

석사학위논문

공감각적 표현을 위한
사운드·라이트 퍼포먼스 제작 연구

-멀티미디어 작품 <Luminophony>를 중심으로-

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

박찬희

2026

석사학위논문

공감각적 표현을 위한
사운드·라이트 퍼포먼스 제작 연구

-멀티미디어 작품<Luminophony>를 중심으로-

박찬희

지도교수 김 준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2025년 12월

박찬희의 음악석사(컴퓨터음악) 학위 논문을 인준함

2026년 1월

위원장 정진현



위원 김정호



위원 김준



동국대학교 영상대학원

목 차

I. 서론	1
1. 연구 목적 및 배경	1
II. 연구에 관한 이론적 배경	2
1. 공감각 이론	2
1) 공감각	2
2) 소리-색 공감각	3
2. 사운드·라이트 아트 of 미학적 접근	9
1) 라이트 아트의 역사적 배경	9
2) 사운드·라이트 아트에서의 조명 효과	13
III. 기술 연구	16
1. 사운드 제작 연구	16
1) 스펙트럴리즘	17
2) 드론 음악	18
3) 공간적 감각을 위한 사운드 디자인	20
4) 사운드 프로세싱 연구	21
① granular synthesis	22
② delay 음향효과	24
③ notch filter	26
2. 영상 제작 연구	29

1) TD Ableton	30
2) TouchDesigner를 이용한 실시간 영상 제작	31
① 점·선·면 구현 방법	31
② 파티클 클라우드 구현 방법	36
③ 리퀴드 효과 구현 방법	39
3. 조명 연구	42
1) DMX512 통신 프로토콜	42
2) moving light를 활용한 DMX 채널 매핑 설계	43
3) GrandMA3 onPC에서의 시뮬레이션	48
4. 공연 시스템 연구	50
1) 공연 시스템 및 무대 배치 설계	50
2) 조명 설계	53
3) TD Ableton을 활용한 사운드·영상·조명의 연동	54
IV. 연구 기술의 작품 적용	57
1. 작품 소개	57
2. 작품 구성 및 기술 적용	59
1) A 섹션	60
2) B 섹션	63
3) C 섹션	69
V. 결론	71

참고문헌	73
ABSTRACT	81
부록: 첨부 DVD 설명	84

표 목 차

[표-1] 소리-색 공감각을 작품에 투영한 예술가 및 작품	8
[표-2] 점·선·면 영상 제작의 각 단계별 과정	35
[표-3] 포인트 클라우드 영상 제작의 각 단계별 과정	38
[표-4] 리퀴드 효과 영상 제작의 각 단계별 과정	41
[표-5] 조명 기기 목록	43
[표-6] ERA 600 조명의 DMX 프로토콜 일부	45
[표-7] 16-bit 값 V 를 나타내는 수식	46
[표-8] 음악 구성	59
[표-9] A 섹션에 적용된 사운드·영상·조명 디자인	60
[표-10] A 섹션에 사용된 gobo 목록	63
[표-11] B 섹션에 적용된 사운드·영상·조명 디자인	64
[표-12] B 섹션에 사용된 gobo 목록	69
[표-13] C 섹션에 적용된 사운드·영상·조명 디자인	70

그 립 목 차

[그림-1] 뉴턴이 'Opticks'에서 제시한 색-음계 대응 원	4
[그림-2] 리밍턴의 컬러 오르간	5
[그림-3] 칸딘스키의 작품 <i>Impression III</i>	6
[그림-4] 모홀리-너지의 작품 <i>Lich-Raum-Modulator</i>	10

[그림-5] 니콜라 세페르의 작품 <i>CYSP 1</i>	11
[그림-6] 제임스 터렐의 작품 <i>Lost Horizon</i>	12
[그림-7] 고정된 기음 위에서 시간에 따라 배음들의 간격이 넓어지는 모습	18
[그림-8] Bogaudio의 Additator	21
[그림-9] granular synthesis를 구현한 Max for Live 패치	22
[그림-10] 원본 신호 파형과 granular synthesis로 합성한 파형 ..	24
[그림-11] delay 음향효과를 구현한 Max for Live 패치	26
[그림-12] notch filter를 구현한 Max for Live 패치	27
[그림-13] 원본 신호와 notch filter가 적용된 신호의 스펙트로그램	28
[그림-14] TOP을 활용해 점을 구현하는 TouchDesigner 패치	32
[그림-15] Geo COMP의 인스턴싱을 위한 CHOP 네트워크	33
[그림-16] SOP과 렌더링을 활용해 선을 구현하는 TouchDesigner 패치	34
[그림-17] 점 데이터를 생성하는 TouchDesigner 패치	36
[그림-18] 렌더링을 통해 포인트 클라우드를 구현하는 TouchDesigner 패치	37
[그림-19] 포인트 클라우드의 영상 효과를 구현한 TouchDesigner 패치	37
[그림-20] 리퀴드 효과의 초기 원형을 구현한 TouchDesigner 패치	39
[그림-21] 리퀴드 효과를 구현한 TouchDesigner 패치	40

[그림-22] TouchDesigner에서 MSB · LSB를 연산하는 패치	47
[그림-23] GrandMA3 onPC 환경에서 조명을 패치하고 시뮬레이션한 화면	49
[그림-24] 공연 시스템 설계도	50
[그림-25] 무대 배치도	51
[그림-26] 이해랑 극장의 조명 배치도	53
[그림-27] TouchDesigner로 구현한 영상 연동 구조	54
[그림-28] TD Ableton을 통한 MIDI velocity 신호 추출 과정	55
[그림-29] Ableton MIDI 신호의 TouchDesigner 입력 및 조명 파라미터 매핑 구조	56
[그림-30] 조명으로 구현된 점의 복합체	65
[그림-31] 킥 드럼(왼쪽)과 퍼커션(오른쪽)에 대응하는 조명 형태	67

악 보 목 차

[악보-1] 완전5도로 이루어진 오픈 보이싱 구조	66
[악보-2] 중첩되는 다른 루트 위의 5도권 오픈 보이싱 구조	66
[악보-3] d 의 마지막 구간에 등장하는 화성	68

I. 서론

1. 연구 목적 및 배경

사운드·라이트 퍼포먼스(Sound·Light Performance)는 청각 매체인 소리와 시각 매체인 빛을 주요 매체로 활용하여 통합적인 감각 경험을 창출하는 예술적 공연 형식으로 정의된다. 이는 단순한 매체의 결합을 넘어, 고도로 설계된 동기화 및 상호작용 연출을 통해 관객의 감각과 지각에 영향을 미치며, 소리를 시각화하고 빛을 청각화하는 공감각적 경험을 유도하기도 한다.

공감각 연구는 인간의 감각 체계가 본질적으로 다차원적이며 상호작용적이라는 이론적 관점을 정립했으며, 예술적 실천의 오랜 관심사이자 동력이 되어왔다. 역사적으로도 많은 예술가들이 색채와 소리의 대응을 제시하며 공감각적 실험의 토대를 마련해 왔다.¹⁾ 오늘날 디지털 기술은 소리와 빛의 실시간 변환 및 정교한 제어를 가능하게 함으로써, 이러한 공감각적 접근을 기술적으로 심화시킬 수 있는 기반을 제공한다.

본 연구의 작품 <Luminophony>는 소리와 빛을 단순히 대응시키는 것을 넘어 음악과 빛의 관계를 하나의 흐름으로 구축해 ‘소리의 공간화’와 ‘빛의 악보화’를 구현하여 관객의 공감각적 지각 경험을 유도한다. 이를 통해 소리의 시간성과 빛의 공간성을 하나의 감각적 장으로 통합해 공감각적 감각의 흐름을 실제로 만들어내는 사운드·라이트 퍼포먼스의 새로운 가능성을 제안한다.

1) 하지만 이들의 초기 작업은 주로 규칙 기반의 대응 관계나 개념적 실험의 차원에 머물렀다는 평이 있다. B. M. Galejev, I. L. Vanechkina, ‘Was Scriabin a Synesthete?’, (Leonardo, Vol. 34, No. 4, The MIT Press, 2001)

II. 연구에 관한 이론적 배경

1. 공감각 이론

1) 공감각

공감각(synesthesia)이란 그리스어로 ‘함께’를 의미하는 ‘syn’과 ‘감각’을 의미하는 ‘aesthesia’의 합성어로, ‘감각을 함께 느낀다’는 의미를 지닌다.²⁾ 이는 한 감각 영역에서의 자극이 다른 감각 영역에서의 경험을 동시에 유발하는 현상을 말한다.³⁾ 공감각에는 매우 다양한 유형이 존재하며, 색-글자 공감각, 소리-색 공감각, 맛-형태 공감각 등의 다양한 형태가 보고되고 있다.

특히 주목할 점은 이러한 감각 간의 연결성이 공감각자에게만 국한된 것이 아니라 비공감각자에게도 내재해 있다는 사실이다. 호른보스텔(Erich Moritz von Hornbostel, 1877-1935)⁴⁾의 실험은 사람들이 소리, 냄새, 맛 등 서로 다른 감각 정보를 ‘밝기’라는 공통된 차원에서 일관되게 매칭시킬 수 있음을 입증하였다. 또한, 대다수의 사람은 높은음을 밝은색으로, 낮은음을 어두운 색으로 연결하는 경향성을 보이며, 이는 비공감각자와 공감각자 사이에 공통 공감각

2) Richard E. Cytowic, ‘Synesthesia: A Union of the Senses - Second Edition’, (Bradford Books, 2002), p.2

3) Lynn Robertson, Noam Sagiv, ‘Synesthesia: Perspectives from Cognitive Neuroscience’, (Oxford University Press, 2004), p.3

4) 오스트리아의 민족음악학자

기제가 공유되고 있음을 나타낸다.⁵⁾

Cretien van Campen(1963-)은 그의 책 ‘The Hidden Sense’(2010)에서 감각 간의 연결성을 ‘공감각(synesthesia)’과 ‘동시 감각(synchronesthesia)’으로 구분하여 설명한다. 공감각이 하나의 감각 자극이 다감각적 지각을 유발하는 내부적인 현상이라면, 동시 감각은 두 개 이상의 감각이 동시에 자극받아 발생하는 외부적인 다감각 지각을 의미한다. Campen은 이 둘의 차이가 불연속적이라기보다는 점진적이며, 공감각은 비공감각자도 외부적으로 경험할 수 있는 소리와 색의 매칭 능력이 내면화되고 확장된 형태라고 주장한다. 즉, 음악을 색으로 지각하는 현상은 인간에게 보편적으로 존재하는 색과 소리의 매칭 능력의 특수한 유형으로 이해될 수 있다.⁶⁾

2) 소리-색 공감각

소리-색 공감각은 청각적 자극이 시각적인 색상이나 형태 경험을 불러일으키는 공감각의 일종이다. 이때 유발되는 색상은 소리의 높이, 음색, 조성 등 다양한 청각적 속성에 의해 결정되며, 이러한 경험은 개인마다 매우 구체적이고 일생에 걸쳐 일관되게 나타나는 특성을 보인다.⁷⁾⁸⁾

소리와 빛의 대응 관계에 대한 탐구는 개별 공감각자의 체험을 넘어 오랜 역사적 흐름 속에서 다양한 방식으로 전개되어 왔으며, 이를 구체적인 시각 장치로 구현하려는 시도는 18세기를 전후하여 본격화한다. 뉴턴(Isaac

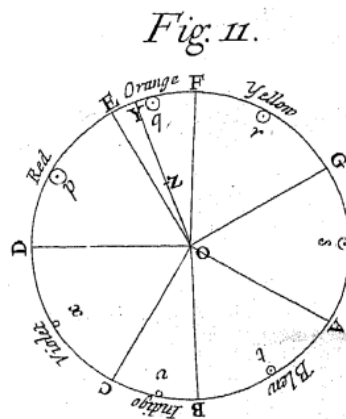
5) Cretien van Campen, ‘The Hidden Sense: Synesthesia in Art and Science’, (The MIT Press, 2010), p.144

6) Cretien van Campen, 앞의 책, pp.146-148

7) Cretien van Campen, 앞의 책, p.18

8) Lynn Robertson, Noam Sagiv, 앞의 책, p.5

Newton, 1642-1727)은 자신의 저서 ‘Opticks’(1704)에서 무지개 색깔의 파장 구조를 7개의 구획으로 나누어 온음계 7음과 대응시키며, 빛과 음 사이의 비례 관계를 제시하였다.⁹⁾[그림-1]



[그림-1] 뉴턴이 ‘Opticks’에서 제시한 색-음계 대응 원¹⁰⁾

루이 베르트랑 카스텔(Louis Bertrand Castel, 1688-1757)은 Ocular Harpsichord¹¹⁾를 고안하였으며, 19세기 후반에는 배인브리지 비숍(Bainbridge Bishop, 1800년대)¹²⁾과 알렉산더 윌리스 리밍턴(Alexander Wallace Rimington, 1854-1918)이 전기식 컬러 오르간(color organ)을 고안함으로써 음향과 색채의 체계적 대응 가능성을 확장했다.¹³⁾[그림-2]

9) 김유진, 엄혜주, 「음고와 색의 연관성에 관한 실험적 연구: 음악 교육, 음고 분별력, 성별 차이를 중심으로」, (이화음악논집, 제22집 1호, 서울: 이화여자대학교 음악연구소, 2018), 52쪽

10) Isaac Newton, ‘Opticks’, Book I, PartII, PlateIII, Figure 11.

11) 건반을 누르면 음이 발생함과 동시에 색채 셔터가 열리며 빛이 투사되도록 설계된 초기 색채-음악 기계이다.

12) 출생과 사망 연도에 대한 기록이 불분명함.



[그림-2] 리밍턴의 컬러 오르간¹⁴⁾

추상 미술의 선구자인 바실리 칸딘스키(Wassily Kandinsky, 1866-1944)는 그의 저서 「예술에서의 정신적인 것에 대하여」를 통해 공감각적 관계를 예술의 근본 원리로 격상시켰다. 그는 색채를 ‘영혼에 직접 작용하는 힘’으로 규정하고, 음향이 청각을 통해 영혼에 진동을 일으키듯 색채도 시각을 통해 내적 울림을 발생시키며 상호 공명한다고 주장했으며,¹⁵⁾ 이러한 주장은 그의 작품들에서 구체적으로 드러난다. 칸딘스키의 작품 *Impression III*(1911)은 쇤베르크(Arnold Schönberg, 1874-1951)¹⁶⁾의 콘서트에서 받은 영감을 바탕으로 제작되었으며, 작품에서는 소리의 에너지와 방향성이 색채로 전환되어 표현되었다.[그림-3]

13) 김유진, 「컬러 음악의 역사적 고찰」, (한국예술연구, 제20호, 2018), 212-214쪽

14) Wallace Rimington, ‘Colour-Music: The Art of Mobile Colour’ (Hutchinson, 1912), p.44

15) 바실리 칸딘스키, 권영필 역, 「예술에서의 정신적인 것에 대하여」, 2019

16) 오스트리아 출생 미국 작곡가, 음악 이론가이자 음악 교육가이다.



[그림-3] 칸딘스키의 작품 *Impression III*¹⁷⁾

검은 형태는 무대 위의 그랜드 피아노를, 검은 곡선들은 청중들을, 노란색은 음악의 에너지와 생동감을 나타낸다. 이 작품은 칸딘스키가 음악적 영감을 시각적으로 표현한 대표적인 사례로 평가된다.¹⁸⁾¹⁹⁾ 이후 저서 「점·선·면」에서는 이러한 철학을 구체적인 조형 문법으로 확장하여 조형 언어의 최소 단위인 점·선·면에 각각 내재된 에너지를 정의하였으며, 그는 형태와 색채 간의 필연적인 공감각적 결합을 주장하였다. 예를 들어 날카로운 예각은 밖으로 확산하려는 황색에, 안정적인 직각은 견고한 적색에, 내향적인 둔각은 고요한 청색에 대응시키는 방식으로 소리의 구조적 변화를

17) <https://www.wassilykandinsky.net/work-170.php>

18) 유진서, 「음악을 보고, 색을 듣다: 칸딘스키 이론을 기반으로 한 음악 시각화 실험」, 홍익대 석사학위논문, 2025, 14쪽

19) 김세바스찬유양, 「소리와 회화의 만남에 관한 연구」, 가톨릭관동대 석사학위논문, 2016, 28-30쪽

시각적인 형태와 색채 변화로 나타낼 이론적 틀을 제시했다.²⁰⁾

이러한 역사적 전개는 소리와 색의 관계가 단순한 감각적 대응을 넘어, 음악의 시간성과 구조가 빛의 색채·형태와 결합할 수 있는 예술적·기술적 기반을 형성해 왔음을 보여준다. 공감각자로 알려진 다수의 예술가는 자신의 소리-색 공감각 경험을 작품에 투영하며 청각과 시각을 통합하는 시도를 지속해 왔다. 이러한 경향은 개별적 체험에 기반한 감각 대응을 예술적 형식으로 확장한 사례들에서 두드러지게 나타나며, 다음은 이러한 공감각적 인식을 구체적인 작품으로 구현한 대표적인 사례들이다.

러시아 작곡가 알렉산드르 스크랴빈(Alexander Scriabin, 1872-1915)은 교향곡 *Prometheus: The Poem of Fire*(1910)에서 색광 피아노(Clavier à lumières)²¹⁾를 도입하여 음악과 색광을 결합하였으며, 프랑스 작곡가 올리비에 메시앙(Olivier Messiaen, 1908-1992)은 기악곡 *Couleurs de la cité céleste*(1963)의 악보에 색채를 직접 기보하였고, 그의 저서 'Technique de mon langage musical'(1944)에서 색채 선법에 대해 언급했다. 바실리 칸딘스키는 실험극 작품 *Der gelbe Klang*(1912)에서 음악, 색채, 움직임 등을 결합한 공감각적 관계 실험을 하였고, 미국 작곡가 마이클 토크(Michael Torke, 1961-)는 교향곡 *Bright Blue Music*(1985)에서 특정 색의 이미지를 음악적 구조로 구성하였다.[표-1] 이러한 예시들은 소리-색 공감각이 예술 창작의 원동력으로 기능할 수 있음을 보여준다.

20) 바실리 칸딘스키, 차봉희 역, 「점·선·면」, 2019, 61-65쪽

21) Clavier à lumières 또는 tastiéra per luce는 스크랴빈이 그의 작품 *Prometheus: The Poem of Fire*에서 사용하기 위해 발명한 악기이다.

[표-1] 소리-색 공감각을 작품에 투영한 예술가 및 작품

예술가	대표 작품	특징
스크랴빈	<i>Prometheus: The Poem of Fire</i>	Clavier à lumières (색광 피아노)를 통한 빛·색의 음악적 제시
메시앙	<i>Couleurs de la cité céleste</i>	악보에 직접 색채 지시 색채 선법(color modes) 사용
칸딘스키	<i>Der gelbe Klang</i>	음악, 색채, 움직임 등을 결합한 공감각적 관계 실험
마이클 토크	<i>Bright Blue Music</i>	특정 색의 이미지를 음악적 구조로 구성

2. 사운드 · 라이트 아트의 미학적 접근

사운드 · 라이트 퍼포먼스는 통합적인 감각 경험을 창출하는 예술적 공연 형식이고, 그 미학적 토대는 사운드 · 라이트 아트에 뿌리를 두고 있다. 사운드 · 라이트 아트는 음향과 빛을 조형적 · 공간적 매체로 간주하여 통합적인 감각 경험을 탐구하는 예술 분야를 총칭하며, 특히 빛이라는 매체를 예술적으로 다루려는 오랜 역사적 시도에서 그 기원을 찾을 수 있다. 이러한 맥락에서, 사운드 · 라이트 아트의 미학적 접근을 이해하기 위해서는 빛을 단순한 조명이나 보조 수단이 아닌 독립적인 예술 매체로 인식하기 시작한 라이트 아트의 역사적 배경을 먼저 살펴볼 필요가 있다.

1) 라이트 아트의 역사적 배경

19세기 이전, 빛은 대상의 입체감과 공간감을 부여하거나 신성한 분위기를 연출하는 재현의 도구로서 기능해 왔다. 르네상스와 바로크, 낭만주의를 거쳐 인상주의에 이르기까지 빛은 자연과 사물을 드러내는 시각적 매개체였다.

19세기 이후 전기 조명의 도입과 20세기 초 미래주의 선언을 기점으로 예술가들은 빛을 단순히 대상을 비추는 기능적 요소가 아니라 독립적인 조형 언어로 다루기 시작하였다.²²⁾

22) 김재곤, 「Light Art에서 나타난 빛과 공간연구」, 홍익대 석사학위논문, 2003, 8쪽



[그림-4] 모홀리-너지의 작품 *Lich-Raum-Modulator*²³⁾

헝가리의 화가이자 사진작가인 모홀리-너지(László Moholy-Nagy, 1895-1946)가 바우하우스에서 발표한 작품 *Lich-Raum-Modulator*(1930)는 빛의 투과·굴절·반사·운동을 하나의 조형적 사건으로 통합하려는 초기 시도라는 점에서 이후 라이트 아트²⁴⁾의 바탕을 이루었고, 이러한 흐름은 키네틱 아트²⁵⁾와 옴 아트²⁵⁾로 이어지며 빛과 운동성을 결합한 실험으로 구체화되었다.[그림-4]

23) Santa Barbara: Museum of Art

https://www.researchgate.net/figure/Moholy-Nagy-L-1929-30-Light-Prop-for-an-Electric-Stage-Light-Space-Modulator_fig4_324574332

24) 작품 자체가 움직이거나 움직이는 부분을 포함하는 예술 작품을 뜻한다.

25) 기하학적 형태와 색상의 정밀한 배열을 사용하여 움직임이나 숨겨진 이미지처럼 보이는 착시를 유발하는 시각 예술이다.

1960년대에 이르러서는 형광등, 네온, 레이저 등 인공 광원의 발달로 빛 자체를 예술의 직접적인 매체로 활용하는 라이트 아트가 확립되었다. 니콜라 세페르(Nicolas Schöffer, 1912-1992)²⁶⁾와 같은 예술가들은 관객의 움직임이나 환경 변화에 반응하는 설치 작품을 시도함으로써, 빛이 고정된 대상이 아니라 시간성과 상호작용성을 갖는 매체임을 강조하였다.[그림-5]



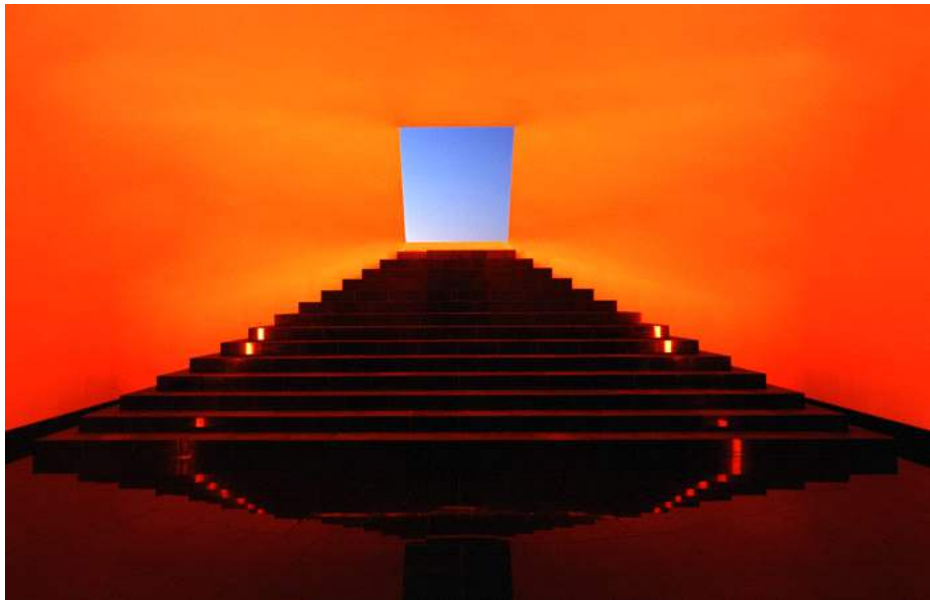
[그림-5] 니콜라 세페르의 작품 *CYSP I*²⁷⁾

26) 헝가리 태생의 프랑스 사이버네틱스 예술가이다.

27) <http://dada.compart-bremen.de/item/artwork/670>

28) 세계 최초로 전자 제어 시스템과 센서를 결합한 사이버네틱 조각으로, 조도·소리·움직임 변화에 따라 빛의 색·패턴·회전 속도가 실시간으로 달라진다. 관객의 위치나 움직임이 작품의 빛과 운동에 직접 영향을 미치기 때문에, 빛이 시간상으로 변형되는 감각적 사건으로 기능할 수 있다. 빛, 그림자, 운동이 관객의 지각 구조를 재편하는 최초의 컴퓨팅 기반 아트로 평가된다.

1960년대 이후에는 미니멀리즘과 환경적 설치 예술이 결합하며 라이트 아트가 공간지각 연구와 긴밀히 연결되었다. 미국 예술가 제임스 터렐(James Turrell, 1943-)과 댄 플래빈(Dan Flavin, 1933-1996)과 같은 작가들은 빛을 통해 공간 자체를 재구성하고, 물질적 사물의 한계를 넘어 공간을 점유하고 변형시키며, 관람자의 지각 경험을 유도하는 환경적인 예술 형식을 제시하며, 이 시기의 라이트 아트는 공간 경험을 예술의 핵심 매개로 삼는 담론을 확립하였다.²⁹⁾³⁰⁾[그림-6]



[그림-6] 제임스 터렐의 작품 *Lost Horizon*³¹⁾

29) 강정하, 「제임스 터렐의 작품에 나타난 ‘빛’의 특성연구」, 홍익대 석사학위논문, 2012, 26-30쪽

30) 김재근, 앞의 글, 3-8쪽

31) <https://www.museumsan.org/eng/james/product.jsp?m=3&s=2>

© James Turrell Photo: Florian Holzherr

1990년대 이후 디지털 기술과 영상 매체의 발전은 라이트 아트의 확장에 결정적 전환점을 제공하였다. 컴퓨터 그래픽, 레이저 프로젝션, 대형 미디어 파사드³²⁾ 기술은 빛을 정밀하게 제어하고 도시 규모의 시각 환경을 재구성하는 새로운 장르를 형성하였다. 이 과정에서 라이트 아트는 건축, 사운드, 데이터 시각화와 적극적으로 결합하며 전통적 설치 예술을 넘어 다매체적 환경예술로 확장되었다. 료지 이케다(Ryoji Ikeda, 1966-)나 알바 노트(Alva Noto, 1965-)와 같은 작가들은 소리·빛·데이터를 동등한 조형 요소로 통합하며, 빛을 하나의 감각적 인프라로 재개념화하였다.

라이트 아트의 역사는 빛을 시각적 요소에서 지각적 구조로 재정의하는 과정이었다. 이와 같은 맥락에서 사운드가 결합하면, 빛과 소리는 공간을 조형하는 동시에 시간의 흐름과 리듬을 조직하는 공감각적 요소로 기능한다. 특히 현대적 설치 맥락에서 두 매체는 동일한 디지털 신호와 조형 언어를 공유함으로써, 공간의 깊이·밀도·리듬을 다층적으로 재구성한다. 이로써 사운드·라이트 아트는 단일 감각 중심의 조형 방식에서 벗어나, 공간 전체를 하나의 통합된 감각적 장으로 조직하는 미학적 체계를 형성하게 된다.³³⁾

2) 사운드·라이트 아트에서의 조명 효과

사운드·라이트 아트에서 조명은 더 이상 음악을 보조하는 장식적 요소에 머물지 않고, 음악적 시간성을 공간적 경험으로 변환하는 핵심

32) 건물 외벽을 스크린으로 활용하여 조명·영상·정보 등을 투사하는 미디어 예술이다.

33) 김재근, 앞의 글, 42쪽

매체로 기능한다. 빛의 방향·색채·밝기·확산도·움직임 등은 모두 관객이 지각하는 공간의 깊이와 규모에 직접적인 영향을 미치며, 음악이 지닌 정서적·구조적 성질을 시각적으로 재구성한다. 특히 현대 공연에서 사용되는 moving light³⁴⁾와 DMX512³⁵⁾ 기반 조명 시스템은 소리의 리듬·강세·음색 등에 즉각적으로 반응하며, 무대의 경계·형태·공간감을 실시간으로 변화시키는 능동적 시각 매체로 작동한다.

이러한 조명의 역할은 크게 두 가지 측면에서 미학적 의미가 있다. 첫째, 공간의 재구성이다. 우리는 빛에 의해 형태를 파악하고 공간을 인식하기 때문에 빛은 공간·형태 개념의 형성 과정에서 가장 중요한 역할을 한다고 볼 수 있고, 모든 기본 형태는 빛과 그림자로 현상하여 인간의 미의식에 영향을 미치는 것으로 설명될 수 있다.³⁶⁾ 예를 들어, moving light의 움직임과 크기 조작으로 생성되는 빛의 빔(beam)은 안개 속에서 물리적인 빛의 기둥으로 가시화되며, 빛의 역동성을 공간 속에 직접 그려내는 효과를 만든다. 조명이 전면으로 확산하면 관객은 공간이 확장되는 경험을 하게 된다.

둘째, 정서적 몰입과 음악 구조의 시각적 인지 강화이다. 다수의 선행 연구에 따르면, 청각적 음색과 정서적 반응은 시각적 색채와 유의미한 상호 연관성을 가지며,³⁷⁾ 이러한 감각 간 대응 관계는 시청각 정보가 통합될 때 정서적 처리와 구조적 인지의 효율을 높이는 것으로

34) 빛의 방향·색상·패턴 등을 컴퓨터로 실시간 원격 조절하여 동적 조명 연출이 가능한 무대 조명 장비이다.

35) 무대 조명 및 이펙트 장비의 디지털 제어를 위한 표준 통신 프로토콜이다.

36) 신봉현, 「공간의 의미와 효과 표현을 위한 조명효과에 관한 연구」, 홍익대 석사학위논문, 2004, 13-15쪽

37) 김희정, 「청각과 시각의 교차감각 매핑에 의한 인터랙티브 사운드 시각화 연구」, 홍익대 석사학위논문, 2018, 98쪽

보고되었다.³⁸⁾³⁹⁾ 예를 들어, 소리의 변화가 조명의 색상·밝기·움직임 등과 실시간으로 동기화될 때, 관객은 음악의 감정선과 구조를 청각뿐 아니라 시각적으로도 동시에 인지하게 되며 ‘빛의 악보화’를 경험하게 된다. 또한, 음악적 긴장·이완·전환과 같은 시간적 변화가 조명의 밝기·색채의 변화와 빔의 확산·수축 등으로 대응하면서, 음악 구조가 공간 안에서 가시적 구조물로 드러나는 효과를 낳는다. 이는 음악 감상 과정에서의 몰입도를 높이며,⁴⁰⁾ 시간 예술로서의 음악이 조명을 매개로 공간 예술적 성격을 획득하는 과정을 강화한다.

음악은 본질적으로 시간 기반 예술이고, 조명은 공간 기반 시각 매체이기 때문에, 이 둘이 통합될 때 작품은 시간과 공간의 구조를 동시에 조직하며 다감각적 지각을 만들어낸다. 결과적으로, 음악과 빛의 통합은 기술적 선택을 넘어, 사운드·라이트 아트가 성립하기 위한 미학적 필연에 가깝다.

38) 김희정, 앞의 글, 22쪽

39) Cretien van Campen, 앞의 책, p.146-148

40) 김희정, 앞의 글, 99쪽

III. 기술 연구

1. 사운드 제작 연구

본 작품 <Luminophony>는 선행 연구에서 논의한 사운드·라이트 퍼포먼스의 개념을 더욱 효과적으로 구현하기 위해, 스펙트럴리즘과 드론 음악의 음향적 특성을 활용해 소리의 공간성을 구체화하고자 하였다.

17세기 이후 수리 자연학의 발달은 소리를 이해하는 방식에 대한 중대한 변화를 불러왔다. 이전까지 소리에 대한 기술이 ‘높다, 낮다, 크다, 작다’와 같은 추상적이고 상대적인 언어에 머물렀던 반면, 근대 이후 소리는 주파수(frequency), 음량(amplitude), 배음 구조(partials)와 같은 수리적·물리적 척도에 기반하여 기술할 수 있는 대상으로 재정의되었다. 이는 소리를 단순한 청각적 현상이 아니라, 측정할 수 있고 구조적으로 분석할 수 있는 존재로 확장하는 계기가 되었다.⁴¹⁾

20세기 후반 이후 전자음악 기술과 디지털 신호처리 환경의 발전은 이러한 관점을 더 심화시켰다. 소리를 구성하는 요소들을 세밀하게 분석하고 조작할 수 있는 기술적 기반이 마련되면서, 음색은 음악의 구조를 조직하는 핵심적 파라미터(parameter)로 자리하게 되었다. 이로써 음악의 형식은 선율·화성·리듬 중심의 전통적 언어에서 벗어나, 소리의 스펙트럼 변화로 표현할 수 있게 되었고, 이러한 사고 전개는 이후 등장한 음색 중심 작곡법의 사운드 구조를 이해하기 위한 중요한 이론적 기반이 된다.

41) 김영민, 「전자음악의 예술적 정의와 지향성 연구」, 동국대 박사학위논문, 2025, 50쪽

1) 스펙트럴리즘

스펙트럴리즘(spectralism)은 1970년대 프랑스 작곡가 그룹을 중심으로 정립된 음악적 흐름으로, 소리를 구성하는 배음과 주파수 스펙트럼을 작곡의 근본적 재료로 삼는 작곡 경향이다. 특히 이 경향은 스펙트로그램(spectrogram)⁴²⁾과 같은 음향분석 기술이 발전하면서, 복합음(complex tone)의 배음 구조와 물리적 특성을 음악의 기초 단위로 활용하려는 시도에서 비롯되었다. 이는 음렬음악(serialism)⁴³⁾의 과도한 개념성에 대한 반발과 더불어, 실제 소리의 물리적·청각적 특성에 주목하는 새로운 작곡적 감각이 결합하면서 형성된 흐름으로 이해할 수 있다.⁴⁴⁾

스펙트럴리즘의 작곡가들은 특정 음의 기음(fundamental frequency)과 그 위에 형성되는 배음군을 분석하여 이를 시간적 변화의 구조로 재해석하였다. 제라르 그리제이(Gérard Grisey, 1946-1998)와 트리스탕 무라이(Tristan Murail, 1947-)는 이러한 배음 기반 사고를 토대로 주파수 스펙트럼의 확대·수축, 공명의 변화, 배음의 생성·소멸 등을 음악의 중심적 사건으로 다루었다. 그리제이의 작품 *Partiels*(1975)은 기악 가산합성⁴⁵⁾을 잘 보여주는 곡으로, 기음이 11번 반복하는 동안 배음렬의 배열이 점차 바뀌도록 하였고,⁴⁶⁾ 무라이는 작품 *Désintégrations*(1982)에서 고정된 기음 위로 배음들의 간격을 넓혀가며 음향을 왜곡시키는 배음렬

42) 시간에 따라 소리나 파동의 주파수 성분 변화를 시각화한 그래프이다.

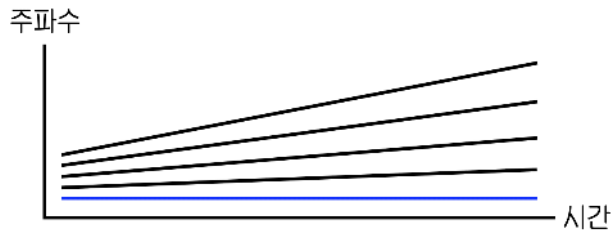
43) 수학적으로 배열한 12개의 음렬을 규칙적으로 반복·변형시켜 곡을 구성하는 현대 음악 기법이다.

44) 홍요섭, 「배음렬음악의 경향과 기법에 관한 연구」, 경희대 박사학위논문, 2011, 6-8쪽

45) 오케스트라에 사용된 악기들을 사용한 복합음에 의한 가산합성 방식이다.

46) 홍요섭, 앞의 글, 55-58쪽

확장 기법을 사용하였다.⁴⁷⁾[그림-7] 이로써 시간에 따른 음색의 점진적 변화가 나타나게 된다. 이들에게 음색은 단일한 성질이 아니라 배음들의 관계가 시간 속에서 지속적으로 재배열되는 동적 구조로 이해되며, 음색의 변화 자체가 음악적 형식을 형성하게 된다.



[그림-7] 고정된 기음 위에서 시간에 따라 배음들의 간격이 넓어지는 모습

스펙트럴리즘은 소리를 수리적으로 분석할 수 있는 구조로 인식했던 근대적 개념의 연장선 위에서 발전했으며, 전자음악·신호처리 환경이 제공하는 세밀한 스펙트럼 조작 기술과 결합함으로써, 현대 사운드 디자인에서 음색을 중심으로 음악을 구성하는 사고 틀을 확립한 중요한 흐름으로 평가된다.

2) 드론 음악

스펙트럴리즘이 배음 구조의 미세한 변화를 음악의 핵심 구성 원리로 삼듯, 드론 음악(drone music) 역시 지속음에서 펼쳐지는 배음·공명 등의 작은 움직임을 중심으로 이뤄진다. 드론 음악은 하나 이상의

47) 홍요섭, 앞의 글, 66쪽

지속음 또는 장기간 유지되는 음향적 배경을 중심으로 음악적 구조를 형성하는 양식으로, 음정 이동이나 선율적 전개보다 지속되는 소리 내부에서 발생하는 음색적 변화와 배음의 미세한 움직임이 음악적 사건을 만들어낸다는 특징을 지닌다. 지속음은 단일 음 혹은 배음군으로 구성되며, 청취자는 음고 변화가 거의 없는 상황에서 오히려 배음의 생성과 소멸, 공명의 강화와 감쇠, 위상 간섭(phase interference)과 같은 미시적 변화를 지각하게 된다. 이러한 드론 기반의 청취 구조는 인도 고전음악의 탄푸라(tanpura), 몽골의 throat singing 등의 다양한 전통음악에서 발견되며, 현대에 이르러 라 몬테 영(La Monte Young, 1935-), 필 니블록(Phil Niblock, 1933-2024)과 같은 작곡가들에 의해 전자 음향 및 신시사이저 기술과 결합하며 확장되었다.⁴⁸⁾

드론 음악은 앰비언트 음악⁴⁹⁾의 특징 중 하나인 공간감과도 연결된다. 공간감은 음악에서 소리의 배치와 확장을 통해 물리적·심리적·상상적 공간을 형성하는 중요한 음악적 특성으로, 심리적 공간 속 드론 요소는 지속적인 음향 배경을 통해 공간의 연속성을 강조하게 된다.⁵⁰⁾

앰비언트 음악의 선구자인 브라이언 이노(Brian Eno, 1948-)는 그의 앨범 *Ambient 1: Music for Airports*(1978)의 라이너 노트에서 “앰비언트 음악은 평온함을 유도하고 사고할 수 있는 공간을 열어주는 데 목적이 있다.(Ambient Music is intended to induce calm and a space to think.)”라고 하며, 소리가 단순한 배경을 넘어 청자가 머무를 수 있는 심리적·감각적 공간을 형성하는 하나의 환경적 구조로 기능함을 강조한다.

48) https://en.wikipedia.org/wiki/Drone_music

49) 전자음악의 하위 장르로, 음색과 분위기를 강조하는 음악 장르이다.

50) 김승진, 「앰비언트 음악의 특징을 활용한 Plug Data 패치 작성 연구」, 상명대 석사학위논문, 2025, 74-76쪽

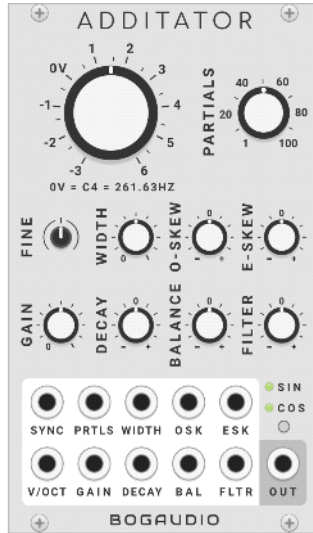
3) 공간적 감각을 위한 사운드 디자인

본 작품에서는 음악의 공간적 감각을 표현하기 위해 스펙트럴리즘을 기반으로 한 드론 음악을 만들고, 그 위에 점차적인 변화를 더해가며 음악적 레이어를 구성하였다.

드론 중심의 사운드 디자인은 VCV Rack⁵¹⁾상에서 Bogaudio의 Additator 모듈을 중심으로 한 가산 합성(additive synthesis) 방식으로 구현되었다.[그림-8] Additator는 최대 100개의 사인파·코사인파 성분을 독립적으로 조절할 수 있는 구조를 가지며, 이를 통해 특정 기본 주파수를 중심으로 배음 스펙트럼을 정밀하게 구성할 수 있다.

PARTIALS, WIDTH, SKEW 등의 주요 파라미터는 배음 간 주파수 간격과 분포를 비선형적으로 변형할 수 있게 하여, 시간의 흐름에 따라 지속적으로 변화하는 스펙트럼 구조를 형성한다. 본 작품에서도 이 파라미터들을 활용하여 뮤라이의 작품에서 볼 수 있었던 배음렬의 확장·압축을 구현하였다. 특히 WIDTH와 SKEW 파라미터의 조합은 배음군의 상·하 이동을 유도하여 드론 음악 특유의 미세한 음색 변화와 내부적 움직임이 발생하도록 만든다. 또한 DECAY와 BALANCE 파라미터를 활용한 배음의 음량 제어는 시간적 흐름 속에서 특정 배음들이 자연스럽게 부각되거나 소멸하도록 하여, 드론 음악의 장기적 지속성 속에서도 유기적 변화가 유지되는 스펙트럼을 형성할 수 있다.

51) VCV Rack은 무료 오픈 소스 가상 소프트웨어 모듈러 신시사이저이다.



[그림-8] Bogaudio의 Additator

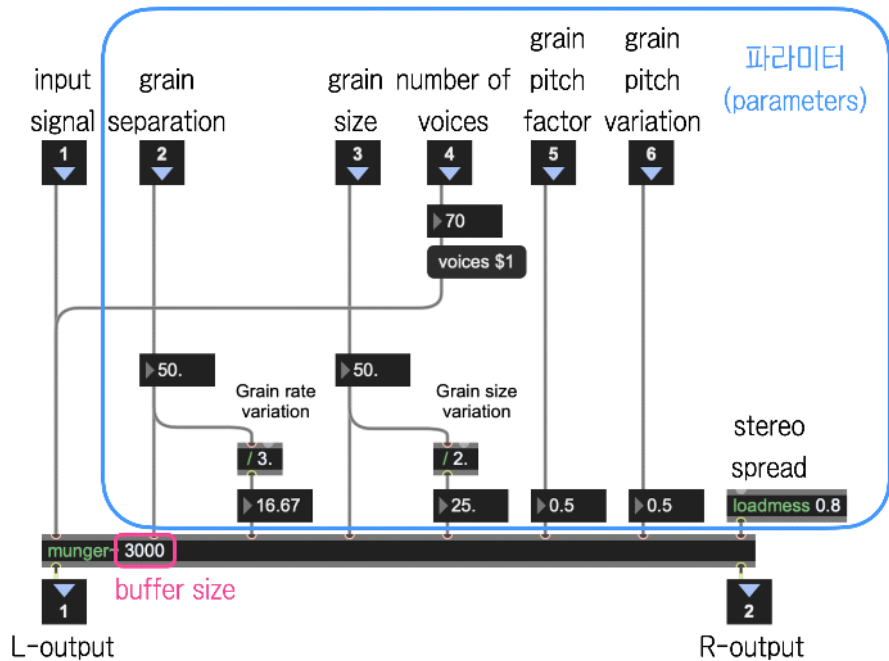
4) 사운드 프로세싱 연구

VCV Rack에서 제작된 음악은 Ableton Live⁵²⁾로 전달된 후 Max for Live⁵³⁾ 기반의 음향효과 모듈을 통해 추가적인 사운드 프로세싱을 거치며 음악의 공간성을 확장한다.

52) 독일 회사 Ableton이 개발한 디지털 오디오 워크스테이션(DAW)이다.

53) Ableton Live 안에서 Max/MSP로 직접 기기를 제작·수정·자동화할 수 있게 해주는 통합 개발 환경이다. Max는 Cycling '74에서 개발하고 관리하는 음악 및 멀티미디어를 위한 시각적 프로그래밍 언어이다.

① granular synthesis



[그림-9] granular synthesis를 구현한 Max for Live 패치

granular synthesis는 오디오 신호를 grain이라 불리는 극히 짧은 단위로 분해하고, 이 grain들을 독립적으로 제어하여 재조합함으로써 새로운 음향적 질감과 구조를 만들어내는 합성 방식이다. grain은 보통 1ms에서 100ms 사이의 매우 짧은 시간 폭을 가지며⁵⁴⁾ 각각의 grain은 독립적인 길이, 진폭 엔벨로프(amplitude envelope), 음고, 밀도, 위치 등의 파라미터를 갖는다. 이러한 형태의 합성은 아주 짧은 지속

54) Alessandro Cipriani, Maurizio Giri, 'Electronic Music and Sound Design - Theory and Practice with Max8 - volume 3', (Contemponet, 2023), p.366

시간을 가진 수많은 소리의 생성, 중첩, 그리고 공간화를 통해 풍부하고 복잡한 사운드 텍스처를 만들어내는 데 아주 효과적이다.⁵⁵⁾

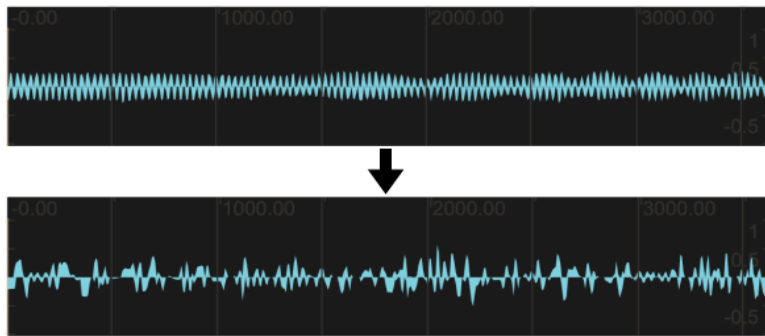
본 작품에서는 드론 음악에 granular synthesis를 적용함으로써 지속적인 음향을 확장·분산시키고, 이를 통해 시간 기반의 음향 흐름이 공간적 감각으로 전환될 수 있도록 하였다. [그림-9]는 작품 <Luminophony>에서 활용된 granular synthesis 패치로, Max for Live 환경에서 munger~오브젝트를 중심으로 구현되었다. munger~는 입력될 buffer size⁵⁶⁾를 정한 후, 입력 buffer의 특정 지점을 기반으로 복수의 grain을 동시에 생성하며, 오브젝트 상단의 inlet으로 전달되는 각 파라미터에 따라 그 특성이 실시간으로 변화한다.

grain separation 파라미터는 grain이 생성되는 시간 간격을 결정하며, 값이 작을수록 grain이 밀집되어 연속적인 텍스처를 만든다. grain size는 개별 grain의 크기를 의미하며, 짧은 값은 노이즈에 가까운 질감을, 긴 값은 더욱 명확한 음색적 성질을 형성한다. 이러한 grain size는 variation 인자를 통해 확률적 음향 구조로의 전환이 가능하다. voices는 동시에 생성할 수 있는 grain의 수를 지정함으로써 음향 밀도를 결정하는 핵심 요소이며, grain 수가 많아질수록 두터운 사운드를 만들 수 있다. grain pitch factor와 pitch variation은 각 grain의 재생 속도를 조절하여 음정의 상하향 이동과 불규칙성을 부여함으로써 음정 기반의 변조 효과를 줄 수 있다. stereo spread는 개별 grain을 좌우 채널에 분산시키는 폭을 제어하여 공간적 확산감을 조절한다. 이 파라미터 값이

55) Alessandro Cipriani, Maurizio Giri, 앞의 책, p.326

56) 음향효과에서 buffer는 입력된 오디오 신호를 일정한 시간 또는 샘플 단위로 저장하는 임시 메모리 구조를 의미한다. munger~에서의 buffer size는 밀리초(ms) 단위로 설정되며, 참조할 수 있는 최대 오디오 시간 범위를 의미한다.

올라갈수록 grain들의 위치가 넓게 퍼지면서 입체적인 공간감을 제공한다. 이러한 파라미터들의 조합은 기존 신호를 시간상으로 분해하고 다시 재구성하는 granular synthesis의 특성을 그대로 반영하며, 드론 기반의 사운드 레이어 위에도 자연스럽게 섞여 새로운 공간적·질감적 레이어를 구축한다.[그림-10]



[그림-10] 원본 신호 파형과 granular synthesis로 합성한 파형

② delay 음향효과

delay 음향효과는 입력 신호(input signal)를 일정 시간 저장한 뒤, 설정된 지연 시간(delay time) 이후에 재생하는 대표적인 시간 기반(time-based) 음향효과이다. 이 과정에서 입력 신호의 복사본이 반복적으로 생성되는 피드백 루프(feedback loop)를 활용하여, 다양한 공간적 효과를 만들어낸다. 지연 시간이 짧고 피드백이 낮은 경우에는 공간적 깊이감을 부여하는 잔향 효과로 기능하고, 지연 시간이 길고 피드백량이 높은 경우에는 원래의 소리를 여러 번 반복시키며 계속된 음향적 궤적을 형성한다. 본 작품에서는 음악의

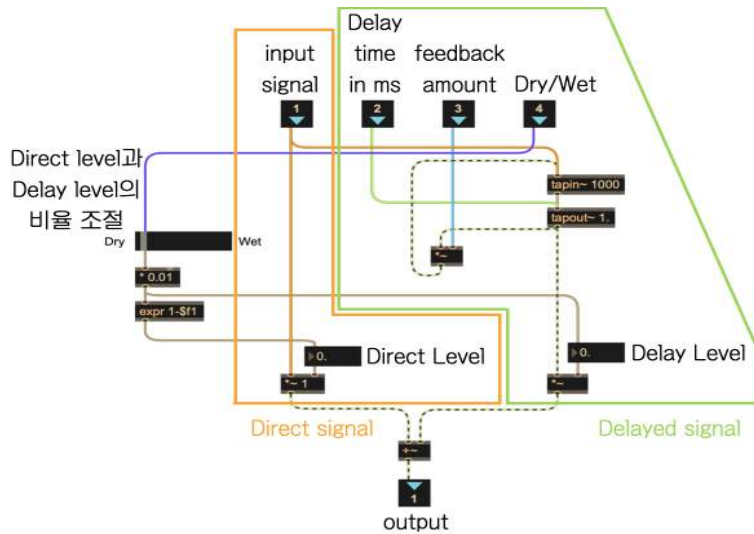
공간화를 극대화하기 위해 delay 음향효과를 적극적으로 활용하였다.

[그림-11]은 작품 <Luminophony>에서 Max for Live를 사용하여 구현한 delay 음향효과 패치이다. 이는 direct signal⁵⁷⁾과 delayed signal⁵⁸⁾을 분리하여 처리하는 전형적인 delay 음향효과 구조를 따른다. tapin~오브젝트는 입력 신호를 받아서 delay 라인을 구성하기 위한 입력 buffer로 기능한다. 이후 tapout~오브젝트가 해당 buffer로부터 설정된 지연 시간을 읽어냄으로써 다양한 delay 효과를 구현할 수 있다. tapout~에서 출력된 신호는 *~오브젝트를 통해 입력된 피드백 계수(feedback amount)만큼 증감된 뒤 다시 tapin~으로 전달되어 피드백 루프를 형성한다. 피드백 계수가 낮을수록 반복 감쇠가 빠르게 일어나 원신호의 명확성이 강조되며, 값이 1에 근접할수록 지연 신호가 장시간 지속되며 공명에 가까운 특성을 나타낸다. 마지막으로 dry/wet 슬라이더는 direct signal과 delayed signal의 비율을 조절하여 전체 delay 음향효과의 농도를 제어하는 역할을 한다.

본 작품에서는 전체 구조의 흐름에 따라 클라이맥스로 갈수록 delay의 피드백 계수와 wet 레벨을 점진적으로 증가시켜, 음악적 긴장감과 함께 공간적 확장감이 고조되도록 설계하였다.

57) 지연 처리를 거치지 않고 출력되는 원본 신호

58) buffer에 저장된 입력 신호가 지연 시간 이후에 출력되는 신호

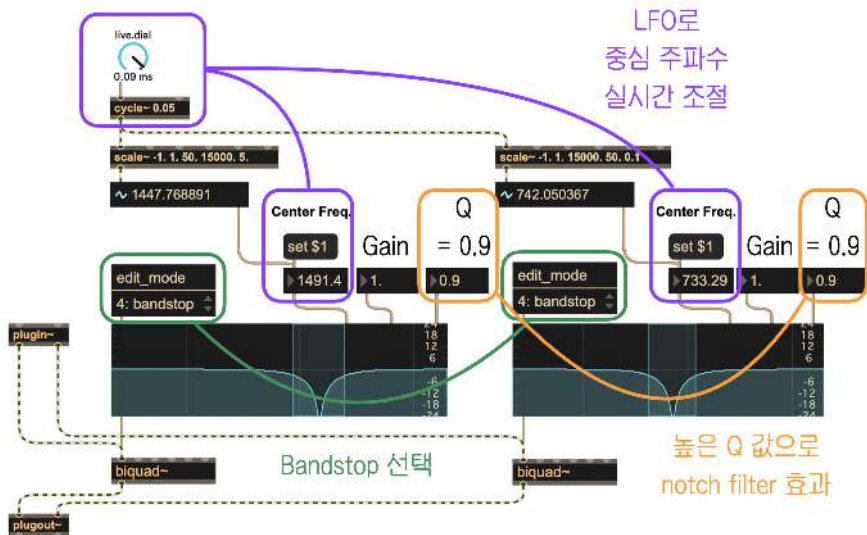


[그림-11] delay 음향효과를 구현한 Max for Live 패치

③ notch filter

필터(filter)는 입력 신호의 주파수 또는 주파수 대역을 선택적으로 감쇠 또는 강조하는 신호처리 기법이다. 일반적으로 필터는 특정 대역을 통과시키는 low-pass · high-pass · band-pass와 특정 주파수만 감쇠하는 band-stop · notch 등으로 분류된다. 이 가운데 notch filter는 아주 좁은 특정 주파수 영역만 깊게 감쇠하고 주변 대역은 유지하는 특성을 가지며, 특정 배음 제거, 공진 억제, 혹은 의도적인 ‘주파수 구멍’ 생성에 활용된다. 특히 중심 주파수(center frequency)를 LFO⁵⁹⁾로 변조하면 스펙트럼 구조가 지속적으로 변화하여 공간이 흐르는 듯한 모듈레이션 효과를 만들 수 있다.

59) low-frequency oscillator의 약자이며, 일반적으로 20Hz 이하의 저주파 발진기를 말한다. 주로 오디오 효과를 만들기 위해 신시사이저와 같은 음악 장비를 조절하는 데 사용된다.



[그림-12] notch filter를 구현한 Max for Live 패치

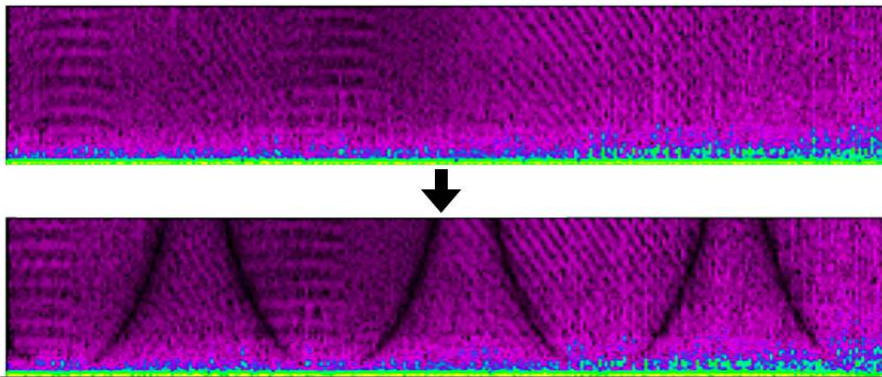
[그림-12]는 Max for Live에서 biquad~오브젝트를 사용하여 notch filter를 구현한 패치이다. biquad~는 Max/MSP에서 제공하는 IIR 2차 필터⁶⁰⁾로, 중심 주파수, gain, Q(대역폭), 필터 타입 등으로 주파수 응답을 정밀하게 제어할 수 있는 오브젝트이다. 본 패치는 biquad~ 기반의 notch filter 두 개를 병렬로 구성하여 좌우 신호에 각각 개별적인 필터를 적용하였다. 각 필터의 중심 주파수는 LFO를 통해 실시간으로 변조되며, cycle~오브젝트가 LFO 역할을 수행한다. 또한 live.dial오브젝트를 활용해 LFO의 주파수를 실시간으로 조절할 수 있도록 하였고, scale~오브젝트를 사용하여 필터의 중심 주파수 변조 범위를 설정함으로써 LFO 출력값에 따라 biquad~의 중심 주파수가 자연스럽게 이동하도록 하였다. biquad~의 edit_mode는

60) 과거 출력값을 피드백으로 사용하는 2차 차분방정식 기반의 주파수 필터로, 적은 연산으로도 정교한 필터 곡선을 구현할 수 있는 구조로 되어 있다.

bandstop으로 지정하고, 전체 신호 레벨은 변화시키지 않기 위해 gain은 1로 유지하였다. Q 값은 낮을수록 감쇠 대역이 넓어지고, 높을수록 더 얇고 깊은 notch가 생성되기 때문에, 본 패치에서는 0.9로 높은 값을 고정하여 notch filter의 특성을 구현하였다.

notch filter의 중심 주파수를 이동시키면 주파수 구멍의 이동 효과가 나타나며, 두 개의 notch filter가 서로 다른 속도로 이동할 경우 위상적 변화를 포함한 입체적 공간감이 형성된다. [그림-13]에서도 이러한 주파수 구멍의 이동을 확인할 수 있다.

본 작품에서는 notch filter의 이러한 효과를 활용하여 음색 내부에 공간이 흐르는 듯한 스펙트럴 모듈레이션 효과를 형성하였다. 이러한 방식은 작품이 지향하는 음악의 공간적 확장을 음향적 차원에서 구현하는 요소로 작용한다.



[그림-13] 원본 신호와 notch filter가 적용된 신호의 스펙트로그램

2. 영상 제작 연구

본 장에서는 작품 <Luminophony>에서 핵심적으로 다루는 공감각적 감각의 흐름을 나타내기 위해 음악적 구조와 시각적 요소 간의 대응 관계를 정교하게 설계하여 ‘빛을 악보화’하고, 이를 실시간으로 표현할 수 있는 영상 제작 환경을 연구하였다. 본 작품은 드론 기반의 지속적 음향, 배음 스펙트럼의 변화, 퍼커션과 킥 드럼의 리듬적 에너지, 그리고 화성적 밀도의 확장·수축을 시각적 언어로 변환한다. 따라서 영상은 단순한 재생형 콘텐츠가 아니라, 음악적 움직임에 실시간으로 반응하는 메커니즘을 가져야 한다.

바실리 칸딘스키는 그의 저서 「예술에서의 정신적인 것에 대하여」에서 색과 형태, 그리고 음악적 요소가 각각 독립적인 감각 차원이 아니라, 인간의 내적 지각 구조 속에서 상호 공명하며 하나의 정신적 울림을 형성한다고 설명하였다. 그는 색을 ‘영혼에 직접 작용하는 힘’으로 규정하고, 선·형태·리듬을 음악적 시간성과 유사한 구조로 이해함으로써 시각과 청각 간의 공감각적 대응 가능성을 이론적으로 정당화하였다. 이러한 철학적 바탕 위에서, 그는 저서 「점·선·면」을 통해 시각 예술의 언어를 체계화하고 그 구조적 원리를 깊이 있게 탐구했다. 여기서 ‘점’은 더 이상 확장되지 않는, 고립되고 압축된 침묵이자 모든 조형 활동의 최초의 사건을 의미하며, ‘선’은 점의 운동으로 인해 탄생하는 힘과 방향을 표현하는 동적인 에너지이다. 마지막으로 ‘면’은 이 모든 조형 요소의 울림과 긴장을 수용하고 증폭시키는 근원적인 바탕을 의미한다. 칸딘스키는 이 세 기본 요소를 통해 음악적 구조처럼 복잡한 내면의 감동을 시각적으로 구현하고자 하였다. 본 작품의 영상 구성은 이러한 칸딘스키의 이론을 빌려, 음악의 시간적 전개와 에너지 변화를 색채, 형태, 움직임의 변화로 변환하는 실시간 시각화 구조로 설계되었다.

이를 위해 다양한 실시간 그래픽 환경을 검토한 결과, 본 작품의 시각적·기술적 요구를 충족하는 최적의 플랫폼으로 TouchDesigner⁶¹⁾를 선정하였다. TouchDesigner는 노드(node) 기반 구조를 통해 오디오 신호를 분석하고, operator⁶²⁾간 연결을 직관적으로 구성할 수 있어 음악 신호를 조형 요소로 직접 변환하는 데 적합하다. 또한, 다른 매체와의 실시간 매핑(mapping)이 용이하다는 장점이 있다.

1) TD Ableton

TD Ableton은 TouchDesigner를 Ableton Live와 긴밀하게 연결하기 위해 설계된 통합 시스템으로, Ableton Live에서 발생하는 거의 모든 정보를 TouchDesigner에서 직접 조회하고 제어할 수 있도록 하는 도구이다.⁶³⁾ TouchDesigner와 Ableton Live간의 통신은 OSC⁶⁴⁾ 프로토콜을 통해 이루어지며 이러한 구조를 통해 동일 컴퓨터 내에서뿐만 아니라, 네트워크상의 별도 컴퓨터에 설치된 TouchDesigner와 Ableton Live 사이에서도 연결할 수 있다. 사용자는 TouchDesigner의 TD Ableton 관련 operator를 통해 이러한 데이터를 CHOP, DAT 등의 형태로 받아

61) Derivative에서 개발한 노드 기반의 비주얼 프로그래밍 언어

62) TouchDesigner에서 그래픽, 사운드, 데이터 등을 처리하고 변환하는 기본적인 구성 요소이다. 텍스트 및 이미지를 처리하는 TOP, 채널 데이터를 처리하는 CHOP, 3D geometry를 처리하는 SOP, 데이터를 처리하는 DAT, 시스템 단위의 모듈을 구성하는 COMP 등이 있다.

63) <https://derivative.ca/UserGuide/TDAbleton>

64) Open Sound Control의 약자로, 컴퓨터, 사운드 신시사이저 등 멀티미디어 장치 간의 통신을 위해 사용되는 프로토콜이다.

사용할 수 있으며, 반대로 해당 컴포넌트의 파라미터를 조작하여 Ableton Live를 직접 제어할 수 있다.

본 작품에서는 이러한 TD Ableton의 특성을 활용하여, Ableton Live 상의 트랙 재생 상태, 비트(beat)·마디 정보, 오디오 레벨, 특정 트랙의 이펙트 파라미터 등 음악적 정보를 실시간 OSC 데이터로 수신하고, 이 값을 TouchDesigner 내부의 operator network에 매핑함으로써 음악과 영상, 조명이 시간상으로 정밀하게 동기화된 인터랙티브 공연 환경을 구축하였다.

2) TouchDesigner를 이용한 실시간 영상 제작

① 점·선·면 구현 방법

본 작품의 영상은 칸딘스키의 조형 이론을 빌려, 음악의 최소 단위에서부터 시간적 흐름과 공간적 확장에 이르는 과정을 점·선·면의 단계적 구조로 시각화하고자 하였다. TouchDesigner에서는 최소 형태 요소인 점을 Circle TOP으로 구현했다. Circle TOP으로 생성된 점은 Level TOP과 Transform TOP을 통해 밝기와 크기가 변형되며, Feedback TOP으로 잔상 효과를 만들어낸다. Feedback TOP은 이전 프레임의 출력을 다시 입력으로 되돌려 순환시키는 구조로 되어 있으며, 이에 따라 점의 움직임과 잔상이 자연스럽게 누적되어 곡선을 만들어낸다. 피드백 네트워크 내부에는 Transform TOP과 Level TOP이 결합하여, 점의 회전·확대·축소·페이드(fade) 효과가 연속적으로 갱신된다. Blur TOP에서는 누적된 점의 복합체가 부드러운 빛의 덩어리로

변화한다. 이 과정은 피드백 네트워크 내부 operator들의 파라미터를 조절함으로써 점의 궤적이 곡선으로 형성되거나 점들의 복합체가 생성되는 양상을 보여준다. 또한 밝기가 점진적으로 누적될수록 개별 점들이 시각적으로 결합해 점차 면으로 인식되는 과정을 그려낸다. [그림-14]는 TOP을 활용하여 점을 구현한 TouchDesigner 패치이다.

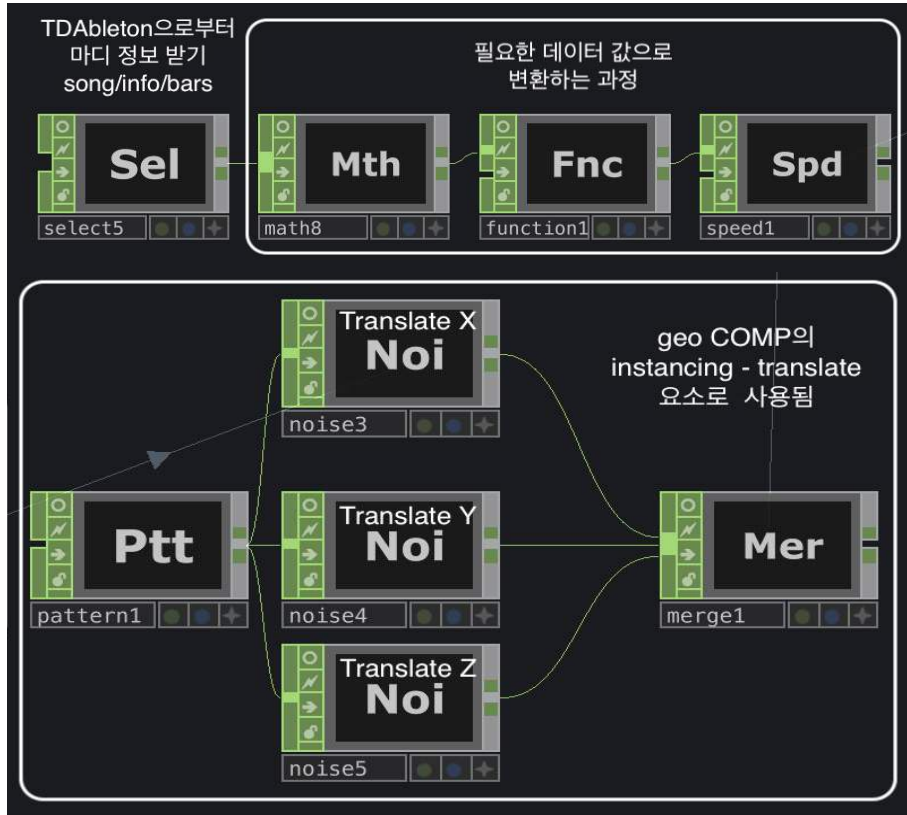


[그림-14] TOP을 활용해 점을 구현하는 TouchDesigner 패치

Line SOP으로 구현된 선은 단일 축을 따라 생성된 최소 단위의 벡터 형태이며, 이후의 변형과 인스턴싱(instancing)⁶⁵⁾ 과정에서 선적 구조가 확장될 기본 요소로 사용된다. Line SOP은 Transform SOP을 통해 Geo COMP로 전달되며, Geo COMP에서는 인스턴싱 기능이 핵심적으로 작동한다.

인스턴싱을 위해 별도로 CHOP 네트워크를 만들어 데이터 흐름을 만들었다.[그림-15] Select CHOP에서 TD Ableton의 song/info/bars 신호를 받아 음악의 마디 정보를 TouchDesigner로 전달한다. 이후 Math, Function, Speed CHOP으로 입력된 데이터를 인스턴싱에 사용할 수 있도록 변환한다.

65) 인스턴싱은 단일 geometry를 복수의 위치·스케일·회전·색상 등의 정보에 따라 복제하여 GPU 기반으로 렌더링하는 방식을 의미한다.



[그림-15] Geo COMP의 인스턴싱을 위한 CHOP 네트워크

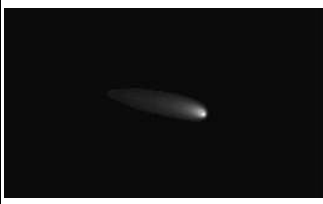
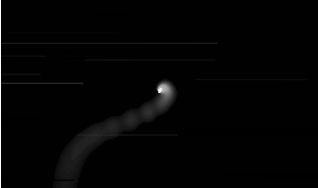
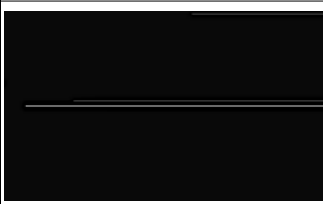
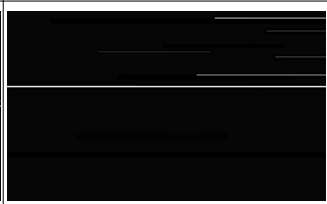
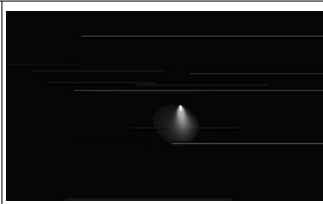
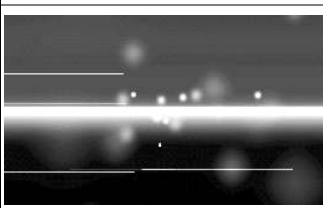


Noise CHOP 3개는 각각 Geo COMP의 인스턴싱에 사용될 위치값 Translate X, Y, Z를 설정하며, 앞서 변환된 데이터 값은 Noise CHOP의 Translate Z값을 변형시켜 움직이는 노이즈 성분을 만들어낸다. 마지막으로 인스턴싱 된 선들은 Render TOP을 통해 2D 이미지로 출력된다.[그림-16]



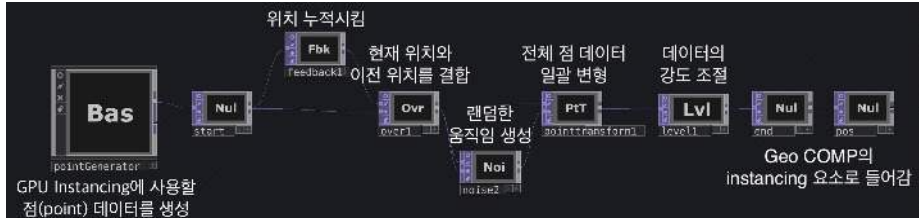
[그림-16] SOP과 렌더링을 활용해 선을 구현하는 TouchDesigner 패치

Circle TOP과 Line SOP으로 생성된 점과 선은 각각 독립된 시각 요소로 기능하지만, 이후 Composite TOP을 통해 동일한 공간상에 중첩된다. 특히, 피드백 네트워크 내부의 Level TOP 파라미터 조절을 통해 점과 선의 경계가 점차 흐려지고, 명도가 증가하는 방식으로 작동한다. 이 과정에서 개별 점과 선은 고유한 형태적 윤곽을 상실하고, 밝기와 농도가 일정 임계값을 초과하면서 넓은 영역을 채우는 면적 구조로 재구성된다.[표-2]

[표-2] 점 · 선 · 면 영상 제작의 각 단계별 과정

		
<p>Circle TOP 점 생성</p>	<p>Level TOP, Transform TOP 밝기, 위치 변화</p>	
		
<p>Line SOP 선 생성, Geo COMP의 instance로 선 복제, Translate TOP 위치 변경</p>		<p>Composite TOP 점과 선 합성</p>
		
<p>피드백 네트워크상 Level TOP의 Pre-Brightness, Post-Opacity 증가</p>		<p>점과 선이 면의 형태로 전환</p>

② 파티클 클라우드 구현 방법

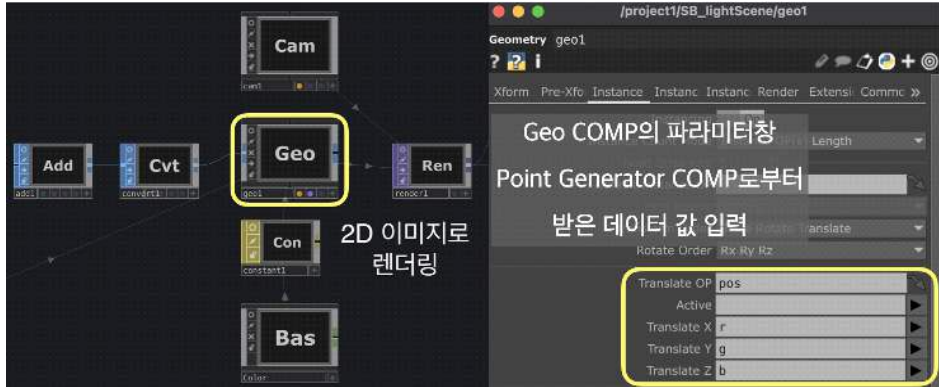


[그림-17] 점 데이터를 생성하는 TouchDesigner 패치

본 작품에서 파티클 클라우드(particle cloud)는 음악의 트랜지언트(transient)에 따라 형태가 즉각적으로 변형된다. 트랜지언트는 소리가 시작될 때 나타나는 짧고 강한 변화로, 이 순간적인 에너지가 시각적 형태로 대응할 때 관객은 음향적 리듬을 빛과 형태의 리듬으로 동시에 지각하며 공감각적 경험을 하게 된다. 또한, 파티클 클라우드는 칸딘스키가 헤라클레스 성운을 예로 들어 설명한 점의 복합체 개념과 일치하며,⁶⁶⁾ 파티클의 밀도가 높아질 때 그 응집된 영역이 내적 긴장을 지닌 하나의 시각적인 면의 형태로 나타나게 된다. 이를 구현하기 위해 TouchDesigner의 Point Generator COMP를 사용하여 파티클 클라우드를 구성할 기본 점 데이터를 생성하였다.[그림-17]

생성된 점 데이터는 Feedback TOP과 Noise TOP을 거치며 시간에 따른 랜덤한 움직임을 가지게 되고, Point Transform TOP과 Level TOP을 통해 원하는 형태로 변형된다. 이렇게 처리된 데이터는 Geo COMP의 Instance-Translate 값으로 입력되어 파티클 클라우드의 위치 정보로 기능하며, 최종적으로 2D 이미지로 렌더링된다.[그림-18]

66) 바실리 칸딘스키, 차봉희 역, 앞의 책, 32쪽



[그림-18] 렌더링을 통해 포인트 클라우드를 구현하는 TouchDesigner 패치

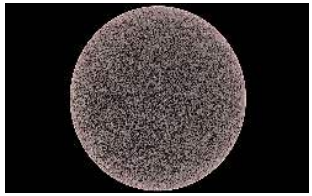

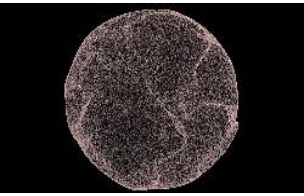


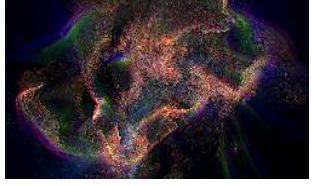


렌더링된 영상은 피드백 네트워크 내에서 Level TOP을 통해 전체 밝기가 조절된 후, RGBA Delay COMP를 거치며 RGB 색상 채널이 분리된다. 이후 블러(blur) 처리를 통해 각각 지연된 색상 레이어가 자연스럽게 중첩되며, 빛이 번지듯 확산하는 잔상 효과가 형성된다.[그림-19]



[그림-19] 포인트 클라우드의 영상 효과를 구현한 TouchDesigner 패치

위와 같은 과정을 통해 포인트 클라우드를 구현하였으며, 최종 단계에서는 TD Ableton을 통해 입력된 신호가 매핑되어 사운드가 시각적으로 변화되도록 하였다.[표-3]

[표-3] 포인트 클라우드 영상 제작의 각 단계별 과정

		
<p>Point Generator COMP 점 데이터 생성</p>	<p>Point Transform TOP 전체 데이터 일괄 변형</p>	<p>Noise TOP 랜덤한 움직임 생성</p>
		
<p>Feedback TOP, Over TOP 기존 데이터와 변형된 데이터 결합</p>		<p>Level TOP 밝기 조절</p>
		
<p>RGBA Delay COMP 색상 레이어 분리</p>	<p>Blur TOP 블러 효과</p>	<p>최종 형태</p>

③ 리퀴드 효과 구현 방법

앞선 영상은 칸딘스키의 조형 원리에 근거한 점·선·면의 구현이었다면, 리퀴드(liquid) 효과는 그 요소들이 시간에 따른 형태의 지속적 변형과 색채의 중첩을 통해 음악의 시간적 전개와 밀도 변화에 따라 유동적으로 재구성되는 과정을 시각화한 것이다. 이를 통해 색과 형태가 음악처럼 연주되는 공감각적 회화를 구현하고자 했다.



[그림-20] 리퀴드 효과의 초기 원형을 구현한 TouchDesigner 패치

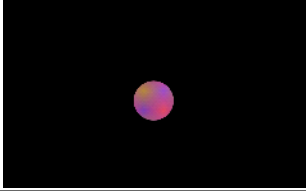
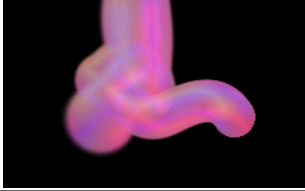


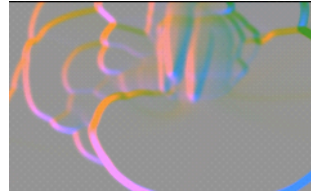
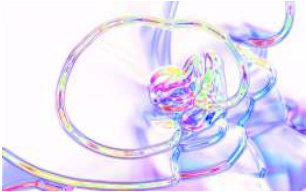


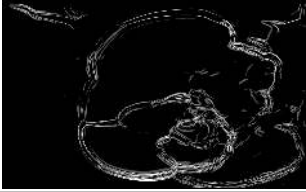
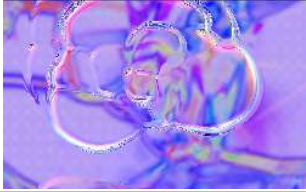
리퀴드 효과를 구현하기 위해 먼저 Circle SOP과 Transform SOP을 사용하여 기본 원형 형태와 위치를 설정하였다. 위치 좌표는 Noise CHOP에서 전달된 값을 받아 랜덤한 움직임을 생성하도록 구성하였다. 이후 Geo COMP를 통해 해당 형태가 2D 이미지로 렌더링된다.[그림-20]



[그림-21] 리퀴드 효과를 구현한 TouchDesigner 패치

렌더링된 이미지는 Transform, Slope, Displace, Level TOP으로 구성된 피드백 네트워크에서 잔상 효과가 형성된다. 이후 RGBA Delay COMP를 통해 RGB 색상 레이어가 분리되며, Edge TOP으로 윤곽선을 추출하여 합성하였다.[그림-21] 위 과정으로 액체적 흐름 속에서도 형태적 구조가 선명하게 드러나는 최종 리퀴드 효과 이미지를 구현하였다.[표-4]

[표-4] 리퀴드 효과 영상 제작의 각 단계별 과정

		
<p>Circle SOP 원형 생성, Transform SOP 움직임</p>	<p>Transform TOP scale 값 조정 잔상 조금씩 커짐</p>	
		
<p>Slope TOP 값으로 Transform TOP 왜곡</p>	<p>Level TOP의 Pre-Brightness 조정 잔상이 조금씩 어두워짐</p>	<p>Slope TOP 밝기 변화의 방향 계산</p>
		
<p>HSV Adjust TOP 색상 정보 조정</p>	<p>RGBA Delay COMP 색상 레이어 분리</p>	<p>Composite TOP 이미지 합성</p>
		
<p>Edge TOP 윤곽선 추출</p>	<p>전부 합성한 최종 형태</p>	

3. 조명 연구

본 연구는 음악을 시각적·공간적 차원으로 확장해 공감각적 감각의 흐름을 형성할 수 있다는 가능성에 주목하며, 특히 조명을 통해 소리를 공간화하고 빛을 악보화하는 표현 방식을 탐구하고자 하였다. 이를 바탕으로 음악적 변화가 빛의 형태·움직임·색채로 구조화되어 표현되도록 moving light를 활용하여 조명 시스템을 설계하였으며, 다음 절에서는 이러한 개념을 구현하기 위한 통합적 조명 제어 방법을 단계적으로 설명한다.

1) DMX512 통신 프로토콜

DMX512(Digital Multiplex 512)는 무대 조명 및 이펙트 장비의 디지털 제어를 위한 표준 통신 프로토콜로, 1986년 미국 연극 기술 협회⁶⁷⁾에 의해 제정되었다. DMX512는 하나의 유니버스(universe)라고 불리는 논리적 영역 내에서 512개의 제어 채널을 제공하는 시리얼 통신(serial communication)⁶⁸⁾ 방식을 사용한다. 각 채널은 0부터 255까지의 8-bit 값을 가질 수 있으며, 이 수치는 조명 기기의 밝기·색상·위치·gobo⁶⁹⁾ 전환 등 개별 파라미터의 물리적 상태를 직접 제어하며, 하나의 콘솔이 모든 조명 기기에 제어 신호를 단방향으로 송신하는 구조로 이루어져 있다.

67) 미국 연극 기술 협회 USITT, United States Institute for Theatre Technology

68) 하나의 통신 채널을 통해 데이터를 한 번에 한 bit씩 순차적으로 송수신하는 직렬 전송 방식이다.

69) 빛의 형태를 제어하기 위해 광원 앞에 놓는 물체를 말한다.

TouchDesigner는 DMX Out CHOP을 통해 소프트웨어적으로 콘솔의 역할을 수행하며, 이 디지털 신호를 이더넷(Ethernet) 기반의 sACN을 통해 조명 콘솔로 전송한다.

2) moving light를 활용한 DMX 채널 매핑 설계

[표-5] 조명 기기 목록

조명 기기 ⁷⁰⁾		수량	유형	주요 DMX 제어 채널
ERA 600 Performance		4대	moving profile	dimmer, pan, tilt, color, zoom, gobo
MAC Quantum Profile		2대		
MAC Aura PXL		4대	LED wash	dimmer, pan, tilt, color wheel
F-1 Fazer		1대	fog machine	fog

본 작품 <Luminophony>는 TouchDesigner를 통해 moving light를 실시간으로 제어하며, 조명 기기는 다수의 DMX 채널을 사용하여

70) <https://www.martin.com/en>

색상·움직임 등을 독립적으로 제어할 수 있다.

[표-5]는 작품에 사용된 조명 기기 목록이다. 포그머신(fog machine)도 DMX로 제어하기 때문에 같은 표에 첨부하였다. ERA 600 Performance(이하 ERA 600)와 MAC Quantum Profile(이하 Quantum Profile)은 profile 유형의 moving light로, 빛의 모양과 패턴을 정밀하게 제어하는 데 특화된 유형이다. 이러한 특성은 음악의 형식적 구조나 레이어 간 대비를 시각적으로 명확히 드러낸다. MAC Aura PXL(이하 Aura PXL)은 wash 유형의 moving light로, 넓은 영역을 부드럽고 균일하게 조색하는 데 특화된 유형이다. 이는 음악의 밀도 변화와 공간적 분위기를 만들어낸다. 포그머신은 무대 공간에 미세 입자의 안개를 확산시켜 빛의 경로를 가시화하는 역할을 한다. 이를 통해 빛은 입체적으로 형상화되며, 공간적 깊이감과 방향성을 드러내 무대의 전체적인 분위기와 몰입감을 조성하는데 기여한다.

본 작품은 음악의 변화를 조명의 동적 파라미터에 직접 매핑한다. TouchDesigner에서 DMX 매핑을 수행하기 위해, 먼저 Base COMP를 사용하여 조명 기기의 DMX 프로토콜에 대응하는 channel set을 구성하였다. Base COMP 내부에는 각 조명 장비의 DMX address 구조에 맞추어 CHOP 기반의 신호 처리 체계를 구축하였으며, 이를 위해 Select, Math, Expression, Merge CHOP 등을 단계적으로 배치하여 개별 조명 파라미터들을 적절한 값 범위로 변환하였다. [표-6]은 ERA 600 조명의 DMX 프로토콜 일부이다.

[표-6] ERA 600 조명의 DMX 프로토콜 일부⁷¹⁾

Channel	DMX Value	Function	Fade type	Default value
1	0 - 19	Strobe/shutter effect Shutter closed	Snap	0
	20 - 24	Shutter open		
	25 - 64	Strobe, slow → fast		
	65 - 69	Shutter open		
	70 - 84	Opening pulse, slow → fast		
	85 - 89	Shutter open		
	90 - 104	Closing pulse, slow → fast		
	105 - 109	Shutter open		
	110 - 124	Random strobe, slow → fast		
	125 - 129	Shutter open		
	130 - 144	Random opening pulse, slow → fast		
	145 - 255	Shutter open		
	2	0 - 65535		
3	Dimmer fade, fine (LSB)		Fade	0
4	0 - 65535	Cyan (MSB) 0 → 100%	Fade	0
5		Cyan fine (LSB) 0 → 100%	Fade	0

DMX512 프로토콜은 기본적으로 각 채널을 8-bit(0-255) 정숫값으로 전송하도록 설계되어 있다. 그러나 일부 조명 장비는 더욱 높은 해상도의 제어를 요구하며, 이 경우 하나의 파라미터를 두 개의 8-bit 채널로 확장하여 사용한다. 이러한 16-bit 확장 방식에서 상위 8-bit 채널을 MSB(Most Significant Byte), 하위 8-bit 채널을 LSB(Least Significant Byte)라고 한다. MSB는 전체 16-bit 값에서 가장 중요한 bit 그룹으로, 0-255 사이의 정숫값이 전체 범위(0-65535)의 큰 변화를 담당한다. 반면, LSB는 가장 낮은 가중치를 갖는 하위 bit 그룹으로, 미세한 변화량을 표현하여 보다 정밀한 조절을 가능하게 한다. 즉, 하나의 16-bit 값 V 는 다음과 같이 구성된다.[표-7]

71) ERA 600 Performance/Profile - User Guide, version E, updated: Jul 2022

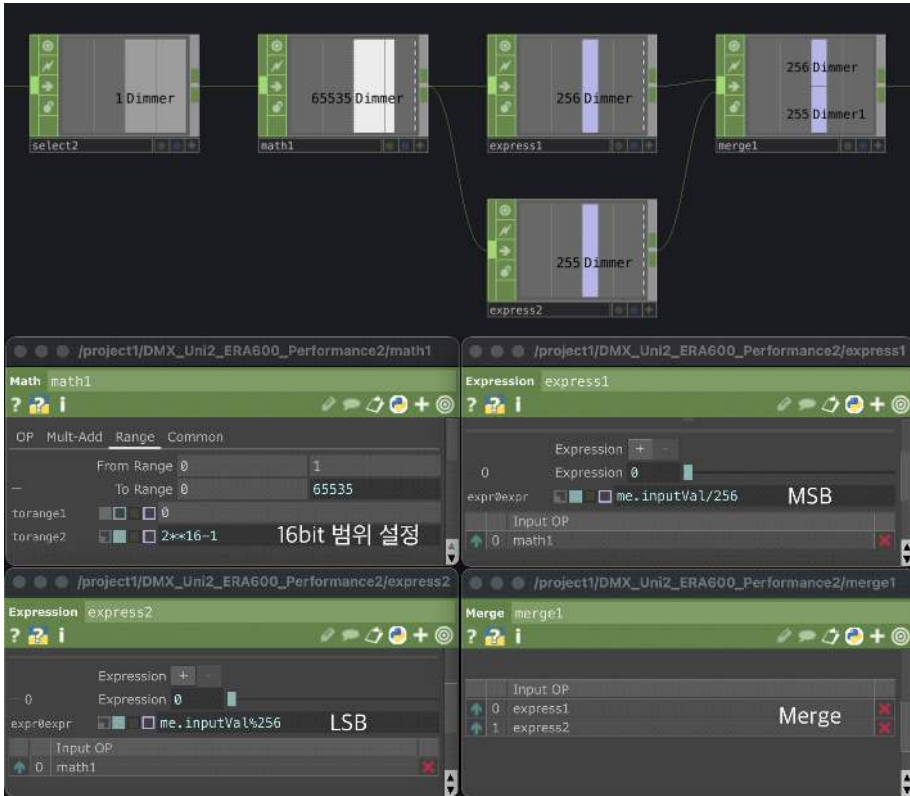
[표-7] 16-bit 값 V 를 나타내는 수식

$$MSB = \frac{value}{256}$$
$$LSB = value \bmod 256$$
$$V = MSB \times 256 + LSB$$

이 구조는 하나의 조명 파라미터를 보다 높은 해상도로 제어하기 위한 용도로 사용되며, DMX512가 제공하는 기본 8-bit 해상도의 한계를 보완하는 확장 방식이다. 따라서 TouchDesigner와 같은 소프트웨어 환경에서는 입력된 16-bit 값을 상하위 바이트로 분리하여 각각 다른 DMX 채널에 매핑해야 한다. 이를 위해 상위 바이트는 정수 나눗셈을 통해 계산하고, 하위 바이트는 모듈로 연산⁷²⁾을 통해 추출함으로써 정확한 8-bit 단위 전송이 가능해진다. [그림-22]는 TouchDesigner 상에서 16-bit 값을 MSB와 LSB로 분해하여 연산하는 패치 구조의 파라미터를 나타낸 것이다.

이렇게 가공된 CHOP 데이터는 최종적으로 DMX Out CHOP에 전달되며, 해당 CHOP은 TouchDesigner 내부에서 처리된 값을 DMX512 프로토콜 기반의 네트워크 패킷으로 변환하여 조명 네트워크를 통해 외부 조명 장비로 송출한다. 이와 같은 신호 흐름을 통해 TouchDesigner에서 생성된 데이터는 실시간으로 DMX 신호로 변환되어 조명 장비에 전달되며, 사운드·영상·조명의 동기화 구조 내에서 조명 매핑의 핵심적인 역할을 수행한다.

72) 한 정수를 다른 정수로 나누었을 때의 나머지를 구하는 연산을 의미한다.



[그림-22] TouchDesigner에서 MSB · LSB를 연산하는 패치

3) GrandMA3 onPC에서의 시뮬레이션

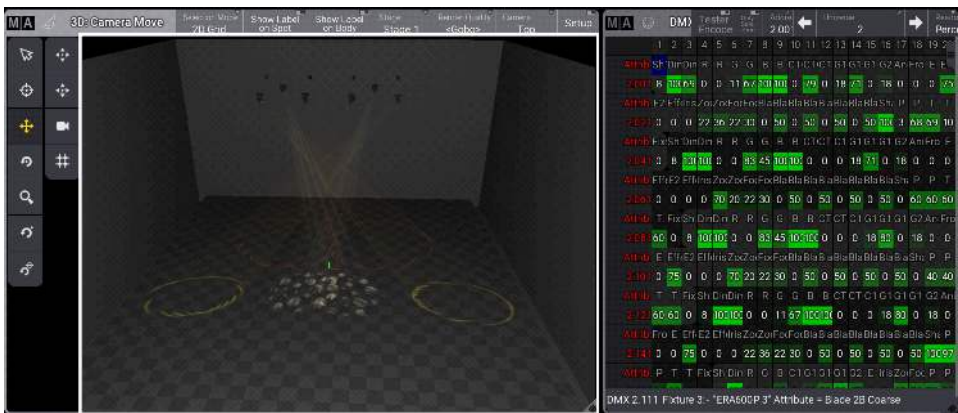
moving light 기반의 조명 디자인은 실제 공연장에서 반복적으로 테스트하기 어렵다는 현실적 제약을 갖는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 GrandMA3 onPC를 활용하여 조명 동작을 가상 환경에서 시뮬레이션하고, TouchDesigner와의 연동 실험을 안정적으로 수행하였다.

GrandMA3 onPC는 MA Lighting이 제공하는 조명 제어 소프트웨어로, 실제 GrandMA3 콘솔과 동일한 패치 구조, DMX 신호 처리, 시각화 기능을 지원한다. onPC 모드는 별도의 하드웨어 없이 컴퓨터 환경에서 조명 콘솔의 기능을 재현하기 때문에 무대 조명 프로그래밍, 네트워크 기반 신호 흐름 테스트 등을 효율적으로 수행할 수 있다. 또한 3D Viewer를 통해 실제 공연장과 유사한 가상 공간에서 moving light의 pan · tilt · color · dimmer · shutter 등을 실시간으로 확인할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 실제 사용 장비와 동일한 조명 모델을 onPC 환경에서 패치한 뒤, TouchDesigner에서 출력되는 sACN 신호를 GrandMA3 onPC에 입력하여 조명 반응을 시뮬레이션하였다. 이를 위해 GrandMA3 onPC와 TouchDesigner를 동일 네트워크에 연결하고, 유니버스 번호 설정, DMX 프로토콜 활성화, IP 주소 매칭 등의 네트워크 구성이 선행되었다. 이 과정을 통해 TouchDesigner에서 생성된 DMX 데이터를 실시간으로 모니터링하고, 조명 파라미터의 변화가 가상 공간에서 정확하게 구현되는지를 분석하였다.

비록 onPC 기반 시뮬레이션과 실제 무대 환경 사이에는 일부 반응 속도나 위치 값 등에서 오차가 존재하였으나, 물리적 · 현실적 제약을 넘어 조명 디자인을 사전에 검토하고 구조적 문제를 조기에 발견할 수

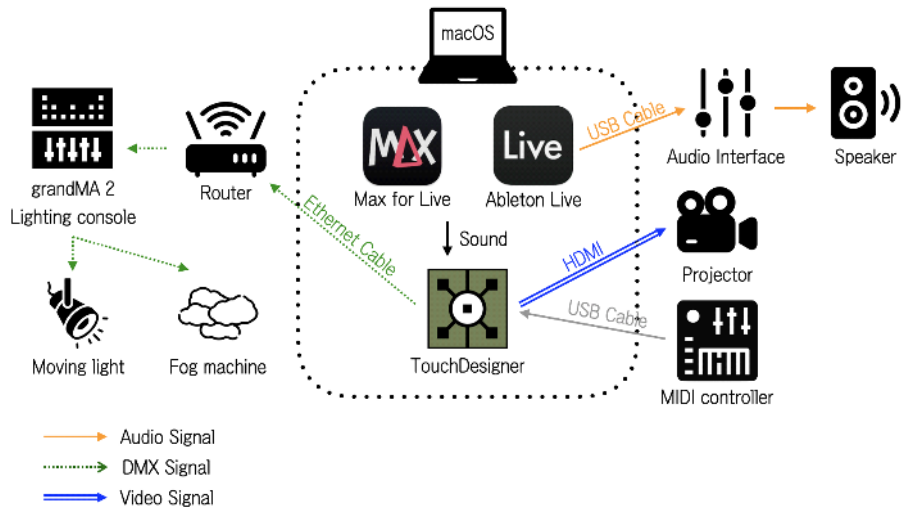
있었다. 특히 복잡한 조명 시퀀스와 인터랙티브 요소를 실험하는 과정에서, onPC 시뮬레이션은 실제 공연 이전 단계에서 기술 실현 가능성과 무대 효과를 확인하는 데 중요한 역할을 수행하였다. [그림-23]은 GrandMA3 onPC 환경에서 조명을 패치하고 시뮬레이션한 화면이다.



[그림-23] GrandMA3 onPC 환경에서 조명을 패치하고 시뮬레이션한 화면

4. 공연 시스템 연구

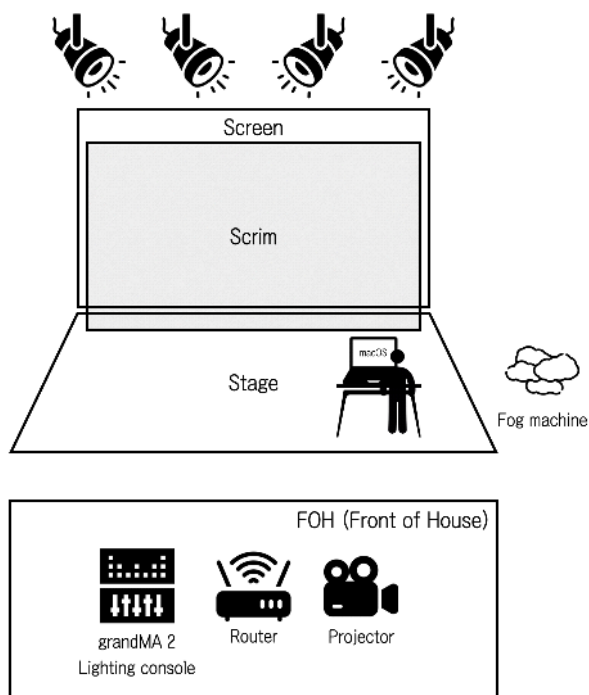
1) 공연 시스템 및 무대 배치 설계



[그림-24] 공연 시스템 설계도

본 작품의 공연 시스템은 Ableton Live와 TouchDesigner를 중심으로 구성된 통합적 사운드·라이트·비주얼 처리 환경으로 설계되었다.[그림-24] 음악은 macOS 환경에서 Ableton Live를 통해 재생되며, Max for Live가 실시간 오디오 분석 및 데이터 변환을 수행하여 TouchDesigner로 전달된다. TouchDesigner는 이 데이터를 기반으로 영상 렌더링 및 조명 제어 신호를 생성하며, 영상 신호는 HDMI 케이블을 통해 프로젝터로 출력된다. Ableton Live의 오디오 신호는 오디오 인터페이스를 거쳐 스피커로 송출되며, MIDI 컨트롤러를 사용하여 공연 중 실시간으로 파라미터를 제어한다. 조명 제어는

GrandMA2 조명 콘솔에서 DMX 신호를 통해 moving light와 포그머신으로 전달되며, 콘솔과 TouchDesigner는 라우터(router)-이더넷 연결을 통해 상호 연동된다. 이와 같은 네트워크 구조는 사운드·영상·조명이 동시에 반응하는 공연 환경을 가능하게 하여, 작품의 사운드·라이트 퍼포먼스 특성을 구현하는 기술적 기반으로 작동한다.



[그림-25] 무대 배치도

[그림-25]는 본 공연 시스템의 무대 배치를 도식화한 것이다. 무대 전면에는 영상을 투사하기 위한 스크린(screen)이 설치되어있으며, 스크린 앞쪽에는 일정 간격을 두고紗막(scrim)⁷³⁾을 배치하였다.

C. A. Bernecker와 J. M. Mier는 동일한 공간이라도 광원의 밝기와

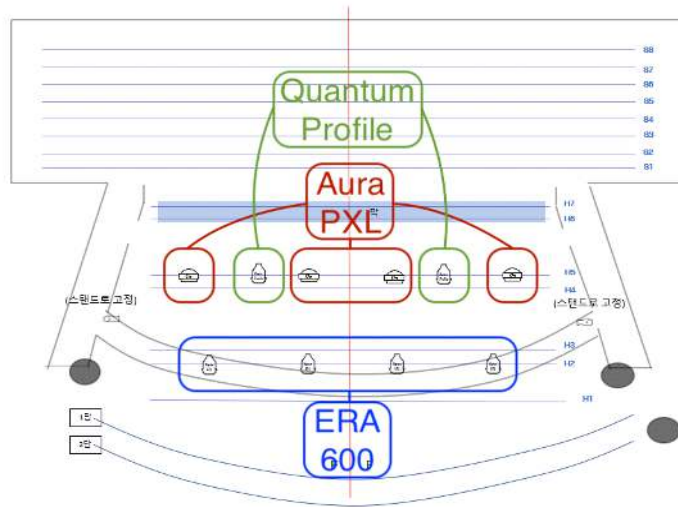
분포 방식에 따라 공간을 다르게 지각한다는 점을 밝힌 바 있다.⁷⁴⁾ 조명과 영상은 스크린과 샤막에 이중 이미지를 형성함으로써 공간적 입체감을 부여하고, 샤막을 통해 무대 전경과 후경에 존재하는 광원의 휘도를 다양하게 조절할 수 있다. 이는 실제 무대 공간의 크기와 상관없이 관람자에게 빛에 의해 조형된 확장된 공간을 지각하게 만드는 장치로 작동하며, 작품의 공간감을 강화하여 사운드·영상·조명이 결합된 공간적 몰입감을 강화한다.

무대 우측에는 macOS 기반의 컴퓨팅 장비가 배치되어 있으며, 이는 TouchDesigner와 Ableton Live를 실행하여 실시간 영상 렌더링, 사운드 분석과 재생, 조명 제어 신호 생성을 담당한다. 퍼포머는 이 장비를 무대 내에서 직접 조작하며, 공연 중 시각·음향 파라미터를 실시간으로 조정하는 역할을 수행한다. 관객석 뒤쪽의 FOH(Front of House)에는 GrandMA2 조명 콘솔, 라우터, 프로젝터가 위치하며, 각 장치는 유선 및 네트워크 기반으로 연동된다. 이를 통해 조명 신호, 영상 신호, 네트워크 통신이 공연 전반에서 안정적으로 전달되도록 구성하였다.

73) 공연 무대에서 빛의 투과성과 반사성을 동시에 활용하는 특수한 반투명 직물이다.

74) C. A. Bernecker and J. M. Mier, 'The effect of source Luminance on the perception of environment brightness', (Journal of the Illumination Engineering Society, 1985), pp.253-261, 강정하, 앞의 글, 44쪽에서 재인용

2) 조명 설계

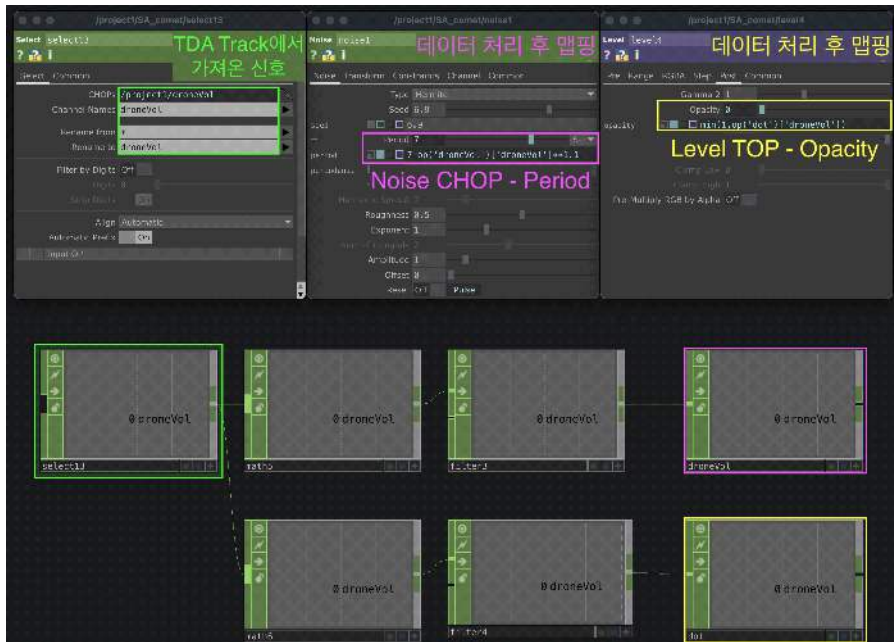


[그림-26] 이해랑 극장의 조명 배치도

[그림-26]은 본 공연에 사용된 조명 배치도이다. 조명은 총 10대로 구성되었으며,紗막 전면에는 Quantum Profile 2대와 Aura PXL 4대가 교차 배열로 설치되었다. 무대 전면에는 ERA 600 4대가 일렬로 배치되어, 상·하 공간을 아우르는 조도 구조를 형성하였다. 이러한 배치는 스크린-紗막-무대 전면으로 이어지는 깊이 축을 따라 서로 다른 광원 패턴이 분포하도록 설계된 것으로, 상부의 profile·wash 계열 조명과 전면의 profile 계열 조명이 각각 고유의 역할을 수행할 수 있도록 구성되어 있다.

3) TD Ableton을 활용한 사운드 · 영상 · 조명의 연동

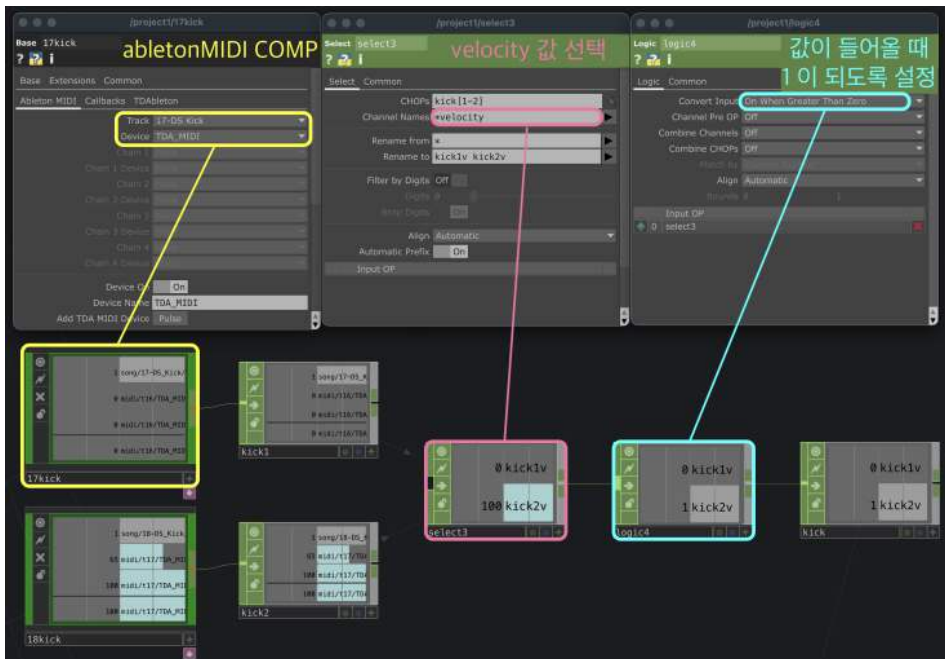
본 작품에서는 Ableton Live에서 생성된 사운드 데이터를 TD Ableton을 통해 TouchDesigner로 실시간 전달하고, 이 신호를 다시 영상 요소와 조명 파라미터에 매핑하는 방식으로 사운드 · 영상 · 조명의 통합적 연동 구조를 구축하였다. 본 절에서는 작품의 구현 방식을 몇 가지 사례를 통해 설명한다.



[그림-27] TouchDesigner로 구현한 영상 연동 구조

영상은 다음과 같은 방식으로 연동하였다. TD Ableton Track에서 가져온 신호를 Select CHOP으로 분리한 뒤, 값을 Math, Filter CHOP 등을 통해 연동에 적합한 데이터 형태로 정규화하였다. 드론

음악과 같이 지속적이고 에너지 변화를 가지는 오디오 트랙은 Noise CHOP의 Period 파라미터에 매핑되어 드론의 볼륨에 따라 노이즈 패턴의 움직임 속도가 달라지도록 하였다. 마찬가지로 Level TOP의 Opacity 파라미터에도 연동되어 사운드의 다이내믹이 영상의 밝기와 투명도 변화를 유발하도록 설계하였다. 이를 통해 드론 음악의 스펙트럼 변화가 영상의 시각적 흐름으로 자연스럽게 확장되며, 음향의 시간적 변화가 시각적 공간성으로 전환되는 구조를 구현하였다.[그림-27]



[그림-28] TDableton을 통한 MIDI velocity 신호 추출 과정

조명은 다음과 같은 방식으로 연동하였다. TDableton COMP에서 사용할 트랙과 디바이스를 선택하여 CHOP 신호로 불러오고, Select CHOP에서 velocity 채널을 분리한 뒤 Logic CHOP을 통해 값이 0보다 클 경우 1로 변환하도록 설정하였다.[그림-28]

이를 통해 킥 드럼과 같은 타악기 이벤트는 명확한 on/off 신호로 정제되어 조명의 순간적인 밝기 변화에 직접적으로 대응할 수 있게 된다.[그림-29]



[그림-29] Ableton MIDI 신호의 TouchDesigner 입력 및 조명 파라미터 매핑 구조

이와 같은 TDableton을 활용한 매핑 방식은 서로 다른 매체가 동일한 데이터 흐름 안에서 상호 연동되도록 하여, 음악의 시간 구조가 작품 전체의 공간적 현상으로 확장되는 것을 실시간으로 구현하는 기술적 기반이 된다.

IV. 연구 기술의 작품 적용

1. 작품 소개

본 연구를 기반으로 제작된 사운드·라이트 퍼포먼스 작품 <Luminophony>는 실시간 인터랙티브 공연 예술 작업으로, 사운드·영상·조명 세 요소가 유기적으로 결합하여 감각 간 경계를 확장하는 멀티미디어 퍼포먼스이다. 작품 <Luminophony>는 2025년 11월 8일 동국대학교 이해랑예술극장에서 진행된 ‘SEEING SOUND LISTENING IMAGE 2025’에서 초연되었다. 본 작품은 소리가 공간이 되고, 빛이 악보가 되는 과정을 시각·청각·공간 감각의 융합을 통해 탐구한다. 특히 사운드의 내부 스펙트럼 변화와 음향 레이어를 영상과 조명의 형태·움직임·색채 등에 실시간으로 연동함으로써, 소리는 시각적 구조와 공간적 배치를 동반한 감각적 현상으로 재구성된다. 이러한 실시간 매핑은 음악적 변화가 빛과 영상의 변화와 동시에 인지되어 공감각적 표현을 가능하게 하며 사운드·라이트 퍼포먼스의 확장된 미학적 가능성을 제시한다.

본 작품의 미학적 구조는 공감각 이론을 핵심 기반으로 삼으며, 칸딘스키의 이론을 조형적으로 활용한다. 또한, 음악의 화성 밀도·음색 변화·리듬 등의 청각적 요소를 영상과 조명의 색·채도·밝기·크기 등으로 대응시키는 방식으로 공감각적 경험을 설계하였다. 칸딘스키가 제시한 점·선·면과 색채의 내적 울림 개념은 음악적 구조가 시각적 형식으로 전이될 수 있는 이론적 근거를 제공하며, 이를 바탕으로 화성·음색·리듬과 같은 음악적 요소를 빛과 조형 형태에 대응시켜 공감각적 지각 경험을 구성하였다.

본 작품은 이러한 미학적 바탕 위에서, 조명을 단순한 시각적 보조 요소가 아닌 음악의 시간적 흐름을 공간적 형태로 변환하는 매개적

장치로 활용함으로써 작품의 예술적 의의를 도출한다. 빛은 공간을 물리적으로 가시화하는 특성을 보이며, moving light의 형태·움직임·색채는 음악적 특징을 실시간으로 반영하여 무대 전체를 하나의 확장된 사운드 공간으로 재구성한다. 특히 moving light의 빔이 입체적 형태로 드러날 때, 청각적 에너지는 단순히 소리로 들리는 것을 넘어 공간에 배치된 빛의 구조로 인지된다. 이로써 음악은 본래의 시간 기반 예술의 차원을 넘어 공간적 예술로 확장되며, 관객은 음악의 변화가 무대의 깊이·밝기·색채 변화로 전환되는 과정을 경험하게 된다. 이는 음악의 비물질적 구조가 조명을 매개로 하여 물질적 공간감으로 변환되는 새로운 형태의 공감각적 지각을 가능하게 한다.

브라이언 이노의 앰비언트 음악이 청중들에게 공간에 대한 감각을 불어넣어 주었듯이,⁷⁵⁾ 이러한 시도는 음악의 시간성과 빛의 공간성을 결합함으로써, 전통적인 공연예술의 감각 구조를 확장하여 ‘공간화된 음악’이라는 예술적 영역을 제시한다. 또한 사운드·영상·조명이 하나의 동적 형체로 통합되는 사운드·라이트 퍼포먼스를 통해 공감각적 경험을 구현하고, 이를 바탕으로 현대 멀티미디어 퍼포먼스가 확장할 수 있는 표현 가능성을 탐구한다.

75) 신봉현, 앞의 글, 103-104쪽

2. 작품 구성 및 기술 적용

[표-8] 음악 구성

섹션		타임라인 (분:초)
A	a	00:00-00:42
	b	00:42-01:35
	c	01:35-02:29
	d	02:29-03:09
B	a	03:09-03:46
	b	03:46-04:35
	c	04:35-05:14
	d	05:14-06:03
C		06:03-06:36

본 작품의 전체 구성은 **A-B-C**의 세 개 섹션으로 구성되어 있다.[표-8] 전 구간에서 사운드·영상·조명이 상호작용 하는 구조를 이루며 유기적으로 전개된다. 각 섹션은 고유한 음악적 성격과 시각적 조형 언어를 지니며, 이를 기반으로 공간의 밀도와 감각적 흐름이 단계적으로 변화하도록 설계하였다. **A** 섹션에서는 드론 음악을 중심으로 점·선·면이 확장되는 영상 구조가 주를 이루며, 조명은 이에 대응하여 점차 공간의 범위를 넓히는 방식으로 작동한다. **B** 섹션에서는 극적 대비를 위해 암전 상태에서 시작하며, 타악기의 트랜지언트에 즉각 반응하는 영상과 조명 효과가 강조된다. 패드 사운드는 개방적인 5도권 오픈 보이싱(open voicing)⁷⁶⁾으로 시작해 점차 반응계적으로 밀도를 증가시키며, 이는 조명의 색상·크기와

76) 화음의 구성음을 넓은 음역에 분산 배치하여 음들 사이의 간격을 넓게 만든 화성 배치 방식이다.

연동되어 음악적 밀도 변화가 시각적 밀도로 전환되는 공감각적 경험을 유도한다. C 섹션은 작품의 종결부로서, 이전 섹션에서 축적된 복잡성을 해소하는 역할을 수행한다. 화성은 다시 5도권 오픈 보이싱으로 회귀하여 음향적 긴장은 해방되고 공간감이 드러난다. 조명은 이에 대응하여 넓고 밝은 확산 형태로 전환되고, 영상은 물결처럼 흐르는 패턴으로 마무리된다.

1) A 섹션

[표-9] A 섹션에 적용된 사운드 · 영상 · 조명 디자인

세부 파트	사운드 디자인	영상 디자인	조명 디자인
a	드론 음악		X
b	granular synthesis, delay		
c			
d			

A 섹션은 작품의 도입부로, [표-9]에 제시된 네 개의 세부 파트 a - d로 구성된다. a에서는 점묘적 음향이 선행적으로 등장하고, 이후 드론 음악이 결합하며 점진적으로 음향적 레이어를 구축해 나간다. 작품

전반에 사용된 드론 음악은 스펙트럴리즘에 기반해 구성되었으며, Additator 모듈을 사용하여 짝수 배음과 홀수 배음이 시간에 따라 점진적으로 변화하도록 설계하였다. 특히 뮤라이가 작품에 사용한 배음렬 확장 기법과 배음렬 압축 기법을 활용하여, 배음 구조가 정지된 시간 속에서 변형되는 음향 질감으로 인지되도록 하였다. 영상에는 점묘적 음향에 대응하여 어두운 배경 속에서 하나의 점이 미세한 잔상을 남기며 이동하는 장면이 제시되며, 조명은 사용되지 않는다. 암전 상태에서 영상의 단일한 점만이 제시됨으로써, 공간적 깊이나 확장감이 의도적으로 배제된 최소한의 시각 환경이 구성된다. 또한, 스크린 속 점의 이동은 잔상을 남기며 곡선을 만들어내고, 드론 음악의 스펙트럼 변화가 점의 운동에 방향성을 부여하여 외부로 발현되는 조형적 과정을 나타낸다. 이 단계는 청각·시각 자극을 최소화하여 드론 음악의 지속성과 점 형태의 축약된 시각 요소를 대응시키는 작품 전개에 출발 지점으로 기능한다.

b에서 드론 사운드는 미묘한 스펙트럼 변화를 형성하며 점진적으로 전개된다. 이 과정에서 드론 내부의 음정·패닝·앤벨로프 등의 요소들이 서로 다른 phase를 가지며 점차 어긋난다. 이에 따라 영상에는 수평으로 길게 뻗는 선형 요소들이 추가되어, 곡선 형태로 이동하는 점과 복수의 선이 공존하는 시각적 구조가 형성된다. 이는 칸딘스키의 조형적 대위법 개념에 근거하여, 상반된 에너지가 충돌하며 복합적인 긴장감을 만들어내는 방식으로 이해될 수 있다. 이와 동시에 조명 디자인이 처음으로 개입하여, ERA 600과 Quantum Profile을 중심으로 한 링 형태의 빔이 샷막과 무대 전면에 배치된다. 이를 통해 영상 속 조형적 구성이 무대 공간으로 확장되며, 시각적 요소가 평면적 화면을 넘어 입체적 공간 구성으로 전이된다. 초기 링 형태 조명 중 일부는 푸른빛을 띠는데, 이는 칸딘스키가 원형을 둔각적이며 내향적인 조형으로

이해하고, 이를 푸른색의 심층적 정신성과 대응시킨 이론에 따른 것이다. 또한 작품의 전개와 함께 원형 빔의 공간적 입체감을 극대화하기 위해 포그머신을 가동함으로써, 조명 빔이 공기 중에서 원뿔 형태로 명확하게 가시화되도록 하였다.








c에서는 드론 음악에 granular synthesis와 delay 음향효과가 점점 더해지면서 음향의 밀도와 공간감이 복합적으로 변화한다. 이에 대응하여 영상에서는 선의 움직임이 커지고 길이와 위치가 다양해지며, 곡선 역시 보다 역동적인 움직임을 보인다. 조명은 샷막을 비추던 빔이 점차 바닥으로 이동하며, 이 과정에서 gobo의 변화가 단계적으로 적용된다. 초기의 링 형태의 빔은 이후 추가적인 gobo 패턴이 중첩되며 변형된 원형 구조로 확장되고, 조명의 수평·수직 움직임이 더해지면서 음향의 변화가 공간적 깊이와 시각적 변조로 치환된다.

마지막으로 **d**에서는 누적된 granular synthesis와 delay 음향효과 처리로 사운드의 스펙트럼과 공간감이 가장 풍부한 상태에 이르며, 영상은 점과 선이 다수의 흐릿한 발광 입자로 분해되어 스크린 전체를 채우는 면적 구조로 전환된다. 조명은 선형 gobo로 변형되어 조명의 형태가 중첩된 선적 구조로 전환된다. 더 나아가 ERA 600에 프리즘(prism) 효과⁷⁷⁾를 적용하여 단일 광선이 다중으로 분산되며 넓은 면적에 선들이 펼쳐진 형태로 확장된다. 이러한 확장은 조명의 움직임이 점차 가속화되는 과정과 결합하여 면적 구조를 강조하며, 사운드의 공간감을 드러낸다. 최종적으로 영상이 흰색 면으로 전환되는 장면에서는 shutter strobe⁷⁸⁾ 기능을 활용한 순간적인 깜빡임이 더해져 고조된 음향적 레이어가 시각적 에너지로 수렴하는 효과를 만든다. [표-10]은 **A** 섹션에서 사용된 gobo 목록이다.

77) 광원이 통과할 때 빛을 굴절시켜 여러 갈래의 빔이나 스펙트럼 형태로 나누어 퍼지게 만드는 기능이다.

78) 내부 shutter를 고속으로 여닫아 빛을 빠르게 깜빡이게 하는 기능이다.

[표-10] A 섹션에 사용된 gobo 목록

세부 파트	ERA 600		Quantum Profile	
	static gobo	rotating gobo	static gobo	rotating gobo
b		X		X
c		X		X
d		X		

2) B 섹션

B 섹션은 타악기 사운드의 트랜지언트 정보를 트리거로 영상과 조명의 형태가 실시간 변형되며, 패드 사운드의 화성적 밀도 변화는 빛의 색채와 크기로 변환되어 공간적 확산감과 응집감을 조성한다. **A** 섹션이 점·선·면의 확장을 통해 공간적 기반을 형성했다면, **B** 섹션은 복합적인 사운드 레이어를 더해 음향적 에너지를 시각화함으로써 관객의 공감각적 지각을 이끌어내는 단계라 할 수 있다. 이 섹션은 **a-d**의 네 개 세부 파트로 구성된다.[표-11]

[표-11] B 섹션에 적용된 사운드 · 영상 · 조명 디자인

세부 파트	사운드 디자인	영상 디자인	조명 디자인
a	퍼커션, 패드	X	
b	킥 드럼, notch filter		
c			
d	하이햇, notch filter		

a에서는 드론 사운드에 퍼커션과 패드가 결합된 음향이 공간을 채우기 시작하며, 시각적 요소는 영상이 배제된 상태에서 조명만으로 구성된다. 이 단계에서 사용되는 초기 조명은 정적인 드론 음악의 성격을 시각적으로 나타낸다. A 섹션에서 드론 음악이 점과 선의 조형으로 묘사되었다면, B 섹션의 a에서는 극도로 제한된 밝기 조건 속에서 형성되는 조명의 미세한 점광 패턴이 점의 복합체를 이루어 샤막 전면에 투사되며 드론 사운드의 지속성과 정체된 시간성을 시각적으로 대응시킨다.[그림-30] 이후 조명 패턴과 유사한 포인트 클라우드 영상이 점진적으로 등장하며 조명과 크로스오버된다. 퍼커션 사운드는 얇고 밝은 노란색 계열의 조명으로 매핑되며, 벽면에서 바닥으로 이동하는 움직임은 통해 공간감을 확장한다.

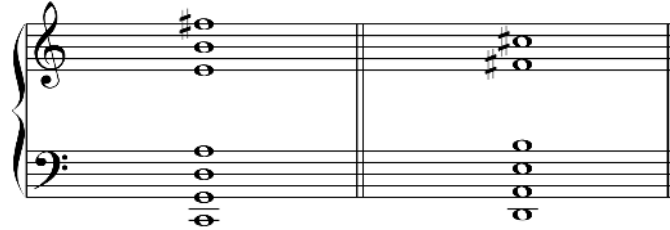


[그림-30] 조명으로 구현된 점의 복합체

이러한 매핑은 소리-색 공감각적 대응에 근거하여, 짧고 명료한 어택을 지닌 고주파 중심의 퍼커션 음색이 시각적으로 높은 명도와 채도로 나타나며 얇고 날카로운 형태로 인지된다는 특성을 반영한 것이다. 이와 관련하여 칸딘스키는 얇은 예각과 황색을 각각 가장 확장적이고 동적인 형태와 색채로 규정하며, 두 요소가 공유하는 외향적 에너지에 기반한 조형적 대응 관계를 제시하였다.⁷⁹⁾ 한편, 패드 사운드는 완전5도권을 중심으로 한 오픈 보이싱 구조를 통해 낮은 화성적 밀도를 유지하며, 이는 음향적으로 개방감과 공간감을 형성한다.[악보-1]

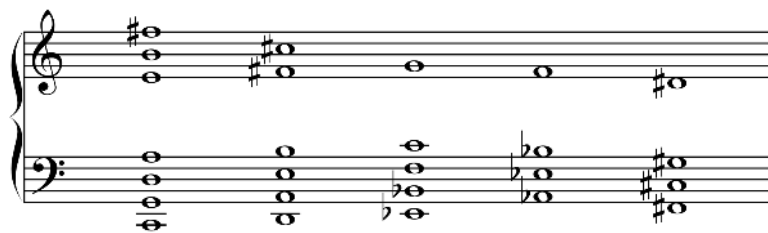
이러한 화성적 특성은 wash 계열의 Aura PXL을 활용하여 색채감과 조명의 크기로 시각화되며, 넓게 퍼지는 빛의 면적을 통해 패드 사운드가 지닌 개방적 공간감을 강조한다. 이로써 **a**에서는 드론 음악, 퍼커션, 패드가 각각 다른 시각적 속성으로 분화되어, 사운드의 성격 차이가 조명 언어 안에서 명확히 드러나도록 구성하였다.

79) 바실리 칸딘스키, 차봉희 역, 앞의 책, 61쪽



[악보-1] 완전5도로 이루어진 오픈 보이싱 구조

b에서는 킥 드럼이 본격적으로 등장하면서 음향적 에너지가 활성화되며, notch filter의 중심 주파수 이동으로 공간감을 넓혀간다. 배경에는 **A** 섹션에서 제시되었던 드론 사운드가 유지되지만, 여기에 필터 효과가 더해지면서 새로운 음향적 레이어가 형성된다. 패드 사운드는 서로 다른 루트를 기반으로 한 5도권 오픈 보이싱이 중첩되며 전개되는데, 이 과정에서 기존의 5도권 외부의 반음계적 음들도 점차 등장함으로써 화성적 복잡성이 증가한다.[악보-2] 이러한 반음계적 확장은 화음 내부의 긴장을 증폭시키며, 음향적으로 높은 밀도를 만든다.

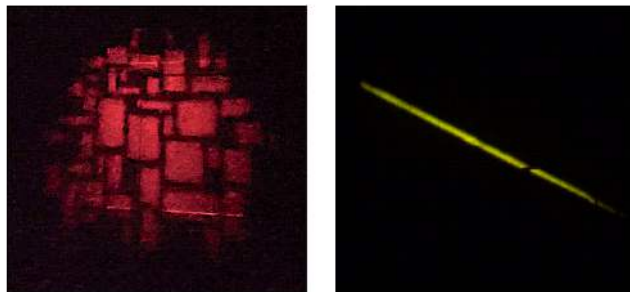


[악보-2] 중첩되는 다른 루트 위의 5도권 오픈 보이싱 구조

앞서 논의한 공감각 이론에 따라, 이러한 화성적 복잡성의 증가는 시각적으로도 밀도의 변화로 대응한다. 화성적 밀도 변화는 Aura

PXL의 색상 변화와 광원 크기 조절을 통해 실시간으로 반영된다. 상대적으로 협화적인 화음 구간은 푸른 계열의 색채와 넓은 광원 크기로, 반음계적 음이 개입되어 불협화적 긴장이 강화되는 구간은 붉은 계열의 색채와 좁은 광원 크기로 나타난다. 이러한 색채·형태 대응은 공감각 이론과 칸딘스키가 제시한 색채의 내적 에너지 개념에 근거한 것으로, 초록색이 지닌 안정적 성질과 붉은색의 불안정한 성질을 화성의 협화-불협화 관계로 나타낸 것이다. 이를 통해 패드 사운드의 화성적 밀도 변화는 조명의 색채와 크기 변화를 통해 공감각적으로 표현된다.

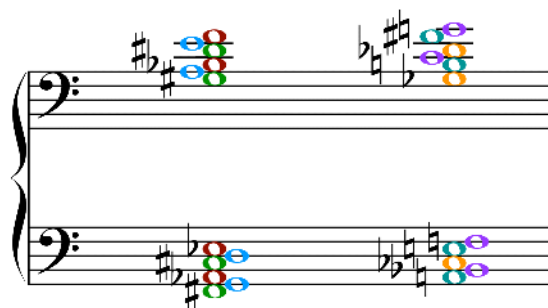
킥 드럼은 저주파 성분이 두드러지는 짧고 강한 트랜지언트를 통해 영상과 조명의 변화를 만든다. 킥 드럼은 어두운 붉은 계열의 대형 원형 조명으로 매핑되며, 칸딘스키의 형태 이론에서 원형이 지닌 중심적이고 응집된 안정성과 대응한다. 또한, 저주파 사운드가 등근 형태와 무거운 질량감으로 지각되는 소리-색 공감각 이론의 일반적 경향에 근거하여, 붉은 계열의 원형 조명은 저주파 에너지의 공간적 무게감과 긴장을 형성한다.[그림-31] 이와 동시에 영상에서는 킥 드럼의 트랜지언트에 동기화되어 파티클 클라우드가 순간적으로 왜곡되고 팽창·수축하며, 킥 드럼은 영상과 조명의 구조적 트리거로써 작동한다.



[그림-31] 킥 드럼과(왼쪽) 퍼커션에(오른쪽) 대응하는 조명 형태

c에서는 사운드와 영상이 이전 파트의 흐름을 유지한 채 지속되고, 조명만이 새로운 변화를 생성한다. 이 구간에서 조명은 다시 링 형태의 gobo와 원형이 중첩된 gobo를 겹쳐 사용하며, 무대 양측 벽면, 전면 스크린, 무대 전면을 연속적으로 오가는 움직임을 통해 공간적 확장을 한층 강화한다.[표-12]





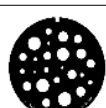
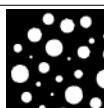

d에서는 하이햇 리듬의 등장과 함께 전체 에너지가 절정에 도달한다. 영상은 지속적으로 수축·팽창되는 파티클 구조를 유지한 채 시간의 흐름에 따라 색상이 연속적으로 변조되어 음악의 시간성을 시각적으로 강화한다. 조명은 점박이 계열의 gobo 패턴으로 전환되어 이전 파트보다 더욱 큰 폭의 이동과 변화를 보이며 공간감을 극대화한다. 또한 패드 사운드의 반응계적 변형이 증가할수록 Aura PXL의 빔 크기는 점차 축소되어, 청각적 긴장과 시각적 집중도가 동시에 고조되도록 설계하였다.



[악보-3] **d**의 마지막 구간에 등장하는 화성

[악보-3]은 **d**의 마지막 구간에 등장하는 화성으로, 색깔별로 구분된 5도권 오픈 보이싱 구조가 반응계적 루트를 기반으로 중첩되어 작품 내에서 가장 극대화된 불협화적 음향을 형성한다.

[표-12] B 섹션에서 사용된 gobo 목록

세부 파트	ERA 600		Quantum Profile	
	static gobo	rotating gobo	static gobo	rotating gobo
a	X	X	X	
b		X	X	X
c			X	X
d		X		

3) C 섹션

C 섹션은 작품의 전개가 정점에서 이완되며 해방되는 구간이다. 이 섹션에서 사운드는 패드와 퍼커션의 질감을 중심으로 전개되며, 앞선 섹션에서 누적되었던 리듬적 긴장과 화성적 밀도는 완화되어 보다 넓은 음향적 공간을 형성한다. 패드 사운드는 초기의 완전5도권 오픈 보이싱으로 회귀하며 화성적 밀도를 낮추고, 퍼커션은 점차 최소화되며 마무리된다. 이러한 사운드의 공간적 특성을 강조하기 위해 delay와 reverb⁸⁰⁾와 같은 공간계 음향효과를 활용하였다.[표-13]

80) 원음 뒤에 발생하는 미세한 반사음들을 중첩시켜, 소리에 공간감과 깊이를 부여하는 잔향 효과이다.

[표-13] C 섹션에 적용된 사운드 · 영상 · 조명 디자인

사운드 디자인	영상 디자인	조명 디자인
패드, 퍼커션 delay, reverb		

영상은 이전 섹션에서 나타난 파티클 클라우드 구조에서 벗어나, 유동적이고 유기적인, 액체가 흐르는 듯한 형태로 전환된다. 이 장면은 스크린 전체를 채우는 이미지로 구현되며, 색채는 보랏빛 · 분홍 · 청색 계열이 혼합된 반투명 스펙트럼으로 구성되어 사운드의 안정된 조성파 공명한다. 앞선 섹션에서 낮은 화성적 밀도를 푸른 계열의 색채로 대응시켰듯, 청색 계열은 이 구간에서도 안정감과 평온한 에너지를 상징한다. 분홍색은 붉은색이 희석된 색채로서, 이전에 강조되었던 붉은색의 긴장된 에너지가 완화된 상태를 나타낸다. 보랏빛은 청색과 붉은색이 혼합된 색으로, 협화-불협화, 붉은색-푸른색 등의 대비를 중재하며 종결부의 분위기를 만들어낸다. 액체 형태로 부드럽게 흘러가며 펼쳐지는 시각적 움직임은 사운드가 지닌 잔향성과 긴 호흡을 영상적으로 응축한 형태라 할 수 있다.

조명 디자인은 이러한 영상의 흐름을 보조하며, 이전 섹션에서 사용된 강한 대비와 선형적 빔 구조를 지양하고, 넓은 wash 기반의 확산광을 중심으로 구성된다. 특히 마지막 부분에서는 포그머신을 다시 활용하여 빛의 확산을 강화하고, 공간 전체를 감싸는 wash 계열 조명이 영상과 자연스럽게 혼합되며 색채적 안개층을 형성함으로써 통합된 공간감을 완성한다.

V. 결론

본 연구에서 제시한 사운드·라이트 퍼포먼스는 공감각 이론, 라이트 아트의 공간적 특성, 그리고 음악적 시간성을 하나의 예술적 체계 안에 통합함으로써 새로운 공감각적 지각 경험 모델을 도출하였다. 연구의 배경이 된 공감각 이론은 소리와 색이 인지적으로 어떤 방식으로 결합할 수 있는지에 대한 토대를 제공하며, 작품에서는 특히 칸딘스키의 이론을 빌려 조형적 특성과 색채 이론을 작품으로 구현하였다. 라이트 아트의 역사는 빛이 물리적 공간뿐 아니라 심리적·지각적 공간까지 생성한다는 점을 보여주며, 본 작품에서 구현된 공간성이 지각적 경험의 장으로 확장될 수 있음을 이론적으로 뒷받침한다. 사운드 디자인에서는 스펙트럴리즘 기반의 드론 음악과 음향효과들을 활용하여 음향적 공간을 형성하였으며, 이는 앰비언트 음악에서 논의된 공간적 청취 개념과 연결되어 사운드를 환경적·지각적 공간으로 확장한다. 이러한 이론적 기반은 작품에서 구현된 빛의 형태·움직임·색채가 음악의 전개와 긴밀히 조직되어 공감각적 경험을 만들어내는 데 미학적 근거를 제공한다.

본 작품 <Luminophony>는 앞서 제시한 이론을 실제 퍼포먼스로 구현한 사례로서, 사운드·영상·조명이 분리된 요소가 아닌 하나의 통합된 감각적 흐름으로 작동하도록 조직하였고, 이를 통해 관객의 공감각적 지각 경험이 형성될 수 있도록 유도하였다. 빛과 소리는 각기 독립적인 매체임에도 불구하고, 본 작품은 두 매체가 하나의 연속적인 감각적 흐름을 이루도록 설계함으로써 사운드·라이트 퍼포먼스라는 장르의 미학적 가능성을 확장했다.

결과적으로 본 연구는 음악의 시간성과 빛의 공간성을 통합하여 ‘소리의 공간화’와 ‘빛의 악보화’를 구현함으로써 감각의 경계를 재구성하는 새로운 퍼포먼스 구조를 제시한다. 이는 공감각 이론이 제시한 감각 통합의

잠재성을 작품적으로 확장한 사례이며, 소리와 빛이 결합한 새로운 사운드·라이트 퍼포먼스의 가능성을 실험한 시도로 볼 수 있다. 또한 본 모델은 향후 사운드·라이트 기반 설치 및 공연에서 감각 통합을 구현하기 위한 하나의 프레임워크로 기능할 수 있으며, 음악·영상·조명·기술이 통합된 예술 연구의 새로운 방향성을 제시한다.

Keyword (검색어): 컴퓨터음악(computer music), 사운드·라이트 퍼포먼스(sound·light performance), 인터랙티브 멀티미디어 음악(interactive multimedia music), 공감각(synesthesia), 소리 합성법(sound synthesis)

E-mail: juviet.j@gmail.com

참고 문헌

1. 단행본, 학술지

김유진, 염혜주, 「음고와 색의 연관성에 관한 실험적 연구: 음악 교육, 음고 분별력, 성별 차이를 중심으로」, (이화음악논집, 제22집 1호, 서울: 이화여자대학교 음악연구소, 2018)

김유진, 「컬러 음악의 역사적 고찰」, (한국예술연구, 제20호, 2018)

오희숙, 「20세기 음악 1: 역사 미학」, (심설당, 2004)

오희숙, 「20세기 음악 2: 시학」, (심설당, 2004)

유영재, 「색-음악 일치를 위한 시스템 및 장치 사례 연구」, (한국기초조형학회, 2004)

전윤경, 「색과 소리의 파동을 이용한 색청 공감각 치료의 방향 연구」, (한국색채학회 논문집, 2024, Vol.38, No.3)

조수진, 「인터랙티브 요소를 활용한 색과 음의 공감각적 공간표현 연구」, (한국애니메이션학회 학술대회지, 2011)

조해리, 「국악의 조형적 표현연구-본인의 작품을 중심으로-」, (동서미술문화학회, 2019)

최영조, 「청각이미지의 색채분석 연구」, (한국콘텐츠학회, 2012)

바실리 칸딘스키, 권영필 역, 「예술에서의 정신적인 것에 대하여」, (열화당, 2019)

바실리 칸딘스키, 차봉희 역, 「점·선·면」, (열화당, 2019)

홍일희, 「니체와 칸딘스키의 예술론」, (범한철학회논문집, 제68집, 2013년 봄)

C. A. Bernecker and J. M. Mier, 'The effect of source Luminance on the perception of environment brightness', (Journal of the Illumination Engineering Society, 1985)

Cretien van Campen, 'The Hidden Sense: Synesthesia in Art and Science', (The MIT Press, 2010)

Alessandro Cipriani, Maurizio Giri, 'Electronic Music and Sound Design - Theory and Practice with Max8 - volume 3', (Contemponet, 2023)

Richard E. Cytowic, 'Synesthesia: A Union of the Senses - Second Edition', (Bradford Books, 2002)

Maarten Franssen, 'The Ocular Harpsichord of Louis-Bertrand Castel', (Tractrix Vol. 3, 1991)

B. M. Galeyev, I. L. Vanechkina, 'Was Scriabin a Synesthete?', (Leonardo, Vol. 34, No.4, The MIT Press, 2001)

Debora Haller, 'Negative Harmony: The Shadow Of Harmonic Polarity On Contemporary Composition Techniques', (Belmont University, 2020)

Lynn Robertson, Noam Sagiv, 'Synesthesia: Perspectives from Cognitive Neuroscience', (Oxford University Press, 2004)

Wayne Slawson, 'Sound Color', (University of California Press, 1985)

Eric Tamm, 'Brian Eno: His Music And The Vertical Color Of Sound', (Da Capo, 1995)

2. 참고 논문

강정하, 「제임스 터렐의 작품에 나타난 ‘빛’의 특성연구」, 홍익대 석사학위논문, 2012

고동훈, 「앰비언트 뮤직(Ambient Music)의 특징을 적용한 영상음악에서의 사운드 디자인(Sound Design) 연구」, 상명대 석사학위논문, 2014

김동립, 「LED 조명 시스템의 음악 감성 연출을 위한 음악 감성의 시각화 연구」, 숭실대 박사학위논문, 2015

김세바스찬유양, 「소리와 회화의 만남에 관한 연구」, 가톨릭관동대 석사학위논문, 2016

김승진, 「앰비언트 음악의 특징을 활용한 Plug Data 패치 작성 연구」, 상명대 석사학위논문, 2025

김영민, 「전자음악의 예술적 정의와 지향성 연구」, 동국대 박사학위논문, 2025

김요한, 「막형 전위차계와 압력 센서를 활용한 인터랙티브 전자악기 제작 및 공연 연구」, 동국대 석사학위논문, 2025

김재곤, 「Light Art에서 나타난 빛과 공간연구」, 홍익대 석사학위논문, 2003

김진우, 「우두 드럼의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어음악 작품 제작 연구」, 동국대 석사학위논문, 2021

김진하, 「오디오-비주얼 융합을 통한 음악의 시각화 연구: 스크랴빈의 『프로메테우스』를 중심으로」, 상명대 박사학위논문, 2023

김희정, 「청각과 시각의 교차감각 매핑에 의한 인터랙티브 사운드 시각화 연구」, 홍익대 석사학위논문, 2018

박상준, 「칸딘스키 회화의 구성요소 점·선·면을 활용한 무용창작연구」, 국민대 박사학위논문, 2021

변지은, 「칸딘스키 회화에 나타난 의사소통적인 색채심리에 관한 연구」, 건국대 석사학위논문, 2015

신민철, 「미니멀 음악과 프리재즈의 음악적 특징 비교연구」, 중앙대 석사학위논문, 2020

신봉현, 「공간의 의미와 효과 표현을 위한 조명효과에 관한 연구」, 홍익대 석사학위논문, 2004

양연미, 「제임스 터렐의 작품에 나타난 빛과 공간의 현상학적 지각 체험에 관한 연구」, 건국대 석사학위논문, 2014

오세라, 「막스 리히터의 미니멀음악과 시각화 표현의 메시지 분석 연구」, 상명대 석사학위논문, 2025

오이링, 「베이스기타의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」, 동국대 석사학위논문, 2024

오지현, 「색청을 이용한 공감각적 작품 연구」, 국민대 석사학위논문, 2020

유진서, 「음악을 보고, 색을 듣다: 칸딘스키 이론을 기반으로 한 음악 시각화 실험」, 홍익대 석사학위논문, 2025

유하양, 「공감각적 음악(Synesthetic Music)의 음악 교육적 활용 가능성 모색」, 서울대 석사학위논문, 2014

은세진, 「레이 하라카미의 음악 제작기법을 적용한 앰비언트 음악 제작」, 상명대 석사학위논문, 2014

이은재, 「Gérard Grisey의 『Partiels』에 나타난 spectral music의 양상」, 서울대 석사학위논문, 2004

정서윤, 「Gérard Grisey의 작품 《Vortex Temporum》 1악장 분석:-배음렬 음악과 미니멀 음악의 결합-」, 숙명여대 석사학위논문, 2019

장제현, 「실존 음악을 통한 사유 공간 구현에 관한 연구」, 국민대 석사학위논문, 2020

정유정, 「색채음악 이미지스케일 제작을 위한 기초연구」, 홍익대 석사학위논문, 2014

조현석, 「프로듀서 ‘브라이언 이노(Brian Eno)’가 콜드플레이 음악에 미친 영향에 대한 고찰」, 경희대 석사학위논문, 2019

최윤희, 「소리와 빛을 이용한 극 공간 연출 방법에 관한 연구」, 이화여대 석사학위논문, 2012

한은경, 「공감각(Synesthesia)을 활용한 고등학교 구체음악(Musique Concrète) 창작 수업 개발」, 연세대 석사학위논문, 2022

홍다현, 「악기 음색과 색채에 관한 공감각적 연구」, 홍익대 석사학위논문, 2024

홍요섭, 「배음렬음악의 경향과 기법에 관한 연구」, 경희대 박사학위논문, 2011

3. 웹사이트

동국대학교 영상대학원 MARTE Lab: <http://marte.dongguk.edu/>

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

MA Lighting: <https://www.malighting.com>

Martin: <https://www.martin.com/en>

Max: <https://cycling74.com/>

Max for Live: <http://maxforlive.com>

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

ABSTRACT

Designing a Sound · Light Performance for Synesthetic Perception

- Focusing on Multimedia Art <Luminophony> -

PARK, CHANHEE

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

This study explores the construction of a synesthetic perceptual experience through an integrated sound · light performance, focusing on the multimedia artwork <Luminophony>. Moving beyond conventional approaches that directly map sound parameters onto visual elements, the research proposes a compositional framework in which sound and light are organized as a continuous perceptual flow. Within this framework, sound is conceived as a spatialized phenomenon, while light

functions as a temporal score, enabling the integration of auditory temporality and visual spatiality into a unified sensory field.

The theoretical foundation of this research is grounded in synesthesia theory and multisensory perception studies, which conceptualize sensory experience as fundamentally relational and interactive rather than strictly separated by modality. Historical investigations into sound-color and sound · light relationships from early optical theories to twentieth-century experiments by composers and visual artists are examined to contextualize sound · light performance as a lineage of artistic inquiry concerned with perceptual integration. These precedents demonstrate that sound and light can operate as structurally equivalent compositional materials rather than as illustrative counterparts.

Based on this framework, the study situates sound · light performance within the expanded field of sound art, light art, and digital media art. Light is treated not merely as a means of illumination or visual emphasis but as an active spatial medium capable of shaping perception, movement, and temporal awareness. Similarly, sound is approached not as a sequence of discrete musical events but as a continuous, evolving field that articulates space through spectral density, texture, and duration. This perspective enables a rethinking of audiovisual relationships beyond representational synchronization toward perceptual continuity.

The research further outlines a technical approach that integrates sound synthesis, real-time visual generation, and lighting control systems into a unified performance environment. Rather than enforcing strict one-to-one correspondence between media, the system is

designed to allow sound, image, and light to retain relative autonomy while remaining perceptually interlinked. Through real-time interaction and structural coherence, these elements collectively form an immersive sensory environment in which perceptual relationships emerge dynamically over time.

Ultimately, this study argues that <Luminophony> demonstrates a new possibility for sound · light performance by constructing a synesthetic flow that unifies sound's temporal development with light's spatial articulation. By emphasizing perceptual integration over representational mapping, the work proposes an expanded model of multisensory composition in which sound and light co-function as a single experiential continuum. This approach contributes to ongoing discussions in sound art and media art by offering a practical and conceptual framework for designing performances that actively engage the audience's synesthetic perception.

부록: 첨부 DVD 설명

1. Luminophony 공연 영상

2025년 11월 8일 멀티미디어 작품 <Luminophony>

2. Luminophony 자료

작품에 사용된 TouchDesigner, VCV Rack 자료