



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

사운드와 영상, 레이저의 실시간 인터랙션을 활용한
멀티미디어 퍼포먼스 제작 연구
-멀티미디어 작품 <화합 : Interbeing>을 중심으로-

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

오성민

2026

석사학위논문

사운드와 영상, 레이저의 실시간 인터랙션을 활용한
멀티미디어 퍼포먼스 제작 연구
-멀티미디어 작품 <화합 : Interbeing>을 중심으로-

오성민

지도교수 김준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2025년 12월

오성민의 음악석사(컴퓨터음악) 학위 논문을 인준함

2026년 1월

위원장 정진현 (인)

위원 김정호 (인)

위원 김준 (인)

동국대학교 영상대학원

목 차

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 사례 연구	2
II. 기술 연구	5
1. 사운드 디자인 연구	5
1) 테이프음악(tape music) 제작을 위한 사운드 디자인	5
① FM synthesis	6
② PM synthesis	9
③ granular synthesis	12
④ wavetable synthesis	15
2) 실시간 연주를 위한 사운드 디자인	17
① delay	17
② reverb	21
③ FFT Filter	25
④ Hard Clip	28
2. 영상 제작 연구	31
1) 영상 디자인	31
2) TouchDesigner를 이용한 영상 제작	33

① 영상 설계	33
② 영상 기반 제작	34
③ 영상 작업 과정	36
3. 레이저 장비 및 제어·그래픽 기술 연구	38
1) 레이저 장비 구성과 특성	38
2) EtherDream4 기반 레이저 제어 구조	39
3) TouchDesigner 기반 레이저 그래픽 패턴 설계	41
① 레이저 포인트 생성 구조	41
② TouchDesigner에서 레이저 네트워크 구조	42
③ TouchDesigner에서 레이저 패턴별 제작 과정	43
4. 공연 시스템 통합과 운영	45
1) 공연 시스템 구조	45
2) OSC 네트워크 구조	46
3) MIDI 맵핑을 이용한 사운드·영상·레이저 연동	48
III. 연구 기술의 작품 적용	50
1. 작품 소개	50
2. 작품 구성	52
1) 무대 구성	52
2) 음악 구성	53
3) 영상 구성	57

3. 작품에서의 기술 적용 및 효과	61
1) Intro Section	62
2) A Section	63
3) B Section	64
4) Build up-1 Section	65
5) Chorus-1 Section	66
6) Interlude Section	67
7) Build up-2 Section	68
8) Chorus-2 Section	69
9) Outro Section	70
IV. 결론	72
참 고 문 헌	75
1. 단행본, 학술지	75
2. 참고논문	76
3. 웹사이트	78
ABSTRACT	79
부록 : 첨부 DVD 설명	81

표 목 차

<표-1> FM·PM synthesis를 위한 Max for Live 패치 설명	11
<표-2> munger ~오브젝트 설명	13
<표-3> granular synthesis를 위한 Max for Live 패치 설명	14
<표-4> Max에서 구현한 delay 패치 설명	18
<표-5> delay 효과 제어를 위한 Max for Live 패치 설명	20
<표-6> reverb 효과 Max for Live 패치 설명	22
<표-7> FFT Filter 효과를 제어하는 Max for Live 패치 설명	26
<표-8> Hard clip 디스토션을 구현한 Max for Live 패치 설명	29
<표-9> 파티클·포인트 클라우드를 이용한 빛의 장면 유형	33
<표-10> 영상 패턴별 제작 과정	37
<표-11> 레이저 패턴별 제작 과정	44
<표-12> 파트별 음악의 BPM과 타임라인	54
<표-13> 영상 구성	58
<표-14> 사운드 프로세싱에 적용된 영상 효과	61
<표-15> Intro에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과	62
<표-16> A에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과	63
<표-17> B에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과	64
<표-18> Build up-1에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과	65
<표-19> Chorus-1에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과	66

<표-20> Interlude에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과 67
<표-21> Build up-2에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과 68
<표-22> Chorus-2에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과 69
<표-23> Outro에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과 70



그림 목 차

[그림-1] 빛의 교회 내부에 비추는 십자가 빛	3
[그림-2] 티베트 사원에서 공양용 버터램프	4
[그림-3] FM synthesis의 기본 구조	7
[그림-4] simple FM synthesis 패치	8
[그림-5] PM synthesis 기본 구조	9
[그림-6] FM·PM synthesis를 위한 Max for Live 패치	10
[그림-7] munger ~오브젝트를 이용한 granular synthesis 패치	12
[그림-8] granular synthesis를 위한 Max for Live 패치	14
[그림-9] wavetable synthesis를 위한 Serum 2 가상악기	15
[그림-10] Serum 2의 wavetable editor 편집 화면	16
[그림-11] Max에서 구현한 delay 패치	17
[그림-12] delay 효과를 위한 Max for Live 패치	19
[그림-13] reverb 효과 Max for Live 패치	21
[그림-14] reverb 알고리즘을 구현한 Max for Live 내부 패치	23
[그림-15] reverb 장치 내부의 patcher reverb 서브 패치	24
[그림-16] FFT Filter 효과를 제어하는 Max for Live 패치	26
[그림-17] FFT Filter를 구현한 Max for Live 패치 구조	27
[그림-18] Hard clip 디스토션을 구현한 Max for Live 패치	28
[그림-19] Hard clip 디스토션을 구현한 Max for Live 패치 구조	30

[그림-20] Noise·Displace TOP 을 이용한 빛의 질감 생성 패치	34
[그림-21] 오디오 CHOP 신호를 이용한 빛의 안개 제어 패치	35
[그림-22] ALIEN 2W RGB ILDA 레이저 프로젝터	38
[그림-23] EtherDream 4 DAC 외형	39
[그림-24] EtherDream 4 기반 레이저 제어 구조	40
[그림-25] 레이저 스캐닝 개념도	41
[그림-26] TouchDesigner 레이저 제어 네트워크	42
[그림-27] 공연 시스템 구조도	45
[그림-28] Max for Live 기반 OSC 전송 패치	47
[그림-29] TouchDesigner에서 수신된 OSC 신호 처리 구조	48
[그림-30] 공연에서 사용한 AKAI APC 40 mk2의 MIDI 맵핑	48
[그림-31] TouchDesigner에서의 MIDI 제어 신호 처리 패치	49
[그림-32] 작품 <화합 : Interbeing>의 공연 이미지	50
[그림-33] 작품 <화합 : Interbeing>의 무대 구성	52
[그림-34] Intro Section의 영상·레이저 변화	62
[그림-35] A Section의 영상·레이저 변화	63
[그림-36] B Section의 영상·레이저 변화	64
[그림-37] Build up-1 Section의 영상·레이저 변화	65
[그림-38] Chorus-1 Section의 영상·레이저 변화	66
[그림-39] Interlude Section의 영상·레이저 변화	67
[그림-40] Build up-2의 영상·레이저 변화	68

[그림-41] Chorus-2의 영상·레이저 변화 69

[그림-42] Outro의 영상·레이저 변화 70



I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

오늘날 공연예술 분야에서 사운드, 영상, 조명, 레이저 등 다감각 매체를 통합한 멀티미디어 퍼포먼스는 보편적인 창작 형식으로 자리 잡았다. 기술적 진보로 인해 이질적인 매체들을 실시간으로 연동하는 기반은 충분히 마련되었으나, 실제 공연 현장에서는 이러한 기술이 유기적인 의미 구조를 형성하기보다는 단순한 시각적 효과의 나열에 그치는 경우가 많다. 특히 상이한 종교적 세계관이나 철학적 가치가 하나의 무대에서 만나고, 이것이 관객의 경험 속에서 화합의 정서로 확장되는 과정을 정교하게 설계한 사례는 여전히 부족한 실정이다.

본래 빛과 공간, 그리고 시간은 종교적 경계를 넘어 인류가 존재를 인식하고 세계를 이해하기 위해 사용해 온 가장 보편적인 매개체이다. 이러한 보편적 개념들은 각기 다른 전통과 신앙 안에서 고유한 상징체계로 구체화되어 왔다. 예를 들어 기독교는 빛을 하나의 중심과 직선적 지향성으로 해석하여 궁극적 지향점을 형상화해 왔으며, 불교는 이를 무수한 인연이 얽힌 순환적 연결망으로 파악하여 만물의 상호의존성을 설명해 왔다. 이처럼 서로 대비되는 두 전통의 만남은 단순히 종교적 결합을 넘어, 현대 사회가 직면한 타자와의 공존이라는 근원적 과제를 예술적으로 성찰할 수 있는 중요한 예술적 실마리를 제공한다.

본 연구는 이러한 차이와 공통점을 공연의 핵심 구조로 삼아, 기독교와 불교의 상징이 하나의 시스템 안에서 어떤 방식으로 상호 존재의 상태로 재구성될 수 있는지를 탐구하고자 한다. 이를 위해 필자는 레이저, 영상, 사운드, 무용을 통합한 멀티미디어 퍼포먼스 <화합 :

Interbeing>을 제작하였으며, 두 전통이 가진 빛·공간·시간의 개념을 장면 구성과 시청각적 흐름 속에 반영하였다. 기독교적 중심 광원과 전진하는 리듬, 그리고 불교적 순환 패턴과 그물망 형태의 입자 구조는 기술적 인터랙션을 통해 상호 변형되고 결합하며, 관객이 두 전통의 만남을 종교 간 화합의 상태로 지각하도록 유도한다.

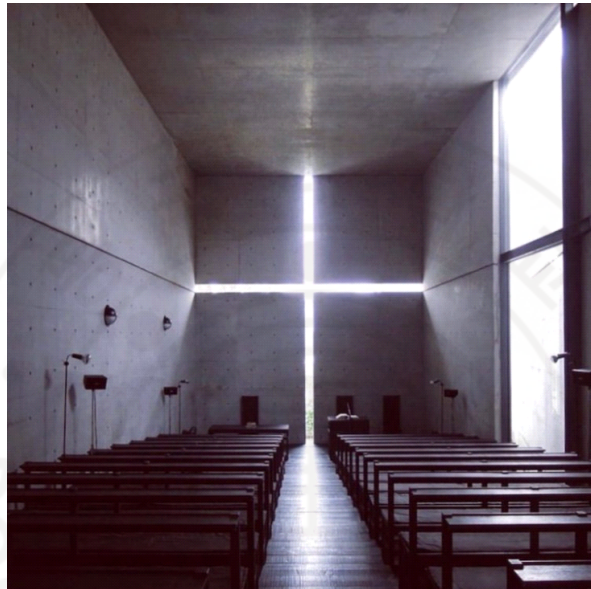
따라서 본 논문의 목적은 다음과 같다. 첫째, 공연 <화합 : Interbeing>에서 사용된 다감각 매체들의 연동 구조를 분석하여, 이질적인 상징들이 화합의 감정을 형성하는 데 기여하는 효과적인 미학적 요소를 정리한다. 둘째, 이러한 분석을 바탕으로 멀티미디어 퍼포먼스 제작자가 참고할 수 있는 설계 방향을 제시하며, 서로 다른 종교 및 철학적 이미지를 다루는 실시간 인터랙션 시스템 구축에 실질적인 지침을 제공하고자 한다.

2. 사례 연구

본 연구의 공연 <화합 : Interbeing>은 기독교와 불교의 상징적 빛을 한 무대에 구현하여 종교적 공존의 경험을 창출하는 데 목적이 있다. 본 장에서는 각 전통의 예식 공간에서 나타나는 빛의 사용 사례를 분석하고, 이를 바탕으로 작품의 시청각 구성에 반영된 미학적 방향을 정리한다.

기독교의 대표적 사례인 <안도 다다오> (Tadao Ando, 1941-)가 설계한 빛의 교회(Church of Light)를 들 수 있다. [그림-1]에서 보이듯이, 콘크리트 벽면의 십자가 틈을 통해 들어오는 강렬한 자연광으로 단일한 중심을 형성한다. 실내의 모든 좌석과 통로가 이 빛을 향해 일렬로 배치된 구조는, 창조에서 종말로 이어지는 직선적 시간관과 절대자

를 향한 궁극적 지향점을 공간 안에 구현한 것이다. 본 작품의 기독교 장면에서는 이를 수직·수평의 레이저와 전진하는 리듬 구조로 변용하여, 하나의 중심을 향해 수렴하는 흐름을 강조하였다.



[그림-1] 빛의 교회 내부에 비추는 십자가 빛¹⁾

불교의 사례인 티베트 사원의 버터램프(butter lamp)는 [그림-2]와 같이 수많은 작은 등불이 서로의 빛을 반사하며 경계 없는 빛의 장을 형성한다. 특정 지점에 고정되지 않고 겹겹이 이어지는 빛의 행렬은 만물의 상호의존성과 순환적 연결망이라는 불교적 세계관을 시각적으로 드러낸다. 본 작품의 불교 장면에서는 다수의 점광원과 입자 영상, 변주되는 사운드를 결합하여 작은 빛들이 유기적으로 겹치고 확산되는 순환적 움직임을 구현하였다.

1) Church of the Light by Tadao Ando, (Zest & Curiosity, 2019)



[그림-2] 티베트 사원에서 공양용 버터램프²⁾

이처럼 빛의 교회와 버터램프는 각각 중심을 향한 직선적 수렴과 그 물망처럼 퍼져 나가는 순환적 확산이라는 대조적인 축을 제시한다. <화합 : Interbeing>은 이 두 이미지를 무대 위에서 중첩함으로써 관객이 두 전통의 빛이 서로를 밀어내지 않고 공존하는 상태를 체험하도록 유도한다. 이는 이어지는 장에서 다룰 실시간 사운드 분석과 레이저·영상 제어 시스템의 핵심적인 미학적 근거가 된다.

2) Namgyal Monastery Institute of Buddhist Studies, (Tibetan Butter Lamps)

II. 기술 연구

1. 사운드 디자인 연구

본 논문에서 다루는 작품 <화합 : Interbeing>은 사운드, 무용, 영상, 레이저가 한 무대에서 유기적으로 조화를 이루는 공연이다. 이 가운데 사운드는 단순한 배경음악을 넘어 무대 전체의 움직임을 조직하는 출발점 역할을 한다. 기독교 장면에서는 점차 전진하는 직선적 리듬과 긴 호흡의 진행을, 불교 장면에서는 반복과 미세한 변주를 통해 순환하는 시간감을 구현하도록 설계하였다. 사운드의 세기와 질감, 리듬 구조의 변화에 따라 샤막 천에 비치는 영상과 레이저 빛의 형태 및 속도가 연동되도록 시스템을 구성하여, 직선적 흐름과 순환적 흐름이 시각적 공간 이미지로 확장되게 하였다. 이를 위해 각 장면이 내포한 종교적 상징과 감정을 설정한 후, 그에 부합하는 사운드를 디자인하여 두 전통의 화합이 시청각적 변화로 자연스럽게 연결되도록 전체 구조를 형성하였다.

1) 테이프음악(tape music) 제작을 위한 사운드 디자인

테이프음악은 공연 전에 미리 제작하여 재생하는 사운드트랙을 뜻하며, 본 작품에서는 전체 공연의 시간 구조를 형성하는 중심 역할을 한다. 테이프음악 제작에는 Ableton Live³⁾, Max/MSP⁴⁾, 소프트웨어 신디사이저 Serum⁵⁾를 사용하였다. Ableton Live와 Serum 2를 활용하여 기독교 장면

3) Ableton에서 개발한 디지털 오디오 워크스테이션(DAW) 소프트웨어.

4) Cycling '74에서 개발한 비주얼 프로그래밍 환경으로, 오디오 및 미디어 처리를 위한 패치 기반 작업을 지원한다.

5) Xfer Records에서 개발한 wavetable 기반 소프트웨어 신디사이저이다.

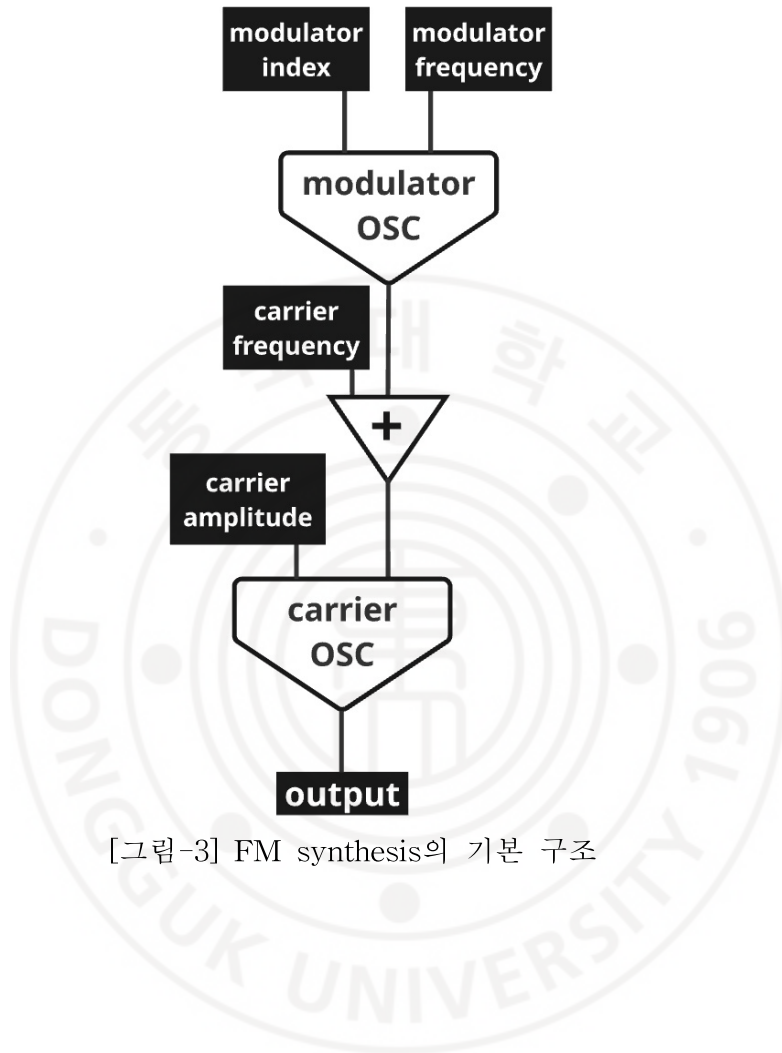
에서는 중심을 향해 점차 밝아지고 고조되는 조성과 뚜렷한 박동을 설계함으로써 직선적으로 전진하는 시간감을 형성하였다. 반면 불교 장면에서는 샘플링(sampling) 기반의 반복 구조와 역재생(reverse) 기법을 결합하여, 순환하는 시간과 연기(緣起)⁶⁾ 사상을 연상시키는 사운드 흐름을 구성하였다. 이러한 과정을 통해 테이프 음악은 직선적 진행과 순환적 움직임이 하나의 곡 안에서 교차하고 중첩되게 함으로써, 두 종교의 상징이 사운드적 차원에서 화합할 수 있는 토대를 제공한다.

① FM synthesis

FM(Frequency Modulation) synthesis는 carrier oscillator가 carrier frequency와 carrier amplitude를 가진 기본음을 생성하고, modulating oscillator가 modulator frequency와 modulator index를 이용해 carrier의 주파수를 주기적으로 변조함으로써 새로운 배음 구조와 음색을 만드는 방식이다. 두 오실레이터의 신호는 합성 단계를 거쳐 Output으로 출력되며, [그림-3]은 이러한 FM 합성 구조를 도식화한 것이다.

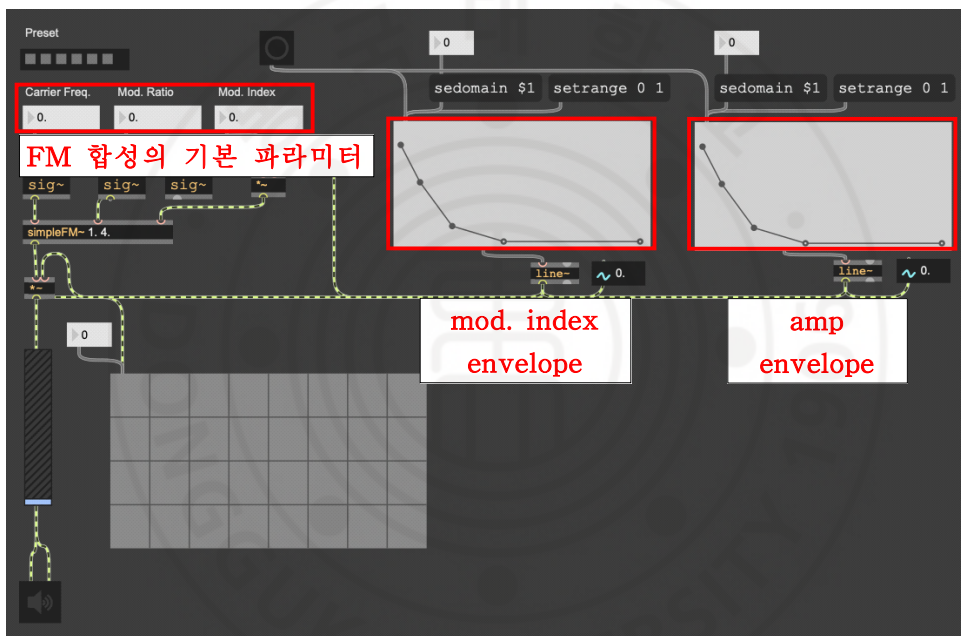
본 작품에서는 이러한 연속적인 음색 변화를 활용하여, 기독교 장면에서는 명료한 배음 구조와 강한 어택을 가진 FM synthesis를 사용해 하나의 중심을 향해 수렴하는 직선적 에너지를 강조하였고, 불교 장면에서는 조밀한 배음과 서서히 부풀어 오르는 사운드를 통해 순환하는 시간과 겹겹이 쌓이는 관계의 이미지를 표현하였다. 장면 전환 부에서는 캐리어와 모듈레이터의 주파수 비율과 변조 깊이를 서서히 변화시켜 두 종류의 FM 음색이 하나의 스펙트럼 안에서 섞이도록 설계함으로써, 두 종교의 상징이 사운드 차원에서 화합하는 과정을 드러내고자 하였다.

6) 세상의 모든 것이 서로 원인과 결과가 되어 연결되어 있음을 뜻하는 불교의 핵심 가르침이다.



[그림-3] FM synthesis의 기본 구조

[그림-4]는 Max에서 구현한 simple FM synthesis 패치이다. 이 패치는 carrier frequency, harmonicity ratio, modulation index를 각각 조절할 수 있도록 구성하였다. 이 세 가지 값을 바꾸어 가며 음색이 어떻게 달라지는지 확인한 뒤, FM 사운드를 설계하였다. 또한 modulation index와 최종 오디오 출력 신호에 엔벨로프(envelope)⁷⁾를 연결하여, 소리가 시간에 따라 어떻게 시작되어 유지되고 사라지는지를 세밀하게 조정하였다.

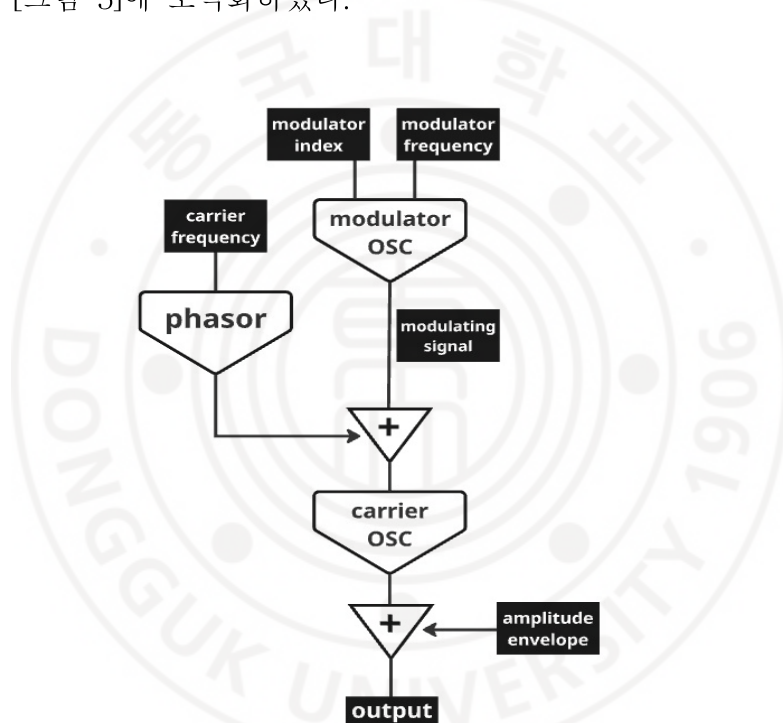


[그림-4] simple FM synthesis 패치

7) 시간에 따라 소리의 크기나 필터값 등이 어떻게 변화하는지를 나타내는 곡선.

② PM synthesis

PM(Phase Modulation) synthesis는 carrier frequency로 설정된 위상에 modulator frequency와 modulator index로 제어되는 modulating signal을 더해 위상을 변조하는 방식이다. Max/MSP에서는 **phasor~**(phasor)오브젝트로 만든 위상으로 amplitude envelope를 곱해 Output으로 보내며, 이 흐름을 [그림-5]에 도식화하였다.



[그림-5] PM synthesis 기본 구조

본 연구에서는 Ableton Live 환경에서 바로 연주에 사용할 수 있도록 Max for Live⁸⁾ 기반의 패치를 제작하였다. [그림-6]의 장치는 하나의

8) Max 패치를 Ableton Live 안에서 악기나 이펙트처럼 불러와 사용할 수 있게 해 주는 확장 환경.

인터페이스 안에서 주파수 비율, 변조 깊이, 파형, 엔벨로프 등을 조절해 FM synthesis 또는 PM synthesis 중 한 가지 방식만 선택해 사용할 수 있다. 왼쪽의 Ratio 노브는 carrier 오실레이터와 modulating 오실레이터의 주파수 비율과 detune⁹⁾ 값을 정해 두 소리의 관계를 설정한다. 가운데 영역에서는 각 오실레이터의 파형을 고르고, 위쪽의 FM/PM 스위치로 현재 사용할 합성 방식(FM 또는 PM) 하나를 선택한다. 오른쪽의 진폭 엔벨로프 노브를 통해 시간에 따라 음이 커지고 줄어드는 곡선을 만들어 주며, 하단의 drive·filter·res·submix 노브는 전체 톤과 질감을 다듬어 사운드를 마무리하는 역할을 한다.



[그림-6] FM·PM synthesis를 위한 Max for Live 패치

[그림-6]에 제시된 패치는 여러 노브와 스위치를 통해 주파수 비율, 변조 깊이, 파형, 필터, 서브믹스 등을 한 화면에서 조절할 수 있도록 구성되어 있다. 각 조절부가 어떤 역할을 하는지는 아래 <표-1>에 정리하였다.

9) 두 오실레이터의 주파수를 미세하게 어긋나게 하여 음색을 넓고 풍부하게 만드는 조절 값.

<표-1> FM·PM synthesis를 위한 Max for Live 패치 설명

Ratio	캐리어·모듈레이터 주파수 비율 조절
Detune	세밀한 음정 미세 조정
Carrier	캐리어 오실레이터 파형 선택
Mod	모듈레이터 오실레이터 파형 선택
FM·PM	FM/PM 합성 방식 전환
Depth	변조 깊이(모듈레이션 강도) 조절
Width	스테레오 폭/변조 범위 조절
Attack, Decay, Sustain, Release	진폭 엔벨로프
Drive	사운드 왜곡
Filter / Res	필터 컷오프와 공진 조절
SubMix	서브 오실레이터 지역 믹스 비율 조절

③ granular synthesis

granular synthesis는 하나의 소리를 매우 짧은 조각으로 나누고, 이 조각을 겹치거나 재배열하여 새로운 질감을 만드는 합성 방식이다. 본 작품에서는 Max/MSP의 **munger~** 오브젝트를 사용하여, 기독교 장면에서 직선적으로 진행하던 테이프음악의 일부가 시간이 지날수록 입자 구름처럼 해체·확산하도록 설계하고, 불교 장면에서는 여러 층의 작은 grain이 서로 다른 속도와 높이로 떠오르고 사라지도록 구성함으로써 윤회와 연기 사상을 전제로 하는 순환적 시간과 다수의 존재가 공존하는 상태를 표현하였다.



[그림-7] **munge~** 오브젝트를 이용한 granular synthesis 패치

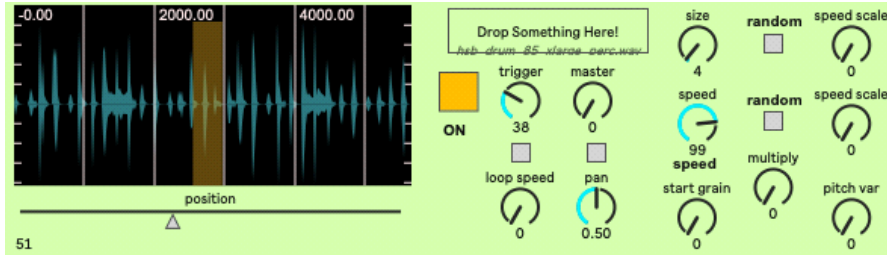
각 파라미터가 어떤 기능을 하는지는 아래 <표-2>에 정리하였다.

<표-2> **munger**~오브젝트 설명

grain separation	각 grain이 시간상으로 얼마나 떨어져 나오는지, 알갱이 사이의 간격을 조절한다.
grain rate variation	grain이 생성되는 속도의 흔들림 정도를 조절한다.
grain size	한 개의 grain 길이를 설정한다.
grain size variation	grain 길이가 얼마나 무작위로 변할지 정한다.
grain pitch factor	각 grain의 기본 피치(높이)를 정한다.
grain pitch variation	grain의 피치가 주변에서 얼마나 흔들릴지 정한다.
stereo spread	grain들이 스테레오 좌·우로 얼마나 넓게 퍼질지 정한다.

본 연구에서는 영상의 흐름에 따라 소리를 자유롭게 재구성할 수 있도록, Max를 기반으로 한 Max for Live용 granular synthesis 장치이다. [그림-8] 패치는 Ableton Live 트랙에서 불러와, 각 노브를 MIDI 컨트롤러¹⁰⁾에 맵핑한 뒤 실시간으로 제어할 수 있도록 설계하였다.

10) 노브, 패드, 슬라이더 등을 통해 소프트웨어의 여러 파라미터를 제어하는 하드웨어 장치.



[그림-8] granular synthesis를 위한 Max for Live 패치

[그림-8] 각 노브가 어떤 기능하는지는 아래 <표-3>에 정리하였다.

<표-3> granular synthesis를 위한 Max for Live 패치 설명

position / ON	파형에서 grain이 시작될 위치를 정한다.
trigger	grain을 얼마나 자주 발생시킬지 정하는 노브이다.
master	장치 전체의 출력 레벨을 조절한다.
loop speed	선택한 구간이 반복되는 속도를 정한다.
pan	grain의 스테레오 위치를 조절한다.
size	한 개의 grain이 얼마나 긴 시간 동안 재생될지를 정한다.
size random	grain 길이에 무작위성을 더해준다.
speed	grain이 원래 소스에 비해 얼마나 빠르거나 느리게 재생될지를 정한다.
speed scale / multiply	전체 재생 속도에 배율을 거는 파라미터이다.
pitch var	각 grain의 음높이를 무작위로 변환하는 기능이다
stereo spread	grain이 왼쪽·오른쪽 채널로 얼마나 넓게 퍼질지 정한다.

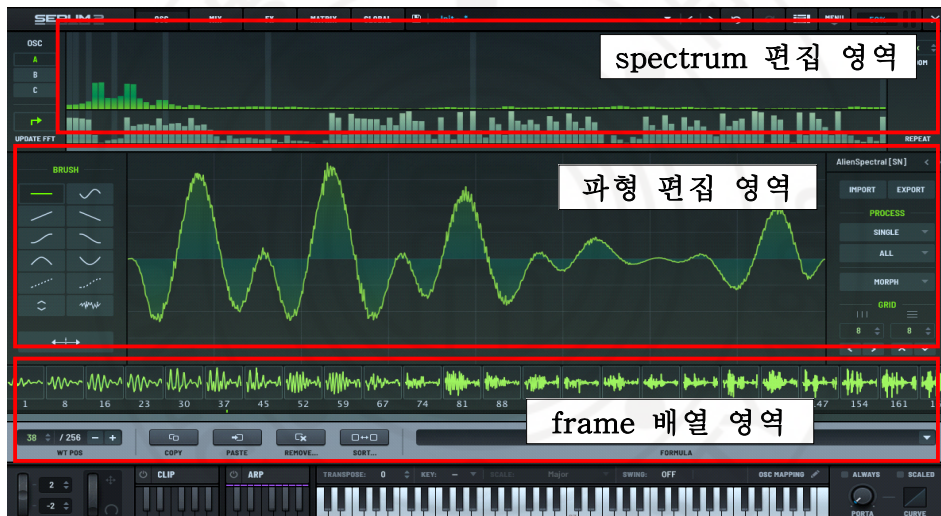
④ wavetable synthesis

wavetable synthesis는 단일 주기의 파형 여러 개를 테이블에 저장해 두고, 재생 중에 읽는 위치를 움직여 음색을 변화시키는 합성 방식이다. 본 연구에서는 소프트웨어 신디사이저 Serum 2를 사용하여, 기독교 장면에서는 안정된 프레임에 머물러 중심이 또렷한 음색을 유지하고, 불교 장면에서는 wavetable 위치를 서서히 이동·모듈레이션함으로써 여러 층의 음색이 순환하며 섞이는 흐름을 만들었다. 이를 통해 하나의 사운드 축 위에서 직선적 에너지와 순환적 움직임이 점진적으로 연결되도록 설계하였다.



[그림-9] wavetable synthesis를 위한 Serum 2 가상악기

[그림-10]은 Serum 2의 wavetable editor 화면이다. 상단의 스펙트럼 (spectrum)¹¹⁾ 편집 영역에서는 스펙트럼을 보면서 배음과 위상을 조정할 수 있다. 중앙의 파형 편집 영역에서는 마우스로 웨이브폼을 직접 그려 넣어 파형 모양을 수정한다. 하단의 프레임(frame)¹²⁾ 배열 영역에는 여러 개의 파형 프레임이 줄지어 배치되어 있어, 프레임마다 조금씩 다른 파형을 넣으면 시간에 따라 움직이는 wavetable을 만들 수 있다. 이 구조를 이용하면 화면을 보면서 동시에 소리를 들을 수 있어, 공연에 맞는 질감과 움직임을 빠르게 조정하기에 적합하다.



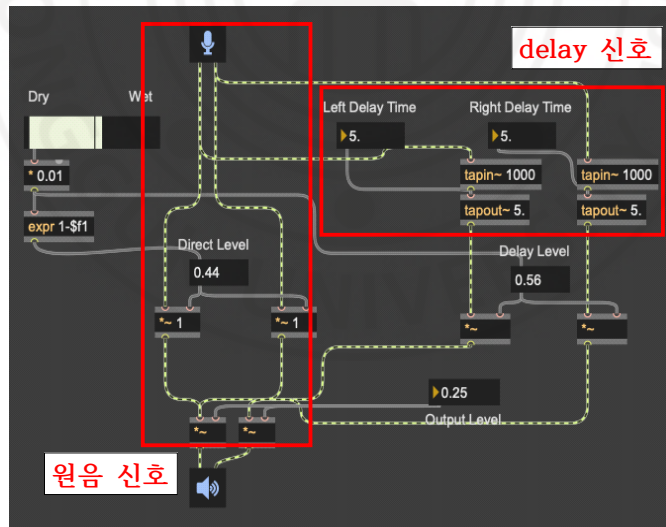
[그림-10] Serum 2의 wavetable editor 편집 화면

- 11) 소리를 주파수별로 나누어, 각 주파수의 세기를 보여주는 그래프.
- 12) wavetable 안에 저장된 단일 주기의 파형 하나를 가리키는 용어이다.

2) 실시간 연주를 위한 사운드 디자인

① delay

delay는 입력된 사운드를 일정 시간 뒤에 다시 재생하여 메아리와 같은 시간적 반복과 공간감을 만드는 방식이다. 본 작품에서는 기독교 장면에서 주요 타격음에 반복 횟수가 적고 점차 감쇠하는 delay를 사용하여, 한 번의 외침이 되돌아오지 않고 앞으로 나아가며 사라지는 시간감을 강조하였다. 불교 장면에서는 짧은 delay와 높은 feedback으로 짧은 음과 중소리가 여러 겹으로 포개져 계속 이어지는 순환적 울림을 구성하였으며, 이 두 설정이 공연 흐름 속에서 점진적으로 섞이도록 설계함으로써 서로 다른 시간 감이 하나의 실시간 음향 질감 안에서 화합하는 모습을 표현하였다. [그림-11]은 Max에서 구현한 delay 패치이다.



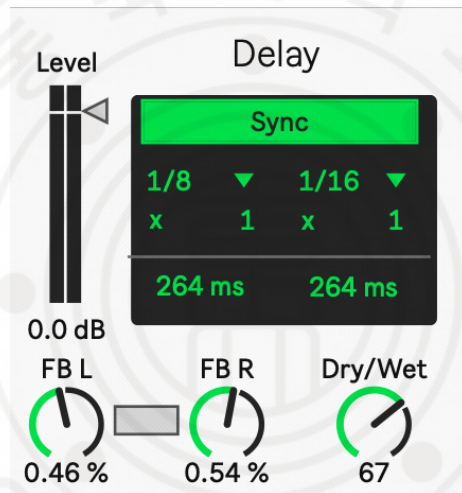
[그림-11] Max에서 구현한 delay 패치

tapin~오브젝트는 들어오는 오디오 신호를 일정 시간 동안 저장하는 버퍼 역할을 하고, **tapout~**오브젝트는 이 버퍼에서 사용자가 지정한 지연 시간만큼 지난 신호를 꺼내어 출력한다. 두 오브젝트를 함께 사용하면 입력된 소리가 일정 시간 뒤에 다시 들리는 delay 효과를 만들 수 있으며, **tapout~**에서 나온 신호의 음량을 줄여 다시 **tapin~**입력으로 보내면 점점 작아지면서 여러 번 반복되는 feedback 지연을 구현할 수 있다. **expr~**오브젝트는 입력된 값을 수식으로 처리하는 기능을 하며, 이를 이용해 원래 소리와 delay가 걸린 소리의 비율, 즉 dry/wet 비를 조절하도록 구성하였다. 각 오브젝트와 슬라이더의 구체적인 역할은 아래 <표-4>에 정리하였다.

<표-4> Max에서 구현한 delay 패치 설명

Dry/Wet 슬라이더	입력신호와 delay 소리가 섞이는 비율을 조절한다.
Direct Level	delay를 거치지 않은 원래 소리의 크기를 조절한다.
Left Delay Time Right Delay Time	좌·우 스테레오 채널의 지연 시간을 밀리초 (ms) 단위로 조절한다.
tapin~/tapout~	소리를 잠시 저장했다가, 설정된 지연 시간만큼 늦게 꺼내 주는 버퍼 역할을 한다.
Delay Level	지연된 소리의 볼륨을 조절하여 메아리가 얼마나 크게 들릴지 결정한다.
Output Level	Direct와 delay가 섞인 최종 신호의 전체 크기를 조절한다.

본 연구에서는 Ableton Live 안에서 바로 사용할 수 있는 Max for Live 기반 [그림-12] delay 효과를 제작하여 사용하였다. 이 장치는 왼쪽·오른쪽 채널의 delay 시간을 곡의 박자에 맞춰(1/8, 1/16 등) 쉽게 조절할 수 있고, 피드백과 dry/wet 비율을 한눈에 보면서 조절할 수 있도록 UI를 단순하게 구성하였다. 연구자는 공연 상황에서 마우스를 많이 쓰지 않고도 빠르게 값을 바꿀 수 있도록, 각 노브를 MIDI 컨트롤러에 맵핑하는 것을 전제로 이 장치를 설계하였다.



[그림-12] delay 효과를 위한 Max for Live 패치

[그림-12]의 각 조절부의 구체적인 기능은 아래 <표-5>에 정리하였다.

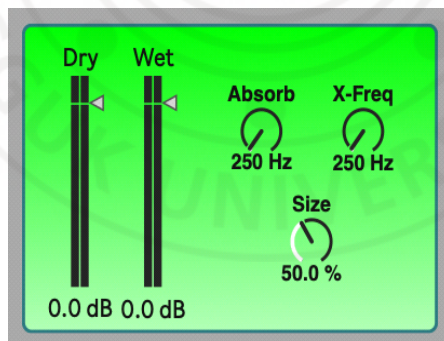
<표-5> delay 효과 제어를 위한 Max for Live 패치 설명

Level	이펙트 전체 출력 레벨을 조절한다.
Sync	delay 시간을 Ableton Live의 박자와 동기화할지 결정한다.
Left Time	왼쪽 채널의 delay 시간을 정한다. 위쪽 숫자는 박자 단위(예: 1/8), 아래는 그때의 실제 시간(ms)이다.
Right Time	오른쪽 채널의 delay 시간을 정한다. 왼쪽과 독립적으로 다른 리듬 값을 줄 수 있다.
FB L (Feedback Left)	왼쪽 채널 메아리가 얼마나 오래 반복될지 정한다. 값이 클수록 여러 번 울린다.
FB R (Feedback Right)	오른쪽 채널 메아리 반복 정도를 조절한다.
Dry/Wet	원래 소리(Dry)와 delay가 걸린 소리(Wet)가 섞이는 비율을 정한다.

② reverb(reverberation)

reverb는 소리가 공간 안에서 여러 번 반사되며 서서히 약해지는 시간을 모사하는 음향 처리 방식이다. 본 작품에서는 기독교 장면에서 비교적 긴 잔향과 명확한 초기 반사를 사용해 한 번의 발화가 예배당 안으로 멀리 퍼져 나가는 느낌을 강조하고, 불교 장면에서는 잔향 시간을 줄이고 고역 감쇠를 크게 하여 여러 목소리와 종소리가 점점 변지는 부드러운 울림을 구성하였다. 장면 전환 부에서는 이 두 설정의 매개변수를 연속적으로 보간하여, 서로 다른 종교적 공간이 하나의 공유된 음향 공간으로 겹치는 화합의 이미지를 실시간으로 표현하였다.

이러한 장면별 잔향을 제어하기 위해 Max for Live 기반의 reverb 장치를 제작하였다. [그림-13]은 Dry, Wet, Absorb, X-Freq, Size 등 잔향의 성격을 결정하는 주요 파라미터를 한 화면에서 조절할 수 있도록 구성한 사용자 인터페이스를 보여주며, 각 조절부의 구체적인 기능은 <표-6>에 정리하였다.

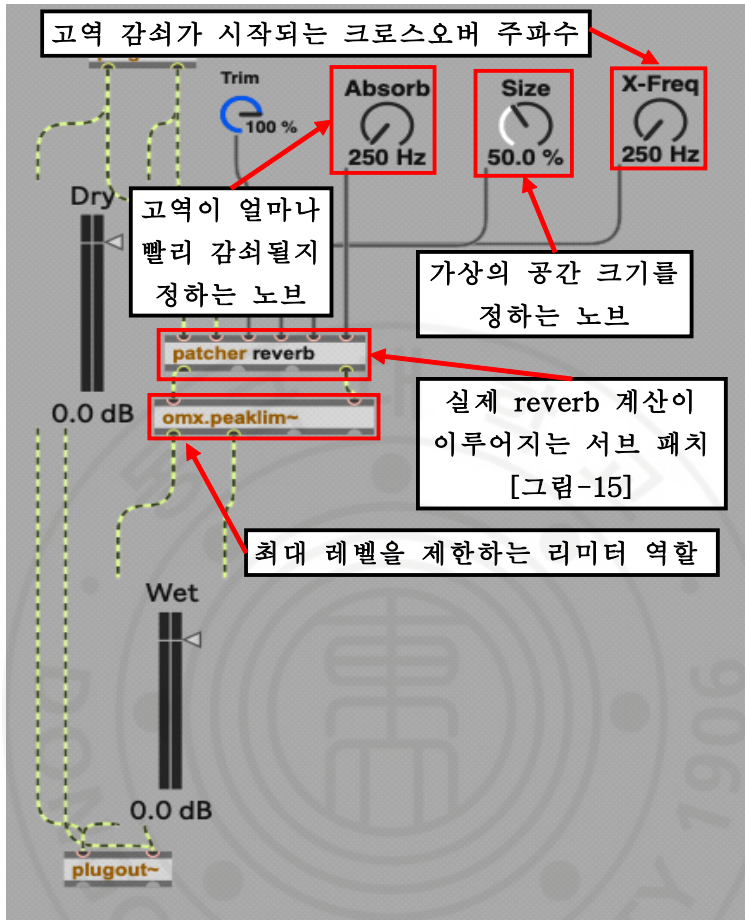


[그림-13] reverb 효과 Max for Live 패치

<표-6> reverb 효과 Max for Live 패치 설명

Dry	reverb를 거치지 않은 원래 소리의 크기를 조절한다.
Wet	reverb가 적용된 잔향 소리의 크기를 조절한다.
Absorb	벽이나 천장에 소리가 얼마나 흡수되는지에 해당하는 파라미터이다.
X-Freq	저역과 고역을 나누는 크로스오버 주파수이다.
Size	가상의 공간 크기를 조절하는 값이다.

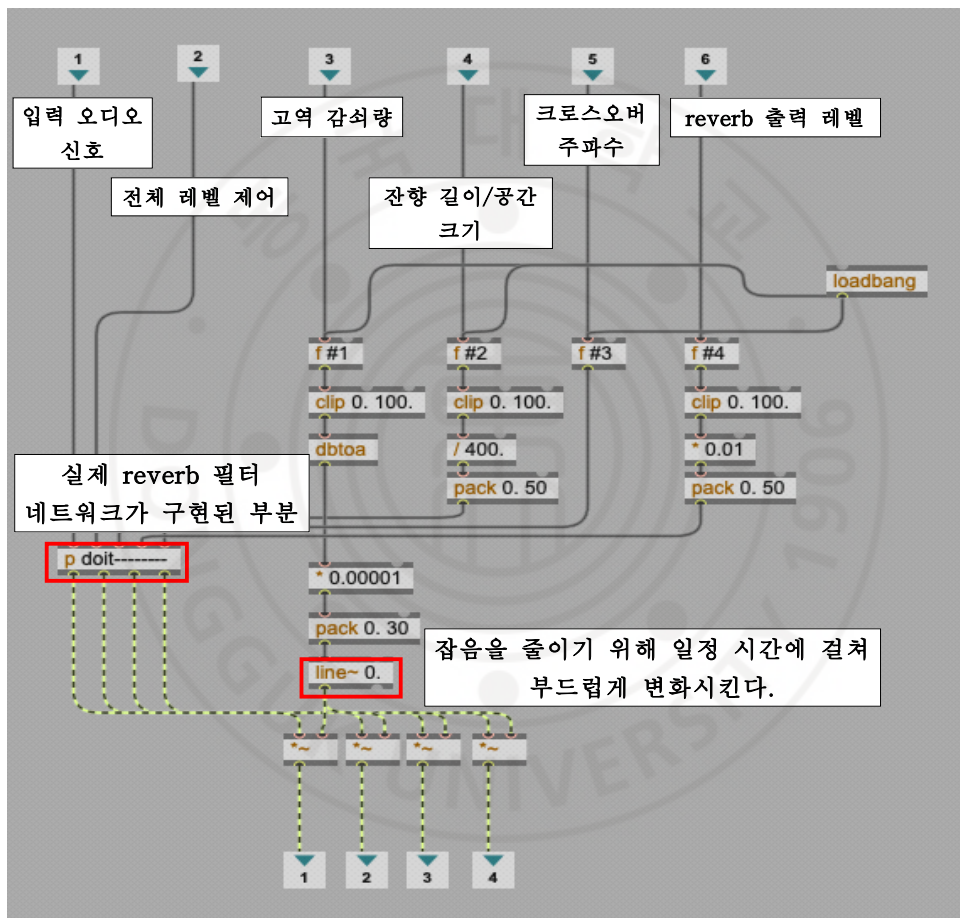
[그림-14]는 reverb를 구현한 Max for Live 패치의 전체 구조를 보여준다. 화면 왼쪽의 Dry와 Wet 페이더는 원음과 잔향음의 비율을 조절하고, Absorb 노브는 고역이 얼마나 빠르게 약해질지를, Size 노브는 가상의 공간 크기를, X-Freq 노브는 고역 감쇠가 시작되는 크로스오버 주파수를 결정한다. 중앙의 **patcher reverb**는 실제 reverb 계산이 이루어지는 서브 패치이며, 하단의 **omx.peaklim~** 오브젝트는 출력 신호의 최대 레벨을 제한하는 리미터 역할을 수행한다.



[그림-14] reverb 알고리즘을 구현한 Max for Live 내부 패치

[그림-14]의 patcher reverb 내부에는 여섯 개의 인렛(inlet)이 있으며, 첫 번째 인렛은 입력 오디오 신호를, 두 번째부터 여섯 번째 인렛은 Trim(전체 레벨), Absorb(고역 감쇠량), Size(잔향 길이 및 공간 크기), X-Freq(크로스오버 주파수), Wet 레벨(reverb 출력 레벨)과 같은 제어 값을 전달한다. 각 제어 값은 clip 오브젝트와 간단한 수학 연산을 통해 0 - 100 범위로 제한·스케일링 된 뒤, pack과 line~을 거치며 일정

시간에 걸쳐 부드럽게 변화하도록 처리된다. 이렇게 정제된 제어 신호는 **doit** 서브 패치로 전달되며, 안에서 여러 delay 라인과 feedback 구조로 구성된 실제 reverb 필터 네트워크가 동작한다.



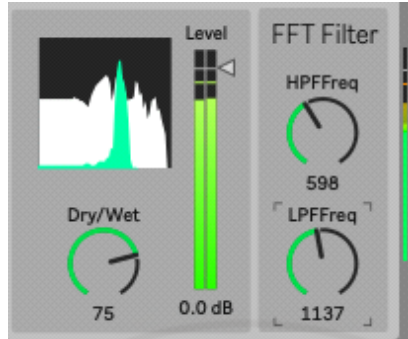
[그림-15] reverb 장치 내부의 patcher reverb 서브 패치

③ FFT Filter

Filter는 원하는 주파수만 통과시키고 나머지를 줄이는 장치를 뜻하며, FFT¹³⁾ Filter는 소리를 매우 짧은 시간 단위로 잘라 주파수 성분으로 분해한 뒤, 특정 대역을 정밀하게 줄이거나 강조할 수 있는 FFT 기반 필터이다. 본 연구에서는 Ableton Live용 Max for Live FFT Filter를 사용하여, 기독교 장면에서는 저역과 고역을 상대적으로 줄이고 중음역을 선명하게 띄워 하나의 중심에 모이는 듯한 집중적 스펙트럼을 만들고, 불교 장면에서는 고음역의 미세한 잔향음을 점차 열어 여러 작은 빛과 같은 반짝임이 넓게 퍼지는 이미지를 표현하였다. 장면 전환부에서는 로우패스·하이패스의 컷오프와 dry/wet 비를 서서히 조정하여, 좁게 묶였던 주파수 에너지가 점점 넓게 퍼졌다가 다시 하나의 덩어리로 합쳐지는 과정을 통해 두 종교의 상징이 하나의 주파수 공간 안에서 겹치고 화합하는 모습을 사운드 차원에서 구현하였다.

[그림-16]은 이러한 FFT Filter 효과를 제어하기 위해 제작한 Max for Live 패치의 사용자 인터페이스이다. Dry/Wet, HPFFreq, LPFFreq 노브와 레벨 미터를 한 화면에서 조절·모니터링할 수 있도록 구성하였다.

13) FFT(Fast Fourier Transform)는 이산 푸리에 변환을 효율적으로 계산하여, 시간 영역 신호를 주파수 영역으로 빠르게 변환하는 알고리즘이다.



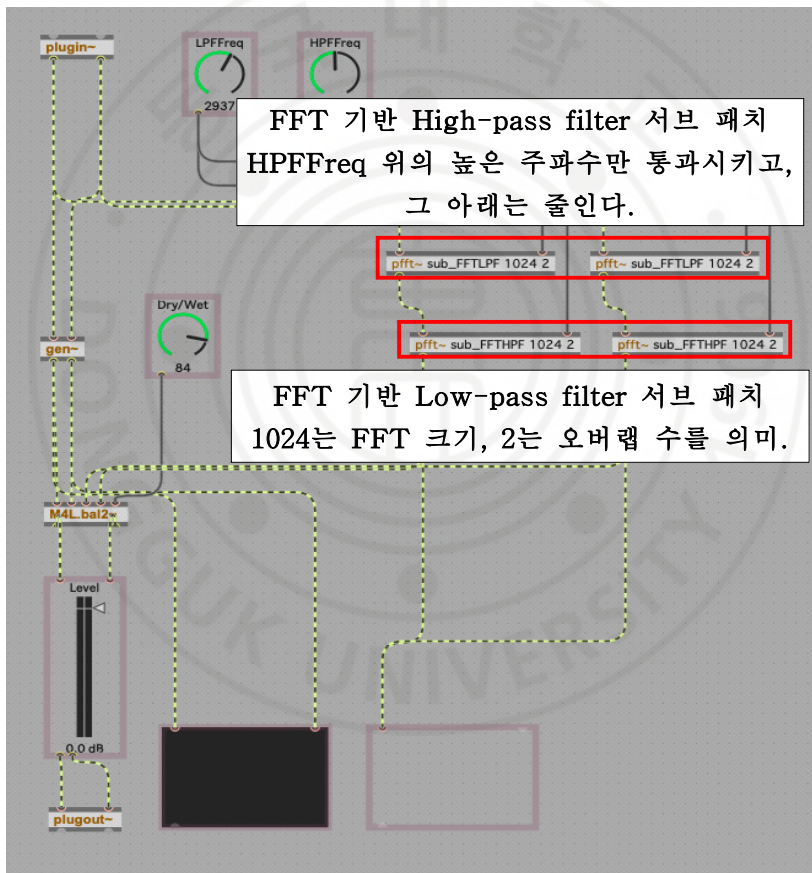
[그림-16] FFT Filter 효과를 제어하는 Max for Live 패치

[그림-17]의 FFT Filter Max for Live 패치에서 각 조절부의 구체적인 기능은 아래 <표-7>에 정리하였다.

<표-7> FFT Filter 효과를 제어하는 Max for Live 패치 설명

Dry/Wet	원래 소리(Dry)와 FFT 필터가 적용된 소리(Wet)의 비율을 조절한다.
HPFFreq	하이패스 필터의 컷오프 주파수를 설정한다. 이 값보다 낮은 주파수는 줄어들고, 높은 주파수만 통과한다.
LPFFreq	로우패스 필터의 컷오프 주파수를 설정한다. 이 값보다 높은 주파수는 줄어들고, 낮은 주파수만 통과한다.
Level Meter	필터 처리 후 최종 출력 레벨을 시각적으로 보여준다. 과도한 클리핑을 방지하기 위한 모니터용이다.

[그림-17]의 FFT Filter 패치는 **plugin~**으로 들어온 오디오 신호를 **ppfft~**기반의 high-pass와 low-pass 서브 패치로 보내 FFT 연산을 수행한 뒤, 필터링된 신호와 원음을 섞어(dry/wet) 다시 Ableton Live로 전달하는 내부 구조를 도식화한 것이다. 상단의 **HPFFreq**, **LPFFreq** 입력은 각각 high-pass와 low-pass 서브 패치에 연결되며, 각 **ppfft~**의 인자 1024 2는 FFT 크기와 오버랩(overlap)¹⁴⁾ 수를 의미한다.



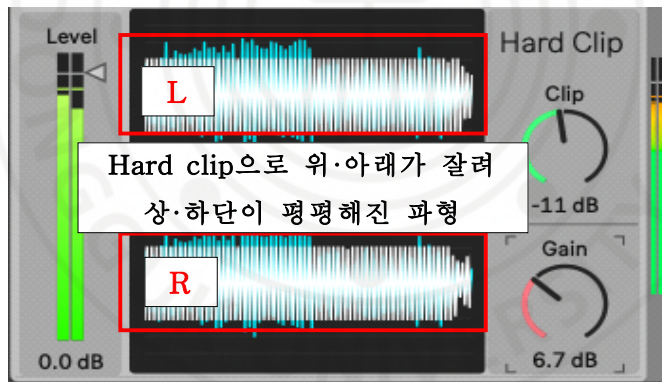
[그림-17] FFT Filter를 구현한 Max for Live 패치 구조

14) FFT 분석 구간들이 시간 축에서 서로 겹치는 비율을 뜻한다.

④ Hard Clip

Hard clip은 설정한 임계값을 넘는 파형의 위·아래를 잘라 강한 디스토션(distortion)¹⁵⁾과 공격적인 음색을 만드는 방식이다. 본 작품에서는 기독교 장면의 클라이맥스에서 Hard clip으로 충돌과 긴장감을 강조하고, 불교 장면으로 넘어가는 전환 부에서는 클리핑(clipping)¹⁶⁾ 양을 서서히 줄이면서 reverb와 delay를 섞어 거친 소리가 부드러운 공명으로 변해 가는 과정을 통해 두 종교의 상징이 하나의 음향 질감 안에서 화합하는 전이를 표현하였다.

[그림-18]은 Hard clip 디스토션을 만드는 Max for Live 패치로, clip 노브로 클리핑이 시작되는 기준 레벨을, gain 노브로 클리핑 후의 전체 출력 레벨을 조절한다.



[그림-18] Hard clip 디스토션을 구현한 Max for Live 패치

15) 입력신호를 비선형적으로 증폭·왜곡하여 원래 없던 고조파 성분을 만들어 내는 음향 처리 방식이다.

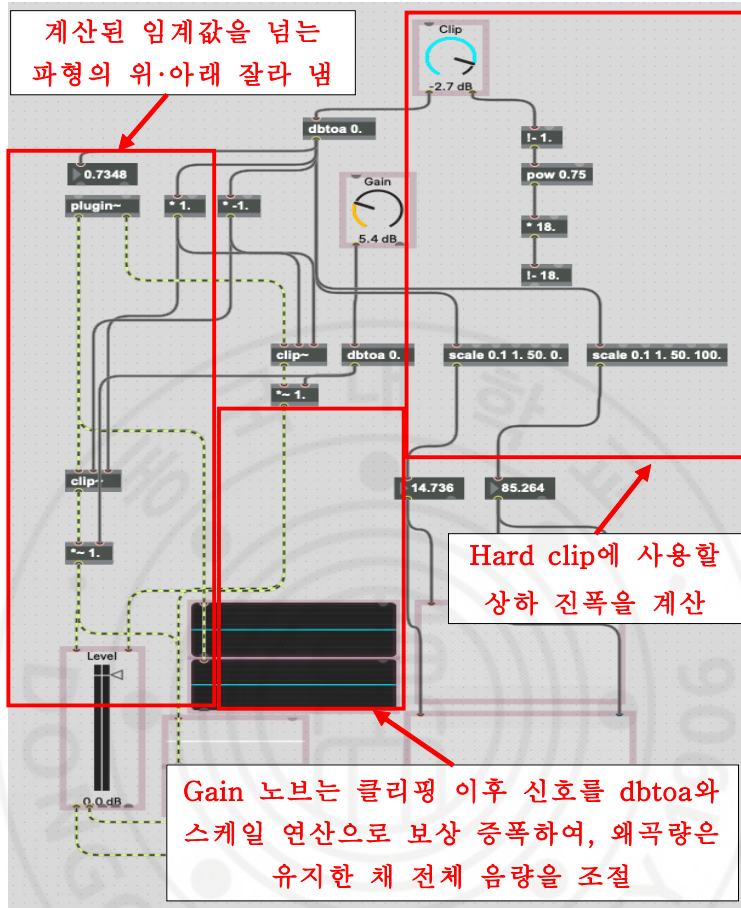
16) 신호가 장비의 허용 범위를 넘었을 때 파형의 꼭대기와 바닥이 잘려, 평평한 모양과 강한 왜곡이 생기는 현상을 말한다.

[그림-18] Max for Live 패치에 포함된 각 조절부의 구체적인 기능은 아래 <표-8>에 정리하였다.

<표-8> Hard clip 디스토션을 구현한 Max for Live 패치 설명

Level	전체 출력 레벨을 표시하는 미터이며 클리핑 여부를 시각적으로 확인할 수 있다.
Clip	Hard clip 임곗값을 dB 단위로 조절한다. 값이 낮을수록 더 많은 부분이 잘려 강한 왜곡이 발생한다.
Gain	클리핑 후의 신호를 다시 증폭하는 보상 Gain이며 왜곡의 양을 유지하면서 전체 볼륨을 맞출 때 사용한다.

[그림-19]의 Hard clip 패치는 Ableton Live에서 입력된 오디오를 **clip~** 오브젝트로 처리하여, 설정된 임곗값을 넘는 파형의 위·아래를 잘라 내는 내부 구조를 도식화한 것이다. 오른쪽 위 끝 영역에서는 Clip 노브의 값으로부터 Hard clip에 사용할 상하 진폭을 계산하고, 하단의 Gain 처리부에서는 클리핑 이후 신호를 **dbtoa**와 스케일 연산으로 보상 증폭하여 왜곡의 양은 유지한 채 전체 음량을 조절한다.



[그림-19] Hard clip 디스토션을 구현한 Max for Live 패치 구조

2. 영상 제작 연구

1) 영상 디자인

본 연구에서는 TouchDesigner¹⁷⁾를 중심으로 <화합 : Interbeing>의 영상 이미지를 설계하였다. 무대 전면에紗막 천을 설치하고, 여기에 TouchDesigner에서 생성한 파티클(particle)¹⁸⁾ 시스템과 포인트 클라우드(point cloud)¹⁹⁾를 프로젝션과 레이저로 함께 투사하여 관객이 빛의 움직임과 무용수의 실루엣을 동시에 볼 수 있도록 구성하였다. 기독교 장면에서는 십자가와 직선적인 빔 구조를 적은 수의 입자와 중심을 향해 수렴하는 패턴, 차가운 흰빛·청색 계열의 색채로 표현하여 하나의 중심으로 모이는 이미지를 강조하였고, 불교 장면에서는 노이즈 필드와 다층의 포인트 클라우드를 따뜻한 황금색·적색 계열의 다수 입자로 채워 인드라마를 연상시키는 순환적 공간감을 구현하였다. 이후 장면에서는 동일한 노드 흐름 안에서 십자가와 불상 실루엣을 입자와 선 윤곽 형태로 단순화하여 겹쳐 배치하고, 오디오에서 추출한 에너지·리듬 값과 LFO²⁰⁾, 수학 연산 노드를 연동해 입자의 위치·밀도·색조가 서서히 섞이도록 함으로써 두 상징과 색채가 하나의 입자 공간 안에서 화합하는 과정을 시각화하였다. 일부 배경 영상은 AfterEffects²¹⁾에서 사전

17) Derivative에서 개발한 노드 기반 실시간 비주얼 애플리케이션이다.

18) 화면 위를 이동하며 모여서 연기·먼지·빛 등의 효과를 만드는 작은 점 단위 그래픽 요소이다.

19) 3D 공간에서 점들의 좌표(x, y, z)로 이루어진 점 묶음 데이터로, 대상의 형태를 점들의 분포로 표현한 것이다.

20) 가청 대역보다 낮은 주파수로 진동하는 신호를 생성하여 다른 파라미터를 주기적으로 변화시키는 모듈레이션 소스를 말한다.

21) Adobe에서 개발한 영상 합성과 모션 그래픽 제작에 널리 사용되는 디지털 영상 편집 소프트웨어이다.

제작한 클립을 TouchDesigner 렌더 체인에 합성하여 사용함으로써, 테이프음악과 실시간 연주에서 형성된 시간 구조가 기독교와 불교의 시
청각 이미지를 동시에 관통하는 통합된 흐름으로 인지되도록 하였다.



2) TouchDesigner를 이용한 영상 제작

① 영상 설계

본 연구에서는 TouchDesigner의 파티클 시스템과 포인트 클라우드 기법을 이용하여 빛이 모이고 흩어지는 여러 장면을 설계하였다. 이 기술적 구성을 요약하면 아래 <표-9>와 같다.

<표-9> 파티클·포인트 클라우드를 이용한 빛의 장면 유형

장면 유형	사용한 기술 요소	표현 내용
중심 폭발 장면	파티클 시스템, 노이즈 필드, LFO	중심점에서 사방으로 확산하는 입자 폭발 이미지
원·다면체 내부 장면	포인트 클라우드, 격자 구조, 회전 변환	틀 안에서 회전하며 흔재하는 신념의 상징 이미지
실루엣 장면	포인트 클라우드, 마스크, 깊이 값	불상과 십자가 실루엣이 점 구름으로 나타났다 사라지는 빛의 몸 이미지
흐르는 입자 레이어	파티클 시스템, 피드백, 노이즈	바람·물결처럼 흐르며 공연 분위기를 형성하는 배경 입자층

각 장면에서 입자의 위치, 밀도, 꼬리 길이, 회전 속도 등의 세부 파라미터는 오디오에서 추출한 에너지값과 리듬 값, 그리고 LFO와 수학 연산(Math, Noise, Pattern 등)으로 생성한 제어 신호에 맵핑하였다. 이를 통해 음악의 에너지가 강해질수록 입자의 움직임과 밝기도 함께 증폭되도록 설계하였다.

② 영상 기반 제작

TouchDesigner에서 **Noise TOP**과 **Displace TOP**은 본 연구에서 빛의 안개와 입자 질감을 생성하는 핵심 오퍼레이터이다. **Noise TOP**은 2차원 영상 데이터를 생성하여 각 픽셀의 밝기와 색을 무작위 패턴으로 채우고, **Displace TOP**은 다른 영상의 밝기 값을 이용해 픽셀의 위치를 변위시키며 화면을 왜곡한다. 여러 개의 **Noise TOP**을 합성한 뒤 **Displace TOP**으로 좌표를 변위시키면, 화면에 분포한 입자들이 부드럽게 흘러가고 뒤섞이는 빛의 안개 효과를 얻을 수 있다. [그림-20]은 **Noise TOP**과 **Displace TOP**을 체인으로 연결해 빛의 안개 질감을 생성하는 전체 패치 구성을 보여준다.



[그림-20] **Noise·Displace TOP**을 이용한 빛의 질감 생성 패치

빛의 안개가 단순히 정지해 보이지 않도록, Noise·Feedback 계열 **TOP**의 여러 파라미터는 **CHOP** 네트워크²²⁾로 제어하였다. **LFO CHOP**,

22) CHOP(Channel Operator)은 TouchDesigner에서 시간에 따라 변화하는 수치 데이터를 처리하는 연산자로, LFO, 오디오 분석, 필터링 등의 기능을

Noise CHOP, **Math CHOP**을 이용해 완만하게 흔들리는 곡선과 불규칙한 진동을 생성하고, 이를 **Noise TOP**과 **Feedback TOP**의 Translate, Offset, Opacity 등의 파라미터에 연결하였다. 또한 Kick·Snare·Bass 에너지를 분석한 오디오 **CHOP** 신호를 함께 더해, 음악의 에너지가 강해질수록 안개의 밝기가 증가하고, 리듬이 강조될 때 입자의 흔들림과 잔상이 커지도록 설계하였다. [그림-21]은 오디오 CHOP 신호로 빛의 안개 TOP 파라미터를 제어하는 패치 구조를 나타낸다.




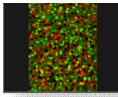
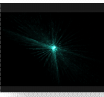

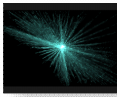
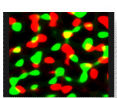

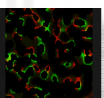
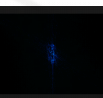
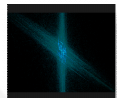
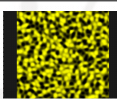
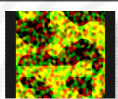

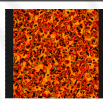
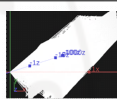


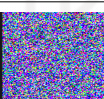
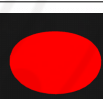
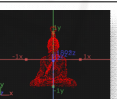
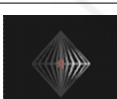
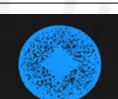
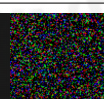
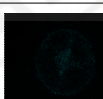
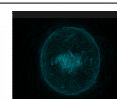
[그림-21] 오디오 **CHOP** 신호를 이용한 빛의 안개 제어 패치

통해 TOP/SOP 파라미터를 실시간으로 제어하는 데 사용된다.

③ 영상 작업 과정

본 작품의 영상 부분은 TouchDesigner 환경에서 제작한 파티클 및 포인트 클라우드 기반 패턴 다섯 가지로 구성된다. 영상 패턴별 제작 단계는 <표-10>에 정리하였다. 첫 번째 패턴에서는 **Sphere SOP**와 **Superquad SOP**에 **Noise TOP**과 **Feedback TOP**을 적용하여, 차가운 흰빛과 청색 계열의 별이 중심에서 바깥을 향해 폭발하듯 퍼져 나가는 이미지를 만들었는데, 이는 기독교 장면에서 하나의 축을 따라 직선적으로 뻗어 나가는 빛을 시각화한 것이다. 두 번째 패턴은 2차원 노이즈 텍스처에 **Displace TOP**과 **Feedback TOP**을 겹쳐 사용하여, 직선적 범이 서서히 풀리며 안개처럼 번지는 과정을 표현함으로써 두 종교 장면 사이를 잇는 과도기적 공간으로 활용하였다. 세 번째 패턴에서는 3D 스캔으로 얻은 부처의 포인트 클라우드를 레이저 와이어 프레임 원과 합성하고, 따뜻한 황금색과 주황색 입자를 촘촘하게 배치하여, 순환하는 빛과 인드라마를 연상시키는 불교적 이미지를 강조하였다. 네 번째와 다섯 번째 패턴은 원 형태의 입자장을 기반으로 **Noise·Transform·Feedback TOP**을 중첩하여 회전하고 소용돌이치는 흐름을 만들고, **Bloom TOP**과 **Level TOP**으로 색조를 조절하여 기독교 장면의 차가운 빛과 불교 장면의 따뜻한 빛이 중간색대로 섞여 보이도록 설계하였다. 이후 장에서 제시할 오디오 **CHOP** 신호와의 연동을 통해 이러한 패턴들은 사운드의 에너지와 함께 밝기·밀도·색채가 함께 변화하면서, 두 종교의 빛 이미지가 하나의 입자 공간 안에서 화합하는 시각·청각적 인터랙션을 형성한다.

<표-10> 영상 패턴별 제작 과정

영상	제작 과정				
패턴-1	 Mesh SOP	 Noise TOP	 Feedback TOP	 Bloom TOP	 Level TOP
패턴-2	 Noise TOP	 Ramp TOP	 Remap TOP	 Feedback TOP	 Bloom TOP
패턴-3	 Noise TOP	 Reorder TOP	 Displace TOP	 Remap TOP	 CHOP to TOP
패턴-4	 Pointfilein1	 Noise TOP	 Feedback TOP	 Constant1	 Geo1
패턴-5	 Superquad1	 Sprinkle	 Noise TOP	 Feedback TOP	 Level TOP

3. 레이저 장비 및 제어·그래픽 기술 연구

1) 레이저 장비 구성과 특성

본 연구의 공연에서는 ALIEN 2W RGB ILDA²³⁾ 레이저 프로젝터를 주요 광원으로 사용하였다. 이 장비는 638 nm 500 mW(적색), 520 nm 500 mW(녹색), 450 nm 1,000 mW(청색) 다이오드를 조합한 최대 2 W 출력의 풀 컬러 레이저로, AC 110 - 240 V, 50/60 Hz 전원과 Class 3B 등급을 가진다. 전면에는 갈바노 스캐너(galvo scanner)²⁴⁾와 출력 창이, 후면에는 EtherDream 4와 연결되는 ILDA 입·출력 단자(DB-25), DMX²⁵⁾ 3핀 XLR, 동작 모드와 출력 레벨을 설정하는 LCD 디스플레이와 메뉴 버튼이 배치되어 있다.



[그림-22] ALIEN 2W RGB ILDA 레이저 프로젝터

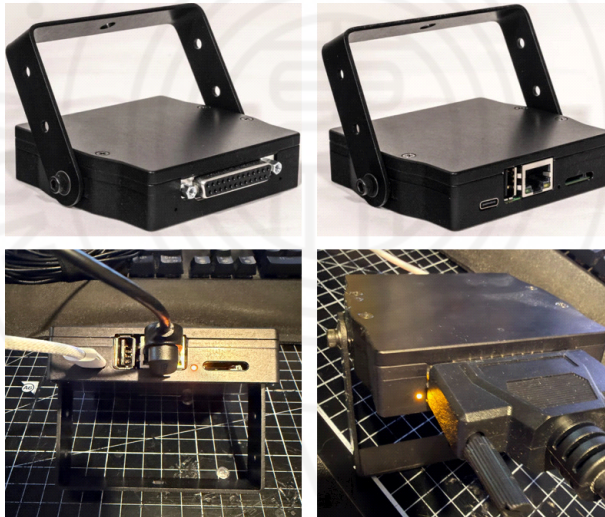
23) 국제 레이저 디스플레이 협회(International Laser Display Association)가 제정한 표준 레이저 제어 규격으로, DB-25 커넥터를 통해 X/Y 스캐너 위치와 RGB 밝기 신호를 아날로그 전압으로 전달하는 방식이다.

24) 작은 거울을 매우 빠르게 좌우·상하로 움직여 레이저 빔의 위치를 바꾸고 그림을 그리게 만드는 스캐닝 장치이다.

25) 무대 조명에서 널리 쓰이는 디지털 제어 규격(DX 512)으로, 하나의 케이블로 여러 채널의 조명을 동시에 제어할 수 있게 해 주는 인터페이스이다.

2) EtherDream 4 기반 레이저 제어 구조

본 연구에서는 PC에서 생성한 레이저 그래픽을 공연용 프로젝터를 안정적으로 출력하기 위해 EtherDream 4 레이저 DAC²⁶⁾를 사용하였다. EtherDream 4는 이더넷으로 전송된 벡터 프레임(vector frame)²⁷⁾을 수신하여, 이를 ILDA 표준 아날로그 신호(X/Y 스캐너 좌표와 RGB 밝기 등)로 변환해 주는 인터페이스 장치이다. 연구에 사용한 모델은 메탈 브라켓 일체형 제품으로, Ethernet 포트와 USB-C 전원, MicroSD 슬롯, ILDA(DB-25) 단자를 통해 네트워크 연결과 프로젝터 출력을 지원한다. [그림-23]은 EtherDream 4 레이저 DAC의 외형을 보여준다.



[그림-23] EtherDream 4 DAC 외형

26) 디지털 데이터를 전압값으로 바꾸어, 레이저나 오디오 장비를 직접 제어할 수 있게 해 주는 변환 장치.

27) 레이저 스캐너가 차례대로 그려 나가는 점 좌표들을 한 번에 묶어 표현한 한 장의 레이저 그림 데이터.

공연에서의 레이저 제어 신호 흐름은 [그림-24]와 같다. 공연용 PC에서 Ableton Live, Max/MSP, TouchDesigner로 사운드 분석과 레이저 그래픽을 생성하고, 해당 데이터는 CAT 8 이더넷 케이블²⁸⁾을 통해 EtherDream 4로 스트리밍된다. EtherDream 4는 수신된 프레임을 실시간으로 ILDA 신호로 변환한 뒤, ILDA DB-25 케이블을 통해 ALIEN 2W RGB 레이저 프로젝터의 ILDA 입력 단자로 전달한다.



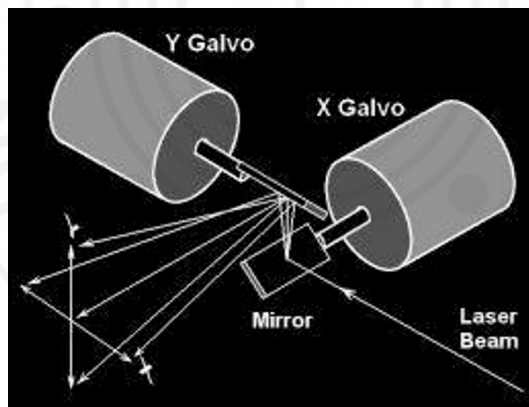
[그림-24] EtherDream 4 기반 레이저 제어 구조

28) 최대 수 Gbps급 고속 통신을 지원하는 LAN 케이블 규격으로, 레이저 프레임 데이터를 지연 없이 전송하기 위해 사용하였다.

3) TouchDesigner 기반 레이저 그래픽 패턴 설계

① 레이저 포인트 생성 구조

일반 영상 프로젝터가 많은 픽셀을 동시에 켜고 끄면서 화면을 만드는 것과 달리, 레이저 프로젝터는 하나의 빛 점이 매우 빠르게 움직이며 선을 그린다. [그림-25] 레이저 스캐닝 개념도에서 보이듯이, 레이저 빔은 먼저 X 갈바노의 거울에서 좌우로, 이어서 Y 갈바노의 거울에서 상하로 꺾이면서 화면 위 여러 지점을 순서대로 지나간다. 이 두 갈바노의 회전 각도를 초당 수만 번씩 바꾸면 빛 점의 궤적이 연속된 선과 도형처럼 보이게 되어, 레이저로 그림을 그리는 것이 가능해진다.



[그림-25] 레이저 스캐닝 개념도

② TouchDesigner에서 레이저 네트워크 구조

[그림-26]은 TouchDesigner에서 EtherDream 4로 레이저를 제어하는 전체 네트워크를 보여준다. 화면 왼쪽의 **grid·line·circle TOP**에서 레이저가 그릴 기본 도형을 만들고, **transform TOP**으로 크기와 위치를 조정한다. 이 영상은 그대로는 레이저가 이해할 수 없으므로, 중앙의 **chopto·topto** 노드를 통해 도형의 윤곽을 따라 점 좌표와 색값으로 변환한다.

오른쪽의 **laser 1**(Scale 영역)과 **laserdevice CHOP**(Network 영역)은 이렇게 얻은 점 목록을 실제 레이저 장비에 맞게 보정하고 EtherDream 4로 전송하는 역할을 한다. **laser1**에서 좌표 스케일과 회전 값을 공연장 설치 방향에 맞게 조정하고, **laserdevice**는 EtherDream 4의 IP·포트를 이용해 ILDA 프레임을 실시간으로 스트리밍한다. 맨 위의 **etherdream DAT²⁹⁾**(IP 영역)은 네트워크에서 EtherDream 4를 자동으로 검색해 주소를 갱신해 주므로, 사용자는 별도의 설정 없이 항상 올바른 장치에 레이저 신호를 보낼 수 있다.



[그림-26] TouchDesigner 레이저 제어 네트워크

29) Data OP의 약자로, 텍스트·표 형태의 비시각 데이터를 처리하고 스크립트를 실행하는 오퍼레이터 유형이다.

③ TouchDesigner에서 레이저 패턴별 제작 과정

본 작품의 레이저 그래픽은 TouchDesigner에서 제작한 여섯 가지 패턴으로 구성되며, 기본적인 제작 단계는 <표-11>에 정리하였다. 개별 노드의 연결보다는, 기독교와 불교의 빛 이미지를 어떻게 레이저 벡터 프레임(vector frame)³⁰⁾으로 옮겼는지가 중요하다.

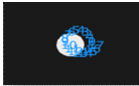

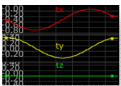

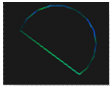
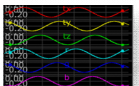
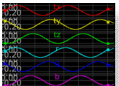
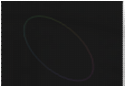

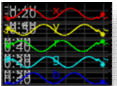

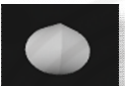
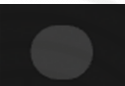
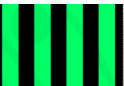
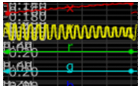




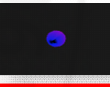
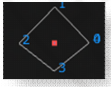



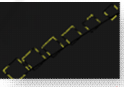

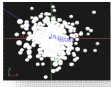
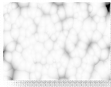
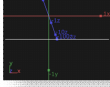
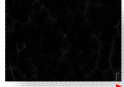
먼저 기독교 장면에서는 십자가와 직선적 시간 개념을 반영하기 위해, 원·직선 궤적을 기반으로 한 단순한 패턴과 낮은 채도의 차가운 색을 사용하였다. 사운드가 강해질수록 레이저 선의 길이와 굵기가 한 방향으로 뻗어 나가도록 설계하여, 교회 제단을 향해 집중되는 시선과 하나의 축을 따라 전진하는 움직임을 강조하였다.

불교 장면에서는 다수의 점과 원형 궤적이 겹치는 패턴을 중심으로, 따뜻한 금색 계열과 회전·소용돌이 움직임을 사용하였다. 레이저 포인트가 서로 교차하고 되돌아오는 구조를 통해, 버터램프와 인드라마를 연상시키는 순환성과 관계성을 표현하였다.

후반부 패턴에서는 이 두 계열의 레이저가 같은 갈바노 스캐너 궤적 안에서 섞이도록 구성하였다. 직선으로 뻗던 십자가 빛이 점차 원형 궤적으로 휘어들어 가거나, 원형 입자 흐름 속에 직선 레이저가 스며들며 색이 중간 톤으로 수렴하도록 함으로써, 서로 다른 종교 이미지가 한 시스템 안에서 공존·화합하는 과정을 레이저 그래픽 차원에서 시각화하였다.

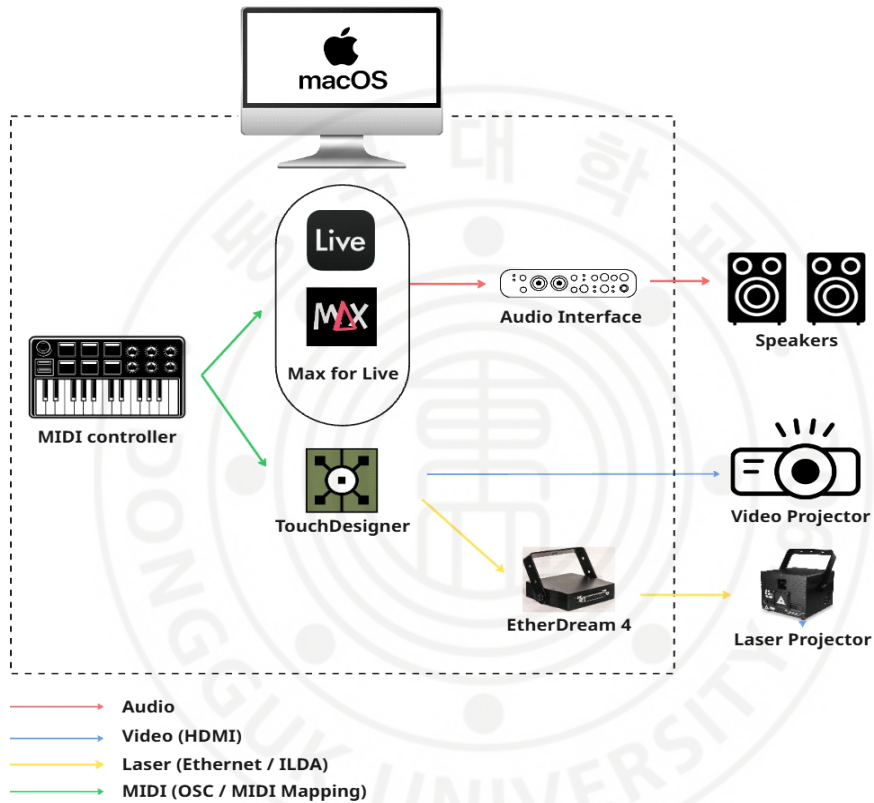
30) 공간에서 기준이 되는 여러 개의 방향 벡터로 이루어진 좌표 틀을 말한다.

<표-11> 레이저 패턴별 제작 과정

영상	제작 과정				
패턴-1					
	Circle SOP	PathCreator Base COMP	Sop to CHOP	Limit SOP	Laser CHOP
패턴-2					
	Pattern CHOP	Trim CHOP	Remap TOP	Transform CHOP	Laser CHOP
패턴-3					
	Superquad TOP	Copy TOP	Transform TOP	Ramp TOP	Laser CHOP
패턴-4					
	Sphere SOP	Noise SOP	Switch SOP	Wireframe SOP	Laser CHOP
패턴-5					
	Circle SOP	Point SOP	Copy SOP	Ramp TOP	Laser CHOP
패턴-6					
	Sphere SOP	Geo1 COMP	Render TOP	Transform TOP	Edge TOP

4. 공연 시스템 통합과 운영

1) 공연 시스템 구조



[그림-27] 공연 시스템 구조도

본 작품의 공연 시스템은 하나의 공연용 컴퓨터를 중심으로 사운드·영상·레이저가 동시에 연동되도록 설계하였다. [그림-27]은 전체 신호 흐름을 단순화한 구조도이다. 공연용 컴퓨터(macOS)에서는 Ableton Live, Max/MSP, TouchDesigner가 함께 구동되며, Ableton Live는 배경 음악과 효과음을 재생하고 Max/MSP는 오디오 신호를 분석해 킱·

스네어·베이스·고역 대역의 에너지 값을 추출한다. 이 분석값은 OSC³¹⁾ 메시지로 TouchDesigner에 전달되어 영상과 레이저 패턴의 움직임을 제어한다.

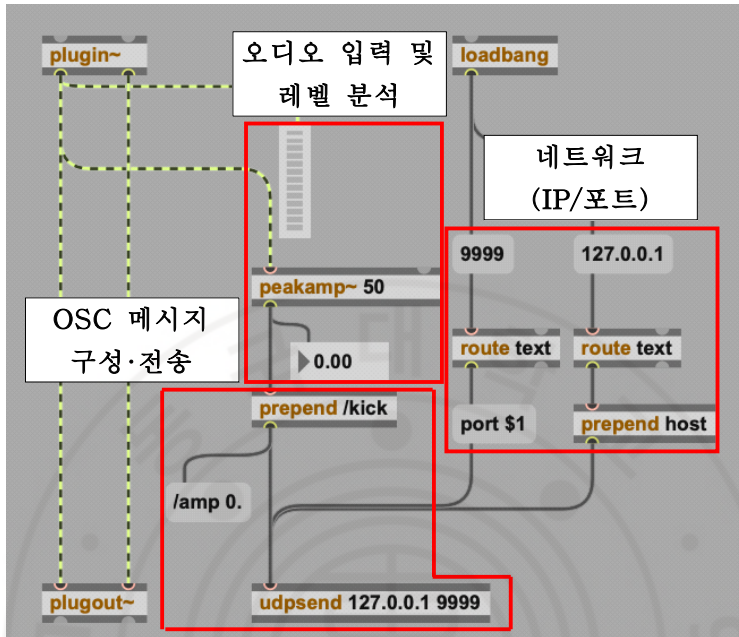
사운드는 오디오 인터페이스를 거쳐 메인 스피커로 출력되고, TouchDesigner에서 생성된 영상 신호는 HDMI를 통해 영상 프로젝터로 전송된다. 레이저 데이터는 같은 패치에서 EtherDream 4로 CAT 8 이더넷 케이블을 통해 보내진 뒤, ILDA(DB-25) 케이블을 통해 ALIEN 2W RGB 레이저 프로젝터에 전달된다. 공연자는 MIDI 컨트롤러 하나로 Ableton Live와 Max/MSP의 파라미터와 TouchDesigner에 맵핑된 일부 효과를 동시에 조절하여, 사운드와 시각 요소를 실시간으로 퍼포먼스 한다.

2) OSC 네트워크 구조

본 작품에서는 사운드·영상·레이저가 동일한 리듬 정보에 반응하도록 Ableton Live - Max for Live - TouchDesigner 간에 OSC 기반 네트워크를 구성하였다. [그림-28]의 Max for Live 패치는 **plugin~**으로 입력된 오디오 신호의 레벨을 **peakamp~**로 측정한 뒤, 그 값을 **prepend /kick**과 같이 주소를 붙인 OSC 메시지로 변환하여 **udpsend 127.0.0.1 9999** 객체를 통해 로컬 호스트³²⁾로 전송한다. 그림에는 킥 채널만 예시로 제시되어 있으나, 실제 공연에서는 여러 대역의 에너지 값을 동일한 방식으로 전송하였다.

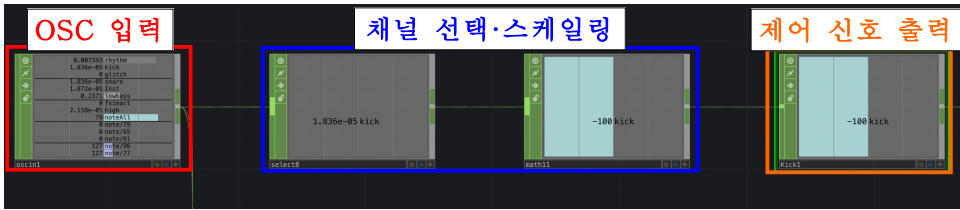
31) OSC(Open Sound Control)은 네트워크를 통해 실시간으로 제어 데이터를 주고받는 메시지 프로토콜.

32) 동일한 컴퓨터 내부를 가리키는 루프백(Loopback) IP 주소



[그림-28] Max for Live 기반 OSC 전송 패치

[그림-29]의 TouchDesigner 패치에서는 **OSC In CHOP**의 전송된 OSC 데이터를 수신하고, **select CHOP**으로 **/kick** 등 필요한 채널만 분리한다. 이어서 **math CHOP**과 **Kick CHOP**에서 스케일과 오프셋을 조정해 0-1 범위의 제어 신호로 정규화한 뒤, 레이저 밝기와 크기, 영상 패턴의 전환 등에 맵핑하였다. 이와 같은 OSC 구조를 통해, 오디오의 강약 변화가 레이저와 영상의 움직임에 직접 연결되도록 시스템을 설계하였다.



[그림-29] TouchDesigner에서 수신된 OSC 신호 처리 구조

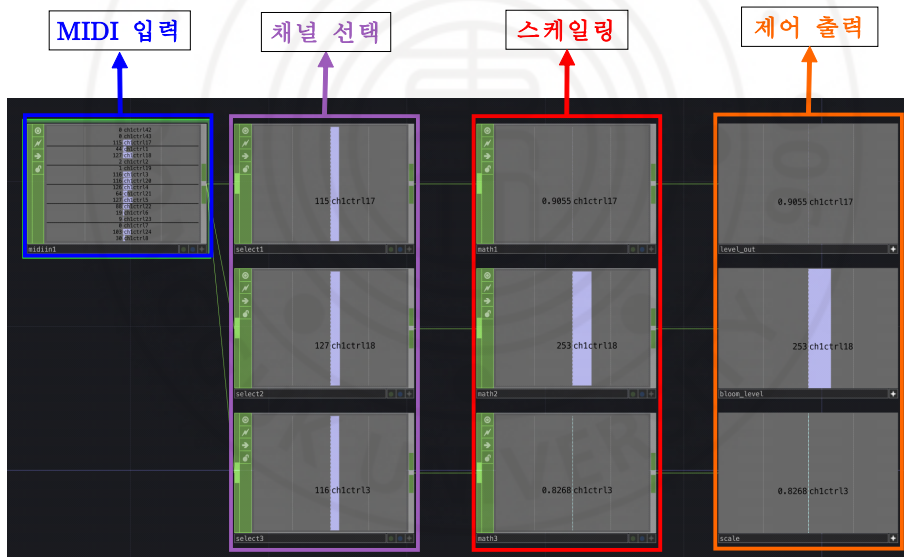
3) MIDI 맵핑을 이용한 사운드·영상·레이저 연동

본 작품에서는 사운드·영상·레이저 간의 연동 방식은 주로 두 가지로 나뉜다. 첫 번째 방식으로 MIDI 컨트롤러를 이용하여 사운드·영상·레이저의 강도와 분위기를 동시에 제어하였다. 공연에서는 AKAI APC 40 mk2를 사용하였으며, 각 페이더와 노브를 특정 효과에 맵핑하여 사용했다. [그림-30]은 공연에서 사용한 MIDI 컨트롤러와 주요 맵핑 구조를 보여준다.



[그림-30] 공연에서 사용한 AKAI APC 40 mk2의 MIDI 맵핑

TouchDesigner에서는 [그림-31]과 같이 MIDI 신호를 처리하였다. 먼저 **midin1 CHOP**에서 APC 40 mk2에서 들어오는 모든 MIDI CC³³⁾ 값을 수신한다. 이어서 **select1 - 3 CHOP**에서 필요한 컨트롤 번호만 분리하여 각각의 채널로 추출하고, **math1 - 3 CHOP**에서 0 - 127 범위의 MIDI 값을 0 - 1 또는 0 - 255와 같이 시각 효과에 맞는 범위로 스케일링한다. 마지막으로 이렇게 정리된 채널은 **level_out**, **bloom³⁴⁾_level**, **scale CHOP**으로 이름을 붙여 내보내어 레이저 밝기, 영상 블룸 효과, 패턴의 크기 등에 연결하였다. 이 구조를 통해 하나의 MIDI 컨트롤 동작이 사운드·영상·레이저 표현을 동시에 변화시키도록 설계하였다.



[그림-31] TouchDesigner에서의 MIDI 제어 신호 처리 패치

33) MIDI CC(Control Change)는 0 - 127 범위의 숫자로 노브·페이더 등의 움직임을 전달하는 MIDI 메시지 유형으로, 악기·이펙트의 파라미터를 원격으로 제어할 때 사용된다.

34) 밝은 영역 주변에 번짐을 추가해 빛이 퍼져 보이도록 만드는 후처리 영상 효과이다.

III. 연구 기술의 작품 적용

본 연구에서 설계한 사운드·영상·레이저 인터랙션 시스템은 멀티미디어 퍼포먼스 작품 <화합 : Interbeing>에 적용되었다. 이 작품은 2025년 11월 8일 동국대학교 이해랑 예술극장에서 열린 한국 멀티미디어 음악학회(SIMM)의 「Resonant Rendez-vous : SEEING SOUND LISTENING IMAGE」 공연에서 초연되었다.

1. 작품 소개



[그림-32] 작품 <화합 : Interbeing>의 공연 이미지

작품 <화합 : Interbeing>은 기독교와 불교에서 나온 서로 다른 빛의 상징을 하나의 무대 안에 배치하고, 이를 사운드·레이저·영상·무용의

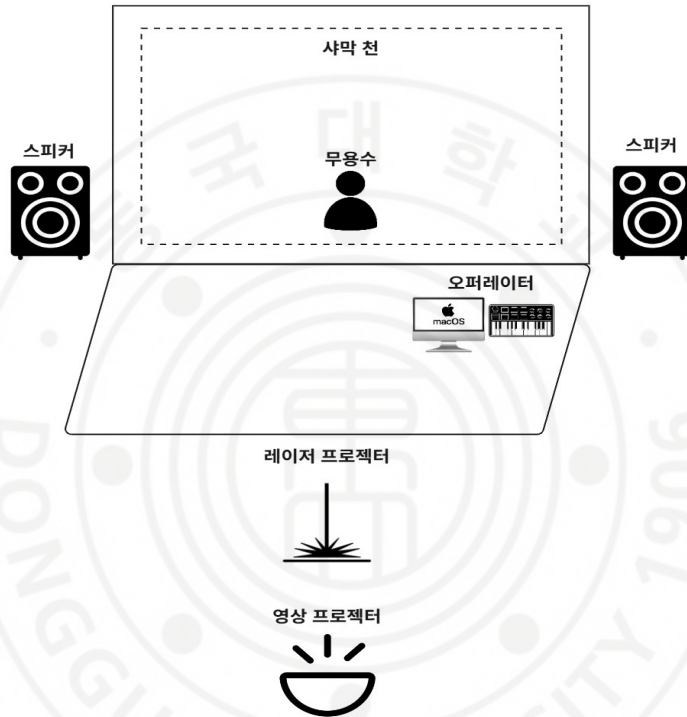
실시간 연동을 통해 하나의 장면으로 체험하게 만드는 멀티미디어 퍼포먼스이다. 무대 전면에는 반투명紗막 천을 설치하여, 그 뒤에서 투사되는 레이저와 영상, 그리고 무용수의 실루엣이 겹쳐 보이도록 구성하였다. 관객은 객석에서 이 세 요소를 동시에 바라보며, 지금 들리는 사운드가 눈앞의 빛과 몸의 움직임을 직접 움직이고 있다는 인상을 받도록 설계하였다.

기독교를 상징하는 장면에서는 십자가 형태의 레이저 선과 중심에서 바깥으로 뻗어 나가는 입자 패턴, 직선적으로 전진하는 리듬 구조를 사용하여 하나의 축을 향해 모이는 시간적 감각을 강조하였다. 불교를 상징하는 장면에서는 다수의 점광원과 순환하는 영상 패턴, 반복되면서 서서히 변주되는 사운드를 통해 윤회와 연기 사상이 전제하는 순환적 시간과 그물망 구조의 공간을 표현하였다. 이후 장면에서는 이 두 이미지가 서로 겹치고 스며들도록 사운드 분석값과 레이저·영상 제어 값을 점진적으로 섞어, 중심을 향해 모이는 빛과 사방으로 퍼지는 빛이 하나의 시스템 안에서 화합하는 과정을 드러내고자 하였다.

따라서 <화합 : Interbeing>은 단일 공연에 머무르는 것이 아니라, 서로 다른 종교적 미학을 사운드와 레이저, 영상 기술로 매개하여 하나의 감정적 흐름으로 통합할 수 있는지에 대한 실험적 연구의 첫 단계라 할 수 있다. 이후 장에서 제시할 사운드 디자인, 영상·레이저 패턴, 인터랙션 시스템 분석은 모두 이 작품이 어떻게 두 종교의 상징을 기술적으로 재구성하고, 관객에게 화합의 경험을 전달하는지를 구체적으로 검증하기 위한 과정이다.

2. 작품 구성

1) 무대 구성



[그림-33] 작품 <화합 : Interbeing>의 무대 구성

[그림-33]은 작품 <화합 : Interbeing>의 무대 구성이다. 전면에는 가로로 긴 샤막 천을 설치하고, 그 뒤쪽 중앙에 무용수를 배치하였다. 샤막 천 양옆에는 메인 스피커를 두어 공연의 음악과 실시간 처리된 사운드를 재생한다. 샤막 앞 객석 쪽에는 공연용 컴퓨터(macOS)와 MIDI 컨트롤러를 배치한 오퍼레이터 존을 두고, 이 지점에서 Ableton Live·Max/MSP·TouchDesigner를 동시에 운용한다. 무대 바닥 앞쪽에

는 영상 프로젝터와 레이저 프로젝터를 각각 설치하여 샤막 천을 향해 투사함으로써, 관객이 보았을 때 무용수의 실루엣과 빛의 레이어가 하나의 평면에서 겹쳐 보이도록 의도하였다.

2) 음악 구성

본 작품 <화합 : Interbeing>의 음악은 실시간 사운드·영상·레이저가 하나의 흐름으로 느껴지도록 설계한 곡이다. 기본 박자는 4/4박자, 조성은 E단조이며, 전체 구조는 Intro - A - B - Build up-1 - Chorus-1 - Interlude - Build up-2 - Chorus-2 - Outro로 구성된다. 각 파트의 BPM과 마디 수는 <표-12>에 정리하였다. Intro - A - B - Build up-1 - Chorus-1 구간에서는 명확한 비트와 점차 커지는 사운드와 기독교 장면에서 시작점에서 절정을 향해 한 방향으로 밀려드는 느낌을 강조하였다. Interlude 이후 Build up-2 - Chorus-2 - Outro에서는 리듬과 음색이 반복·변형되며 되돌아오는 구조를 중심으로 하여, 불교 장면에서 순환하는 시간과 관계의 확장을 표현하였다. 곡 전체는 이 두 가지 흐름이 번갈아 나타났다 겹치는 방식으로 구성되며, 결과적으로 관객이 서로 다른 시간 감각을 하나의 연속된 여정처럼 체험하도록 유도한다.

<표-12> 파트별 음악의 BPM과 타임라인

section	Intro	A	B	Build up-1	Chorus-1
타임라인	0:00 ~ 0:40	0:40 ~ 0:58	0:58 ~ 1:17	1:17 ~ 2:05	2:05 ~ 3:13
마디	16마디	8마디	8마디	16마디	24마디
BPM	100	100	100	85	85
section	Interlude	Build up-2	Chorus-2	Outro	
타임라인	3:13 ~ 3:36	3:36 ~ 3:58	3:58 ~ 4:55	4:55 ~ 5:05	
마디	8마디	8마디	20마디	4마디	
BPM	85	85	85	85	

Intro는 가스펠 합창과 패드 사운드를 중심으로 전개된다. 리듬 요소를 최소화하여 관객이 호흡을 고르고, 공연 공간 안으로 천천히 들어오는 느낌을 받을 수 있도록 하였다. 이때 글리치와 reverb, 필터 스위프(filter sweep)³⁵⁾은 먼 곳에서 서서히 다가오는 빛의 이미지를 암시하며, 이후 장면 전체를 관통하는 가스펠 화성과 정서를 먼저 제시하는 역할을 한다.

A는 Intro에서 제시한 가스펠의 화성과 분위기를 유지하면서 킥과 스네어, Leftfield bass³⁶⁾ 계열의 베이스라인을 더해 첫 번째 운동감을 만

35) 필터의 컷오프 주파수를 시간에 따라 연속적으로 변화시켜, 특정 주파수 대역이 서서히 열리거나 닫히는 듯한 음색 변화를 만드는 처리 기법을 가리킨다.

36) 실험적인 구조와 비전통적인 베이스 음색을 중심으로 한 베이스 뮤직 계열을 가리킨다.

든다. 드럼과 베이스 패턴은 비교적 단순하게 두어 관객이 리듬에 익숙해지는 동안, 가스펠 합창이 가진 기독교적 정서가 몸의 박동과 자연스럽게 연결되도록 설계하였다. 이 구간은 기도가 본격적으로 시작되는 첫 박동에 해당하며, 기독교적 장면의 기반을 다지는 역할을 한다.

B는 A를 확장한 구간으로, 드럼과 전자적 잡음의 밀도를 높여 리듬적 긴장감을 키운다. 하이햇 패턴과 노이즈 기반 FX를 더해 질감을 거칠게 만들고, 스네어 변형을 통해 다음 빌드업을 향한 방향성을 드러낸다. 이때의 사운드 변화는 기독교적 이미지가 이끄는 에너지가 점차 커지는 과정이 시청각적으로 함께 느껴지도록 하였다.

Build up-1은 첫 코러스로 넘어가기 위한 연결부이다. 필터 스위프, 라이저(riser)³⁷⁾, delay를 사용해 에너지가 위로 끌어올려지는 느낌을 만들고, BPM은 100에서 85로 낮추며 사운드 레이어와 FX의 밀도를 높여 시간이 늘어나는 듯한 체감을 주도록 구성하였다. 이 구간에서는 여전히 가스펠과 전자 리듬이 중심을 이루지만, 앞에서 쌓아 온 기독교적 정서를 최고점까지 밀어 올리면서도 잠시 멈춰 서 있는 듯한 상태를 만들어, 이어지는 코러스에서 다른 종교적 목소리가 자연스럽게 포개질 수 있는 준비 지대로 기능하도록 하였다.

Chorus-1은 작품의 첫 하이라이트 구간으로, 불교 염불을 직접 녹음한 샘플을 잘게 분할한 뒤 granular synthesis와 FM synthesis로 재구성한 사운드를 트랩 리듬 위에 배치하였다. 짧게 잘린 음절들이 리듬과 겹치면서, 지금까지 기독교 가스펠이 이끌던 흐름 속으로 불교적 음성이 본격적으로 들어오는 순간을 만든다. 이때 가사 내용보다는 음색과 호흡, 레이저와 영상의 질감이 강조되도록 하여, 서로 다른 전통의 목소리가 동일한 비트와 빛의 구조 안에서 동시에 울리는 장면을 형성하

37) 피치·필터·음량 등이 점점 상승하도록 설계된 효과음으로, 구간의 긴장감을 고조시키는 데 사용된다.

고, 두 종교의 차이가 처음으로 한 시공간 안에서 맞닿는 지점을 드러낸다.

Interlude는 Chorus-1 이후의 긴장을 잠시 가라앉히는 구간이다. 드럼을 거의 제거하고 공간이 넓게 열리는 느낌을 만든다. 이 정지된 듯한 상태에서 앞선 구간에서 등장했던 염불과 가스펠의 정서는 잔향과 잔상으로만 남아, 두 전통의 분위기가 보다 추상적인 형태로 공존하는 중간 지대를 형성한다. 이를 통해 관객은 특정 종교 이미지보다, 두 정서가 섞여 남긴 감각 자체에 집중하게 된다.

Build up-2에서는 염불과 가스펠의 소리가 함께 다시 등장한다. 처음에는 서로 다른 층에서 들리는 것처럼 배치되지만, delay를 통해 점차 비슷한 음량과 공간감으로 수렴하도록 처리하였다. 노이즈 기반 FX와 레이저를 더해 두 번째, 더 큰 파동을 만들며 Chorus-2의 리듬과 에너지를 예고하고, 이 과정에서 두 종교의 목소리가 같은 방향으로 밀려 올라가는 인상을 준다. 이 구간은 서로 다른 기원의 소리가 점차 하나의 흐름처럼 느껴지도록 만드는 연결부이다.

Chorus-2는 곡의 최고조에 해당하는 부분으로, 염불과 가스펠, 베이스와 드럼이 동시에 전면 배치된다. 비켜 있는 킥 패턴과 강한 스테어를 사용해 리듬에 긴장감을 부여하고, 그 위에 두 목소리를 서로 응답하거나 함께 울리는 방식으로 배치하여, 차이가 유지된 상태에서 하나의 그루브를 형성하도록 하였다. 강한 리듬과 레이저·영상의 폭발적인 변화는 관객이 두 종교의 에너지가 함께 솟구치는 순간을 몸으로 느끼게 하는 지점이며, 음악적으로 화합의 경험을 가장 직접적으로 전달하는 역할을 한다.

Outro에서는 드럼과 베이스를 차츰 제거하고, 앞에서 사용된 염불과 가스펠의 잔향, 패드 사운드만 남긴다. 필터와 reverb의 잔향을 길게 유지하여 시간이 멀어지는 듯한 느낌을 주며, 곡은 완전히 끊어지는 결

말이라기보다 두 전통의 여운이 함께 남는 상태로 서서히 페이드아웃된다. 이를 통해 공연이 끝난 뒤에도 기독교와 불교의 소리와 정서가 관객의 기억 속에서 동시에 머무르는 화합의 감각을 남기고자 하였다.

3) 영상 구성

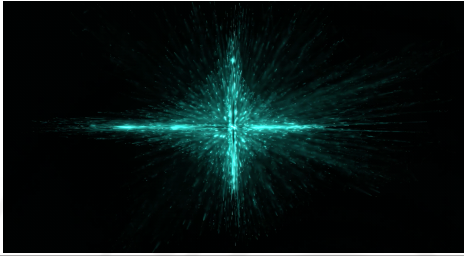
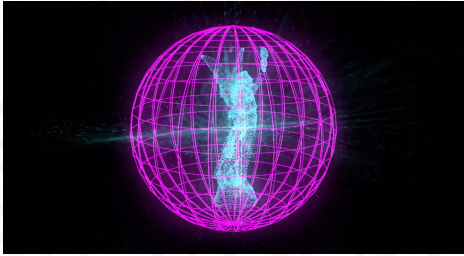
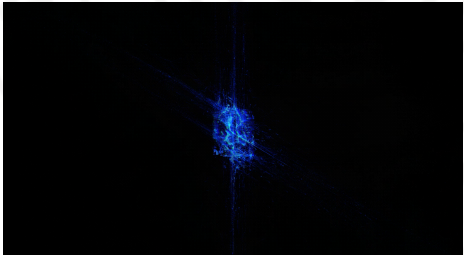
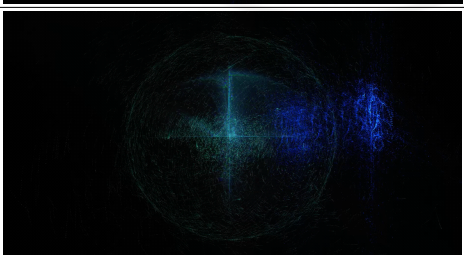
작품 <화합 : Interbeing>의 영상은 음악 구조와 마찬가지로 아홉 부분으로 나누어 설계하였다. 각 구간은 십자가, 구체, 부처상, 만다라 등 서로 다른 상징을 사용하지만, 레이저와 입자 효과의 색감·속도를 공통되게 유지하여 기독교와 불교의 이미지가 한 흐름 안에서 이어지도록 구성하였다.

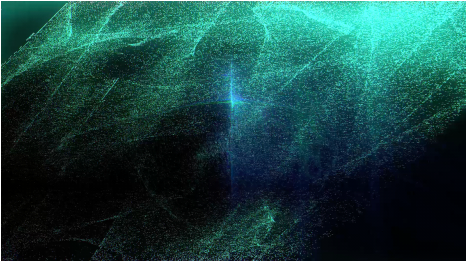
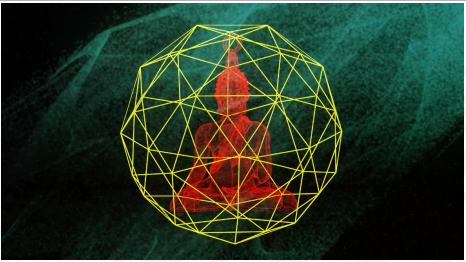



Intro에서는 청록색 십자가 모양의 레이저와 폭발하는 입자가 어둠 속에서 서서히 드러나, 두 빛이 처음 마주치는 장면을 만든다. A와 B 구간에서는 보라색 구체안의 인체 실루엣, 응축된 입자 핵과 교차하는 레이저가 반복되어, 한 존재가 두 전통의 빛 장 안으로 초대되는 과정을 보여준다. Build up-1과 Chorus-1에서는 파도처럼 번지는 입자 구름, 붉은 부처상과 노란 다면체가 겹치며, 레이저 프레임이 이 둘을 하나의 공간 구조로 묶어 준다. Interlude와 Build up-2에서는 궁궐 내부를 배경으로 한 입자 파티클, 별이 가득한 우주 이미지, 분홍·보라색 광선이 차례로 등장한다. 이때 레이저 선과 영상 입자의 방향을 동일하게 설계하여, 전통 건축·우주 공간·전자적 빛이 서로 끊이지 않고 이어지는 느낌을 만든다. Chorus-2에서는 원형 만다라 구조 위에 칼레이도스코프(kaleidoscope)³⁸⁾ 패턴과 보라색 레이저 터널을 엮어, 서로 다른 기도와 영가가 하나의 회전하는 빛 무늬로 합쳐지는 장면을 강조하였다.

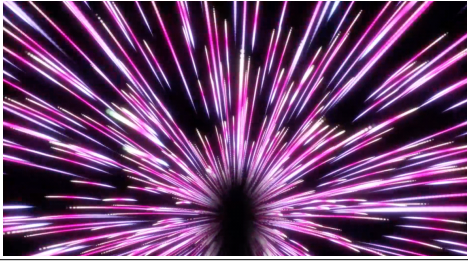
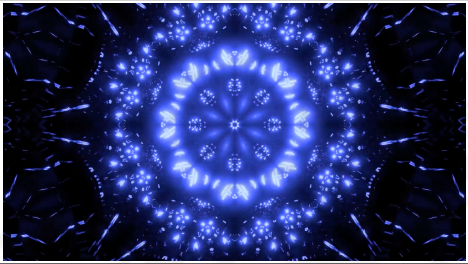
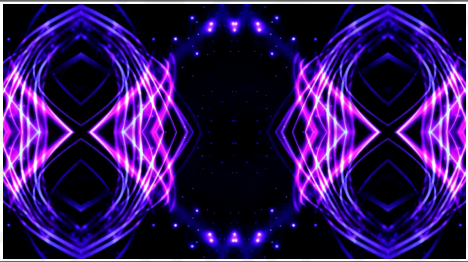

38) 거울 대칭을 반복하여 다채로운 패턴을 만드는 만화경식 영상 효과를 말한다.

Outro에서는 꽃처럼 터졌다가 사라지는 흰빛 조각과 보라색 안개만 남겨, 모든 빛이 한 덩어리로 섞인 뒤 천천히 사라지는 결말을 제시한다. 각 영상 이미지와 의미는 아래 <표-13>에 정리하였다.

<표-13> 영상 구성

section	이미지	의미
Intro		십자가 형태로 폭발하는 청록색 입자, 두 빛이 처음 만나는 장면
A		구체안 포인트 클라우드로 보이는 몸의 실루엣, 빛의 장 안으로 초대된 조각상
B		어둠 속에 응축된 푸른 입자 핵, 화합 직전의 불안과 긴장이 모인 중심
		입자 원 옆으로 밀려오는 빛의 흐름, 서로 다른 믿음이 원 안에서 마주치는 순간

Build up-1		<p>파도처럼 번지는 미세한 입자, 모든 존재가 하나의 흐름으로 이어지는 이미지</p>
Chorus-1		<p>붉은 부처상과 노란 다면체에 둘러싸인 공간, 불교적 상징이 보호막처럼 감싸는 명상 상태</p>
		<p>흰 별빛이 폭죽처럼 터져 나오는 화면, 초월과 환희의 순간</p>
Interlude		<p>궁궐 내부를 배경으로 분해·재구성되는 입자 파티클, 전통 건축과 몸이 만나는 장면</p>
		<p>별이 가득한 우주 속 입자 구름, 서로 얽힌 관계망처럼 보이는 우주적 공간</p>

<p>Build up-2</p>		<p>분홍·보라색 광선이 빠르게 퍼져 나가는 화면, 클라이맥스로 치달는 에너지 분출</p>
<p>Chorus-2</p>		<p>원형 만다라 형식의 칼레이도스코프 패턴, 기도와 영불의 반복에서 생기는 영적 리듬</p>
		<p>대칭 구조의 보라색 파동과 빛의 터널, 두 신념의 진동이 서로 공명하는 공간</p>
<p>Outro</p>		<p>꽃처럼 터지는 흰빛 조각과 보라색 안개, 모든 빛이 하나로 섞이며 화합 속에 사라지는 결말</p>

3. 작품에서의 기술 적용 및 효과

<표-14>는 본 작품에서 사용한 주요 영상 효과가 어떤 사운드 프로세싱과 레이저 그래픽에 맵핑되어 있는지 정리한 것이다. 무대에 투사되는 영상 이미지, 그 이미지와 연동된 사운드 프로세싱 기법, 레이저 효과를 나타낸다.

<표-14> 사운드 프로세싱에 적용된 영상 효과

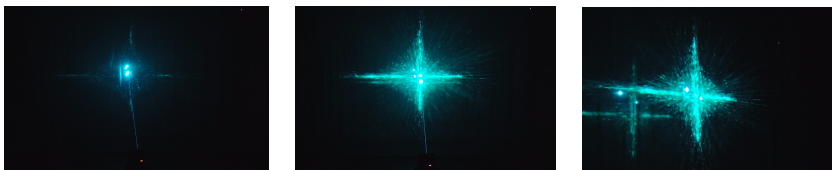
영상 효과	사운드 프로세싱	레이저 그래픽
십자가형 입자 폭발	킥 드럼 기반 트랜지언트(Transient) 강조	Cross Particle Burst, Cross Beam Thickness Mod
원 안의 점 구름 실루엣	granular synthesis, FM synthesis	Spherical Wireframe Scan
안개처럼 흐르는 입자 파도	low-pass filter sweep, reverb	Wave Scan Lines, Brightness Fade
불상 실루엣과 다면체 격자	band-pass filter, pitch shift	Buddha Outline Trace, Polygon Cage
별빛 폭죽·방사형 파티클	스네어 강조, high-pass filter, wavetable synthesis	Radial Laser Burst, Spark Alignment
건축·회로 패턴의 그리드 공간	delay, reverb, chorus	Architectural Grid Scanning, H/V Sweep
성운·우주 배경 속 입자 군집	wavetable synthesis	Polar Rotating Laser, Symmetric Structure

1) Intro Section

<표-15> Intro에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과

Section	사운드 프로세싱	레이저 효과
Intro	reverb delay glitch filter sweep granular synthesis	Cross Particle Burst Cross Expansion

Intro Section은 관객이 처음 공연 공간에 들어오는 구간으로, 샤막 천 전체에 십자가 형태의 입자 폭발이 펼쳐지도록 구성하였다. 가스펠 합창에는 reverb와 delay를 중심으로 일부 음절에 glitch, filter sweep, granular synthesis를 적용해 고정된 성가가 아니라 미세하게 부서지는 질감을 만들었다. 이 사운드의 레벨과 트랜지언트 값은 Cross Particle Burst와 Cross Expansion 레이저 파라미터와 연동되어, 중앙의 십자가가 하나의 강한 빛으로 나타났다. 점차 수많은 입자로 흩어지게 된다. 이 장면은 기독교의 중심적 빛이 출발점이 되면서 동시에 다수의 입자가 떠 있는 불교적 공간을 예고하는 화면으로 이후 두 빛이 공존하는 흐름의 첫 단계라 할 수 있다. 이러한 변화 과정은 [그림-34]의 영상 변화에서 확인할 수 있다.



[그림-34] Intro Section의 영상·레이저 변화

2) A Section

<표-16> A에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과

Section	사운드 프로세싱	레이저 효과
A	filter bit crusher distortion	Spherical Wireframe Scan

A Section은 Intro Section에서 흩어져 있던 십자가 빛이 하나의 장으로 모이는 구간이다. 가스펠 합창과 드럼·베이스에는 필터, 비트 크러셔, 디스토션을 적용하여 원이 압축되고 깨지는 듯한 사운드 펄스를 만들었다. 이 펄스의 레벨과 리듬은 TouchDesigner의 Spherical Wireframe Scan 패턴에 맵핑되어 무용수 실루엣을 감싸는 보라색 원형 레이저 격자가 호흡하듯 수축·팽창하도록 설계하였다. 화면 안에서는 기독교 장면에서 출발한 십자가 빛이 원형 보호막으로 변형되고, 그 안쪽에는 점 구름으로 이루어진 몸의 실루엣이 떠 있어 불교적 자비의 공간과도 겹쳐 보이게 된다. 즉, 하나의 인물을 중심으로 서로 다른 빛과 소리가 같은 구 안에서 공존하도록 만드는 첫 단계의 화합 장면이라 할 수 있다. 이러한 변화 과정은 [그림-35]의 영상 변화에서 확인할 수 있다.



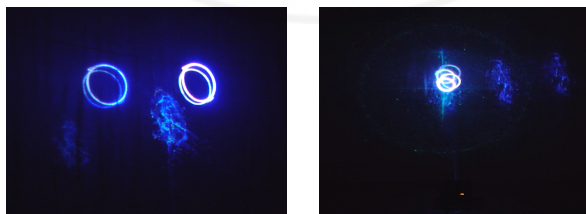
[그림-35] A Section의 영상·레이저 변화

3) B Section

<표-17> B에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과

Section	사운드 프로세싱	레이저 효과
B	filter sweep glitch distortion granular synthesis	Dual Ring Orbit, Particle Column Burst

B Section은 십자가에서 출발한 빛이 리듬 중심의 에너지 장으로 바뀌는 구간이다. 드럼과 베이스의 저역·고역 에너지를 분리해 Dual Ring Orbit의 바깥·안쪽 링에 각각 맵핑하고, granular synthesis와 distortion으로 만든 거친 질감을 더해 두 개의 링이 서로 다른 속도로 돌다가 한 지점에서 겹쳐 보이도록 설계하였다. 동시에 중앙의 Particle Column Burst에는 불교 의식의 촛불·향 불빛을 떠올릴 수 있도록 음량과 트랜지언트 값을 연결해 리듬에 따라 세기와 밀도가 달라지게 하였다. 이처럼 두 개의 링(기독교적 빛) 과 중앙 기둥(불교적 빛)이 같은 리듬 데이터에 의해 함께 움직이도록 구성함으로써 서로 다른 빛이 하나의 에너지장 안에서 화합하는 이미지를 기술적으로 구현하고자 했다. 이러한 변화 과정은 [그림-36]의 영상 변화에서 확인할 수 있다.



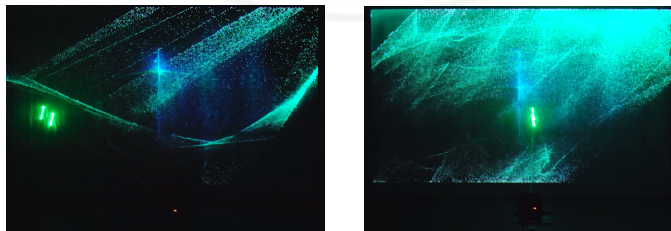
[그림-36] B Section의 영상·레이저 변화

4) Build up-1 Section

<표-18> Build up-1에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과

Section	사운드 프로세싱	레이저 효과
Build up-1	filter sweep noise layer delay reverb	Wave pattern

Build up-1 Section은 첫 번째 코러스로 올라가기 전에 두 종교의 빛이 한 방향으로 함께 모이기 시작하는 구간이다. 드럼 롤과 베이스에는 filter sweep, noise layer, delay, reverb를 사용해 소리가 점점 커지면서도 경계가 흐려지도록 만들고 이때의 에너지값을 레이저의 Wave pattern에 연결하였다. 화면에서는 두 줄기의 청록색 레이저가 물결처럼 흔들리며 가운데로 모이고, 그 주변을 채운 입자층의 밀도와 이동 속도가 음악에 맞춰 점점 빨라지도록 설계하였다. 십자가에서 뻗어 나온 직선적인 빛과 불교 장면에서 사용된 파동형 입자장을 같은 레이저 파형 안에 겹쳐 두어 서로 다른 빛이 하나의 물결을 타고 함께 코러스로 들어가는 모습을 기술적으로 표현하였다. 이러한 변화 과정은 [그림-37]의 영상 변화에서 확인할 수 있다.



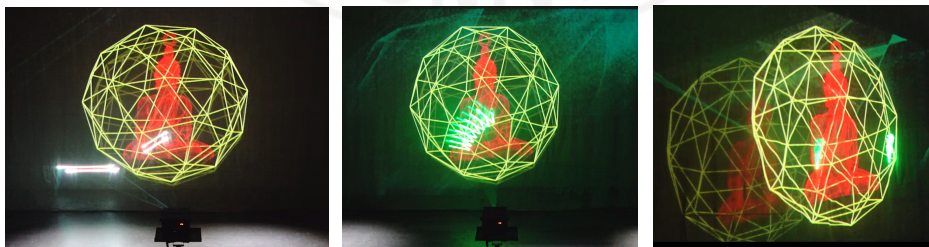
[그림-37] Build up-1 Section의 영상·레이저 변화

5) Chorus-1 Section

<표-19> Chorus-1에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과

Section	사운드 프로세싱	레이저 효과
Chorus-1	wavetable synthesis FM synthesis PM synthesis reverb delay	Polygon Cage, Pulse Beam

Chorus-1 Section은 곡의 첫 클라이맥스로, 기독교적 빛과 불교적 빛이 처음으로 같은 중심을 공유하는 장면이다. 사운드에서는 패드와 리드 신스를 중심으로 wavetable synthesis, FM synthesis, PM synthesis를 겹쳐 두꺼운 배음 층을 만들고 reverb와 delay를 더해 공간의 깊이를 강조하였다. 이 에너지 값을 레이저 파라미터에 맵핑하여 Polygon Cage와 Pulse Beam 효과를 구동하였다. 그 결과 붉은 불상 실루엣과 이를 둘러싼 노란 다면체 격자가 같은 리듬과 크기 변화로 움직여 서로 다른 두 종교 이미지가 하나의 공 모양 빛 구조 안에서 함께 숨 쉬는 모습을 보여준다. 이러한 변화 과정은 [그림-38]의 영상 변화에서 확인할 수 있다.



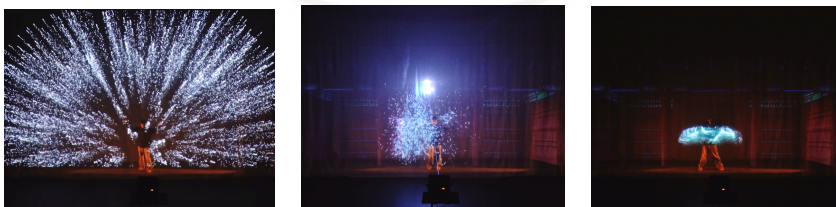
[그림-38] Chorus-1 Section의 영상·레이저 변화

6) Interlude Section

<표-20> Interlude에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과

Section	사운드 프로세싱	레이저 효과
Interlude	FM synthesis wavetable synthesis reverb delay	Particle Burst, Aura Ring

Interlude Section에서는 무용수가 처음 전면에 등장하며, 사운드·영상·레이저가 한 몸을 중심으로 다시 정렬되는 구간이다. 사운드에서는 FM synthesis와 wavetable synthesis로 만든 리드 신스에 긴 reverb와 delay를 걸어 길게 이어지는 숨처럼 느껴지도록 구성하였다. 이 신호의 레벨과 고역 에너지는 TouchDesigner와 레이저 시스템의 제어 값으로 사용되어 Particle Burst와 Aura Ring 효과를 구동한다. 샤막 천 위에서는 무용수의 실루엣 주위로 원형 입자 고리가 생기고 그 주변으로는 짧게 커지고 사라지는 작은 빛들이 이어지며 기독교의 후광 이미지와 불교의 자비 빛이 한 몸을 감싸는 장면을 만든다. 관객은 이 구간에서 강한 대비보다는 한 사람의 호흡을 따라 두 종교의 빛이 조용히 겹치는 화합의 상태를 경험하게 된다. 이러한 변화 과정은 [그림-39]의 영상 변화에서 확인할 수 있다.



[그림-39] Interlude Section의 영상·레이저 변화

7) Build up-2 Section

<표-21> Build up-2에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과

Section	사운드 프로세싱	레이저 효과
Build up-2	FM synthesis wavetable synthesis filter sweep glitch	Laser Point Field

Build up-2 Section은 Interlude Section에서 잠시 낮아졌던 에너지가 다시 상승하기 시작하는 구간이다. 사운드에서는 FM synthesis와 wavetable synthesis로 만든 리드·패드에 filter sweep과 glitch를 더해, 염불과 가스펠이 점점 또렷해지면서도 전자적 잡음과 섞이도록 구성하였다. 이때의 고역 에너지와 트랜지언트 값은 TouchDesigner의 Laser Point Field에 맵핑되어, 무용수 주변에 퍼져 있는 점광원이 도시의 회로, 별이 가득한 우주, 사찰의 등불 무리처럼 동시에 보이게 된다. 십자가나 불상처럼 종교를 나누던 형태는 줄어들고, 수많은 점으로 이루어진 하나의 빛 구름만 남으면서 서로 다른 빛이 한 장 안에서 섞여 가는 화합의 과정을 드러낸다. 이러한 변화 과정은 [그림-40]의 영상 변화에서 확인할 수 있다.



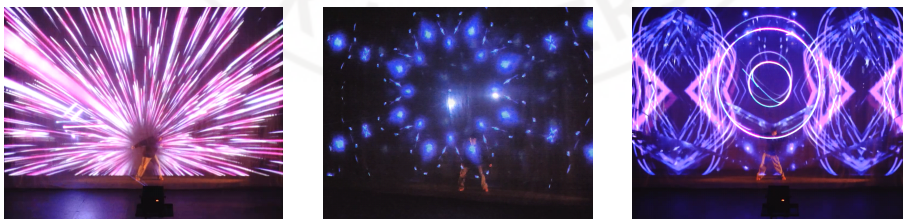
[그림-40] Build up-2의 영상·레이저 변화

8) Chorus-2 Section

<표-22> Chorus-2에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과

Section	사운드 프로세싱	레이저 효과
Chorus-2	FM synthesis reverb delay glitch	Radial Burst, Mandala Pattern, Particle Shower

Chorus-2 Section은 공연 에너지가 최고조에 이르는 구간으로, 두 종교의 빛이 가장 크게 겹치는 클라이맥스이다. 사운드에서는 FM synthesis로 만든 염불과 가스펠 레이어에 깊은 reverb·delay를 더하고 일부 리듬에 가벼운 glitch를 넣어 거대한 파동이 한 번에 밀려오는 질감을 만들었다. 이 레벨·스펙트럼 값은 TouchDesigner의 Radial Burst, Mandala Pattern, Particle Shower에 맵핑되어 방사형 빛줄기와 원형 만다라 입자장이 동시에 폭발하도록 하며 십자가를 연상시키는 직선 빔과 불교적 원형 패턴이 한 화면에서 같은 중심을 공유하도록 설계하였다. 이러한 변화 과정은 [그림-41]의 영상 변화에서 확인할 수 있다.



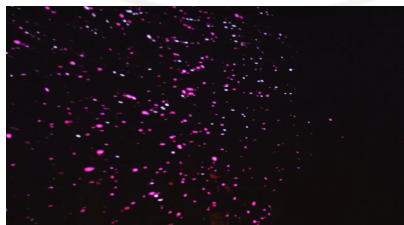
[그림-41] Chorus-2의 영상·레이저 변화

9) Outro Section

<표-23> Outro에 적용된 사운드 프로세싱 및 레이저 효과

Section	사운드 프로세싱	레이저 효과
Outro	reverb delay low-pass filter	Particle Drift Glow Mist

Outro Section은 Chorus-2 Section에서 최고조에 이르렀던 에너지가 서서히 가라앉으며, 두 종교의 빛이 하나의 여운으로 남는 마무리 구간이다. 사운드에서는 가스펠과 염불에서 남은 잔향과 패드만 남기고 reverb와 delay, low-pass filter를 깊게 걸어 고역을 정리함으로써, 밝은 찬송과 낮은 염송이 구분되지 않고 하나의 부드러운 음장으로 섞이도록 하였다. 이 레벨·스펙트럼 값은 TouchDesigner의 Particle Drift, Glow Mist 파라미터에 맵핑되어, 화면에 작은 입자들이 천천히 흘러다니다가 사라지는 움직임을 만든다. 앞 장면에서 강하게 대비되던 십자가형 빔과 원형 입자장은 이 구간에서 색과 밝기가 비슷한 미세한 빛 조각으로만 남아 기독교와 불교의 상징이 충돌이 아닌 잔잔한 공존의 상태로 정리되도록 한다. 이러한 변화 과정은 [그림-42]의 영상 변화에서 확인할 수 있다.



[그림-42] Outro의 영상·레이저 변화

본 작품에서의 기술 적용은 단순한 음향·시각 효과가 아니라, 다른 종교 이미지가 하나의 구조 안에서 공존하도록 만드는 장치로 기능한다. Ableton Live와 Max/MSP에서 추출한 음량, 주파수 대역별 에너지, 트랜지언트(transient) 등의 데이터는 레이저, 프로젝션, 무용수의 움직임 을 제어하는 공통 파라미터로 사용되며, 동일한 소리의 변화가 동시에 빛의 선, 입자 밀도, 신체의 궤적을 함께 바꾸도록 설계하였다. 기독교 장면에서는 Hard clip, FFT Filter, 강한 트랜지언트가 십자가 형태의 집약된 레이저와 직선적인 동작으로 맵핑되고, 불교 장면에서는 필터 스위프, 잔향, granular synthesis의 질감이 퍼져 나가는 입자와 호흡 중심의 원운동으로 변환된다. 두 장면 사이의 전환 부에서는 이러한 파라미터들을 연속적으로 보간함으로써, 상반된 사운드·빛·몸의 제스처가 하나의 멀티모달(multimodal)³⁹⁾ 시스템 위에서 끊어짐 없이 이어지는 화합의 감각을 형성한다.

39) 소리, 영상, 몸 움직임처럼 서로 다른 감각·매체의 정보를 동시에 다루고 결합하는 방식을 뜻한다.

IV. 결론

본 연구는 공연 <화합 : Interbeing>을 통해 기독교와 불교에서 비롯된 빛의 상징과 서로 다른 시간 감각을 하나의 공연장 안에서 어떻게 합쳐 체험하게 만들 수 있는지 탐구하였다. 2장에서 논의한 안도 다다오의 빛의 교회가 하나의 축을 향해 모이는 직선적 빛을 보여준다면, 티베트 사원의 버터램프는 수많은 작은 불꽃이 이어져 형성되는 확산적 빛의 장을 제시한다. 본 작품은 이 두 이미지를 사운드, 레이저, 영상, 무용의 구조 속에 다시 배치하여, 관객이 서로 다른 종교 이미지를 둘 중 하나를 선택하는 방식이 아니라 함께 놓인 상태에서 하나의 장을 이룬 것으로 지각하도록 설계하였다.

이를 위해 사운드, 레이저, 영상, 무용을 실시간으로 연동하는 인터랙티브 공연 시스템을 구축하였다. 사운드 측면에서는 Ableton Live와 Max/MSP를 이용해 킥, 스네어, 베이스, 고역 등을 분리·분석하고, 기독교 장면에서는 명확한 박동과 강한 어택, 불교 장면에서는 반복과 변주의 패턴, 퍼지는 음색을 설계하였다. 이 분석값은 레이저와 영상의 밝기, 선 굵기, 입자 밀도에 직접 맵핑되어, 중심을 향해 수렴하는 십자가형 빛과 만다라, 입자 구름처럼 확산하는 빛이 서로 다른 구간에서 번갈아 나타나면서도 같은 시스템 안에서 연속적으로 이어지도록 하였다. 무용수의 동선과 조명 큐 역시 이 신호들과 연동하여, 몸의 제스처가 레이저 궤적과 입자 흐름을 실시간으로 바꾸게 함으로써 기술이 단순한 효과가 아니라 서로 다른 상징들을 한 몸처럼 묶어 주는 매개로 기능하도록 하였다. 실제 공연에서 관객들은 공간 전체가 하나의 몸처럼 느껴졌다, 빛이 소리를 대신 말해주는 것 같았다와 같은 반응을 보였으며, 이는 특정 교리보다 공통된 정서와 울림이 먼저 지각되도록 하는 본 연구의 의도가 일정 부분 실현되었음을 시사한다.

동시에 몇 가지 한계도 드러났다. 첫째, 시스템의 기술적 안정성 문제이다. 레이저, 프로젝터, 컴퓨터, 오디오 인터페이스, 네트워크가 동시에 동작하는 구조에서 작은 설정 오류나 CPU 과부하가 곧바로 지연과 프레임 저하로 이어져, 일부 구간에서 소리와 빛의 타이밍이 완전히 일치하지 못했다. 둘째, 관객 좌석 위치에 따른 경험의 편차가 존재했다. 샤막 천과 레이저 입체감은 정면에 가까운 좌석에서 가장 강하게 느껴졌으며, 측면과 상단 좌석에서는 깊이감과 겹침 효과가 상대적으로 약했다. 셋째, 화합이라는 정서가 어느 정도 전달되었는지를 정량적으로 검증하지 못했다. 본 연구에서는 인터뷰와 대화 중심으로 반응을 수집했을 뿐, 설문, 생체 신호, 움직임 분석과 같은 체계적인 측정은 이루어지지 않았다.

향후 연구에서는 패치 최적화와 장비 분산, 백업 시스템을 통해 기술적 안정성을 높이고, 다면 스크린과 객석 주변 조명, 스피커 배치를 활용해 어느 자리에서나 비슷한 수준의 몰입감을 제공하는 공간 구성을 실험할 필요가 있다. 또한 관객 설문과 행동 데이터 분석을 병행함으로써, 어떤 사운드, 레이저, 몸의 조합이 관객에게 더 강한 연결감과 평온함을 유발하는지 계량적으로 검증할 수 있을 것이다. 그럼에도 <화합 : Interbeing>은 컴퓨터음악, 레이저 아트, 무용 퍼포먼스를 하나의 실시간 인터랙티브 시스템으로 엮어, 기독교와 불교의 상징이 서로의 차이를 유지한 채 한 무대에서 공존하고 화합할 수 있음을 구체적인 감각 경험으로 제시했다는 점에서 의미가 있다. 이러한 시도는 앞으로 이질적인 신념과 정체성을 다루는 예술 작업에서, 기술을 매개로 함께 호흡하는 상태를 설계하는 방법론적 토대로 활용될 수 있을 것이다.

Keyword(검색어)

컴퓨터음악(computer music), 인터랙티브 멀티미디어 음악(interactive multimedia music), 사운드 시각화(sound visualization), 실시간 사운드 분석(real-time sound analysis), 레이저 아트(laser art), 레이저 프로젝션(laser projection),紗막 천 프로젝션(scrim projection), 사운드-레이저 인터랙션(sound - laser interaction), 무용 미디어 퍼포먼스(dance media performance), Max/MSP, TouchDesigner, Ableton Live, EtherDream

E-mail: sungmin.oh.02@gmail.com

참 고 문 헌

1. 단행본, 학술지

김영민, 「사운드 디자인을 위한 맥스」 (Real lies Media, 2017)

이관규, 「be sound be visionary TouchDesigner Guide」 (be sound be visionary, 2023)

David Creasey, 「Audio Processes: Musical Analysis, Modification, Synthesis, and Control」 (Routledge, 2016)

Roger T. Dean, 「The Oxford Handbook of Computer Music」 (Oxford University Press, 2009)

Charles Dodge, Thomas A. Jerse, 「Computer Music: Synthesis, Composition, and Performance」 (Schirmer Books, 1997)

Thom Holmes, 「Electronic and Experimental Music: Technology, Music, and Culture」 (Routledge, 2008)

Patrik Lechner, 「Multimedia Programming Using Max/MSP and TouchDesigner」 (Packt Publishing, 2014)

V. J. Manzo, Will Kuhn, 「Interactive Composition: Strategies Using Ableton Live and Max for Live」 (Oxford University Press, 2015)

Miller Puckette, 「The Theory and Technique of Electronic Music」 (World Scientific, 2007)

Curtis Roads, 「The Computer Music Tutorial」 (MIT Press, 1996)

2. 참고 논문

김연호, 「인터페이스 DIMENSION을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2025)

라경외, 「밴드음악을 활용한 실시간 사운드 프로세싱과 비주얼라이제이션 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2022)

라지용, 「Max/MSP와 Generative Art를 이용한 멀티미디어 음악 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2008)

윤기선, 「키넥트를 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2011)

이관규, 「피아노 연주와 무용수의 움직임을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2021)

이동규, 「Interface(INPUTO)를 이용한 인터랙티브 콘텐츠 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2011)

이동빈, 「실시간 동작 추적을 이용한 멀티미디어음악 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2008)

전명준, 「Max/MSP와 Generative Art를 이용한 멀티미디어음악 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2017)

조환희, 「베이스 트롬본과 피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어작품 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)

최준환, 김준, 「인터랙티브 멀티미디어 작품 제작에서 Kinect의 motion tracking 활용 연구」 (한국공학예술학회 논문지 제5권 제1호, 2013)

Irfan Brkovic, 「Laserography: Persistence of Sound Modulated Light」 (Simon Fraser University School for the Contemporary Arts, 2024)

Jayson Haebich, Christian Sandor, Alvaro Cassinelli, 「Interactive Minimal Latency Laser Graphics Pipeline」 (SA '20: SIGGRAPH Asia 2020 Emerging Technologies, 2020)

Alberto Novello, 「Media archaeology-based Visual Music」 (Musica/Tecnologia, 2021)

3. 웹사이트

Ableton Live: <https://www.ableton.com/>

Ether Dream 4 Laser DAC: <https://ether-dream.com/>

Max (Cycling '74): <https://cycling74.com/>

Serum: <https://xferrecords.com/products/serum/>

TouchDesigner: <https://derivative.ca/>

International Laser Display (ILDA): <https://www.ilda.com/>

ABSTRACT

A Study on Interactive Multimedia Music by Real-time Interaction of Sound, Image, and Laser

- Focus on Multimedia Performance <Harmony: Interbeing> -

OH, SUNGMIN

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

The multimedia performance <Harmony: Interbeing> was created to let the audience feel a sense of “being one together” through the meeting of light, sound, and the human body. The work combines Buddhist and Christian images of light on a single stage and projects them onto a translucent scrim with laser and video. By making physical space and floating hologram-like images overlap, the piece invites viewers into a shared space where different beliefs and emotions can exist side by side rather than collide.

Technically, this research designs a real-time system that connects sound, image, and laser as if they were one instrument. In Ableton

Live and Max/MSP, the incoming music is analyzed into elements such as kick, snare, bass, and high frequencies. These values are sent via OSC to TouchDesigner, which controls laser drawings, particle clouds, and background images. A laser projector and scrim screen then transform these signals into lines and planes of light that surround the dancer on stage. As the performer moves, the sound drives the visuals and the visuals guide the body, forming a continuous feedback loop.

Through this process, the audience can clearly see and hear how sound changes light, and how the dancer's presence ties everything together. Rather than watching a pre-made video, they experience a living environment that breathes with the music. This study shows a practical method for building such a system and suggests how real-time interaction of sound, image, and laser can be used to express interbeing and emotional harmony in contemporary multimedia performance.

부록 : 첨부 DVD 설명

1. 작품 <화합 : Interbeing> 공연 영상

2025년 11월 8일 멀티미디어 작품 <화합 : Interbeing> 공연 영상

2. 작품 <화합 : Interbeing> 패치 및 프로젝트 파일

작품에 사용된 Ableton Live 세션, TouchDesigner 프로젝트 파일

