



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

비브라폰의 실시간 사운드 프로세싱과
비주얼라이제이션을 이용한
멀티미디어 작품 제작 연구
(멀티미디어 작품 <Midnight>를 중심으로)

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원
멀티미디어학과 컴퓨터음악전공

권정은

2021

석사학위논문

비브라폰의 실시간 사운드 프로세싱과

비주얼라이제이션을 이용한

멀티미디어 작품 제작 연구

(멀티미디어 작품 <Midnight>를 중심으로)

권정은

지도교수 김 준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2020년 12월

권정은의 음악석사(컴퓨터음악)학위 논문을 인준함

2021년 1월

위원장 정진현



위원 박상훈



위원 김준



동국대학교 영상대학원

목 차

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 사례 연구	3
1) 사운드 프로세싱 사례 연구	3
2) 음악과 영상이 결합한 멀티미디어 작품 사례 연구	5
II. 기술 연구	8
1. 악기 연구 및 사운드 분석	8
1) 비브라폰(vibraphone)의 특징	8
2) 비브라폰의 연주법	9
3) 말렛 선택	9
4) 비브라폰 사운드 분석	10
2. 사운드 프로세싱 연구	12
1) 사운드 시스템	12
2) 사운드 프로세싱	13
① granular synthesis 음향효과	14
② FFT 분석을 통한 음향효과	16
③ delay 음향효과	19
④ flanger 음향효과	21
3. 영상 제작 연구	23
1) 영상 시스템	23
2) After Effects를 활용한 영상 제작	24
3) 프로젝션 맵핑	25
4. 공연 시스템 연구	31

1) 공연 시스템	31
2) 컨트롤 시스템 자동화	32
III. 연구 기술의 작품 적용	33
1. 작품 소개	34
2. 작품 구성	34
1) 음악 구성	34
2) 프로젝션 맵핑 영상 구성	35
3. 연구 기술 적용	39
1) Intro 파트의 적용기술 및 효과	39
2) A, A' 파트의 적용기술 및 효과	41
3) B 파트의 적용기술 및 효과	44
4) C 파트의 적용기술 및 효과	45
5) Outro 파트의 적용기술 및 효과	48
4. 연구 기술의 적용기술 및 효과	50
IV. 결 론	51
참 고 문 헌	54
ABSTRACT	57
부록-1 : <Midnight> 악보	59
부록-2 : 첨부 DVD 설명	62

표 목 차

[표-1] granular synthesis의 grain pitch 파라미터	15
[표-2] 작품 구성	35
[표-3] 프로젝션 맵핑 영상 구성	36
[표-4] Intro 파트 구성	39
[표-5] A 파트 구성	41
[표-6] A' 파트 구성	41
[표-7] B 파트 구성	44
[표-8] C 파트 구성	45
[표-9] Outro 파트 구성	48

그림 목 차

[그림-1] 작품 <Sequitur XI> 영상 캡처	3
[그림-2] 작품 <Intersections> 공연 장면	4
[그림-3] 작품 <순간은 순간> 공연 장면 캡처	5
[그림-4] Hollywood Bowl에서 LA Philharmonic 공연 장면	6
[그림-5] 비브라폰 연주법별 스펙트로그램 분석	10
[그림-6] 말렛을 사용한 비브라폰 사운드의 엔벨로프	11
[그림-7] 사운드 시스템 설계도	12
[그림-8] 사인파와 사인파에 granular synthesis를 합성한 파형	14
[그림-9] munger~오브젝트를 이용한 granular synthesis 패치	15
[그림-10] phase vocoder를 Max에서 구현한 패치	17
[그림-11] pfft~ xover~ 패치	18
[그림-12] delay 음향효과를 Max에서 구현한 패치	20
[그림-13] ping pong delay 음향효과를 Max에서 구현한 패치	21
[그림-14] flanger 음향효과를 Max에서 구현한 패치	22
[그림-15] 영상 시스템	23
[그림-16] Sound Keys를 활용한 오디오 동기화	24
[그림-17] 음량 값에 따라 영상의 evolution 값 동기화	25
[그림-18] 공연 장소에서 투사범위를 지정하는 장면	26
[그림-19] OSC 통신	27
[그림-20] 마스크 기능을 통한 영상 송출과 모든 삼각형마다 다른 영상 송출 장면	28
[그림-21] 어택 감지로 opacity 파라미터 조절하는 Max 패치	29
[그림-22] 음량 값으로 파라미터 값 제어하는 Max 패치	30
[그림-23] 공연 시스템	31

[그림-24] Max로 구현한 영상 자동화 패치	32
[그림-25] 멀티미디어 작품 <Midnight> 공연 장면	33
[그림-26] 보잉 사운드 녹음을 위한 mc, record~를 이용한 Max 패치	40
[그림-27] buffer~에 저장된 녹음한 보잉 사운드	40
[그림-28] A 파트 영상	42
[그림-29] A' 파트 영상	43
[그림-30] A' 파트 영상을 위한 Max 패치	43
[그림-31] 사운드가 고조됨에 따라 좌우로 확대되는 B 파트 영상	45
[그림-32] 음량 값에 따라 변하는 C 파트 첫 번째 material의 색깔	46
[그림-33] 음량 값에 따라 변하는 C 파트 두 번째 material의 색깔	47
[그림-34] 시즐 효과를 위해 동전을 부착하는 모습과 말렛의 샤프트로 비브라폰의 모서리 부분을 연주하는 모습	49
[그림-35] 별뿔별이 떨어지고 점점 고요한 하늘로 돌아가는 모습의 Outro 파트 영상	49

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

오늘날 현대사회의 발전으로 음악은 청각에만 의존하는 것이 아닌 촉각, 시각(미디어) 등 복합적 감각을 함께 느낄 수 있는 변화를 요구하고 있다. 음악에 반응하는 분수, 음악과 미술의 조화를 이룬 ‘빛의 벅커¹⁾’, 미디어 파사드²⁾에 춤과 음악을 결합한 융복합 공연 ‘빛의 교향곡³⁾’ 등 음악과 다른 미디어가 결합한 형태의 작품들을 일상에서도 많이 접할 수 있게 되었다. 이렇게 두 가지 종류 이상의 미디어가 결합하여 상호작용하는 것을 멀티미디어(multimedia)라 부르는데 이 중 음악과 영상을 결합한 멀티미디어 작품에 본 논문은 집중하였다.

음악과 영상이 결합한 멀티미디어 작품은 소리의 시각화(sound visualization), 이미지의 청각화(image sonification)라고도 할 수 있다. 이렇게 두 개의 다른 감각을 동시에 지각하려는 시도는 인간의 본능인 공감각으로부터 시작되었다. 공감각은 감각의 전이로 하나의 감각에서 다른 영역의 감각을 자극하는 것을 말한다. 오르간의 음정을 빛의 색상에 대입하여 표현하려고 했던 1700년대 카스텔(Louis-Bertrand Castel)이 제안한 시각 하프시코드(Ocular Harpsichord)의 선구적인 예를 보면⁴⁾ 이런 시도가 옛날부터 계속되었다는 것을 알 수 있다. 이러한 공감각은 아래에 설명한 유명한 시들에서도 찾아볼 수 있다.

-
- 1) 반 고흐의 미술 작품을 테마로 한 미디어아트 전시.
 - 2) 건물 외벽을 뜻하는 ‘파사드’와 미디어를 결합한 합성어로 건물 외벽에 LED 조명을 설치하여 미디어를 구현하는 것.
 - 3) 한국의 사계를 재해석하여 미디어 파사드와 춤, 음악을 융합한 공연.
 - 4) 윤지원, “소리의 본질을 탐구하기 위해 시작된 소리의 시각화”, 계명대 신문 2014년 11월 24일 자

- 김광균의 외인촌 中 분수처럼 흩어지는 푸른 종소리 → 청각의 시각화
- 서정주의 문둥이 中 꽃처럼 붉은 울음을 밤새 울었다. → 청각의 시각화
- 박남수의 아침이미지 中 금으로 타는 태양의 즐거운 울림 → 시각의 청각화
- 김광균의 설야 中 먼 곳에 여인의 옷 벗는 사운드 → 시각의 청각화

멀티미디어 작품 <Midnight>는 음악과 영상 그리고 컴퓨터 기술이 결합한 멀티미디어 작품이다. 비브라폰(vibraphone)의 연주와 함께 사운드 프로세싱으로 새로운 양상의 음악을 만들어내고 그 음악에 맞춰 실시간으로 수치화된 데이터 값을 전달해 영상이 변화한다.

본 연구의 목적은 Max⁵⁾를 활용하여 비브라폰 연주에 사운드 프로세싱을 더하고 이에 인터랙션(interaction)⁶⁾되는 영상을 제작하여 두 미디어의 융합을 예술적으로 표현하는 것이다. 프로젝션 맵핑⁷⁾을 통해 영상을 투사하였고 음악과 하나가 되어 움직이는 영상을 선보여 관객에게 새로운 즐거움을 선사하는 것을 목표로 두고 있다.

5) 사이클링 '74사가 개발 및 관리하는 음악 및 멀티미디어용 프로그래밍 언어.

6) inter(상호)와 action(동작, 작동)의 합성어로 두 대상 간에 소통, 혹은 정보의 교류를 의미.

7) 2D 영상예술을 3차원 실제 공간에 재현하는 미디어아트.

2. 사례 연구

1) 사운드 프로세싱 사례 연구

사운드 프로세싱 사례 연구로 타악기를 활용한 사운드 프로세싱 작품을 조사하였다. 타악기 연주자 Ivan Manzanilla⁸⁾와 사운드 프로세싱하는 작곡가 Karlheinz Essl⁹⁾가 함께 공연한 <Sequitur XI>은 비브라폰과 심벌 사운드를 실시간으로 사운드 프로세싱한 컴퓨터음악 작품이다. [그림-1] 비브라폰의 다양한 주법을 활용한 사운드와 심벌 사운드의 조화가 돋보이는 작품이기도 하다. 일반적으로 익숙한 비브라폰의 사운드를 넘어 컴퓨터를 통한 다양한 사운드 프로세싱으로 악기가 낼 수 있는 사운드 영역을 광범위하게 표현해주고 있다.



[그림-1] 작품 <Sequitur XI> 영상 캡처

8) 멕시코 출신의 타악기 연주자.

9) 오스트리아 출신의 작곡가 겸 사운드 아티스트.

2013년 서울국제컴퓨터음악제(Seoul International Computer Festival)¹⁰⁾에서 공연된 작품으로 첼로와 비브라폰을 이용해 실시간 사운드 프로세싱 한 João Pedro Oliveira¹¹⁾의 컴퓨터음악 작품 <Intersections>이다. [그림-2] 작곡가는 실시간 사운드 프로세싱을 통해 첼로와 비브라폰 두 악기 사이를 연결해 주는 것이 본 작품의 의도였다고 한다. 작곡가의 의도대로 사운드 프로세싱을 통한 두 악기의 앙상블이 돋보였고 악기 본연의 가진 사운드와 다른 느낌의 사운드가 출력되어 색다른 매력을 더해 주었다.



[그림-2] 작품 <Intersections> 공연 장면

10) 한국전자음악협회에서 주최하여 1994년부터 시작된 국제 규모의 컴퓨터음악제.
11) 포르투갈 출신의 작곡가.

2) 음악과 영상이 결합한 멀티미디어 작품 사례 연구

음악과 영상이 결합하여 상호작용하는 작품 사례로 어쿠스틱 오디오 비주얼 그룹 8491¹²⁾의 <순간은 순간> 작품을 조사하였다. [그림-3] <순간은 순간>은 가야금 연주와 영상뿐만 아니라 조명 그리고 향도 함께 결합하여 오감을 모두 자극하는 작품이다. 이로써 관객은 작품을 느끼고 듣고 보고 만지면서 단순히 청취만 하는 것이 아닌 작품 일부가 되는 특별한 경험을 하였다. 다양한 미디어의 결합으로 여러 감각이 상호작용하여 예술적인 교감을 극대화 시킨 작품이다.



[그림-3] 작품 <순간은 순간> 공연 장면 캡처

12) 가야금 연주자 오혜영과 미디어 아티스트 송주형을 중심으로 만들어진 팀으로, 전자 음악 장르를 기반으로 사운드 데이터를 실시간 분석하여 영상, 조명 등 시각장치에 대입하고 연출하여 공연함.



[그림-4] Hollywood Bowl에서 LA Philharmonic 공연 장면

두 번째 사례로 음악과 프로젝션 맵핑이 결합된 Hollywood Bowl¹³⁾에서의 LA Philharmonic¹⁴⁾ 공연이 있다. 다른 용어로 비디오 맵핑이라 불리는 프로젝션 맵핑은 컴퓨터 기술과 함께 다양한 영상과 그림을 오브젝트에 투사하여 표현하는 기술과 예술의 융합 분야이다. 이 투사방법을 통해 오브젝트의 실제의 성격(character)과 전혀 다른 느낌을 선사할 수 있다. [그림-4]는 Hollywood Bowl에서 2017년 공연된 LA Philharmonic 100주년 공연 장면이다. 악기 연주에 따라 실시간으로 프로젝션 맵핑의 화려한 영상들이 변하여 음악과 영상이 하나가 되었음을 보여주는 공연이다.

13) 미국 캘리포니아에 있는 1922년 개장한 야외 음악당.

14) 미국 캘리포니아 로스앤젤레스에 기반을 둔 오케스트라.

본 연구는 앞서 언급한 사례들을 바탕으로 비브라폰 악기와 함께 더욱 효과적인 음향이 나올 수 있는 사운드 프로세싱을 연구하였다. 사운드 프로세싱으로 기존의 악기 사운드와 다른 느낌의 사운드가 출력되도록 하였고 악기 하나로 연주하지만 여러 악기가 연주하는 듯한 효과를 주었다.

또한, 멀티미디어 작품 사례들과 같이 다른 두 미디어가 조화롭게 결합하여 관객이 작품을 맞이하였을 때 교감하고 시각과 청각 모두 만족할 수 있는 작품을 만들어 큰 시너지 효과를 주는 것에 초점을 두었다.



II. 기술 연구

1. 악기 연구 및 사운드 분석

1) 비브라폰(vibraphone)의 특징

비브라폰은 유율 타악기¹⁵⁾이며 건반타악기의 대표적인 악기 중 하나이다. 건반타악기로는 비브라폰을 포함하여 마림바, 실로폰, 글로켄슈필이 있다. 비브라폰은 전통적으로 F3부터 F6까지 3옥타브로 구성되어 있다.

비브라폰은 건반타악기의 종류로 피아노와 같이 반음계로 조율되어 있다. 모양은 실로폰 또는 글로켄슈필과 흡사하지만, 나무가 아닌 알루미늄 금속 막대로 만들어져 다른 건반타악기보다 더 부드럽고 풍부한 사운드가 난다.

많은 건반 악기 중 비브라폰을 선택한 이유는 페달을 활용하여 울림을 줄 수 있고 울림의 길이를 조절하기가 편한 악기이기 때문이다. 차임벨 또한 페달 사용이 가능한 악기지만, 비브라폰보다 음역대가 좁다는 단점이 있어 선택하지 않았다. 또한, 비브라폰은 4개의 말렛(mallet)¹⁶⁾에서 최대 6개의 말렛까지 사용하여 화음을 표현할 수 있어서 화성적인 연구에 편리하였다. 본 작품 <Midnight>는 조성음악 작품으로 화성적인 요소가 필수적이다.

15) 정확한 음정을 가지고 있으면서 음높이를 표현할 수 있는 타악기 군을 말하며 팀파니, 마림바, 비브라폰, 실로폰, 글로켄슈필 등이 있음.

16) 비브라폰, 마림바, 드럼과 같은 타악기를 쳐서 연주할 때 사운드를 만들어 주는 도구.

2) 비브라폰의 연주법

비브라폰에는 다양한 연주법이 있는데 본 작품에서는 4 말렛 그립(four-mallet grip)¹⁷⁾, 페달링(pedaling)¹⁸⁾, 댐핑(damping)¹⁹⁾, 보잉(bowing)²⁰⁾ 등을 사용하였다. 그리고 비브라폰 건반 위에 동전을 테이프에 부착해 연주하여 시즐(sizzle)²¹⁾ 효과를 표현하였고, 말렛의 샤프트(shaft)로 비브라폰의 모서리 부분을 쳐 비브라폰과 다른 음색을 만들어 주었다.

3) 말렛 선택

말렛의 종류는 여러 가지이다. 보통 소프트(soft)부터 하드(hard)까지 있는데 말렛을 통해 그 곡의 음색을 표현하기 때문에 선택에 신중하였다. 본 작품에는 아르페지오²²⁾와 같은 독립적 음계 진행들이 있고 선명한 음색으로 표현하는 게 어울린다고 판단되어 사운드가 부드럽지만, 명료도와 선명도가 부족한 소프트 말렛 대신 하드 말렛을 선택하였다.

17) 말렛 4개를 이용하여 양손에 두 개씩 잡아서 연주하는 방법.

18) 음을 계속해서 지연시키는 연주법.

19) 페달을 통해 음의 울림을 뮤트(mute) 시키는 연주법.

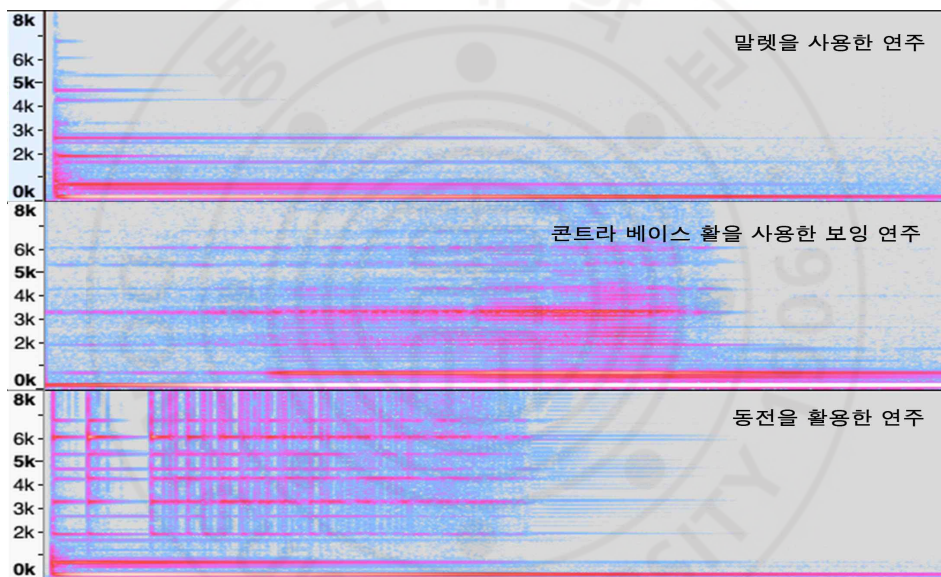
20) 오케스트라에 사용되는 활을 이용하여 비브라폰 모서리 부분을 그어 내는 연주법.

21) 프라이팬으로 고기를 구울 때 지글지글 익는 사운드를 의미하며 식욕을 돋우는 매우 자극적인 사운드를 말함.

22) 화음을 구성하는 각 음을 동시에 연주하지 않고 연속적으로 연주하는 주법.

4) 비브라폰 사운드 분석

비브라폰은 피아노, 마림바 등의 다른 악기와 비교했을 때 상대적으로 배음²³⁾이 부족한 악기이다. 부족한 배음을 보완하기 위해 보잉 연주 주법과 동전을 활용한 연주법으로 배음을 더 풍성하게 만들어 주었다. F3 음을 연주법별로 녹음하여 스펙트로그램(spectrogram)²⁴⁾으로 분석한 결과 배음이 많아져 사운드가 풍성해진 것을 확인할 수 있다. [그림-5]



[그림-5] 비브라폰 연주법별 스펙트로그램 분석

23) 한 음이 울릴 때 같이 울리는 파생음을 말함.

24) Audacity 프로그램을 사용하여 분석하였으며 윈도우 타입(window type)은 한(hann), 윈도우 사이즈(window size)는 1024이다.

아래 [그림-6] 비브라폰 사운드의 엔벨로프(envelope)²⁵⁾를 보면 알 수 있듯이 비브라폰은 짧고 강한 어택(attack) 사운드를 가진 악기이다. 짧고 강한 어택 데이터 값을 활용하여 영상과 인터랙션하는데 사용하였다. 어택 데이터 값을 실시간으로 받기 위해 us.attackdetection²⁶⁾ 패치를 사용하였으며, 이 패치는 어택이 감지될 때마다 bang²⁷⁾으로 신호를 전달한다. 이렇게 bang으로 전달받은 신호를 활용하여 실시간으로 영상을 제어하였다.



[그림-6] 말렛을 사용한 비브라폰 사운드의 엔벨로프

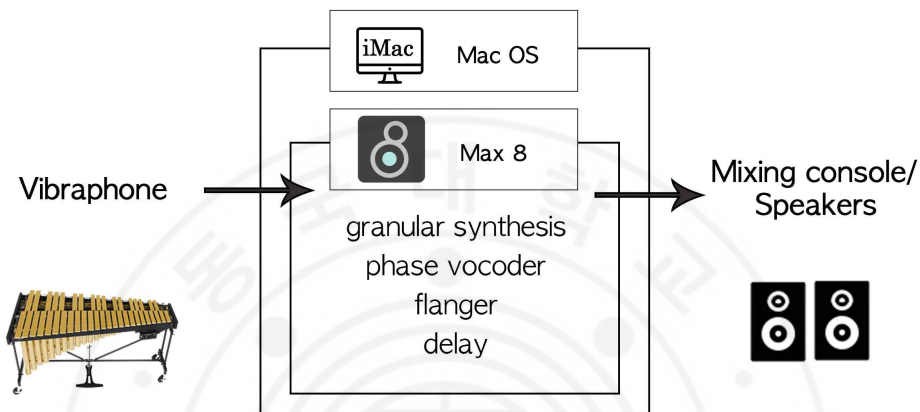
25) 음량의 변화를 4가지 단계(attack, decay, sustain, release)로 나눈 것을 말함 (attack- 음이 나오기 시작하는 시점, decay- 사운드가 어택에 도달한 후 sustain까지 떨어지는 단계, release- 피아노로 예를 들면 피아노에서 손을 뗀 후 음이 사라질 때까지의 단계)

26) Max의 외부 오브젝트로 package manager에 있는 upshot의 어택 감지 패치.

27) 모든 메시지 값에 반응하는 Max 오브젝트.

2. 사운드 프로세싱 연구

1) 사운드 시스템



[그림-7] 사운드 시스템 설계도

[그림-7]은 본 작품 <Midnight>의 사운드 시스템 설계도이다. 마이크로 수음한 악기 사운드는 디지털로 변환되어 컴퓨터로 들어오게 되며 Max를 통해 사운드 프로세싱이 이루어진다. 프로세싱된 사운드는 믹싱 콘솔(mixing console)을 통해 스피커로 출력된다.

비브라폰의 크기를 고려하였을 때 단일 마이킹은 좋은 효과를 얻을 수 없다고 판단되어 두 개의 마이크로 악기 위에서의 스테레오 마이킹 방법을 선택하였다. 스테레오 마이킹은 스테레오 이미지를 구현하는데 가장 적합하며 말렛 사운드 수음에 있어 효과적이다.

마이크 선택에서 여러 요소가 고려되었다. 선택한 마이크 DPA 4011A는 콘덴서 마이크로 타악기 같은 악기들에 근접 마이킹을 했을 때 선명하게 사운드를 수음할 수 있다. 이 마이크의 주파수 응답은 40Hz-20kHz +/-2dB으로 비브라폰의 기본 주파수와 화음 주파수를

포함한다. 또한, 이 마이크는 강한 어택 사운드의 수음에 우수하므로 비브라폰 악기 녹음에 적합하다고 판단되었다.

- 비브라폰의 기본 주파수 범위: 131 Hz - 1,397 Hz (C3-F6)
- 비브라폰의 화음 주파수 범위: 784 Hz ~ 6,000 Hz
- 비브라폰의 전체 주파수 범위: 131 Hz ~ 6,000 Hz

2) 사운드 프로세싱

비브라폰은 3옥타브로 구성된 악기로 피아노, 마림바 등의 다른 악기와 비교했을 때 음역대가 넓지 않은 악기이다. <Midnight>는 비브라폰 악기로만 구성된 작품이며 사운드 프로세싱으로 비브라폰 악기의 음역대를 넓히고자 하였다. granular synthesis의 grain pitch를 사용하여 저음역을 확대하며 패드(pad)²⁸⁾ 음향효과를 주었다. pfft~xover~로 기준 주파수를 정하여 저음역과 고음역을 나누어 각각 다른 효과를 주었으며, phase vocoder를 음수로 설정하여 실시간으로 리버스(reverse) 된 사운드와 같이 재생되어 사운드의 풍미를 더하였다. 말렛의 샤프트로 비브라폰의 모서리 부분으로 친 사운드와 동전을 부착하여 연주한 사운드는 flanger 음향효과를 만나 비브라폰 기존의 사운드와는 다른 독특한 사운드를 연출하였다.

28) 지속되는 톤(tone)을 뜻하는 음향기법.

① granular synthesis 음향효과

granular synthesis는 Denis Gabor(데이스 게이버)²⁹⁾의 음향 양자(Acoustic Quanta) 이론³⁰⁾에서 왔고 사운드를 작은 입자들로(tiny grains) 분할 한 다음 재합성을 하여 다른 사운드를 만드는 소리합성방식이다. 이 입자들은 오디오 샘플들의 작은 조각들이라고 생각하면 된다. time-stretching³¹⁾, pitch-shifting³²⁾ 등의 처리를 거쳐 짧게 분할 된 입자들이 새롭게 조합되며 새로운 사운드를 만들어낸다. 아래 [그림-8]은 사인파를 granular synthesis로 합성하여 작은 입자들로 분할 된 모습이다.



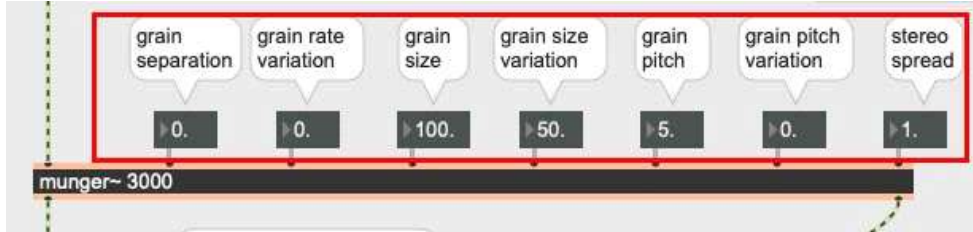
[그림-8] 사인파와 사인파에 granular synthesis를 합성한 파형

29) 홀로그래피의 발명으로 노벨 물리학상을 받은 전기 공학자이자 발명가.

30) 응집물질물리학에서 결정 격자의 양자화된 진동을 나타내는 준입자를 말한다.

31) 오디오 형태의 정보를 음높이를 보존하면서 파형을 늘이거나 줄여 길이나 빠르기를 변형시키는 기능.

32) 오디오 샘플의 음정을 낮추거나 높이는 것.



[그림-9] `munger~` 오브젝트를 이용한 granular synthesis 패치

본 작품은 granular synthesis를 Max에서 구현하기 위해 `munger~` 오브젝트³³⁾를 사용하였다. [그림-9]는 `munger~`의 대표적인 파라미터들이다. grain separation(입자들의 간격), grain rate variation(입자들의 간격이 변화되는 값), grain size(입자들의 크기), grain size variation(입자들의 크기가 변화되는 값), grain pitch (입자들의 음정) grain pitch variation (입자들의 음정이 변화되는 값), 그리고 마지막으로 stereo spread는 스테레오 이미지를 정할 수 있으며 0으로 지정하면 입자들이 중앙으로 1로 지정하면 입자들이 스테레오로 완전히 퍼진다. grain pitch와 stereo spread를 제외한 모든 값은 ms 단위이다. grain pitch는 2의 거듭제곱으로 표현되며 1은 원음을 말하고 0.5는 한 옥타브 아래의 음정, 0.25는 두 옥타브 아래의 음을 말한다. [표-1]

[표-1] granular synthesis의 grain pitch 파라미터

파라미터	음정
2^{-n}	n 옥타브 아래
$2^{-2}=0.25$	두 옥타브 아래
$2^{-1} = 0.5$	한 옥타브 아래
$2^0 = 1$	원음
$2^1 = 2$	한 옥타브 위
$2^2 = 4$	두 옥타브 위
2^n	n 옥타브 위

33) Columbia University의 Computer Music Center에서 만든 Max의 외부 오브젝트.

② FFT 분석을 통한 음향효과

FFT(Fast Fourier Transform)는 고속 푸리에 변환을 말한다. FFT로 time domain을 frequency domain으로 변환한다. Max에서는 fft~오브젝트와 ifft~오브젝트를 통해 frequency domain으로 변환할 수 있다. time domain은 시간에 따른 진폭을 보여주며 frequency domain은 주파수에 따른 진폭을 나타낸다.

FFT 분석을 통해 사용한 첫 번째 음향효과는 phase vocoder이다. 이 phase vocoder는 음원을 분석해 데이터를 재합성하여 음정(pitch)이 변하지 않고 time-stretching을 하기 위한 알고리즘이다. 이 알고리즘이 있기 전에는 음의 길이를 줄이거나 늘릴 때 음정이 변화하는 걸 피할 수 없었다.

[그림-10] phase vocoder 패치에서 playback rate(재생속도)로 음원의 재생속도를 정할 수 있다. 1을 입력하면 원본 속도 그대로 재생이 되며 수치가 올라가면 속도가 빨라지고 수치가 낮아질수록 속도가 느려진다. 음수로 지정하면 리버스되어 재생된다.

사운드가 입력되면 FFT 분석 후 스펙트럴 데이터(spectral data)를 record~오브젝트를 통해 녹음하여 buffer~오브젝트에 저장한다. buffer~에 저장된 데이터를 index~오브젝트를 통해 지정한 playback rate(재생속도)로 buffer~의 데이터를 재생시킨다. metro오브젝트³⁴를 통해 20초, 20.001초 간격으로 buffer~에 들어가는 데이터를 끄고, 키는 걸 반복하여 사운드가 끊기지 않고 계속 출력되게 한다. 루프사이즈(loop size)는 buffer~안에서 반복을 시킬 구간을 설정해 주며 프레임(frame) 단위이다.

34) 지정한 밀리세컨드(millisecond) 간격으로 bang을 출력시키는 Max 오브젝트.



[그림-10] phase vocoder를 Max에서 구현한 패치

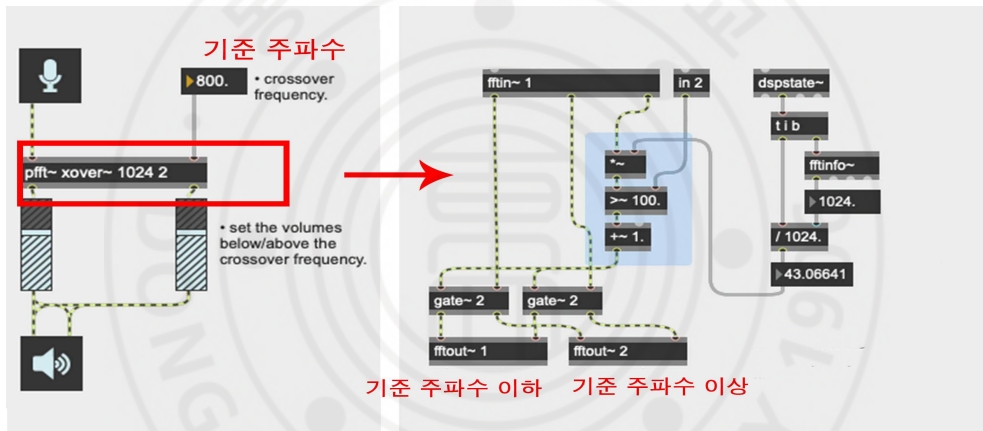
이 패치는 44,100Hz 샘플레이트(sample rate)와 1024 FFT size를 기반으로 하고 있으며 샘플레이트는 1초당 44,100개 샘플을 추출한다는 뜻이다. buffer~ 20000은 20초 동안의 데이터를 저장한단 뜻이며 20초에는 882,000개 샘플이 추출되어 1722프레임 숫자를 갖게 된다.

$$N \text{ (Bins)} = \text{FFT Size}/2 \text{ (512} = 1024/2)$$

$$\text{FR} = \text{Fmax}/N(\text{Bins}) \text{ (1172} = 882,000/512)$$

FFT 분석을 통해 사용한 두 번째 음향효과는 pfft~xover~이다. 이 패치는 FFT 분석을 통해 주파수 대역을 나누어주는 역할을 한다. 이 패치를 통해 저음역, 중음역, 고음역으로 원하는 영역을 분리할 수 있으며 각 영역에 맞게 사운드 프로세싱 효과를 접목할 수 있다.

[그림-11]

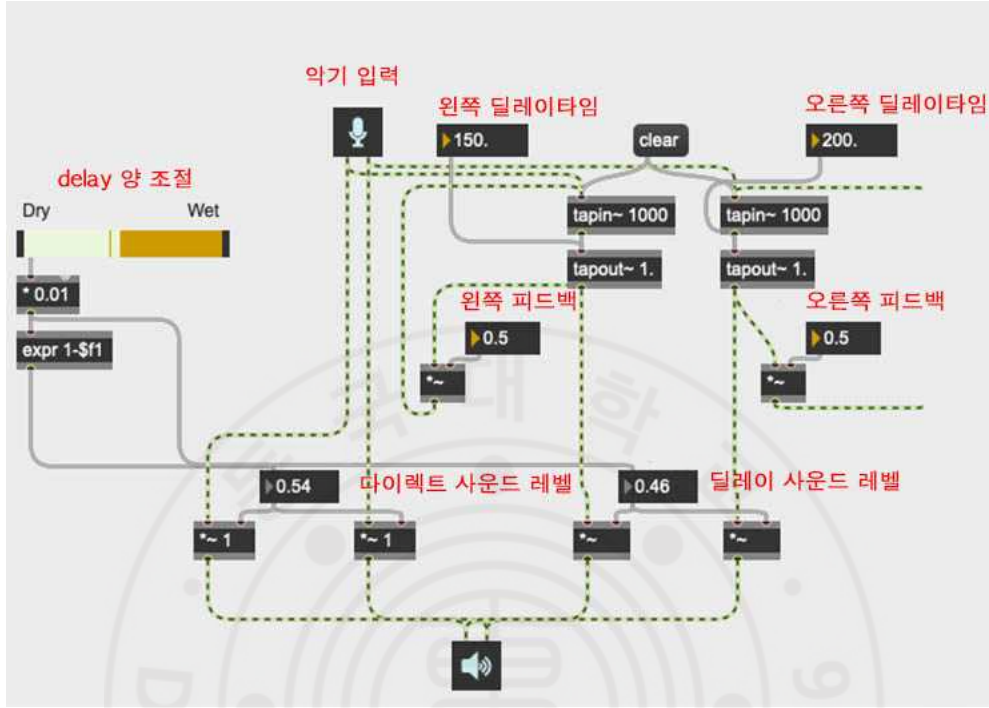


[그림-11] pfft~ xover~ 패치

③ delay 음향효과

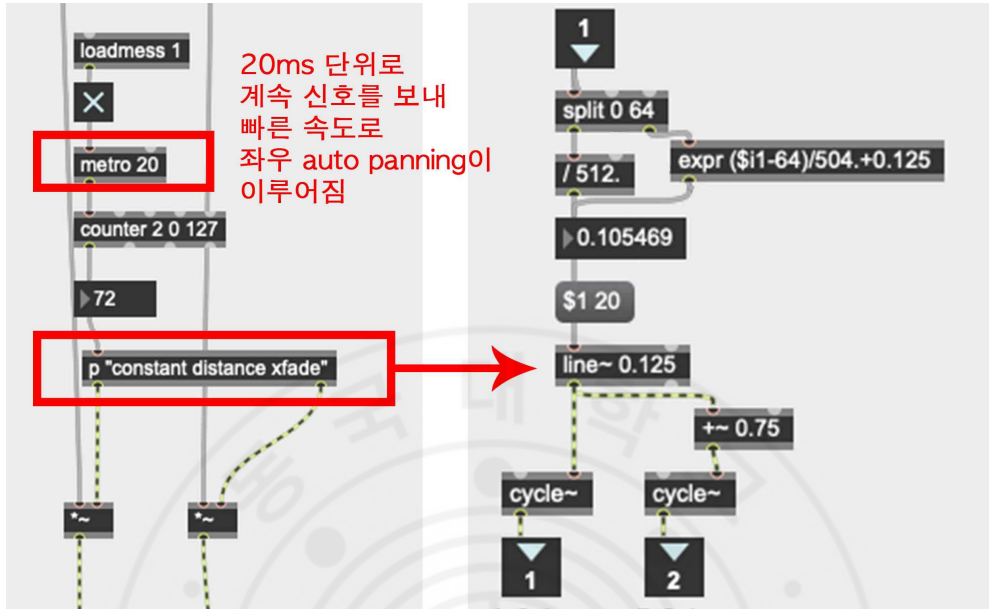
delay 음향효과는 시간 기반(time-based)에 관련된 오디오 이펙트(effect) 계열이며 소리를 지연시키고 지연된 소리를 연속하여 반복시켜 공간감을 만들어 주는 효과이다.

Max에서는 tapin~오브젝트와 tapout~오브젝트와 함께 소리를 지연시킨다. 소리가 들어오면 tapin~에서 저장하기 위한 메모리 공간이 생성되며 지속해서 업데이트된다. tapin~ 1000이란 뜻은 최근에 들어온 소리 1000ms(1 sec)를 저장하고 있다는 뜻이다. 그리고 저장된 소리는 tapout~을 통해 나간다. tapout~에 붙은 숫자는 그 ms 만큼 지연된 소리를 출력한다는 뜻이다. tapout~으로 출력된 소리는 정한 양만큼 다시 tapin~으로 입력시켜 피드백(feedback) 효과를 생성한다. dry/wet은 원음과 지연된 소리의 섞이는 정도를 조절한다. [그림-12]



[그림-12] delay 음향효과를 Max에서 구현한 패치

본 작품은 ping pong delay 효과를 만들기 위해 delay 음향효과와 함께 Max의 서브패치 constant distance xfade를 사용하였다. [그림-13] 탁구를 할 때 공이 좌우로 왔다 갔다 하는 것처럼 소리가 좌우에서 나온다고 해서 ping pong delay라는 이름이 붙여졌다. 좌우로 재미있는 스테레오 이미지를 구현하기 위해 이 효과를 사용하였다.



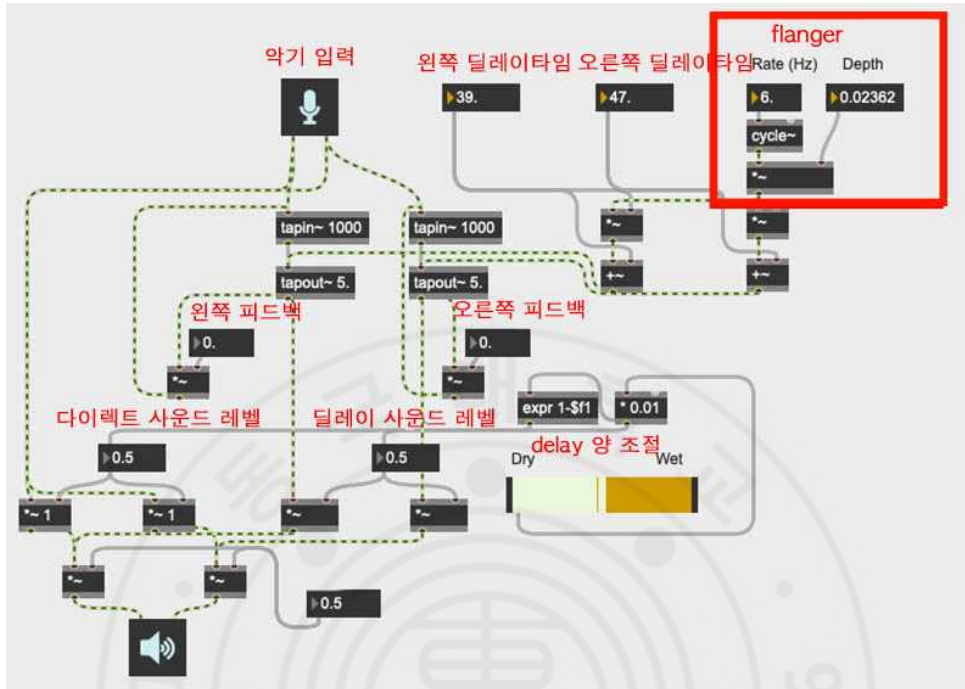
[그림-13] ping pong delay 음향효과를 Max에서 구현한 패치

④ flanger 음향효과

flanger 음향효과는 약간 delay 된 소리를 원래의 소리와 섞어 위상이 빗나간 정도를 조절하면서 주는 효과이다. 이 효과는 delay time이 대단히 짧다는 게 특징이며 delay 된 소리를 LFO(Low Frequency Oscillator)³⁵⁾를 통해 소리의 delay time을 지속해서 변조시킨다. 약간의 delay time이 생기면 ‘빗’ 모양의 노치(notch)가 생기게 되는데 LFO가 이 노치들을 움직이며 비행기가 날아가는 듯한 소리를 발생시킨다. rate(Hz)는 LFO의 속도를 의미하며 오실레이터(oscillator)³⁶⁾의 주파수를 제어한다. depth는 위상의 변화폭 정도를 조절할 수 있다. [그림-14]

35) 사람의 귀에 들리는 범위보다 낮은 주파수 신호를 발생하는 발진기를 말함.

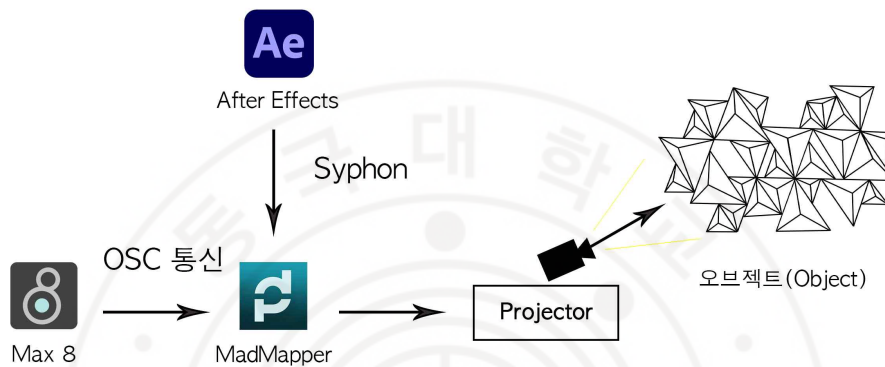
36) 발진기란 뜻이며 신디사이저에서 소리를 발생시키는 장치.



[그림-14] flanger 음향효과를 Max에서 구현한 패치

3. 영상 제작 연구

1) 영상 시스템



[그림-15] 영상 시스템

Max와 MadMapper³⁷⁾를 통해 사운드와 영상의 인터랙션이 이루어졌다. Max에서 사운드 프로세싱된 사운드의 음량 값과 어택 값의 데이터들이 OSC 통신을 통해 MadMapper로 전송되었다. 전송된 데이터들이 영상의 파라미터를 제어하면서 인터랙션이 이루어졌다. After Effects의 영상은 Syphon³⁸⁾을 통해 MadMapper에서 제어하였다. [그림-15]

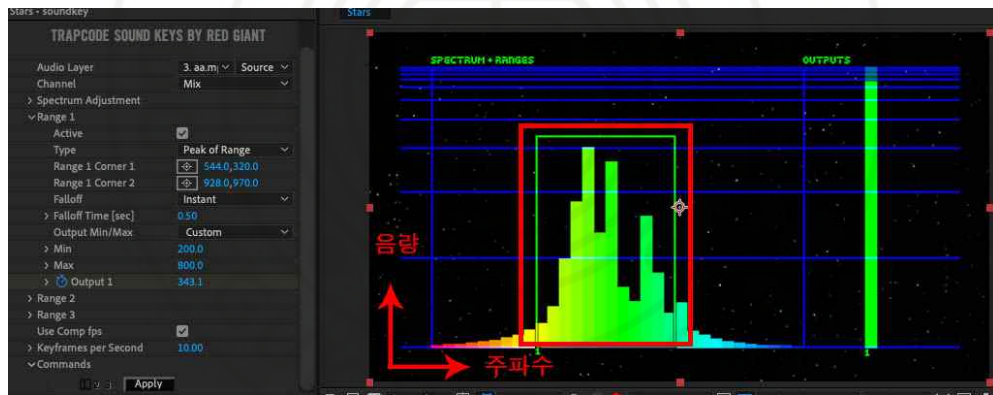
37) 3D 프로젝션 매핑 및 LED 라이트 매핑 소프트웨어.

38) 응용 프로그램 간의 프레임을 서로 공유할 수 있게 해 주는 Max OS 기반의 오픈소스.

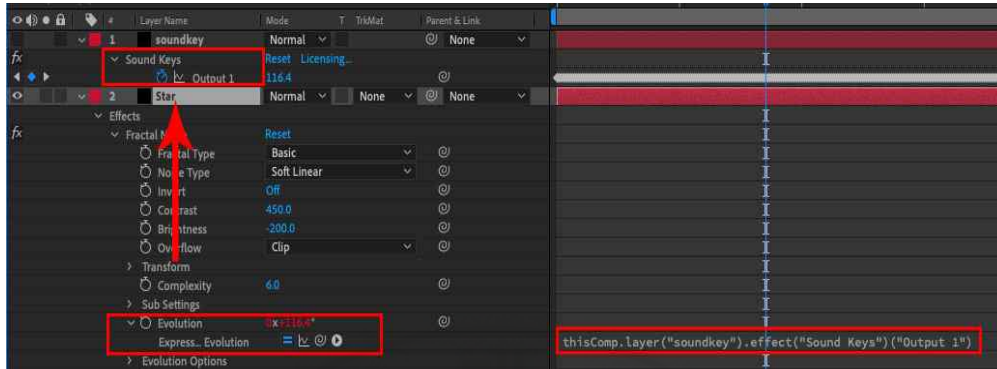
2) After Effects를 활용한 영상 제작

본 작품에서는 ‘Midnight’ 라는 주제로 프로젝션 맵핑 안에서도 좀 더 효과적으로 표현할 방법을 다양하게 모색하였다. Intro와 A 그리고 A’ 파트 부분에 밤하늘의 별을 표현하기 위해 After Effects를 활용하여 영상을 미리 제작하였다. Fractal Noise Effect를 사용하여 밤하늘의 별을 묘사하였다. 그리고 Red Giant Trapcode Sound Keys를 활용하여 미리 녹음한 음악 파일에 맞게 실시간으로 반응하는 영상을 제작하였다.

Sound Keys는 아래 [그림-16]과 같이 오디오의 음량 값 또는 주파수 범위를 설정하여 오디오와 동기화시킬 수 있다.



[그림-16] Sound Keys를 활용한 오디오 동기화



[그림-17] 음량 값에 따라 영상의 evolution 값 동기화

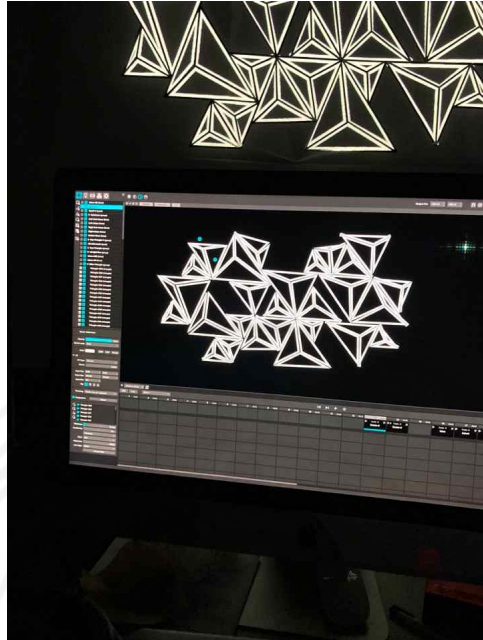
본 작품은 사운드의 중음역 주파수 범위의 음량 값에 따라 Fractal Noise Effect의 evolution³⁹⁾ 값이 작동되게 설계하였다. [그림-17]

3) 프로젝션 맵핑

본 작품은 최종적으로 오브젝트를 통한 프로젝션 맵핑으로 영상이 송출된다. 밤하늘에 별, 오로라 등의 모습을 연출할 수 있게 미리 디자인한 오브젝트는 총 78개의 삼각형으로 구성되어 있으며 삼각형과 그 선들로 다양한 효과를 주었다. 본 작품을 제작하기 위해 MadMapper 안에 내장되어있는 10개의 material⁴⁰⁾을 사용하였다. 가장 효과적으로 표현할 수 있는 각각의 material의 파라미터들을 음악에 맞게 실시간으로 제어하면서 음악과 하나가 된 느낌을 선사하였다.

39) 발전 또는 진화라는 뜻으로 After Effects에서 이 값을 변동시키면 살아 움직이게 보이는 효과를 줌.

40) MadMapper 안에 내장되어있는 영상 샘플들.

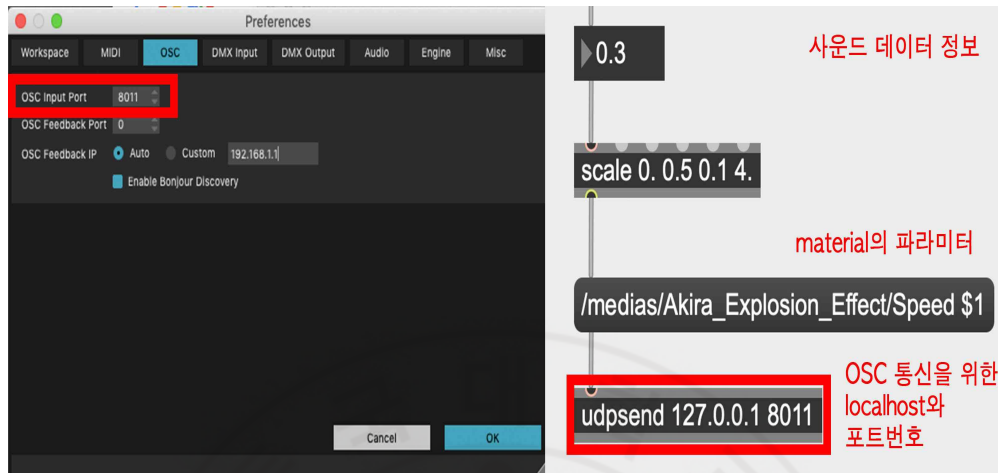


[그림-18] 공연 장소에서
투사범위를 지정하는 장면

프로젝션 맵핑은 같은 오브젝트에 투사를 하더라도 오브젝트의 설치 위치가 바뀌면 투사범위가 흐트러진다. 그리하여 공연 장소에서 미리 오브젝트를 설치하고 스캐너를 통해 정밀하게 오브젝트의 모양에 맞게 투사범위를 지정하였다. 본 작품의 오브젝트는 각기 다른 크기의 삼각형이 78개로 이루어져 세밀한 작업이 필요해 공연 리허설에 많은 시간을 투자하여 정확하게 오브젝트에 영상이 투사되는지 확인하였다.

[그림-18]

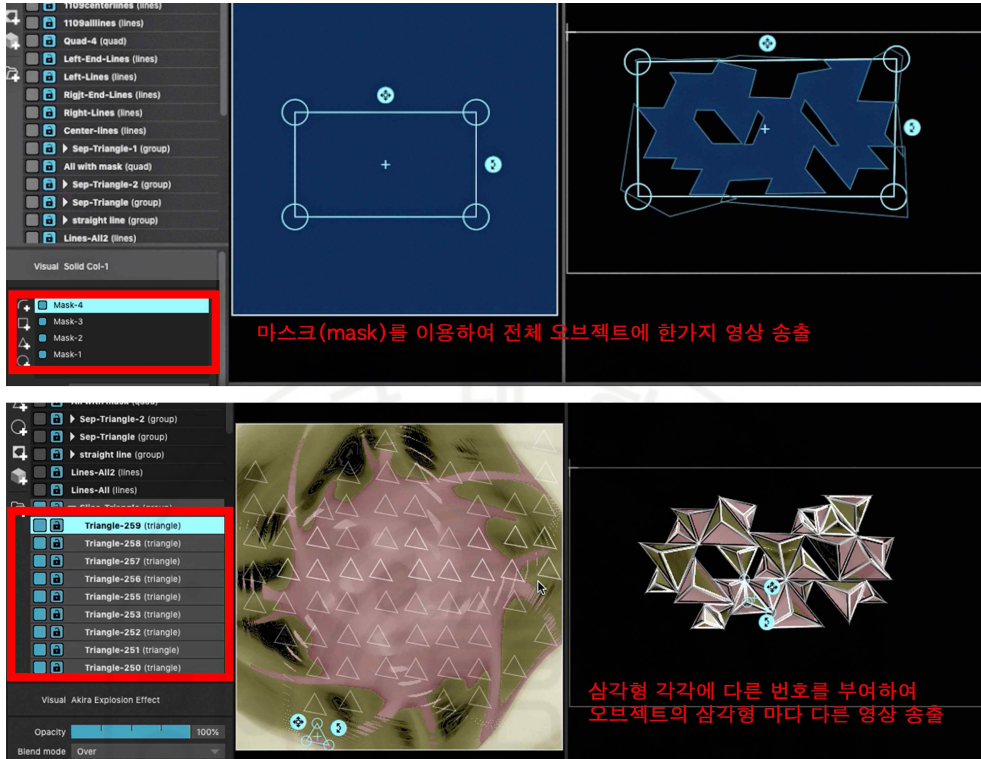
이 작품에서 material의 파라미터들은 Max를 통해 비브라폰의 어택 그리고 음량 값에 따라 실시간으로 움직이게 제작되었다. 비브라폰은 강한 어택 사운드를 가지고 있는 특성이 있고 이 어택이 있을 때마다 영상이 실시간으로 변해 영상과 음악이 조화를 이루도록 하였다.



[그림-19] OSC 통신

OSC(Open Sound Control)를 통해 MadMapper와 Max를 연동하였다. 자신의 컴퓨터란 의미가 있는 localhost(127.0.0.1) 주소를 입력해 같은 컴퓨터 안에서 두 개의 다른 프로그램을 연동하였다. 또한, 두 개의 프로그램을 소통시키기 위해서는 연결하고자 하는 프로그램의 포트번호를 알아야 한다. 위 [그림-19]와 같이 Max의 upsend오브젝트를 통해 포트번호 8011을 입력하여 MadMapper와 연동하였다.

MadMapper에서 78개의 삼각형에 각각 다른 번호를 부여하고 material을 적용해 모든 삼각형이 서로 다른 영상을 송출하여 오브젝트에 색다른 매력을 주었다. 또한, 마스크(mask) 기능을 통해 전체 오브젝트의 모양에 밤하늘 느낌을 주는 하나의 material을 적용하여 오브젝트 전체가 하나가 된 느낌을 주기도 하였다. [그림-20]



[그림-20] 마스크 기능을 통한 영상 송출과 모든 삼각형마다 다른 영상 송출 장면

다음 [그림-21]은 thresh~오브젝트를 활용하여 사운드의 어택을 감지할 때마다 bang으로 신호를 주는 패치이다. 어택 감지 정도 섬세도 또한 원하는 대로 정할 수 있다. A, A' 파트에서 연주자가 연주할 때 실시간으로 어택을 감지하여 bang으로 신호가 들어오면 material의 opacity(투명도) 파라미터가 0에서 100 값으로 변경되게 설정하여 별이 반짝이는 효과를 표현하였다.

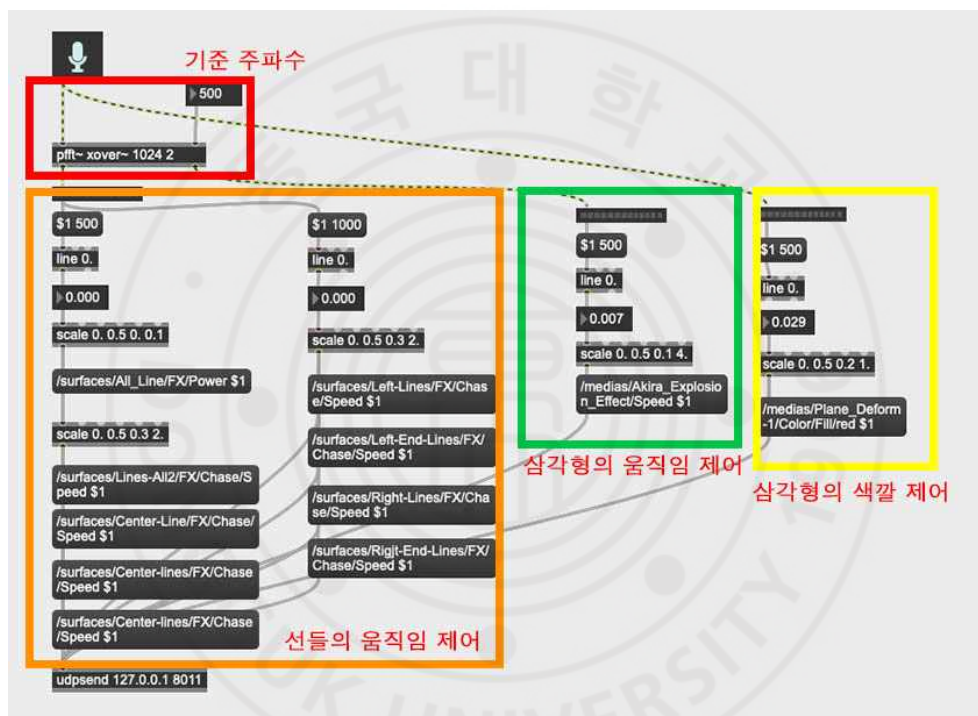


[그림-21] 어택 감지로 opacity 파라미터 조절하는 Max 패치

[그림-22]는 FFT 분석을 통한 pfft~xover~를 활용하여 저음 값 고음 값을 분리하였다. 삼각형들은 고음 값에 따라 움직이며 선들은 저음 값에 따라 작동하게 설계하였다. 저음 값에 따라 선들의 애니메이션(animation) 속도가 움직이며 고음 값에 따라 삼각형에 비친 material의 속도가 높아진다. 음악이 고조됨에 따라 영상도 함께 고조됨을 표현하여 음악의 효과를 극대화하였다. \$1은 실시간으로 입력되는 값들을 받아온다. 음량 값 0. ~ 0.5 값에 따라 속도 값이 0. ~ 4. 값으로 변동된다. 또한, 전체 음량 값에 따라 material의 색깔이

실시간으로 변동하게 설계하였다. 선들로만 표현된 B 파트에서는 선들에 적용하는 초 단위를 다르게 하여 선들의 반응이 각각 다르게 나오게 하였다.

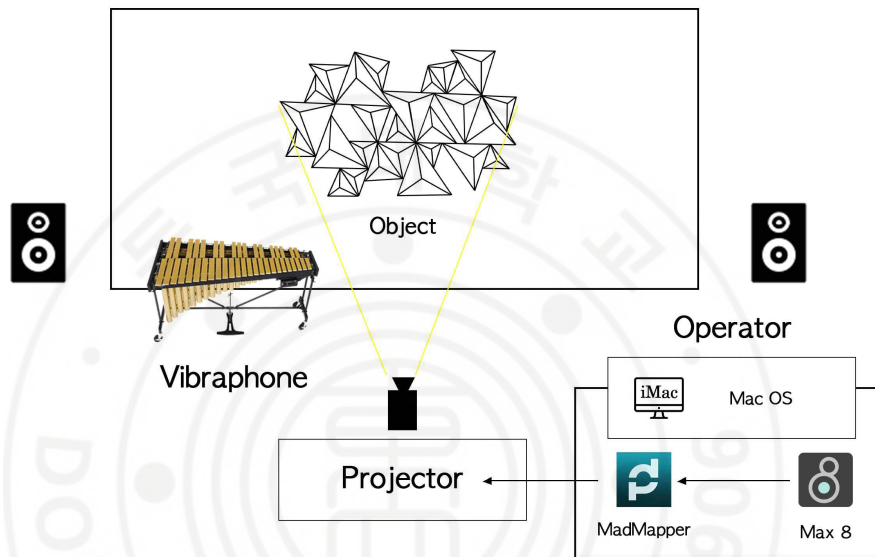
After Effects로 제작한 영상은 Syphon을 통해 MadMapper와 연동시켜 material과 잘 어울리도록 조합하였다.



[그림-22] 음량 값으로 파라미터 값 제어하는 Max 패치

4. 공연 시스템 연구

1) 공연 시스템

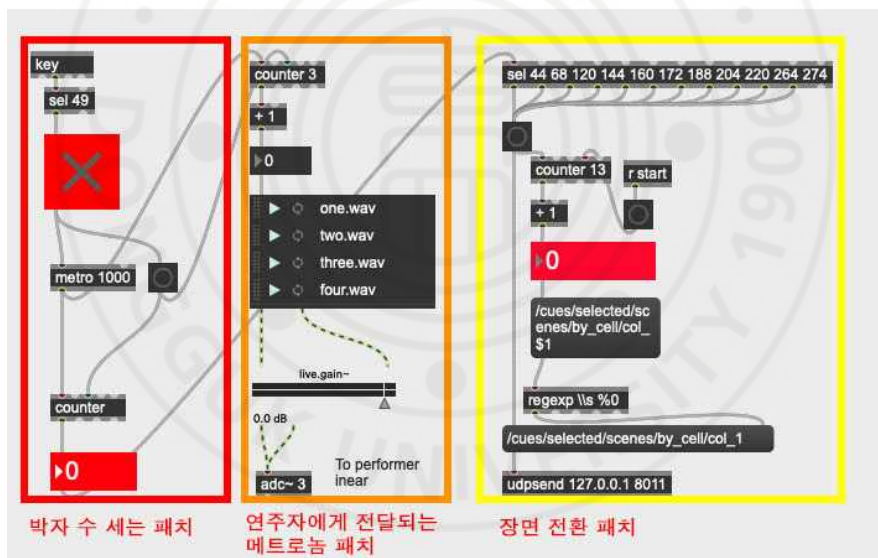


[그림-23] 공연 시스템

마이크로 입력된 비브라폰의 연주는 컴퓨터를 거쳐 사운드 프로세싱된 사운드와 함께 공연장의 스피커로 출력된다. 프로젝트 맵핑을 위한 오브젝트는 무대 중앙에 설치하였고 오브젝트를 가리지 않기 위해 비브라폰은 무대 좌측에 배치하였다. 오퍼레이터는 무대 뒤쪽에서 사운드와 영상을 컨트롤 하였다. [그림-23]

2) 컨트롤 시스템 자동화

본 작품은 공연장에서 사운드 컨트롤에만 집중하기 위해 영상은 자동화 시스템을 미리 구축해 놓았다. 연주자가 템포(tempo) 60으로 메트로놈을 들으며 연주를 하고 악보를 보며 약속된 연주를 하였다. 이에 자동화 시스템을 구축하기 편리하였다. metro를 사용하여 연주자에게는 메트로놈 사운드를 전달하게 하고 counter오브젝트41)를 통해 박자의 수를 세어나갔다. 그리고 sel오브젝트42)를 이용하여 원하는 박자의 수가 나오면 원하는 영상의 장면이 자동으로 재생되게 설정하였다. [그림-24]



[그림-24] Max로 구현한 영상 자동화 패치

41) 숫자를 세는 역할을 하는 오브젝트.

42) 오브젝트 이름 오른쪽에 있는 문자와 동일한 문자 신호를 받았을 경우 지정된 아웃렛으로 신호를 보내는 오브젝트.

Ⅲ. 연구 기술의 작품 적용

비브라폰의 실시간 사운드 프로세싱과 프로젝션 맵핑을 이용한 멀티미디어 작품 <Midnight>는 2020년 12월 30일 동국대학교 소극장에서 온라인으로 진행된 ‘SEEING SOUND LISTENING IMAGE(보는 소리, 듣는 영상) XVII’ 공연에 초연되었다. [그림-25]



[그림-25] 멀티미디어 작품 <Midnight> 공연 장면

1. 작품 소개

본 멀티미디어 작품 <Midnight>는 밤하늘의 펼쳐진 별, 오로라 등 아름답고 그림 같은 모습들을 음악과 영상으로 표현한 작품이다. 비브라폰 사운드는 별들의 속삭임, 별뿔별 그리고 오로라의 움직임을 표현하는데 적합했으며, Max를 통한 다양한 음향효과들은 밤하늘의 숭고하고 웅장함을 돋보이는 큰 역할을 하였다. 영상은 음악 시나리오에 맞게 하였으며 오브젝트에 비친 프로젝션 맵핑들은 흡사 밤하늘을 보는 거 같은 연상을 하게끔 하였다. 삶에 지쳐 밤하늘의 아름다움조차 느끼지 못하고 살아가는 이들에게 아주 잠시 자신만의 시간을 내어 밤하늘을 보며 대화를 나누어 보면 어떨지 라는 마음을 담았다.

2. 작품 구성

1) 음악 구성

<Midnight>는 Intro - A - A' - B - C - Outro로 구성된 작품이다. 비브라폰에서 가장 넓은 음역을 사용하기 위해 F 장조를 선택하였고 조성음악의 곡이다. 각 파트 별 설명은 아래 [표-2]에 자세하게 정리하였다.

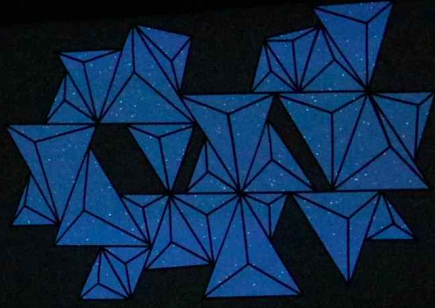
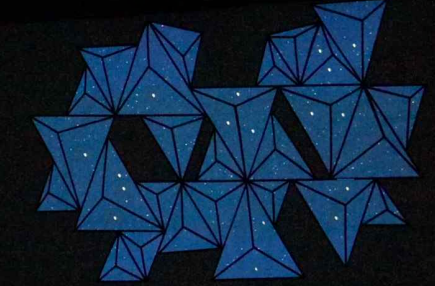
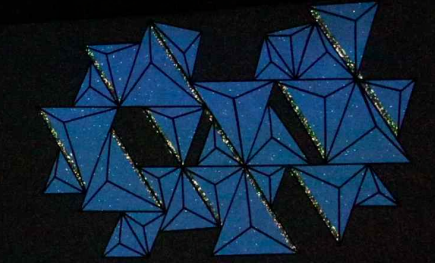
[표-2] 작품 구성

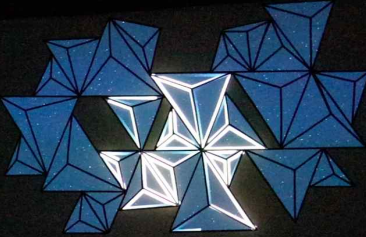
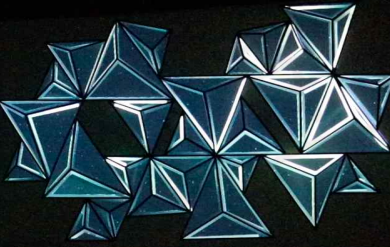
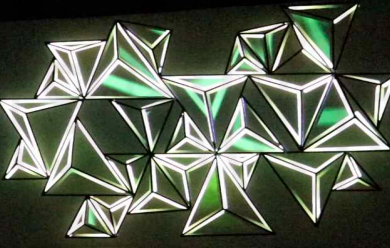
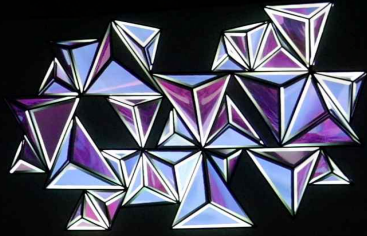
구분/파트	시간	의미	사운드 프로세싱
Intro	00:00 ~ 01:02	고요한 밤하늘	granular synthesis phase vocoder
A	01:02 ~ 01:38	별들의 속삭임	delay effect phase vocoder flanger
A'	01:38 ~ 02:18	별들의 움직임	delay effect phase vocoder granular synthesis
B	02:18 ~ 03:02	밤하늘의 신비	delay effect + panning phase vocoder granular synthesis
C	03:02 ~ 04:18	밤하늘의 화려함	delay effect + panning phase vocoder granular synthesis flanger
Outro	04:18 ~ 06:02	다시 찾아가는 고요한 밤하늘	delay effect phase vocoder granular synthesis flanger

2) 프로젝션 맵핑 영상 구성

프로젝션 맵핑 구성은 음악의 구성에 맞게 9개의 단계로 제작되었다. 각각 material의 파라미터들과 각각 선들의 애니메이션으로 영상의 화려함을 더했으며 음악과 실시간으로 인터랙션하였다. 각 영상의 단계마다 내포된 의미에 대해 아래 [표-3]으로 정리하였다.

[표-3] 프로젝션 맵핑 영상 구성

영상	의미
	<p>고요한 밤하늘의 등장</p>
	<p>고요한 밤하늘 안에 별들의 속삭임</p>
	<p>쏟아져 내리는 별뿔별</p>

	<p>밤하늘 별자리 이야기의 시작</p>
	<p>별자리들의 이야기</p>
	<p>밤하늘의 웅장함</p>
	<p>밤하늘의 화려함, 오로라</p>



3. 연구 기술 적용

1) Intro 파트의 적용기술 및 효과

[표-4] Intro 파트 구성

시간	00:00 ~ 01:02
사운드 프로세싱	granular synthesis (grain pitch : 0.25, 0.5, 2) phase vocoder (playback rate : -0.9)
영상	MadMapper - After Effects 제작 영상
영상효과	fade-in

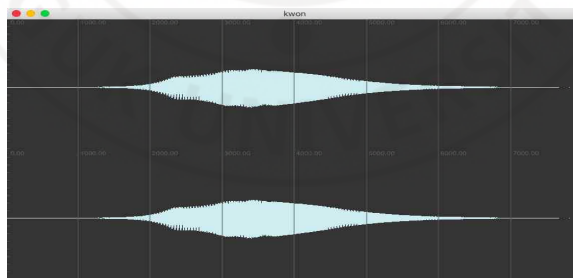
Intro 파트는 비브라폰의 보잉 기법과 함께 시작되었다. 콘트라베이스 활을 사용하였고 이 기법을 사용하면 좋은 공명으로 긴 음을 연주할 수 있다. 이 보잉 사운드는 granular synthesis의 grain pitch를 0.25, 0.5로 설정해 저음 사운드를 생성하여 곡의 웅장함을 표현하였다. 곡 처음부터 끝까지 끊임없이 이 보잉 사운드가 나오며 곡 전체적인 분위기를 이끌어 나갔다. 이 사운드는 mc.record~오브젝트를 이용하여 첫 번째 연주할 때 실시간으로 녹음을 받아 buffer~에 저장하였다가 필요한 순간마다 컨트롤러를 활용하여 연주되게 하였다. [그림-26] [그림-27]

Intro 파트는 음악에만 집중하길 의도하여 영상이 없이 작품을 시작하였다. 그러다 곡 중간 부분쯤 컴핑(comping)⁴³⁾ 연주가 시작되면서 밤하늘에 별이 서서히 비치는 모습을 연상케 하며 영상이 시작되었다. 영상은 After Effects에서 제작되어 Syphon을 통해 MadMapper로 재생되었으며 fade-in 효과를 통해 서서히 등장하게 하였다. [표-4]

43) 코드로 리듬감 있게 반주를 하는 연주법.



[그림-26] 보잉 사운드 녹음을 위한 mc, record~를 이용한 Max 패치



[그림-27] buffer~에 저장된 녹음한 보잉 사운드

2) A, A' 파트의 적용기술 및 효과

[표-5] A 파트 구성

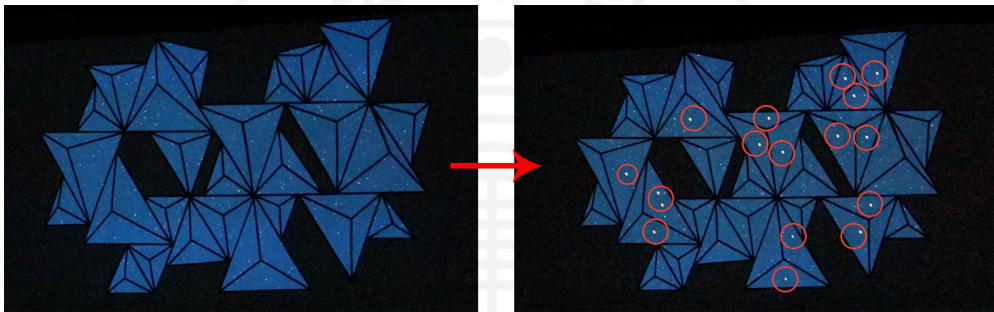
시간	01:02 ~ 01:38
사운드 프로세싱	delay effect phase vocoder (playback rate : -0.9) granular synthesis (grain pitch : 0.25) flanger
영상	MadMapper - material After Effects 제작 영상
영상효과	opacity

[표-6] A' 파트 구성

시간	01:38 ~ 02:18
사운드 프로세싱	delay effect phase vocoder (playback rate : -0.9) granular synthesis (grain pitch : 0.5, 2) flanger
영상	MadMapper - material After Effects 제작 영상
영상효과	speed, color

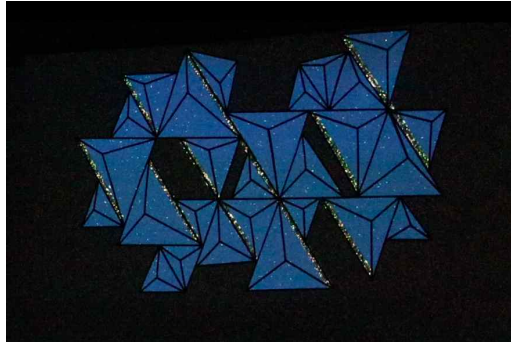
A 파트와 A' 파트는 짧은 delay time으로 계속해서 음이 끊이지 않고 이어지는 느낌을 연출하였다. 또한, phase vocoder의 재생속도를 -0.9에 두어 리버스 된 사운드가 계속해서 같이 출력되게 하여 곡이 자연스럽게 계속 흘러가도록 하였다. A 파트, A' 파트 둘 다 다음 파트로 가기 전에 flanger 효과를 적용해 사운드에 변화를 주었고 A' 파트가 진행되며 리듬이 쪼개지고 granular synthesis까지 추가시켜 B 파트로 넘어가기 전 곡을 자연스럽게 고조시켰다. [표-5] [표-6]

A 파트는 Intro 파트에서 서서히 드러난 밤하늘을 방불케 하는 영상 위에 별들이 움직이게 하였다. 선율에 맞게 별들이 반짝거리며 이는 비브라폰의 어택에 맞게 별 모양을 연상케 하는 material의 opacity 파라미터가 0에서 100으로 변화하면서 만들어낸 효과이다. random 오브젝트를 통해 어택 신호가 들어올 때마다 삼각형 번호를 불규칙적으로 지정해주어 별이 사방에서 반짝이는 효과를 연출하였다. [그림-28]

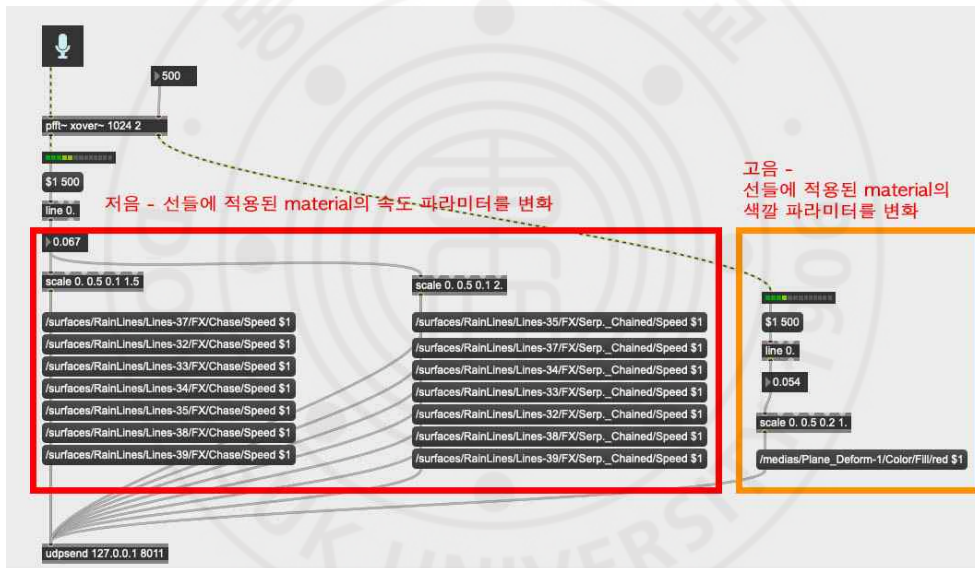


[그림-28] A 파트 영상

A' 파트는 하늘에서 별뿔별이 쏟아지는 모습을 연출하였다. MadMapper에서 선들의 애니메이션으로 선들의 움직임을 다양하게 변화시킬 수 있을 뿐 아니라 도형처럼 material을 적용하여 다양한 영상을 선들로 연출시킬 수 있다. 별뿔별의 쏟아지는 느낌의 material를 찾아 A' 파트 선들에 적용했다. [그림-29] pfft~ xover~로 저음역과 고음역을 나누어 저음역의 음량에 따라 선들에 적용된 material의 속도 파라미터를 변화시키고 고음역의 음량에 따라서는 선들에 적용된 material의 색깔이 변화되게 적용하였다. [그림-30]



[그림-29] A' 파트 영상



[그림-30] A' 파트 영상을 위한 Max 패치

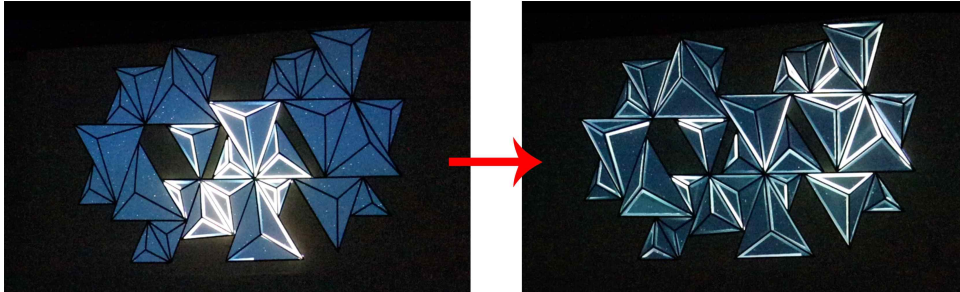
3) B 파트의 적용기술 및 효과

[표-7] B 파트 구성

시간	02:18 ~ 03:02
사운드 프로세싱	delay effect + panning phase vocoder (playback rate : -1.2) granular synthesis (grain pitch : 2)
영상	MadMapper - material
영상효과	line animation

A 파트에 이어서 클라이맥스(climax)로 연결해 주는 파트이다. 클라이맥스로 가기 전에 사운드 프로세싱이 다양해져 음향이 서서히 쌓이며 클라이맥스로 향해 가게 제작되었다. granular synthesis는 고음이 등장하고 녹음된 보잉 사운드까지 같이 재생되며 화려한 사운드가 점차 증진되었다. panning이 더해진 delay effect 사운드와 phase vocoder의 재생속도를 -1.2로 지정하여 원래 연주되는 사운드보다 빠르게 리버스하여 A, A'와는 다른 느낌을 주었다.

B 파트의 영상은 별자리들을 보는 거 같은 모습을 연출하기 위해 선들의 움직임으로만 가득 채웠다. 선들은 가운데를 중심으로 곡이 고조되면서 점점 좌우로 확대되도록 연출하였다. [그림-31] 선들은 사운드의 음량 값에 따라 선들의 애니메이션의 속도가 조절되어 사운드 프로세싱이 화려해지고 음량 값이 커짐에 따라 선들의 움직임도 빨라지게 하였다. [표-7]



[그림-31] 사운드가 고조됨에 따라 좌우로 확대되는 B 파트 영상

4) C 파트의 적용기술 및 효과

[표-8] C 파트 구성

시간	03:02 ~ 04:18
사운드 프로세싱	delay effect + panning phase vocoder (playback rate : -1.2) granular synthesis (grain pitch : 0.25, 0.5, 2) flanger
영상	MadMapper - material
영상효과	line animation material speed, color

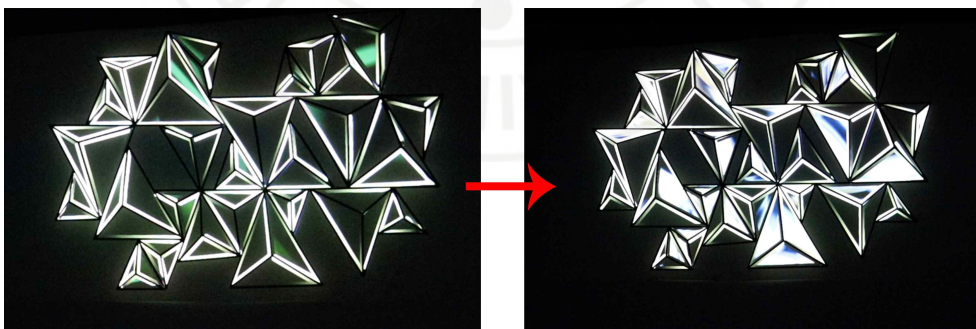
C 파트는 곡의 클라이맥스 파트여서 음악도 영상도 가장 화려함을 장식하였다. B 파트에서 고조된 사운드가 연결되면서 C 파트에서 빨라진 리듬과 함께 모든 프로세싱이 추가되며 가장 풍부한 사운드가 나왔다. granular synthesis는 grain pith를 2옥타브 아래, 1옥타브 아래 그리고 2옥타브 위로 설정하여 저음, 중음, 고음 모든 영역의 사운드를 채우고 phase vocoder와 ping pong delay 사운드가 끊임없이 계속되며 곡의

화려함을 채워주었다. 또한, flanger 효과가 곡의 클라이맥스 마지막에 추가되며 색다른 사운드를 연출하였다. [표-8]

영상은 오로라를 보듯 형형색색의 영상들로 가득 채웠다. C 파트에서는 두 가지의 material과 선들의 애니메이션 효과를 사용하였다. pfft~ xover~로 저음과 고음을 나누어 저음 영역은 선들의 애니메이션의 속도를 제어하고 고음 영역은 삼각형 안에 material의 움직임에 제어하였다. 그리고 전체 음량에 따라 material의 색깔이 바뀌게 설정하였다.

C 파트에서는 두 가지의 영상 material을 사용하였다. C 파트가 시작될 때는 오로라가 이제 막 드러날 거 같은 작은 움직임이 있는 영상 material을 사용하였고 전체 음량 값에 따라 material의 색깔이 변동되게 설정하였다. [그림-32]

리듬이 빨라지며 곡이 절정에 다다를 때는 마치 오로라가 춤을 추듯이 화려한 움직임을 표현할 수 있는 영상 material을 사용하였다. 다양한 사운드 프로세싱과 함께 사운드가 고조되고 그에 따라 material의 색깔이 변하고 선들의 화려한 움직임이 더해져 밤하늘의 오로라와 은하수 모습을 보는 듯 연상이 되게 하였다. [그림-33]



[그림-32] 음량 값에 따라 변하는 C 파트 첫 번째 material의 색깔



[그림-33] 음량 값에 따라 변하는 C 파트 두 번째 material의 색깔

5) Outro 파트의 적용기술 및 효과

[표-9] Outro 파트 구성

시간	04:18 ~ 06:02
사운드 프로세싱	delay effect phase vocoder (playback rate : -0.9) granular synthesis (grain pitch : 0.25, 0.5) flanger
영상	MadMapper - material
영상효과	line animation material speed

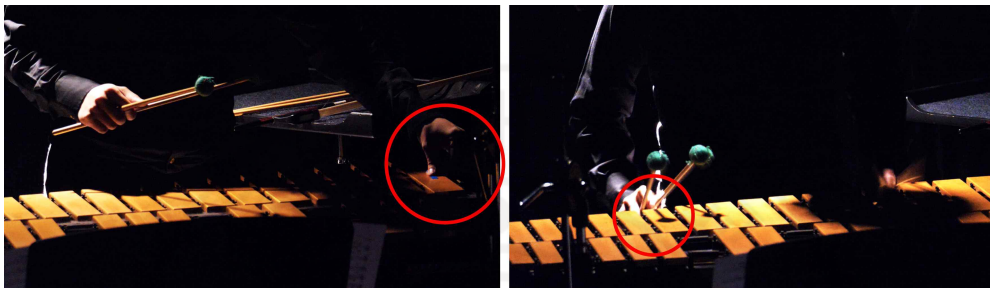
Outro 파트는 음악이 종결되는 파트이다. 미니멀리즘⁴⁴⁾ 음악 같은 선율들로 가득 채우고 말렛의 샤프트로 비브라폰 모서리 부분을 연주하는 방식과 기존 말렛 헤드로 비브라폰을 연주하는 방식을 번갈아 하면서 여러 가지 음색을 연출하였다. 또한, 비브라폰 건반 위에서 많은 바운스(bounce)를 극대화하기 위해 가장 가벼운 10원 동전을 부착하여 연주해 시즐 효과를 연출하였다. [그림-34]

Outro 파트는 phase vocoder와 delay 효과와 함께 전체적인 사운드가 이루어지고 Outro 파트 중간 부분에 granular synthesis 프로세싱이 추가되었다. 그리고 comb filter⁴⁵⁾와 비슷한 사운드를 내는 flanger 음향효과들과 사운드를 가득 채우며 곡이 마무리되었다. 이 flanger 음향효과는 말렛의 샤프트로 모서리 부분을 연주한 사운드와 동전을 부착하여 시즐 효과가 난 사운드와 만났을 때 가장 효과적이었으며 이 사운드들은 별뿔별이 떨어지는 모습을 연상케 하였다. [표-9]

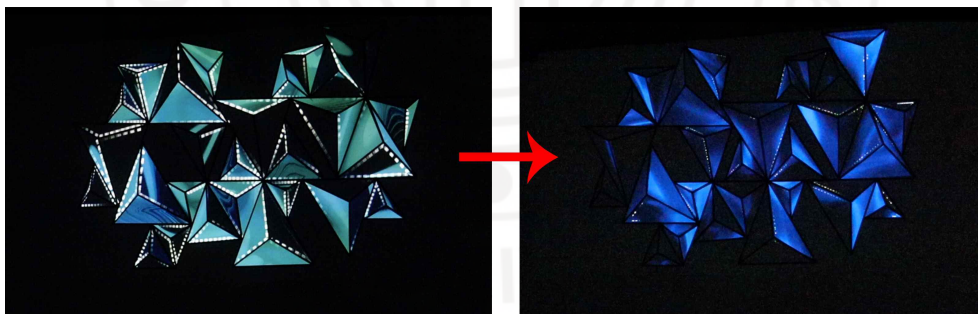
44) 음의 움직임을 최소화하여 단순하고 반복성이 있는 스타일의 음악.

45) 직접음에 의한 반사음이 매우 짧은 시간차를 두고 직접음과 겹쳐지는 현상이며 주파수 특성으로 머리빗(comb) 모양이 나타남.

영상은 별뚱별이 떨어지고 점점 흐려지면서 다시 고요한 밤하늘로 돌아간 느낌을 연출하였다. 전체 음량 값으로 material의 속도를 조절하고 비브라폰의 어택에 따라 선들의 애니메이션 속도가 연동되게 설정하였다. [그림-35]



[그림-34] 시즐 효과를 위해 동전을 부착하는 모습과 말렛의 샤프트로 비브라폰의 모서리 부분을 연주하는 모습



[그림-35] 별뚱별이 떨어지고 점점 고요한 하늘로 돌아가는 모습의 Outro 파트 영상

4. 연구 기술의 적용기술 및 효과

본 작품은 한가지의 악기만으로 사용했음에도 불구하고 Max를 활용한 사운드 프로세싱으로 풍성한 사운드를 연출할 수 있었다. delay, ping pong delay 그리고 phase vocoder를 통해 연주가 끊임없이 지속되는 효과를 주었고 각 파트 사이의 연결을 자연스럽게 이끌어주었다. granular synthesis를 통해 음역대의 범위를 넓혀줄 뿐만 아니라 패드같은 효과를 연출하여 풍성한 사운드를 만들어 주었고 flanger 음향효과로 비브라폰 음색이 아닌 색다른 음색을 연출하였다. 또한, 사운드 프로세싱을 통해 악기 하나로 연주했지만 마치 여러 가지의 악기가 연주하는 효과를 줄 수 있었다.

실시간으로 프로세싱된 사운드는 Max를 통해 프로젝션 맵핑과 인터랙션 되어 관객에게 선보였다. 악기의 음량과 어택 데이터 값은 OSC를 통해 실시간으로 MadMapper로 전달하여 통신하였고, MadMapper 속 다양한 material의 파라미터들과 선들의 애니메이션을 통해 각각 곡 파트에 어울리는 영상효과를 연출하였다.

사운드 프로세싱과 프로젝션 맵핑을 통한 인터랙션으로 관객에게 음악과 영상이 결합 된 작품을 선보였다. 이는 소리의 시각화, 이미지의 청각화로 ‘SEEING SOUND LISTENING IMAGE(보는 소리, 듣는 영상)’ 공연 타이틀에 적합한 멀티미디어 작품을 선보일 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문은 비브라폰의 연주를 실시간으로 프로세싱하고 그 사운드와 인터랙션 되는 멀티미디어 작품 제작에 관한 연구이다. 비브라폰 악기와 프로젝션 맵핑이라는 다른 두 미디어의 융합으로 관객에게 색다른 예술작품을 선보이고자 하였다. 비브라폰 하나의 악기로 연주하지만 여러 악기가 연주되는 듯 다채로운 음색을 표현하고자 하였고 사운드의 음량과 어택에 대한 데이터를 활용하여 실시간으로 인터랙션 되는 프로젝션 맵핑 영상을 제작하였다.

<Midnight>는 Max를 활용하여 실시간 사운드 프로세싱에 관해 연구하였고 phase vocoder, granular synthesis, delay effect, flanger 음향효과를 비브라폰 악기 특징 및 연주 방법에 맞게 적용하였다. 이 음향효과들로 비브라폰의 음역대와 배음 등 악기가 가지고 있는 제한적인 부분을 보완할 수 있었다. 사운드 프로세싱된 데이터들은 OSC 통신을 통해 MadMapper로 전송되어 실시간으로 영상을 제어하였다. 평범했던 오브젝트를 프로젝션 맵핑이라는 기술을 통해 색다른 성격의 매력적인 오브젝트로 재탄생시켰고 이는 미술 영역을 확대했다고 볼 수 있다. 악기 연주와 프로젝션 맵핑의 융합은 악기의 연주 그리고 작품에 대한 이해도를 향상할 뿐만 아니라 관객과의 교감에 있어서도 더 큰 시너지 효과를 주었다. 모든 영상 컨트롤은 자동화 시스템을 구축하여 공연 현장에서 오로지 사운드 프로세싱에만 집중할 수 있어 작업의 질을 높일 수 있었다.

사운드 프로세싱과 프로젝션 맵핑이 인터랙션 되는 멀티미디어 작품 <Midnight>를 제작하면서 몇 가지 어려움과 마주하였다. 본 연구를 토대로 더욱 완성도 높은 멀티미디어 작품을 제작하기 위한 향후 연구과제는 다음과 같다.

첫째, 공연장에 대한 완벽한 숙지이다. 공연장에서 프로젝션 맵핑을 하기 위해선 수많은 요소가 고려되어야 한다. 일단 오브젝트의 크기는 공연장 크기에 맞게 제작되어야 한다. 아무리 멋진 오브젝트에 매력적인 맵핑을 한다고 하더라도 공연장의 크기에 맞지 않는 오브젝트라면 관객들에게 어떠한 이야기도 전달할 수 없다. 또한, 오브젝트를 어떻게 고정할 것인가에 대한 계획도 필요하다. 조그마한 움직임에도 오브젝트의 투사범위가 흔들리기 때문에 공연장의 요건에 맞게 오브젝트를 완벽하게 고정해야 완전한 작품을 선보일 수 있다. 그리고 공연장의 조명에 대해서도 미리 숙지가 필요하다. 본 작품에서는 연주자의 조명이 맵핑된 오브젝트의 투사범위를 방해하여 조명 위치를 변경하는 데에 시간을 많이 쏟았다. 이에 다음 작품에서는 미리 조명의 위치 그리고 프로젝트의 설치 위치도 고려한 완벽한 공연 시스템을 모색해야 할 것이다.

둘째, 악기에 대한 더욱 깊은 연구를 통한 영상과의 인터랙션이다. 본 작품은 악기의 음량과 어택 데이터만을 활용하여 영상과 인터랙션 하였다. 악기에 대한 좀 더 많은 연구가 필요하며 연구를 통해 음량과 어택 뿐만 아니라 음정, 음색, 연주자의 움직임 등 다양한 데이터를 활용한 인터랙션이 필요할 것이다.

본 작품은 비브라폰을 활용한 사운드 프로세싱과 사운드와 영상의 인터랙션 사례 연구를 통해 작품을 완성하였다. 비브라폰이 가진 악기의 제약을 사운드 프로세싱으로 보완하고 이에 실시간으로 반응하는 프로젝션 맵핑을 선보였다. 앞서 언급한 과제들을 끊임없이 연구하여 더욱 완성도 있는 멀티미디어 작품을 선보여야 할 것이다.

keyword(검색어):

컴퓨터음악(computer music), Max, 프로젝션 맵핑(projection mapping),
인터랙티브 멀티미디어 음악(interactive multimedia music),
소리의 시각화(sound visualization), 실시간 사운드 프로세싱(real-time
sound processing)

E-mail: jekmusic@gmail.com



참 고 문 헌

1. 단행본

- Charles Dodge, Thomas A. Jerse, 「Computer Music: synthesis, composition and performance, Second Edition」, (Schirmer Books, 1997)
- Curtis Roads, 「The Computer Music Tutorial」, (MIT Press, 1996)

2. 참고논문

- Vignesh Ganesan, 「Time Stretching using Phase Vocoder」, (Global Journal of Computer Science and Technology, 2016)
- Anssi Klapuri, 「ANALYSIS OF MUSICAL INSTRUMENT SOUNDS BY SOURCE-FILTER-DECAY MODEL」, (Tampere University of Technology, 2007)
- 구자환, 「음향 양자 이론의 사운드 디자인적 응용」, (호서대학교 실용음악학과 한국산학기술학회논문지 제19권 제9호, 2018)
- 김정환, 「인터랙티브 미디어를 활용한 음악의 조형적 시각화 연구」, (서울대학교 대학원 디자인학부 시각디자인 전공, 2017)

- 김희정, 오동우, 「청각과 시각의 교차감각 매핑에 의한 소리 시각화 연구」, (한국디자인포럼 59권 0호, 2018)
- 서상희, 이정은, 「프로젝션 매핑과 사운드 인터랙션을 이용한 재구성된 기억의 장소」, (한국영상학회, 2015)
- 손진석, 양지현, 김규정, 「사운드에 반응하는 시청각적인 인터랙티브 아트에 관한 연구」, (만화애니메이션연구 통권 제35호, 2014)
- 이도경, 「피아노 연주를 통한 실시간 오디오 비주얼 작품 제작」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)
- 이보강, 「피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 퍼포먼스 연구」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)
- 정현철, 「클라리넷과 피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어음악 작품 연구」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2020)
- 최승준, 「건반타악기에 관한 연구」, (『음악논단』 10집, 1996)
- 한승욱, 「피아노의 실시간 프로세싱을 이용한 멀티미디어음악 제작 연구」, (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)

3. 웹사이트

- CNMAT: external Max object, OSC
<http://cnmat.berkeley.edu/>
- MadMapper
<http://www.MadMapper.com/>
- Max
<https://cycling74.com/>
- Max Cookbook
<https://music.arts.uci.edu/dobrian/maxcookbook/>
- Syphon
<http://syphon.v002.info/>
- The Hollywood Bowl
<https://www.hollywoodbowl.com/>
- 한국전자음악협회: Korea Electro-Acoustic Music Society
<http://keams.org/>

ABSTRACT

A Study on the Production of Multimedia Works using Real-time Sound Processing and Visualization of Vibraphone

(focus on Multimedia Work <Midnight>)

Kwon, Jung Eun

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

Times have changed and the way of expressing music diversified. Now music is not only being listened to, but is being reborn as a new form of art by combining with different forms of media. Such a form where two or more media are merged is called multimedia and the focus will be on a multimedia works that merge music and video.

This thesis aimed to provide a new form of artistic piece to the audience by merging the use of vibraphone instrument and projection mapping in the work <Midnight>. The work was produced help of precedent case studies such as the case of creating a sound with a

different feel from sound processing of percussion instruments, and a case of a multimedia work giving greater synergy in appreciating the work through interaction of music and video.

<Midnight> is a multimedia work created by interaction of music and projection mapping. Performance of vibraphone created a new aspect of music through a variety of sound processing and a video image changing according to real time numerical data input from the music. Moreover, projection mapping allowed to create a boring object into an attractive object with different characters.

To achieve a better result, it will be necessary to fully analyze the venue such as the size, a solution to install object that will vibrate from small movements, and possible obstruction of projection from lighting. It is also necessary for further study of the work in terms of interaction utilizing loudness, pitch, and timbre of instrument and movement of performers.

2

31

B

35

37

39

42 OPEN

C

46

48

50 *ppp*

52

Detailed description: This is a musical score for guitar, consisting of eight staves of music. The key signature has one flat (B-flat). The score begins at measure 31 with a treble clef and a key signature of one flat. Measure 31 features a complex chordal structure with a dynamic marking of *v*. Measure 35 is marked with a box containing the letter 'B'. Measure 37 continues the melodic and harmonic development. Measure 39 shows a more active melodic line. Measure 42 is marked with 'OPEN' above the staff, indicating an open string. Measure 46 is marked with a box containing the letter 'C'. Measure 48 continues the melodic flow. Measure 50 is marked with *ppp* (pianissimo) and features a complex chordal structure. Measure 52 concludes the section with a melodic line. A large, faint watermark of a university logo is visible in the background of the score.

55 OPEN

57

62

65 **Outro**

67

69

71

73

79 with coin

82 with coin

부록-2 : 첨부 DVD 설명

1. Midnight_video : 공연 영상
2. Midnight_score : 악보 폴더
3. Midnight_patch : Max 패치 폴더

