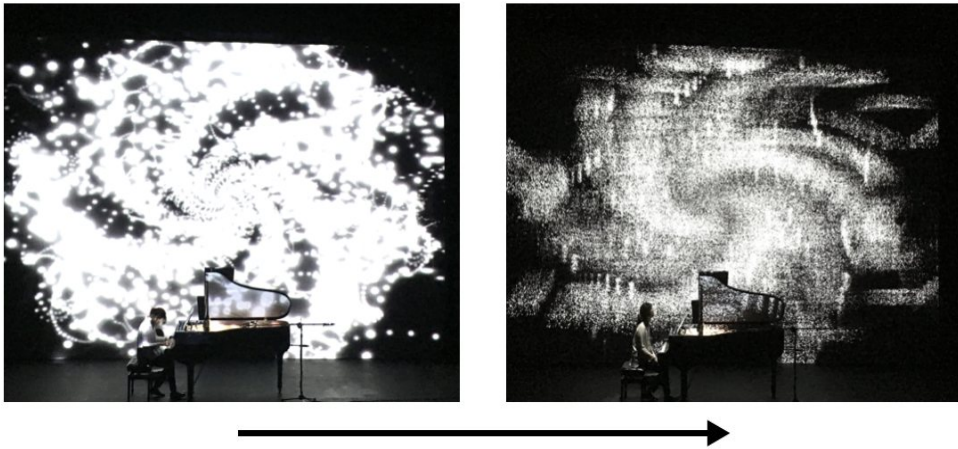
3) B 파트 적용 효과

<표-5> B 파트 구성

시간	04:19~05:02
사운드 프로세싱	granular synthesis 1(pitch 0.5) granular synthesis 3(pitch 2) granular synthesis 4(pitch 4) phase vocoder(playback rate -0.7) 딜레이 음향효과(stereo)
영상	Quartz composer 영상
영상효과	Bright.Contrast, Noisy
투사 범위	스크린

B 파트에서는 피아노가 빠르게 연주되며 스크린의 투사된 Quartz composer 영상 또한 지속적인 변화가 일어난다. 모양과 크기가 변화하며 Bright.Contrast 영상효과를 통해 고음역의 음량이 커질 때마다 영상이 반짝거리며 강조되게 하였다. 피치 값이 각기 다른 3개의 granular synthesis가 음악을 풍성하게 해주고, 고음역대의 granular synthesis는 grain의 간격을 짧게 지정하여 부서진 것 같은 사운드를 연출하였다. phase vocoder의 리버스 효과도 곡에 속도에 맞추어 재생속도를 빠르게 지정하여 적용하였다.

클라이맥스로 갈수록 프로세싱을 거친 사운드의 음량이 더욱 커지며 음악을 고조시킨다.



[그림-37] Noisy 영상효과에 의한 영상의 변화

클라이맥스의 마지막 부분에서 [그림-37]처럼 Arena5의 Noisy 영상효과를 사용하여 영상의 형태가 부서져서 흩어지는 것 같은 장면을 연출하였다. 연주가 끝나도 사운드 프로세싱은 멈추지 않고 피아노의 여음이 작아짐에 따라 함께 줄어들도록 하였다.

4) A' 파트 적용 효과

<표-6> A' 파트 구성

시간	05:02~06:22
사운드 프로세싱	granular synthesis(pitch 0.5) granular synthesis(pitch 1) phase vocoder(playback rate - 0.5) 딜레이 음향효과(stereo)
영상	Processing 소스 C, 엔딩 영상
영상효과	blur
투사 범위	스크린 → 피아노의 상판

A' 파트가 시작되며 낮은 음역에서 주선율을 연주한다. 연주 음량에 따라 [그림-38]처럼 변화하는 Processing의 실시간 영상이 보인다.



[그림-38] A' 파트에 적용된 Processing 소스 C

저음역대 연주에 한 옥타브를 내린 granular synthesis가 더해져 ‘다시 반복되는 일상’의 음악적 표현을 돕는다. 낮은 음역의 주선율 연주가 끝나면서 스크린의 영상은 사라진다. 높은 음역에서 느리게 연주되는 주선율이 다시 반복되고 피치 변화가 없는 granular synthesis에 1초의 딜레이 타임을 가진 음향효과가 적용되어 연주되는 음이 다시 한 번 들리고 희미해진 멜로디가 메아리치는 느낌을 표현하였다.



[그림-39] 피아노의 상판에 투사된 엔딩영상

음악의 마지막 음이 연주되면 blur 영상효과를 통해 흐리게 보이는 엔딩 영상이 피아노 상판에 퍼지면서 작품이 마무리된다.

IV. 결론 및 향후 계획

본 논문은 피아노 연주의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스 제작에 대한 연구이다. 현재 다양한 미디어의 융합을 통한 멀티미디어 공연이 등장하고 있으며, 이런 시대적 추세를 기반으로 음악작품에 멀티미디어 기술을 적용하여 직관적인 인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스를 제작하고자 하였다.

Max/MSP를 이용하여 실시간 사운드 프로세싱을 위한 시스템을 연구, 제작하였으며 granular synthesis, phase vocoder, 딜레이 음향효과를 작품의 의도에 맞춰 조합해 새로운 사운드를 만들어 음악에 적용하였다. 피아노 연주와 실시간 사운드 프로세싱의 데이터를 Processing과 Quartz composer에 적용하여 실시간으로 생성되는 영상을 제어하였다. 또한 Arena5의 영상 효과를 조절하여 사운드와 영상의 인터랙션을 만들었다. 이를 통해 스크린과 피아노에 프로젝션 매핑을 적용하였으며 스크린만을 사용하거나 제작된 오브제를 사용하는 다른 작품들과는 다르게 연주되는 악기 자체를 오브제로 삼아 차별화된 소리 시각화 효과를 유도하였다. 피아노 상판 안쪽에 영상을 투사함으로써 피아노의 해머와 현이 위치한 바디 안쪽에도 영상이 은은하게 맺히는 현상이 있었으며 악기의 울림이 영상에 전해지는 것 같은 몽환적인 느낌을 줄 수 있었다. 또한 효과적인 소리 시각화를 위해 프로젝션 매핑의 메인 스크린 투사범위를 피아노에도 맺히게 하여 메인 스크린과 피아노가 연결되어있는 느낌을 연출하였다.

사운드와 영상의 실시간 인터랙션을 위해 사운드 데이터로 영상과 영상 효과를 제어하였다. 이를 위해 사용한 OSC 통신은 데이터의 누락이나 지연이 없이 안정적인 퍼포먼스가 가능했다.

향후 본 연구를 토대로 더욱 완성적인 인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스를 구현하기 위한 연구과제는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 피아노 상판의 안쪽에 흰색 전지를 부착하여 영상을 투사하였는데 암전 상태일 경우에는 그 존재를 육안으로 확인하기 힘들지만 조명이 있을 경우에는 종이가 부착되어 있다는 것이 부각된다. 이를 해결하기 위해 흰색 무광 그랜드 피아노의 사용을 고려해볼 수 있으며 어두운 계열의 색상이어도 영상이 잘 맺힐 수 있는 재질에 대한 연구가 필요하다.

둘째, 본 연구에서는 피아노 연주를 통해 소리 시각화 영상을 제어할 때 피아노의 저음역대와 고음역대의 음량 값을 사용하였지만, 일반적인 소리 시각화에서 벗어나려면 FFT 분석을 통해 주파수대역을 좀 더 세분화하여 특정 음역대의 주파수만을 사용하거나, 음량 값이 아닌 음정, 화성, 리듬, 연주자의 액션, 건반의 터치감도, 페달의 사용 등 영상이나 다른 미디어를 제어하기 위해 사용할 수 있는 다양한 요소들에 대한 연구가 필요할 것이다.

Keyword(검색어):

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

E-mail: yeonerub@naver.com

참 고 문 헌

1. 단행본

- Stanley R. Alten, 「미디어 음향」, 커뮤니케이션북스, 2006.
- Daniel Shiffman, 「러닝 프로세싱」, 비제이퍼블릭, 2016.
- 김영민, 「사운드 디자인을 위한 맥스」, Real Lies Media, 2017.
- 이석원, 「음악음향학」, 심설당, 2003.
- David J. Benson, 「MUSIC: A Mathematical Offering」, Cambridge University Press, 2007
- Curtis Roads, 「The Computer Music Tutorial」, MIT Press, 1996.
- David Sonnenschein, 「Sound Design: The Expressive Power of Music, Voice and Sound Effects in Cinema」, Michael Wiese Productions, 2001.

2. 연구논문

- 김은수, 「프로젝션 맵핑(Projection mapping)이 적용된 이벤트 공간경향 분석」, 한국실내디자인학회 2013추계학술발표대회 논문집, 2013.
- 나준하, 「Max/MSP/Jitter를 이용한 기타 이펙터 제작과 실시간 소리 시각화 연구」, 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2015.
- 이보강, 김준, 「프로젝션 매핑을 활용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」, 한국공학·예술학회 2017학술발표대회 논문집 Vol.15, 2017.
- 장승은, 김상욱, 「프로젝션 맵핑에 의한 미디어 파사드」, 한국HCI학회 학술대회 Vol.2012, 2012.
- 전우진, 「컴퓨터음악과 phase music을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스 연구」, 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2017.
- 최준환, 「무용 동작인식을 이용한 인터랙티브 멀티미디어작품 제작연구」, 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2014.
- 홍의식, 「Saxophone의 음색분석을 통한 오디오-비주얼 작품 제작 연구」, 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2011.

3. 인터넷

- Max/MSP

<https://cycling74.com/>

- Processing

<https://processing.org/>

- Learning Processing

<http://learningprocessing.com/>

- Syphon

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

ABSTRACT

Interactive Multimedia Performance using Real-time Sound Processing for Piano (focus on multimedia music <Meaningless II>)

Lee, Bo Kang

Today's artistic performances are a combination of technologies from various fields such as music, video, lighting, computer graphics, projection mapping, etc. Therefore, it is also known as a multimedia performance.

Furthermore, musical performances are also developing in various forms with the use of multimedia technology. Based on this trend, multimedia technology was used to create an intuitive interactive multimedia performance.

This paper is a study of sound effects and sound synthesis, and production of a visualization system for creation of multimedia musical performance.

The musical instrument used in <Meaningless II> is a piano. The Piano is one of the most widely used instrument, regardless of age or genre, from Western classical to popular music. A piano is an

advantageous means for applying sound effects and synthesis due to its wide range of frequency and rich harmonics.

Max/MSP was used to create a system for real-time sound processing. Granular synthesis, phase vocoder, and delayed sound effects were actualized through Max/MSP and implemented to performances.

Real-time data from sound processing and piano sounds were synchronized by Processing and Quartz Composer to control real-time visual images. In addition, video effects of Arena5 were adjusted to highlight the interaction between sound and video.

Projection mapping was applied to the screen and piano, and it was directly applied to musical instruments to induce differentiated sound visualization.

OSC communication was used for real-time interaction between sound and video. As a result, it proved stable without missing or delayed data.

In order to produce a thorough multimedia performance based on this research, it is necessary to study the material of the paper attached to the piano and various sound data to control the image.

부록-1 : 작품 <Meaningless II> 연주 악보

Meaningless II

Adagio

ppp mp

5

ppp mp

9

pp mf

13

ppp > pp f

18

mp ff p

accel.

A TEMPO

2

accel.

Musical score for measures 23-27. The piece is in 2/4 time. Measure 23 starts with a half note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 24 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 25 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 26 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 27 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Dynamics include *f* and *sfz*. Performance markings include *8^{va}* and *8^{pb}*.

Andante espressivo

Musical score for measures 28-33. The piece is in 2/4 time. Measure 28 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 29 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 30 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 31 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 32 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 33 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Dynamics include *ppp*. Performance markings include ** tone cluster*.

Musical score for measures 34-38. The piece is in 2/4 time. Measure 34 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 35 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 36 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 37 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 38 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand.

Musical score for measures 39-44. The piece is in 2/4 time. Measure 39 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 40 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 41 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 42 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 43 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 44 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Dynamics include *pp*.

Musical score for measures 45-50. The piece is in 2/4 time. Measure 45 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 46 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 47 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 48 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 49 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 50 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Dynamics include *mf* and *p*.

Musical score for measures 51-55. The piece is in 2/4 time. Measure 51 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 52 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 53 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 54 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Measure 55 has a whole note chord in the right hand and a whole note chord in the left hand. Dynamics include *mp*.

58 **rit.**

cresc.

63 **A TEMPO** **poco a poco accel.**

f

69

fff

accel. **Allegro**

74 *8va*

mf

80

4

86

ff

91

rit.

97

A TEMPO

101

sfz

104

108

8

112 **Adagio espressivo** **rit.**

mp

120 * perform with processing sound

pp *ppp*

부록-2 : 첨부 DVD 설명

1. Meaningless II.mp4 : 2017년 11월 11일 공연 실황 영상
2. Meaningless II Score : 작품 악보 폴더
3. Meaningless II Max for Live : 작품에 사용된 Max for Live 패치 폴더