

석사학위논문

색소폰을 활용한 실시간 사운드 프로세싱과  
비주얼라이제이션 작품제작 연구

-멀티미디어음악 작품 <Liminal>을 중심으로-

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

박 지 은

2025

석사학위논문

색소폰을 활용한 실시간 사운드 프로세싱과  
비주얼라이제이션 작품제작 연구

-멀티미디어음악 작품<Liminal>을 중심으로-

박지은

지도교수 김준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2024년 12월

박지은의 음악석사학위(컴퓨터음악) 논문을 인준함

2025년 1월

위원장 정진현



위원 김정호



위원 김준



동국대학교 영상대학원



# 목 차

I. 서론 .....	1
1. 연구 목적 및 배경 .....	1
2. 사례 연구 .....	3
II. 기술 연구 .....	6
1. 알토 색소폰의 특징 연구 .....	6
1) 악기 특징 .....	6
2) 기본 연주 기법 .....	7
3) 알토 색소폰의 음역 .....	8
2. 사운드 제작 연구 .....	10
1) Max를 이용한 granular synthesis .....	11
2) VST를 활용한 granular synthesis .....	13
3) delay 효과 .....	17
4) reverb 효과 .....	18
5) audio effect rack 효과 .....	20
3. 비주얼라이제이션 연구 .....	24
1) TouchDesigner를 이용한 영상 제작 .....	24
① SOP을 활용한 제작 과정 .....	25
② 포인트 클라우드를 활용한 제작 과정 .....	30
③ camera를 활용한 제작 과정 .....	34
④ 제작된 각 장면 이미지 .....	35

4. OSC 통신을 활용한 인터랙션 .....	36
<b>III. 연구 기술의 작품 적용 .....</b>	<b>39</b>
1. 작품 소개 .....	39
2. 작품 구성 .....	41
1) 무대 구성 .....	41
2) 영상 구성 .....	42
3) 음악 구성 .....	44
3. 작품에서의 사운드 및 영상 기술 적용 .....	46
1) A 파트 .....	46
2) B 파트 .....	47
3) C 파트 .....	48
4) solo 파트 .....	49
5) D 파트 .....	51
6) E 파트 .....	52
4. 연구 기술의 작품 적용 효과 .....	53
<b>IV. 결론 .....</b>	<b>54</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>56</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>59</b>

부록 : 첨부 DVD ..... 62

## 표 목 차

<표-1> 작품 <Liminal>에서 사용 된 연주 기법 .....	7
<표-2> 알토 색소폰의 음역대 .....	9
<표-3> munger~오브젝트 파라미터 설명 .....	12
<표-4> point transform 주요 파라미터 설명 .....	32
<표-5> 영상 구성 .....	42
<표-6> 곡 파트 별 악기 구성 .....	44
<표-7> 작품에 적용된 음향효과 .....	45

## 그 립 목 차

[그림-1] 색소폰 연주자이자 음악 프로듀서 Yarden Klayman .....	3
[그림-2] 인터랙티브 설치작품 <KRX Signature> .....	4
[그림-3] 작품 <Liminal>에 사용 된 Yamaha yas82z .....	6
[그림-4] 알토 색소폰과 콘서트 악보 음정 비교 .....	8
[그림-5] sine 파형의 오리지널과 granular synthesis를 적용시킨 파형 ·	10
[그림-6] munger~를 이용한 granular synthesis 패치 .....	11
[그림-7] grain sample manipulator의 ‘long grains’ 알고리즘 기본 원리 ·	13
[그림-8] Reason studios grain sample manipulator .....	14
[그림-9] 사운드 시스템 설계도 .....	15
[그림-10] Max/MSP로 구현한 delay 효과 .....	17

[그림-11] 임펄스 응답 적용 예시 .....	18
[그림-12] reverb 효과 패치 .....	19
[그림-13] FilterTaps의 Max 패치 .....	20
[그림-14] FilterTaps의 Max 서브 패치 1 .....	21
[그림-15] FilterTaps의 Max 서브 패치 2 .....	22
[그림-16] SOP 오퍼레이터 활용 1 .....	25
[그림-17] Group으로 분할된 SOP 오퍼레이터 .....	26
[그림-18] OSC 신호에 의해 변경되는 switch SOP의 출력 .....	27
[그림-19] switch SOP에서 순차적으로 출력되는 4개의 파티클 비주얼 ...	28
[그림-20] SOP 오퍼레이터 활용 2 .....	29
[그림-21] point file in TOP으로 로드한 PLY포맷 파일의 포인트 클라우드	30
[그림-22] 포인트 클라우드 변형을 위한 TOP 오퍼레이터 활용 .....	31
[그림-23] point transform 주요 파라미터 .....	31
[그림-24] 'absTime.seconds' 표현식을 point transform 2에 이용 .....	33
[그림-25] camera blend COMP의 sequence 파라미터에 따른 출력 변화 예시	34
[그림-26] 제작된 장면 별 대표 이미지 .....	35
[그림-27] OSC 통신에 사용된 Max 패치 예제 .....	37
[그림-28] OSC 통신에 사용된 TouchDesigner의 OSC in CHOP .....	37
[그림-29] 비주얼라이제이션 시스템 설계도 .....	38
[그림-30] 작품 <Liminal>의 공연 이미지 .....	39
[그림-31] 작품 <Liminal>의 무대 구성 .....	41
[그림-32] 테이프음악의 음량에 따라 크기와 위치가 변화하는 효과 .....	46
[그림-33] 리듬에 따라 카메라가 이동하여 다르게 보여지는 이미지 .....	47
[그림-34] OSC 데이터와 sphere SOP의 파라미터 윈도우 .....	48
[그림-35] 음고에 따라서 변화하는 y축 위치 .....	48

[그림-36] 스크린이 블랙아웃 되고 연주자만 조명을 받는 상태 .....	49
[그림-37] 공연에서 사용한 Korg nanoKONTROL Studio의 미디 매핑	50
[그림-38] point의 배열 순서에 따른 비주얼 변화 .....	51
[그림-39] invert 효과 .....	52
[그림-40] invert 효과가 적용된 작품의 영상 .....	52

# I. 서론

## 1. 연구 목적 및 배경

21세기 예술과 음악의 경계는 점차 모호해지며 다양한 매체와 기술의 융합을 통해 새로운 형태의 예술이 등장한다. 특히 어쿠스틱 악기는 컴퓨터 기술의 발전을 통해 소리의 확장과 가공이 실시간으로 가능해졌으며 이는 청각적 한계를 넘어 다감각적 예술을 탐구할 수 있는 중요한 도구가 되었다. 서양의 어쿠스틱 악기 중 하나인 색소폰은 특유의 풍부한 음색으로 공간을 가득 채울 수 있고 다채로운 표현력이 특징이다. 또한 연주 기술에 따라 밝고 경쾌한 소리부터 깊고 감성적인 소리까지 표현할 수 있으며 이러한 특성과 디지털 신호 처리(DSP: Digital Signal Processing)기술의 결합을 통해 색소폰 연주의 음향 신호를 실시간으로 변조하고 확장할 수 있는 가능성을 연다. 즉흥 연주에도 적합한 악기이기 때문에 미리 만들어져있는 사운드 프로세싱 및 비주얼라이제이션(visualization)<sup>1)</sup>이 아닌 즉흥적인 라이브 퍼포먼스의 도구로서 큰 잠재력을 가진다. delay<sup>2)</sup>, reverb<sup>3)</sup>, granular synthesis<sup>4)</sup>와 같은 다양한 프로세싱 기법을 활용하면 색소폰의 소리를 기존의 아날로그 연주에서는 불가능한 방식으로 변형하고 확장할 수 있다. 이러한 기법은 단순히 소리의 변형에 그치지 않고 비주얼라이제이션과 결합될 때 더 큰 잠재력을 발휘한다. 비주얼라이제이션 기

---

1) 정보나 데이터를 그래픽, 이미지, 혹은 시각적 형식으로 표현하여 더 쉽게 이해하고 분석할 수 있도록 하는 과정 또는 기술

2) 입력된 소리를 설정한 시간만큼 지연시켜서 출력하는 효과

3) 공간에 반사되어 남는 소리로 잔향이라고도 한다.

4) 소리를 아주 작은 단위인 그레인(grain)으로 나누어 재배열과 변형을 통해 새로운 소리를 만들어내는 합성 방식이다.

술은 사운드 신호의 주파수<sup>5)</sup>, 진폭<sup>6)</sup>, 리듬<sup>7)</sup> 등 다양한 요소를 시각적 패턴으로 변환하여 청각 경험을 시각적 경험과 통합하는 중요한 역할을 한다. 특히 음악과 시각 예술이 결합된 공연은 소리와 이미지가 동시에 상호작용하며 새로운 형태의 몰입형 경험을 이끌어낸다. 현대 예술에서 이러한 비주얼라이제이션은 퍼포먼스와 인터랙티브(interactive)<sup>8)</sup> 아트<sup>9)</sup>의 중요한 축으로 자리 잡고 있다.

본 연구는 음악적 표현과 시각적 요소 간의 보다 유기적인 관계를 탐구한다. 작품 <Liminal>은 색소폰과 비주얼라이제이션이 결합된 멀티미디어<sup>9)</sup> 작품으로 어쿠스틱 악기 연주와 디지털 기술의 융합을 통해 제작되었다. 색소폰의 음색을 다양한 사운드 프로세싱 기법을 통해 독창적으로 사운드를 디자인하고 실시간으로 분석했으며 이 데이터를 음색 변화, 영상효과 등에 적용함과 동시에 '문턱', '경계'를 의미하는 Liminal이라는 작품명처럼 다양한 경계를 넘나드는 실험적인 시도를 위해 연구하는 것을 목적으로 한다. 또한 색소폰 연주자의 역동적인 연주와 실시간 시각화가 조화를 이루는 작품을 설계함으로써 새로운 차원의 상호작용을 구현했다. 즉흥 연주를 위한 라이브 퍼포먼스 시스템을 디자인하여 연주자가 즉흥 연주를 해도 사운드 프로세싱과 비주얼라이제이션이 가능하도록 하였다.

---

5) 1초 동안 진동하는 횟수

6) 주기적으로 진동하는 파의 진동 폭

7) 소리와 소리 사이의 간격이 시간적으로 배열된 패턴

8) 사용자의 입력에 따라 시스템이 실시간으로 반응하거나, 사용자와 시스템 간에 주고받는 작용으로 “상호작용”이라고도 불린다.

9) 텍스트(Text), 이미지(Image), 오디오(Audio), 비디오(Video), 애니메이션(Animation) 등의 다양한 매체(Media)를 결합하여 정보를 전달하거나 표현하는 방식을 의미한다.



## 2. 사례 연구

전자음악은 다양한 형태로 결합되어 현대 음악에서 독창적인 표현 도구로 자리 잡고 있다. 특히 전자음악과 전통적인 악기의 조합은 단순한 결합을 넘어 기존 음악의 경계를 허물고 새로운 예술적 가능성을 탐구하는 중요한 역할을 하고 있다. [그림-1]<sup>10)</sup>은 이스라엘 출신의 색소폰 연주자이자 음악 프로듀서로 활동 중인 클레이만(Yarden Klayman)이 2020년 텔아비브의 바젤 동네에서 열린 옥상 공연에서 솔로 연주를 하고 있는 장면이다. 텔아비브는 예술과 문화의 중심지로 혁신적인 음악적 실험과 퍼포먼스가 활발히 이루어지는 도시이다. 그녀는 색소폰 연주와 전자음악 요소를 결합하여 독창적인 퍼포먼스를 선보이며 전통적인 악기 연주가 전자음악 기술과 어떻게 조화될 수 있는지를 증명했다.



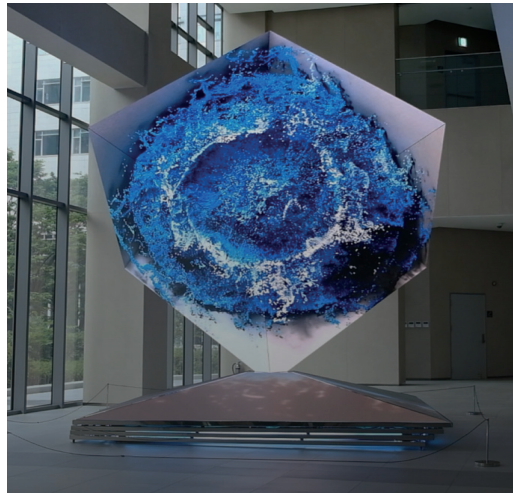
[그림-1] 색소폰 연주자이자 음악 프로듀서 Yarden Klayman

---

10) 사진 출처: IDAN HERSHKO & TEL AVIV MUNICIPALITY

클레이만은 전자음악과 색소폰 연주를 결합하여 라이브 퍼포먼스를 선보이며, 음악적 창의성과 기술적 혁신을 동시에 담아낸다. 그녀는 단순히 악기 연주에 그치지 않고 전자음악과의 실시간 융합을 통해 색소폰의 음색과 전자음악의 다채로운 변화를 조화롭게 보여준다. 특히 전자음악의 리듬감과 색소폰의 생동감 있는 멜로디가 결합된 연주는 공연 공간을 음악적으로 확장하며 관객에게 새로운 경험을 선사한다. 이와 같은 퍼포먼스는 단순한 음악 연주를 넘어 공간의 활용과 기술적 융합을 통해 현대 음악과 공연 예술의 새로운 가능성을 보여주고 있다.

[그림-2]<sup>11)</sup>는 2023년 한국거래소 실시간 KOSPI<sup>12)</sup>데이터 인터랙티브 설치작품인 <KRX Signature>이다.



[그림-2] 인터랙티브 설치작품 <KRX Signature>

11) <KRX Signature>는 한국거래소 정문에 설치되어 있다.

12) 한국거래소의 유가증권시장에 상장된 회사들의 시가총액의 기준시점과 비교 시점을 나타낸 지표

주식시장의 데이터 흐름을 추상적으로 표현한 작품으로 한국의 경제 지표를 제시하고 예술과 기술의 융합을 통해 금융계와 사회의 상호작용을 포착한다. TouchDesigner<sup>13)</sup>를 통해 한국 주식 데이터베이스인 KOSPI에서 실시간 웹 데이터를 수집하고, 데이터를 시각적으로 사용할 수 있는 신호로 처리했다. 전날과 비교한 각 날의 결과에 따라 상승, 하강, 축소, 성장, 색상 및 모양이 변경되도록 프로그래밍 했다.

앞서 언급한 작품 사례들을 기반으로 색소폰과 비주얼라이제이션을 결합한 본 논문의 작품 <Liminal>을 창작하게 되었다. 전통적인 색소폰 연주에 현대적인 기술 요소를 결합하여 새로운 감각적 경험을 제공하는 것을 목표로 했다. 레코딩된 색소폰 사운드와 라이브 색소폰 연주를 변형하여 사운드 디자인을 하고 audio effect chain을 활용하여 비주얼에 적용시켰다. 이를 통해 색소폰의 독특한 음색을 보다 확장하고 변형하여 새로운 청각적 효과를 창출할 수 있었다. 사운드의 음고, 음량, 음색과 같은 요소를 정밀하게 분석하고 이를 실시간으로 비주얼 데이터로 변환하는 과정을 통해 음악과 시각적 패턴이 유기적으로 결합된 작품을 만들었다. 이는 단순히 음악과 이미지를 병렬적으로 배치하는 방식이 아닌 하나의 통합된 예술 작품으로 표현했다.

---

13) Derivative에서 개발한 노드 기반의 비주얼 프로그래밍 언어

## II. 기술 연구

### 1. 알토 색소폰의 특징 연구

#### 1) 악기 특징

음악 공연에서 알토 색소폰[그림-3]은 부드러우면서도 강렬한 음색을 지녀 솔로 연주에 적합하다. 음역이 넓고, 저음에서 고음까지 안정적인 소리를 내기 때문에 독주곡이나 즉흥 연주에서 주로 사용된다. 풍부한 음색과 뛰어난 표현력 덕분에 재즈, 클래식, 팝, 블루스 등 다양한 장르에서 독창적인 선율을 연주하며, 청중의 주목을 받는 역할을 하고 예술적 실험과 새로운 음악적 시도에서도 중요한 도구로 자리 잡고 있다.



[그림-3] 작품 <Liminal>에 사용된 Yamaha yas82z

## 2) 기본 연주 기법

알토 색소폰 연주에는 기본적인 음정<sup>14)</sup> 조절부터 고급 테크닉까지 곡을 표현하는 데에 다양한 기법이 사용된다. 본 논문의 작품 <Liminal>에는 주로 텅잉(Tonguing), 하프텅잉(Half-Tonguing), 엠브셔(Embouchure), 서브톤(Subtone), 그로울링(Growling), 스플릿 톤(Split Tone), 폴링(Falling), 스쿱(Scoop) 연주 기법이 사용되었다.

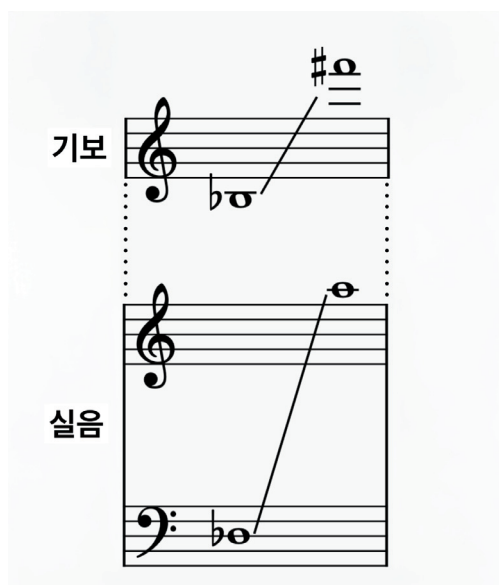
<표-1> 작품 <Liminal>에서 사용 된 연주 기법

기법명	연주 기법
텅잉	혀를 리드에 닿게 하여 음의 시작과 끝을 명확히 만드는 기법
하프텅잉	혀를 리드에 완전히 닿게 하지 않고, 약간 걸치듯이 닿아서 음을 시작하거나 소리의 음색을 부드럽게 만드는 기법
엠브셔	입술, 턱, 혀, 치아가 마우스피스와 리드를 감싸는 방법
서브톤	엠브셔의 고급테크닉 중 하나로 공기의 흐름을 줄여 매우 부드럽고 낮은 음색을 만들기 위해 사용되는 기법
그로울링	연주 중에 목으로 소리를 내면서 연주하여 음에 거칠고 독특한 질감을 더하는 기법
스플릿 톤	하나의 음을 연주할 때 두 개 이상의 음이 동시에 들리도록 만들어 거친 음색과 독특한 텍스처를 생성하는 기법
폴링	음을 연주한 후 점차 음정을 낮추면서 자연스럽게 음정을 떨어뜨리는 기법
스쿱	원음보다 낮은 음에서 연주를 시작하여 자연스럽게 음정을 끌어올려 본래 음에 도달하는 기법

14) 한 음에서 다른 음까지의 거리

### 3) 알토 색소폰의 음역

이조악기<sup>15)</sup>인 알토 색소폰은 E♭ 조악기(E-flat transposing instrument)로 피아노와 같은 콘서트 악보와는 다른 음정을 사용한다.



[그림-4] 알토 색소폰과 콘서트 악보 음정 비교

알토 색소폰이 기보된 저음역인 B♭3을 연주하면 장 6도 아래의 D♭3 소리가 나고 기보된 초고음역인 F♯6을 연주하면 장 6도 아래의 A5 소리가 나는 것을 알 수 있다.

15) 이조악기(移調樂器:Transposingmusical instrument)

악보에 나타난 음높이보다 실제음이 높거나 낮은 음을 내는 악기

<표-2> 알토 색소폰의 음역대

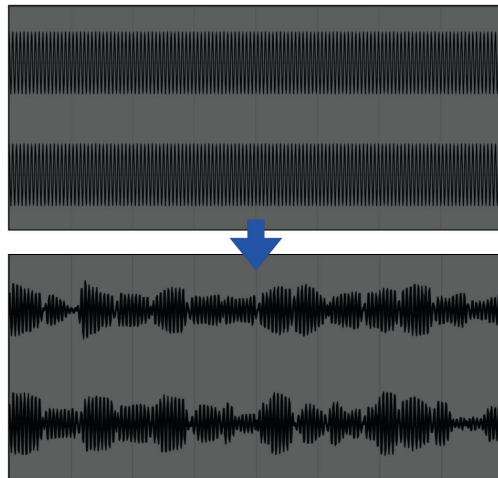
음역	악보 상 음	실제 소리(콘서트 피치)
저음역	Bb3	Db3
중간음역	C4 ~ C6	Eb3 ~ Eb5
고음역	F6	Ab5
초고음역 (알티시모) <sup>16)</sup>	F#6 이상	A5 이상

---

16) 색소폰의 기본 키 조합을 사용하지 않고 핑거링과 앰브셔 조절을 통해 배음을 만들어서 고음을 생성하는 기법

## 2. 사운드 제작 연구

본 논문의 작품 <Liminal>의 테이프음악(tape-music)<sup>17)</sup>제작에는 granular synthesis, delay, reverb의 음향효과가 주로 사용되었다. 그 중 granular synthesis는 Max<sup>18)</sup>와 VST(Virtual Studio Technology)<sup>19)</sup>로 두 가지가 사용되었는데, [그림-5]는 C3(130.8Hz)의 sine 파형과 그 파형에 70ms 단위로 나눈 granular synthesis를 적용시킨 파형의 모습이다.



[그림-5] sine 파형의 오리지널과 granular synthesis를 적용시킨 파형

17) 녹음된 소리를 소스로 활용하여 만들어진 음악

18) Cycling'74에서 개발한 비주얼 프로그래밍 언어

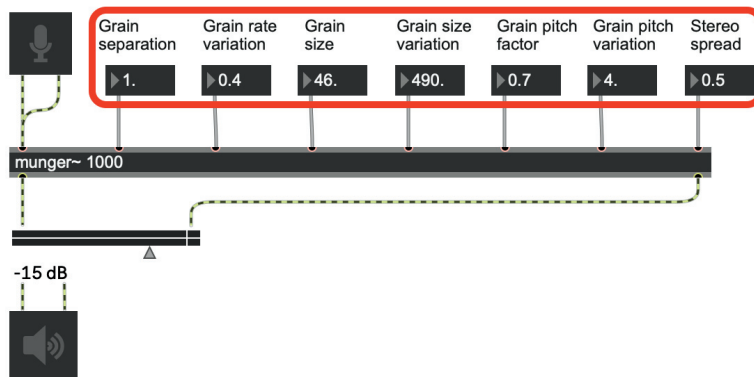
19) 독일의 Steinberg사가 개발한 음악 제작과 사운드 디자인에 사용되는 디지털 오디오 플러그인의 표준 규격



## 1) Max를 이용한 granular synthesis

granular synthesis는 소리를 아주 작은 입자인 그레인(grain)<sup>20)</sup>으로 나누어 재배열과 변형을 통해 새로운 소리를 만들어내는 합성 방식이다. 모자이크 조각을 이용하여 새로운 그림을 만들듯이 작고 다양한 재료들로 음색을 보다 확장하고 변형 시켜 활용하기에 적합하며 다양한 음고로 짧게 끊어지는 사운드뿐만 아니라 길게 지속되는 사운드도 만들 수 있다.

[그림-6]은 granular synthesis를 Max에서 구현하기 위해 만들어진 munger~<sup>21)</sup>오브젝트 패치이다. 7개의 파라미터를 조절하여 다양한 음향효과를 얻을 수 있다.



[그림-6] munger~를 이용한 granular synthesis 패치

20) grain은 ‘낱알의’라는 의미를 가진다. 곡물처럼 작은 단위로 나누고 다시 재조합을 통해 사운드를 만들기 때문에 붙여진 이름이다.

21) 작곡가이자 소프트웨어 개발자인 댄 트루먼에 의해 제작된 Max 오브젝트

각 파라미터가 의미하는 바를 <표-3>으로 정리했다. grain separation, grain rate variation, grain size, grain size variation은 밀리 세컨드(ms) 단위로 사용된다.

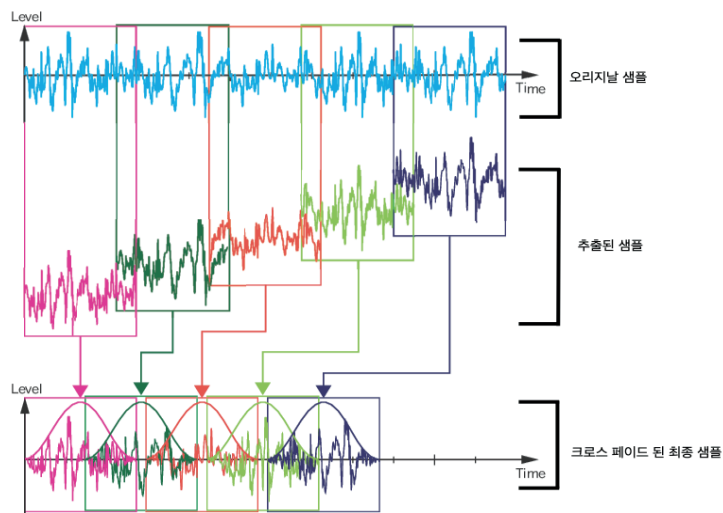
<표-3> munger~오브젝트 파라미터 설명

Grain separation	샘플들의 간격
Grain rate variation	샘플들의 간격이 무작위로 변화하는 값
Grain size	샘플들의 크기
Grain size variation	샘플들의 크기가 무작위로 변화하는 값
Grain pitch	샘플의 음정
Grain pitch variation	샘플의 음정이 무작위로 변화하는 값
Stereo spread	스테레오 폭을 조절하는 값

munger~에 레코딩된 색소폰 샘플을 넣은 뒤, grain separation에서는 그레인 간의 간격을 조절하고 grain pitch variation으로 리샘플링 시 수치를 직접 입력하거나 마우스의 움직임을 이용하여 사운드 변화에 직접 개입했다. 정해진 값만 레코딩하는 것이 아니어서 다양한 조합의 샘플들이 나왔고 매번 다른 결과가 도출되기에 반복적인 작업이 필요했다. 녹음된 샘플들은 오디오 편집과 사운드 이펙팅을 통해 색소폰이 아닌 새롭게 생성된 사운드로 테이프음악 제작에 사용했다.

## 2) VST를 활용한 granular synthesis

본 논문의 작품에서는 Reason studios<sup>22)</sup>의 VSTi(Virtual Studio Technology Instrument)<sup>23)</sup>인 grain sample manipulator<sup>24)</sup>를 사용하였다. 재생 알고리즘은 ‘spectral grain’, ‘grain oscillator’, ‘long grains’, ‘tape’으로 총 4개의 모드로 설정할 수 있다. 알고리즘 설정에 따라 다양한 모듈레이션이 가능하다. [그림-7]<sup>25)</sup>은 작품 <Liminal>에서 주로 쓰인 ‘long grains’ 재생 알고리즘을 설명하고 있다.



[그림-7] grain sample manipulator의 'long grains' 알고리즘 기본 원리

22) 1994년 설립된 스웨덴의 소프트웨어 회사

23) DAW에서 사용할 수 있는 가상악기 플러그인

24) Reason studios의 granular synthesizer

25) <https://docs.reasonstudios.com/reason13/grain-sample-manipulator>

grain sample manipulator에서는 mungler~에 비해 자연스러운 피치 변조가 가능하여 따로 튜닝을 하지 않아도 된다. 2개의 granular synthesis를 활용하여 드럼, 앰비언트<sup>26)</sup>, 패드 등 다양한 사운드를 만들어 사용하였다. 오리지널 샘플은 사운드 합성의 기초로 쓰이게 되는데 샘플에서 길이와 간격이 같은 5개의 그레이인이 추출된 모습을 나타내고 있다. 그레이인 사이의 거리는 재생속도에 따라 결정되고 그레이인의 큰 부분들이 겹치게 되면서 함께 재생된다. 이를 자연스럽게 하기 위해 크로스 페이드가 사용되었다.

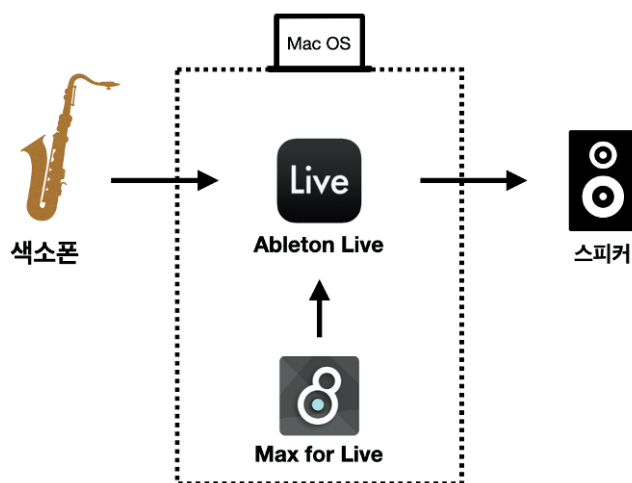


[그림-8] Reason studios grain sample manipulator

grain sample manipulator[그림-8]의 'long grains' 알고리즘은 원래 샘플의 긴 그레이인을 재생하는 모드이다. 만들어진 사운드의 피치에 영향을 미치는 것은 원래의 피치로, 이 설정에서 샘플에 관여하는 5개의 파라미터를 조절하여 여러 가지 효과를 얻어냈다.

26) 공간의 분위기를 형성하거나 보조하는 역할로 쓰이는 사운드를 뜻한다.

pan spread는 패닝(panning)<sup>27)</sup>의 정도를 설정한다. 0%는 신호가 영향을 받지 않음을 의미하고 100%는 모든 그레인을 좌우로 패닝한다. 입체감 있는 스테레오 효과를 디테일하게 표현하기에 적합하다. pitch jitter는 모든 그레인의 피치를 부드럽고 무작위 하게 변경하는 정도를 결정한다. grain length는 샘플의 길이를 결정한다. 0%에서는 가장 짧은 샘플을 사용하고 100%에 가까워질수록 더 긴 샘플을 사용한다. rate는 샘플의 재생 속도를 제어한다. 100%에 가까워질수록 샘플의 반복 재생 속도가 올라간다. x-fade는 위의 그림에서 나타나듯 그레인 사이의 크로스 페이드 정도를 설정한다. 0%에서는 최소한의 크로스 페이드가 발생되어 각 그레인의 시작과 끝 지점에서 끊기듯한 사운드 효과를 연출할 수 있다. granular synthesis를 통해 다양한 사운드 재료들을 수집했다.



[그림-9] 사운드 시스템 설계도

27) 소리를 스테레오 필드의 왼쪽(L), 오른쪽(R) 또는 그 사이의 특정 위치로 배치하는 기술

[그림-9]는 사운드 작업 시의 시스템 설계를 나타낸다. Ableton Live<sup>28)</sup>로 색소폰 레코딩을 한 뒤 granular synthesizer에 샘플을 넣어 사운드를 디자인하고 Max for Live<sup>29)</sup>를 활용하여 이펙팅 체인을 적용시켰다.

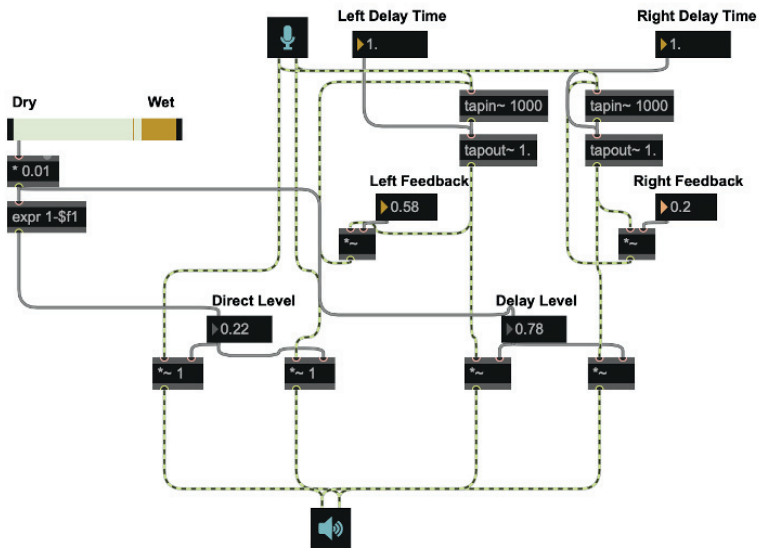
---

28) 독일의 Ableton에서 개발한 음악 제작과 공연을 위한 디지털 오디오 워크스테이션(Digital Audio Workstation, DAW)이다.

29) Cycling'74의 Max/MSP를 기반으로 Ableton Live에서 사용자가 자체적으로 음악적 도구(musical tools)를 제작할 수 있는 소프트웨어 플랫폼이다. 사용자가 원하는 대로 악기, MIDI 효과, 오디오 효과를 만들거나 Ableton Live를 제어할 수 있는 기능을 제공한다.

### 3) delay 효과

delay 음향효과는 신호를 일정 시간이 지난 뒤 다시 재생하는 것을 말한다. [그림-10]은 Max/MSP를 사용하여 delay 효과를 구현한 패치로 `tapin~`, `tapout~` 오브젝트를 주로 사용하게 된다. `tapin~` 오브젝트는 오디오 신호를 설정된 시간(delay time) 만큼 저장하는 역할을 한다. `tapout~`은 `tapin~`에 저장된 신호를 딜레이 타임만큼 지연시켜 재생한다. `tapout~`과 연결되어 있는 `*~` 오브젝트에 0과 1사이의 값을 넣어 feedback 음향효과의 양을 조절한다. 패치에서 `expr 1-$f1` 오브젝트를 사용하여 원음(dry)과 delay 효과(wet)의 신호를 원하는 비율로 조절할 수 있다.



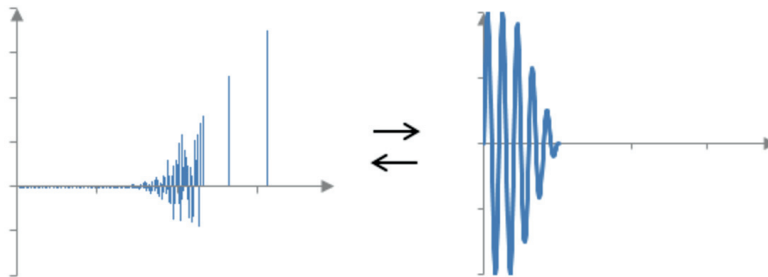
[그림-10] Max/MSP로 구현한 delay 효과

30) C언어를 기반으로 수학 계산을 수행하는 오브젝트

#### 4) reverb 효과

convolution reverb 프로는 Ableton Live에서 작동하는 Max for Live 기반의 컨볼루션(convolution) 리버브이다. 이 플러그인은 임펄스 응답(Impulse Response, IR)<sup>31)</sup>을 기반으로 작동한다.

컨볼루션 리버브의 원리는 실제 환경에서 녹음된 임펄스 응답(IR)을 통해 특정 공간의 음향 특성을 캡처하고 이를 오디오 신호에 적용하는 것이다. IR은 짧고 넓은 대역의 소리가 공간에서 반사되는 특성을 기록한 데이터로 반사음, 잔향 시간, 음색 변화와 같은 공간적 음향 특성을 분석한다. 컨볼루션 연산은 입력 신호와 IR을 결합하여 [그림-11]<sup>32)</sup>처럼 결과물을 만들어 내고 해당 공간에 소리를 배치한 것처럼 들리게 한다. 이러한 원리를 기반으로 사실적이면서도 다양한 환경의 공간 음향을 재현한다.



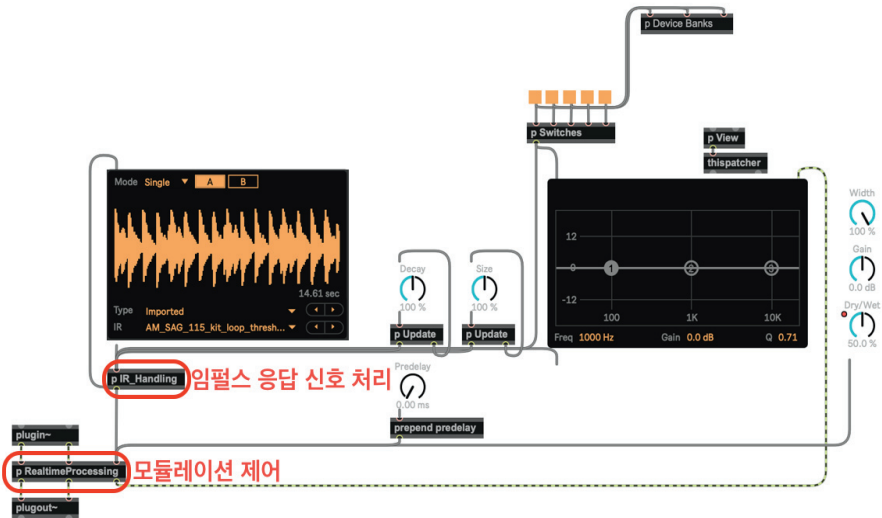
[그림-11] 임펄스 응답 적용 예시

31) 특정 공간이나 시스템이 신호에 반응하는 특성을 기록한 데이터를 뜻한다.

32) <https://www.recordingblogs.com/wiki/impulse-reverb>



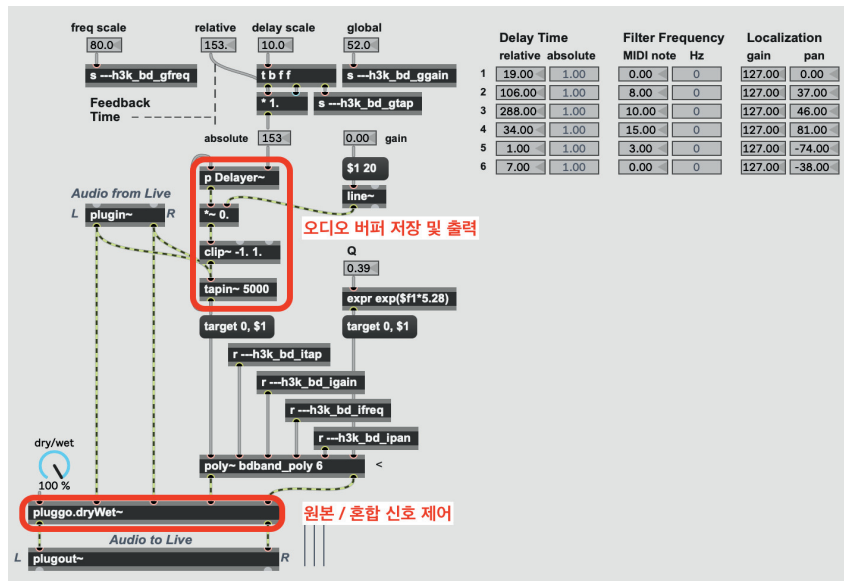
Convolution Reverb Pro의 신호 흐름은 입력 단계에서 시작하여 출력 단계에 이르기까지 각 단계가 상호 연결되어 작동한다. 첫 번째 단계는 Ableton Live에서 오디오 신호를 수신하는 것으로 plugin~오브젝트가 이를 담당한다. 이 오브젝트는 스테레오 입력 신호를 받아들여 프로세싱을 위한 출발점이 된다. 입력된 신호는 초기 반사(early reflection)와 프리 딜레이(pre-delay)를 제어한다. 프리 딜레이는 리버브가 시작되기 전에 딜레이를 추가하여 소리가 반사면에 도달하는 시간을 시뮬레이션하며 현실적인 공간감을 강화하는데 중요한 역할을 한다. [그림-12]는 reverb 효과의 패치를 보여주고 있다.



[그림-12] reverb 효과 패치

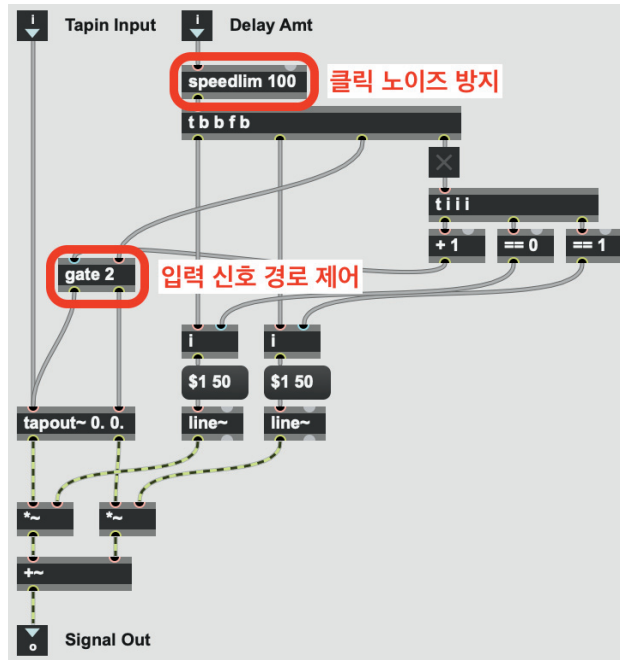
## 5) audio effect rack 효과

FilterTaps는 Ableton Live에서 작동하는 Max for Live 기반의 멀티탭 딜레이 플러그인으로 입력 신호를 여러 개의 딜레이 탭으로 분리하여 각각 독립적으로 필터 링, 피드백, 패닝을 실시간으로 제어한다. FilterTaps는 오디오 신호를 수신하는 plugin~오브젝트에서 시작된다. 좌(L)와 우(R) 채널의 스테레오 신호를 분리하여 처리하며 입력된 신호는 tapin~오브젝트를 통해 최대 5000ms의 버퍼에 저장된다. 저장된 신호는 tapout~을 사용해 특정 지연 시간으로 출력된다.



[그림-13] FilterTaps의 Max 패치

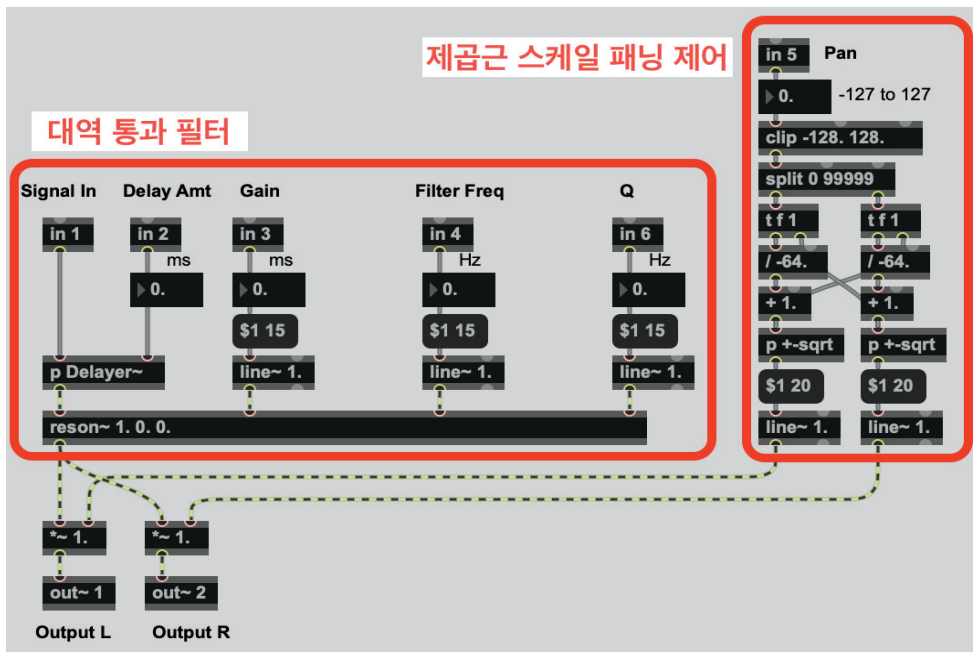
딜레이 값을 조정하는 과정은 p Delayer~서브 패치에서 speedlim<sup>33)</sup> 오브젝트를 통해 실시간으로 변화되는 지연시간으로 인해 발생하는 클릭 노이즈를 방지하고 딜레이 값의 부드러운 전환을 연출한다. 이를 통해 실시간으로 신호를 조정하면서 자연스럽게 끊김 없는 오디오를 출력할 수 있다. 또한 gate 2 오브젝트는 입력 신호를 두 경로로 나누어 tapout~의 딜레이 타임 2개를 각각 조절할 수 있게 된다. 이는 다양한 프로세싱 옵션을 가능하게 한다.



[그림-14] FilterTaps의 Max 서브 패치 1

33) 데이터 흐름의 속도를 일정한 속도로 내보내는 오브젝트

FilterTaps의 핵심 프로세싱은 poly~오브젝트에서 이루어진다. 이 오브젝트는 6개의 독립적인 딜레이 탭에서 특정 대역을 강조하거나 감쇠하는 대역 통과 필터를 적용한다. 필터는 reson~오브젝트를 통해 중심 주파수(center frequency)와 공명(quality factor)값을 사용하여 필터링 강도를 제어한다. 패닝 값은 clip~을 통해 -128에서 128의 범위로 제한되며 이는 DSP 시스템의 정수 표현에서 제안한 설계이다. 패닝 값이 이 범위를 벗어날 경우 클리핑이나 왜곡을 방지하기 위해 자동으로 조정된다. 이러한 범위 설정은 스테레오 필드에서 신호의 위치를 정확하게 제어할 수 있다.



[그림-15] FilterTaps의 Max 서브 패치 2

FilterTaps는 패닝(panning)값을 스테레오 필드에 배치하기 위해 제공근 기반의 스케일링을 사용한다.  $p + \text{sqrt}$ 와  $p - \text{sqrt}$ 오브젝트는 패닝 값이 좌측 또는 우측으로 이동할수록 좌우 채널 간 에너지 균형이 유지되도록 계산한다. 제공근 스케일링은 선형 패닝보다 더욱 자연스러운 스테레오 이미지를 제공하며 인간의 청각 민감도에 최적화된 결과를 만들어낸다. 피드백 루프(feedback loop)는 출력 신호를 다시 입력으로 순환시켜 잔향을 증가시킨다. 피드백의 강도는 설정한 값에 따라 다르며 높은 피드백은 풍부한 리버브와 텍스처를 생성하고 낮은 피드백은 짧고 간결한 딜레이 효과를 연출한다. 최종적으로 처리된 신호는 `pluggo.dryWet`~서브 패치를 통해 원본 신호와 혼합된다. 이 서브 패치는 `dry/wet` 신호의 비율을 조정하며 원본 신호와 딜레이 신호 간의 균형 잡힌 신호를 받아들이며 !~오브젝트는 `wet` 신호를 반전시켜 제어한다.

### 3. 비주얼라이제이션 연구

사운드를 비주얼라이제이션하여 표현하는 것에는 TouchDesigner를 사용하였다. circle, grid, sphere, box 등을 파티클(particle)로 재구성해서 제작했다. 파티클이란, 통상적인 개념으로는 작은 점을 의미하고 3D 그래픽에서 먼지, 불, 눈 등 작은 입자를 표현하는 개체를 의미한다. 본 연구에서는 granular synthesis와 delay를 파티클을 이용하여 시각화하고 있다.

#### 1) TouchDesigner를 이용한 영상 제작

전통 악기와 디지털 기술의 융합을 통한 확장된 음악적 표현에 시각적인 몰입을 선사하기 위해서 영상을 제작했다. 본 연구의 작품에는 Touch Designer가 사용되었는데 TouchDesigner는 노드(node)<sup>34</sup>기반의 비주얼 프로그래밍 소프트웨어이다. 오퍼레이터라고 불리는 개체로 다양한 명령을 실행하고 논리를 구성한다. 이는 시각적으로 구현된 객체를 연결하는 방식으로 작업 흐름을 명확히 이해할 수 있어 직관적이고 실시간 데이터 처리 및 인터랙티브 작업의 구현에 용이하다. MIDI(Musical Instrument Digital Interface)<sup>35</sup>, OSC(Open Sound Control)<sup>36</sup>, 오디오처럼 다양한 종류의 데이터를 입력과 출력하기에도 적합하다. 색소폰의 음량, 음고, 배음 구조를 분석한 데이터를 OSC를 통해 비주얼라이제이션에 적용시켰다. 다양한 데이터를 바탕으로 영상을 변화시키고 곡의 구성에 맞게 시각화된 가상공간이 유기적으로 변할 수 있도록 설계했다.

---

34) 특정 작업들을 수행하는 개별 단위

35) 전자 악기간 신호를 주고받을 수 있는 신호 체계 표준

36) 네트워크를 통해 멀티미디어 장치간 실시간 통신을 가능하게 하는 프로토콜

## ① SOP을 활용한 제작 과정

SOP은 CPU(Central Processing Unit)<sup>37)</sup>를 사용하여 3D 오브젝트를 생성하고 변형, 결합하여 다양한 3D 구조를 만들 수 있다. 위치, 크기, 회전, 스케일 등의 기하학적 속성을 수정하기에 용이하고 입력 데이터와 결합하여 동적인 모델을 만들기에 적당하다. 생성된 지오메트리(Geometry)<sup>38)</sup>를 변형하거나 디테일 조정을 통해 장면마다 다른 영상을 만들 수 있었다. [그림-16]의 particle SOP은 파티클(particle)이라고 불리는 3D 오브젝트를 생성하는 오퍼레이터이다. particle SOP의 input 0으로 연결되는 SOP은 파티클의 형태가 되고 input 1으로 연결되는 SOP은 파티클이 충돌하는 객체가 된다. 파티클이 생성될 때, input 0으로 입력된 3D 개체가 기존에 가지고 있던 point들의 순서대로 파티클이 생성된다. sprinkle SOP은 input 0으로 들어온 3D 오브젝트에 무작위로 point의 수를 증가시켜서 더 많은 수의 point를 보유하게 만든다. sort SOP은 이렇게 증가한 point들의 배열을 불규칙하게 섞는다. 이후, particle SOP의 input 0으로 입력되며 최종적으로 파티클이라고 불리는 형태로 구현된다. 이때 sort SOP에 의해 뒤섞인 point의 배열로 인해서 파티클이 무작위로 생성된다.



[그림-16] SOP 오퍼레이터 활용 1

37) 컴퓨터 시스템을 통제하고 프로그램의 연산을 실행 및 처리하는 핵심 제어장치로 '중앙 처리 장치'라고도 한다.

38) 디지털 환경에서 형태를 만들고 다루는 기본적인 단위

[그림-16]의 과정을 통해 생성된 파티클 지오메트리를 분할하여 컨트롤 하기 위해 group SOP을 사용했고 [그림-17]처럼 noise SOP<sup>39)</sup>을 연결했다. noise를 추가한 이유는 보다 일렁이는 모습을 나타내기 위함으로 마치 공간을 향유하는 delay와 비슷하다. 이것은 추후 딜레이 효과와 비주얼의 인터랙션에 적용시켰다. switch SOP은 OSC 신호를 받아서 input으로 들어오는 네 개의 SOP 중 하나를 선택해서 출력하는 역할을 한다.

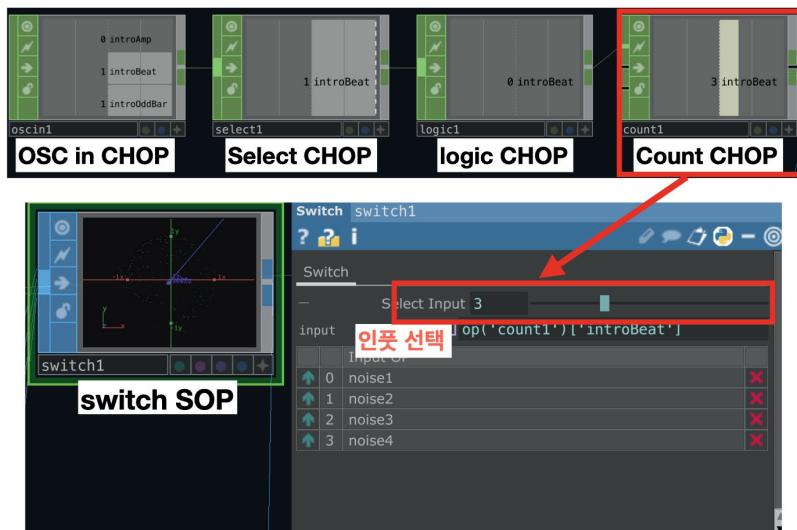


[그림-17] Group으로 분할된 SOP 오퍼레이터

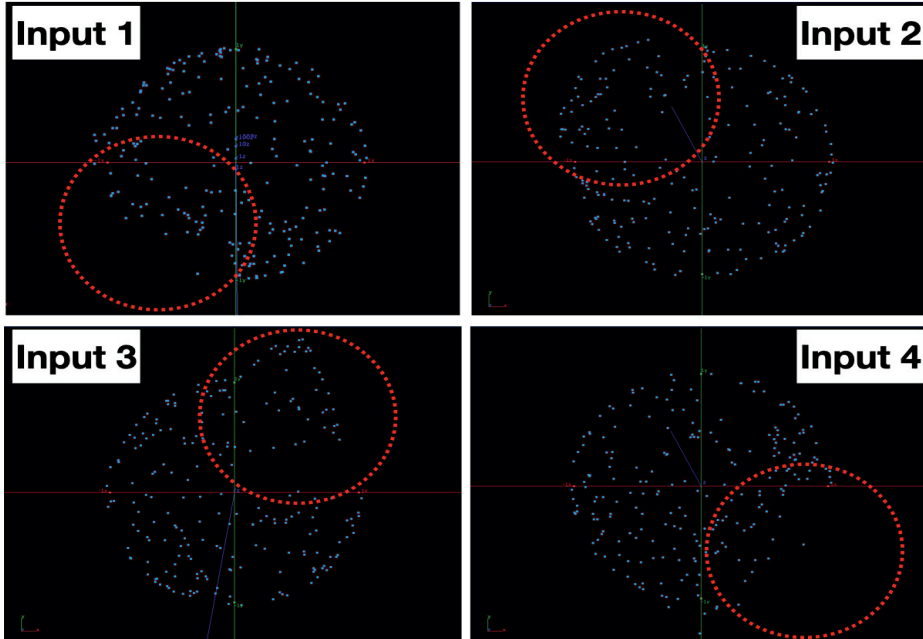
39) 입력된 지오메트리의 점(Position)을 랜덤 요소를 기반으로 하여 독특한 패턴을 생성하는 역할



[그림-18] OSC in CHOP으로 받은 테이프음악의 박자 신호를 select CHOP으로 선택 후, logic CHOP에서 각 마디의 첫 번째 박자가 들어올 때만 '1'값을 출력하도록 조건을 설정하였다. 다음으로 연결된 count CHOP은 input으로 숫자가 들어오는 경우, 해당 숫자를 누적시키는 오퍼레이터이다. 즉, 매 마디마다 1번째 박자가 연주되면 logic CHOP은 '1'값을 출력하고, count CHOP에서는 누적 숫자가 1씩 증가하는 것이다. 추가로 count CHOP의 누적값이 0부터 3까지 순환하도록 루프(loop) 옵션을 사용하였다. 이렇게 해서 switch SOP의 인풋 선택 파라미터는 계속해서 순환하며 4개의 입력 신호를 순서대로 출력한다.



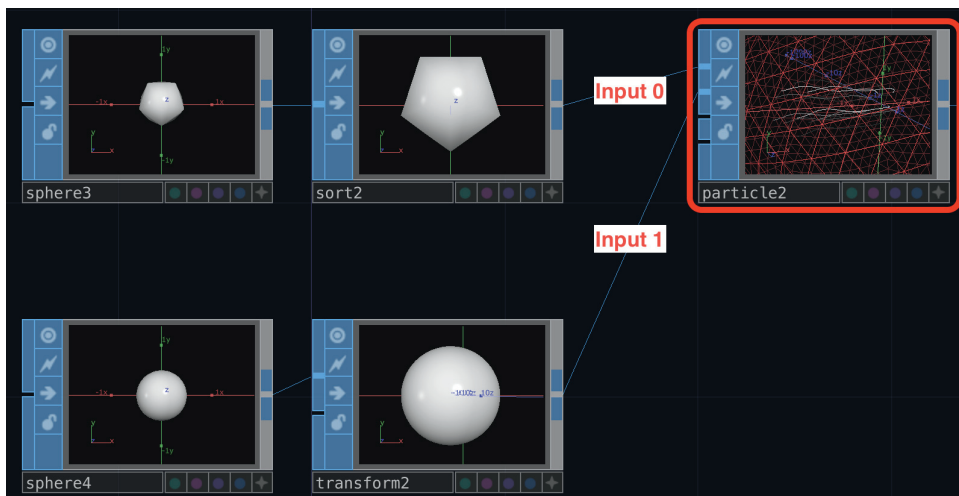
[그림-18] OSC 신호에 의해 변경되는 switch SOP의 출력



[그림-19] switch SOP에서 순차적으로 출력되는 4개의 파티클 비주얼

[그림-19]는 출력되는 4개의 파티클 비주얼 변화를 보여주는 그림이다. 4분의 4박자인 작품에 적용시키고자 1개의 sphere를 4개로 그룹으로 분할하였다. 분할된 각 그룹들은 랜덤하게 변형되는 형태로 나타나는 것을 볼 수 있다.

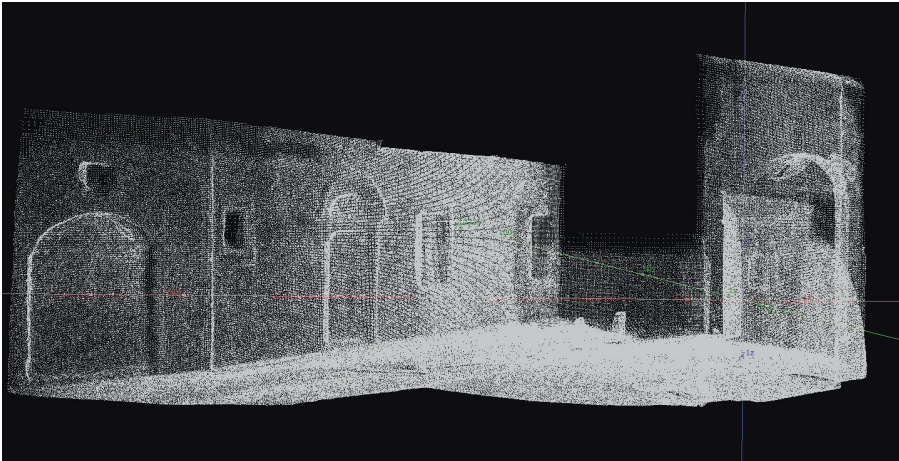
[그림-20]의 네트워크에서는 [그림-16]과 같이 sphere SOP 다음에 sort SOP을 연결하여 3D 개체가 가지고 있던 point의 배열을 랜덤으로 설정해 줌으로써 파티클이 생성되는 순서를 뒤섞었다. 추가로 sphere SOP에 transform SOP을 연결하고 input 1에 연결하여 생성된 파티클이 충돌하며 움직일 수 있는 공간을 형성했다.



[그림-20] SOP 오퍼레이터 활용 2

## ② 포인트 클라우드를 활용한 제작 과정

포인트 클라우드(point clouds)는 LiDAR(Light Detection and Ranging)<sup>40)</sup> 센서를 사용하여 얻은 3차원 정보를 나타내는 데이터를 말한다. 여러 포인트(point)의 집합(set cloud)이라고도 말하는데 3차원 공간을 스캔하여 공간 상에서 좌표값을 가지는 개별 포인트들의 집합으로 구성된 결과를 표현한다. TouchDesigner에서는 PLY(Polygon<sup>41)</sup> File Format)<sup>42)</sup>포맷 파일 형식 로드를 지원한다. point file in TOP 오퍼레이터로 외부 포인트 클라우드 데이터를 불러오면 아래 [그림-21]<sup>43)</sup>과 같이 각 점의 XYZ 좌표를 볼 수 있다.



[그림-21] point file in TOP으로 로드한 PLY포맷 파일의 포인트 클라우드

40) 레이저를 사용하여 물체에 빛/신호를 보내고 그 반사를 감지함으로써 거리를 측정하는 센서

41) 객체를 3D 모델링 할 때 굴곡진 표면을 표현하는 삼각형 또는 다각형

42) 3D 스캐너로 얻은 3차원 데이터를 저장하기 위한 포맷

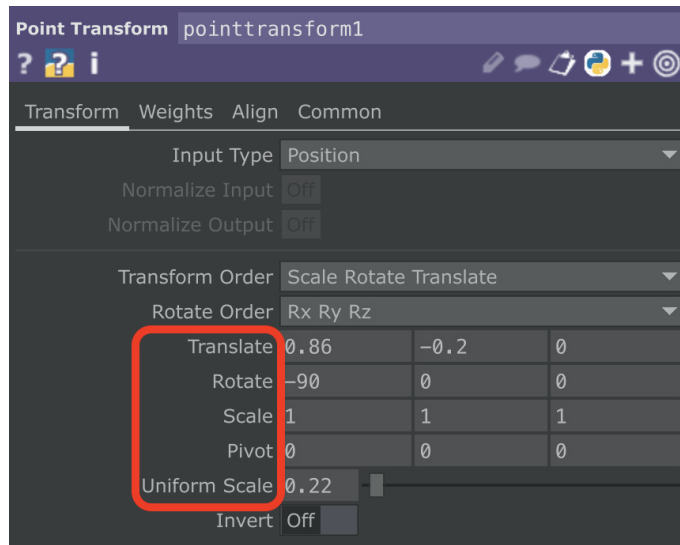
43) <https://sketchfab.com/3d-models/ethiopia-street-point-cloud-to-mesh-d5ea0524f6314865a8f8c9765e2b1190>

[그림-22]의 point file in으로 포인트 클라우드를 생성한 뒤 point transform TOP 2개와 Noise TOP 1개를 연결했다..



[그림-22] 포인트 클라우드 변형을 위한 TOP 오퍼레이터 활용

[그림-23]의 point transform 1에서 translate, rotate, scale, pivot, uniform scale 값을 조정하여 위치값을 조절했다. 추후 사운드의 음량, 리듬 변화에도 반응하게끔 설계하였다.



[그림-23] point transform 주요 파라미터

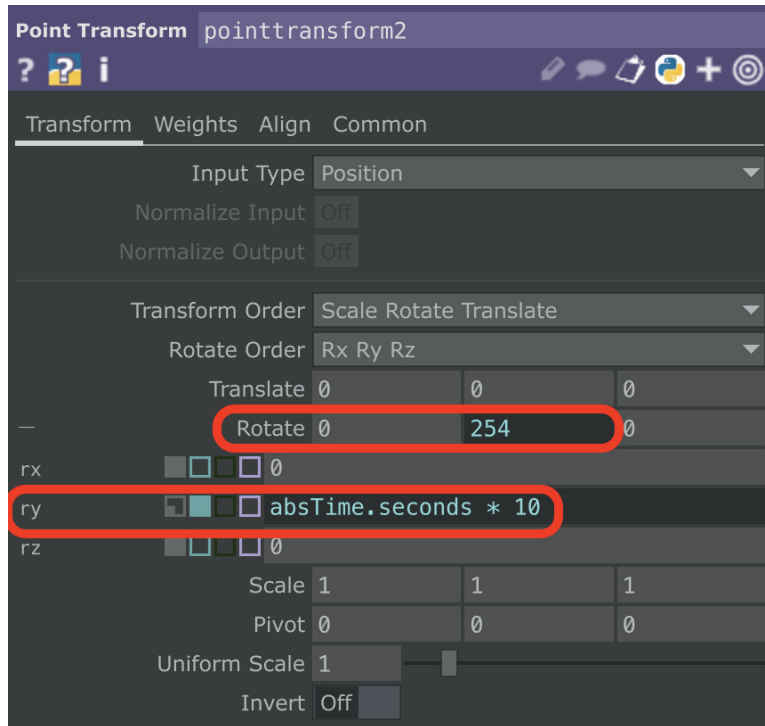
<표-4>는 각 파라미터의 역할을 정리한 것이다. 이 파라미터들의 조합을 통해 다이나믹한 영상 효과를 연출했다.

<표-4> point transform 주요 파라미터 설명

파라미터	역할
translate	포인트 클라우드를 X, Y, Z 방향으로 이동
rotate	X, Y, Z 축을 기준으로 회전
scale	포인트 클라우드의 크기를 조정
pivot	회전의 기준점을 설정
uniform scale	모든 축에 대해 동일한 비율로 크기를 조정

값을 직접 입력하여 효과를 얻어내기도 하지만 표현식(expression)<sup>44)</sup>을 사용하기도 한다. point transform 2의 rotate Y축에 ‘absTime.seconds’ 표현식을 넣었다. 이는 프로젝트 재생 상태와는 무관하게 TouchDesigner가 실행된 순간부터 소수점 값을 가진 초 단위로 경과 시간을 측정해 준다. 포인트 클라우드의 위치가 시간이 지남에 따라 변화하게 만들어줌으로써 동적인 효과를 자연스럽게 연출할 수 있게 된다[그림-24].

44) 오퍼레이터의 파라미터 값을 동적으로 제어하기 위해 사용하는 파이썬 코드(Python)또는 간단한 계산식을 뜻한다.



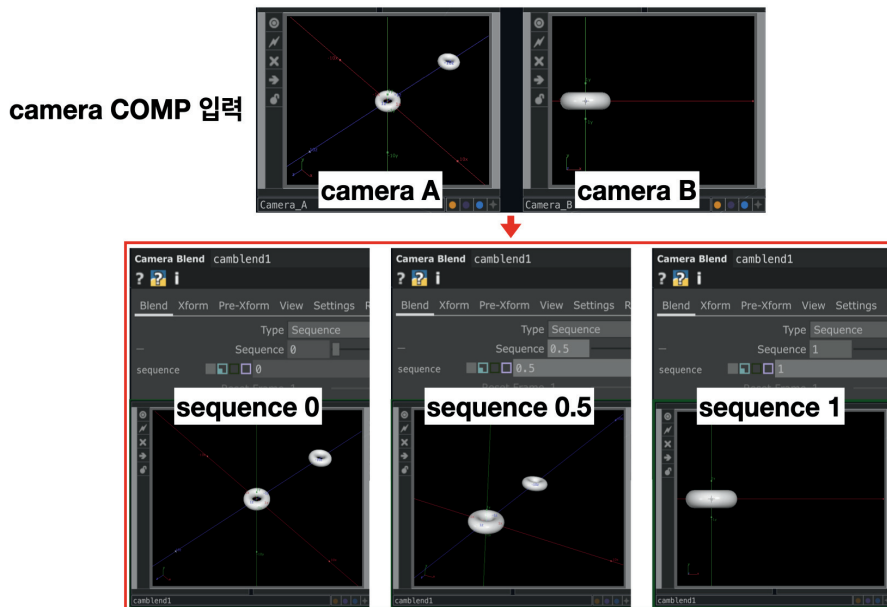
[그림-24] 'absTime.seconds' 표현식을 point transform 2에 이용

point file in TOP은 SOP과 다르게 GPU(Graphic Processing Unit)<sup>45)</sup>를 사용하기 때문에 더 많은 포인트를 컨트롤 하고 변형을 하기에 적합하다. 파트마다 다른 비주얼 표현을 위해 SOP과 point file in TOP를 나누어 사용하고 비주얼에 적용시켰다.

45) 컴퓨터 시스템에서 그래픽 연산을 빠르게 처리하여 결과값을 모니터에 출력하는 연산장치로 그래픽 처리 장치라고도 한다.

### ③ camera를 활용한 제작 과정

B 파트에서는 4개의 camera COMP<sup>46)</sup>를 사용하여 파티클을 각각 다른 시점에서 바라보도록 배치했다. 각 camera COMP는 하나의 camera blend COMP로 연결된다. camera blend COMP는 입력으로 들어온 camera COMP의 신호 간 비율을 조절하여 시점을 조절하는 역할을 한다. 이를 통해 다양한 시점을 오가며 영상에 더 몰입감을 주었다. camera blend COMP는 sequence 파라미터로 입력 신호 간에 비율을 조절할 수 있다. [그림-25]는 해당 파라미터의 값에 따른 출력 변화에 대한 예시이다.



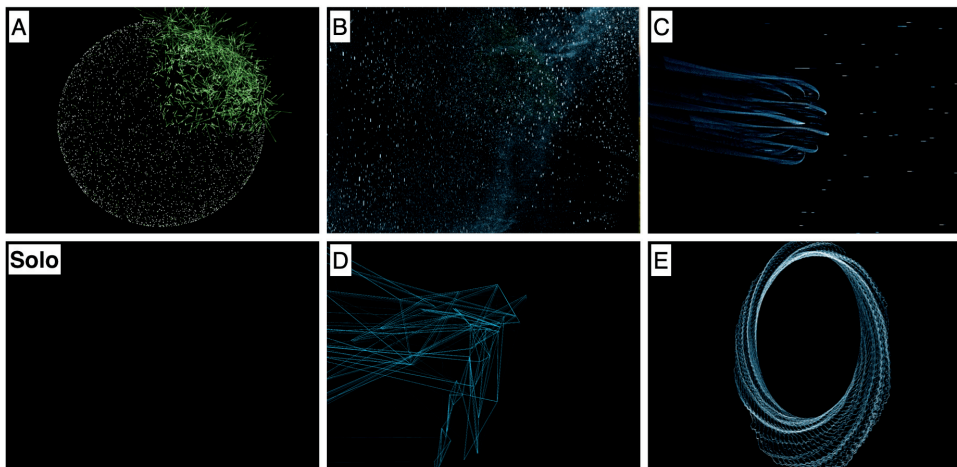
[그림-25] camera blend COMP의 sequence 파라미터에 따른 출력 변화 예시

46) Component의 줄임말. TouchDesigner에서 특정 기능을 수행하거나 데이터 동작을 구조화하여 독립적으로 관리할 수 있는 컨테이너 형태의 오퍼레이터



#### ④ 제작된 각 장면 이미지

[그림-26]은 제작된 장면 별 대표 이미지를 정리한 것이다. 장면마다 개별적으로 렌더링(rendering)<sup>47)</sup>을 했고 곡의 구성 변화에 따라 자연스러운 장면 전환을 위해 Switch TOP<sup>48)</sup>을 사용했다.



[그림-26] 제작된 장면 별 대표 이미지

47) 컴퓨터 프로그램을 사용하여 사진이나 영상을 만들어내는 기법

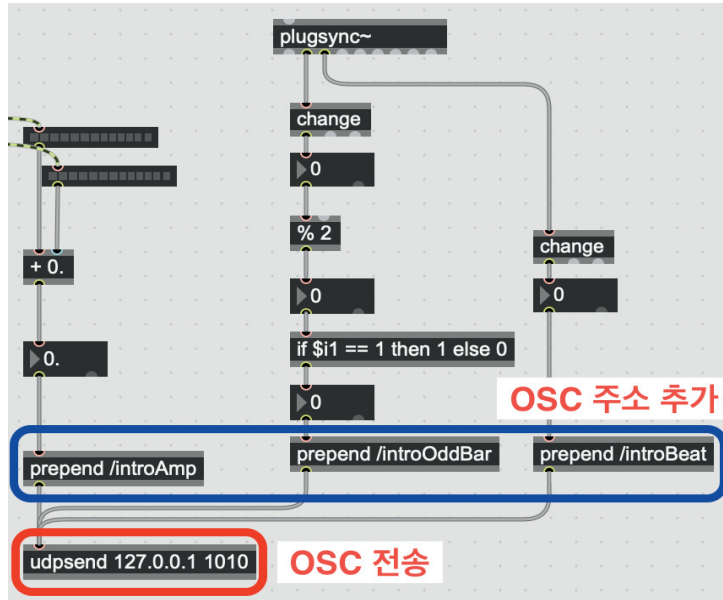
48) 여러 입력 중에서 원하는 출력으로 전환할 때 사용되는 오퍼레이터

## 4. OSC 통신을 활용한 인터랙션

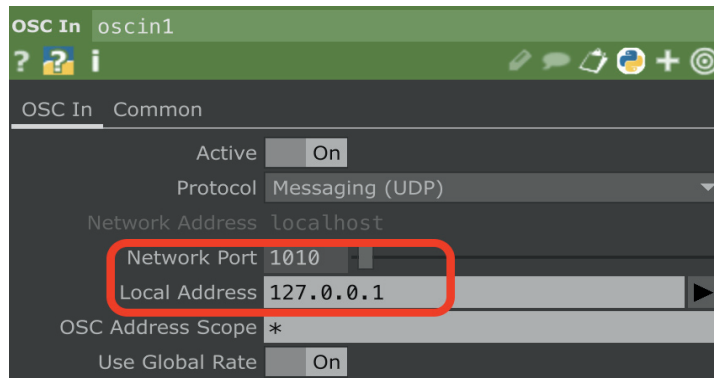
본 논문의 작품에서 음악과 영상을 제작하기 위해 사용된 Max, Ableton Live, TouchDesigner를 실시간으로 연동하기 위해서 OSC 통신을 사용해 필요한 데이터를 주고 받았다. 이때 필요한것은 주소(address)와 포트 번호(port number)이며 하나의 컴퓨터 안에서 데이터를 주고 받을 경우 단일 방식의 UDP(User Datagram Protocol)<sup>49)</sup>를 사용하게 되어 주소는 '127.0.0.1'로 고정된다. 포트 번호의 경우 0에서 65535사이의 번호를 임의로 설정하면 되며 주소와 포트 번호를 설정한 send에 데이터 정보를 입력하면 같은 포트 번호가 설정된 receive로 전달된다. [그림-27]을 보면 TouchDesigner로 OSC를 보내기 전에 개별 주소를 먼저 추가하여 인터랙션에 필요한 데이터들을 나누어 받을 수 있게 설계했다. [그림-28]은 TouchDesigner에서 주소와 포트 번호를 설정한 것이다. 임의의 포트 번호만 다르게 설정해 주면 하나의 컴퓨터로도 다양한 연동과 제어를 자유롭게 할 수 있다.

---

49) 특수 목적의 IP 주소로 로컬 호스트 또는 루프백 주소라고 말한다.

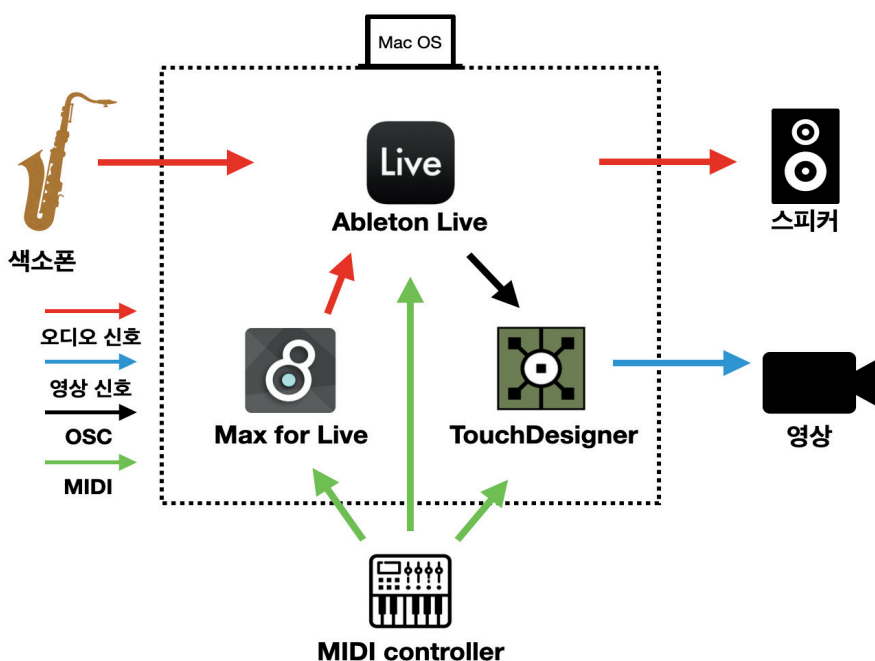


[그림-27] OSC 통신에 사용된 Max 패치 예제



[그림-28] OSC 통신에 사용된 TouchDesigner의 OSC in CHOP

[그림-29]는 비주얼라이제이션 시스템 설계도이다. 색소폰에 사용된 마이크로 입력된 오디오 신호는 오디오 인터페이스를 통해 컴퓨터로 입력된다. 오디오는 Ableton Live 그리고 Ableton Live와 연동되어 있는 Max for Live를 통해 사운드 프로세싱을 거쳐 스피커로 출력된다. 프로세싱을 적용할 음향효과들은 미디 컨트롤러와 미디 매핑하여 조절했다. Ableton Live의 오디오 데이터는 OSC를 통해 TouchDesigner로 입력된다. Touch Designer의 오퍼레이터마다 설정한 각 파라미터 값과 연동되어 영상효과를 적용한 후에 프로젝터로 출력된다.



[그림-29] 비주얼라이제이션 시스템 설계도

### III. 연구 기술의 작품 적용

연구된 색소폰을 활용한 실시간 사운드 프로세싱과 비주얼라이제이션 작품 <Liminal>은 2024년 11월 9일 동국대학교 이해랑예술극장에서 진행된 'SEEING SOUND, LISTENING IMAGE (보는 소리, 듣는 영상) 2024'에서 초연되었다.

#### 1. 작품 소개

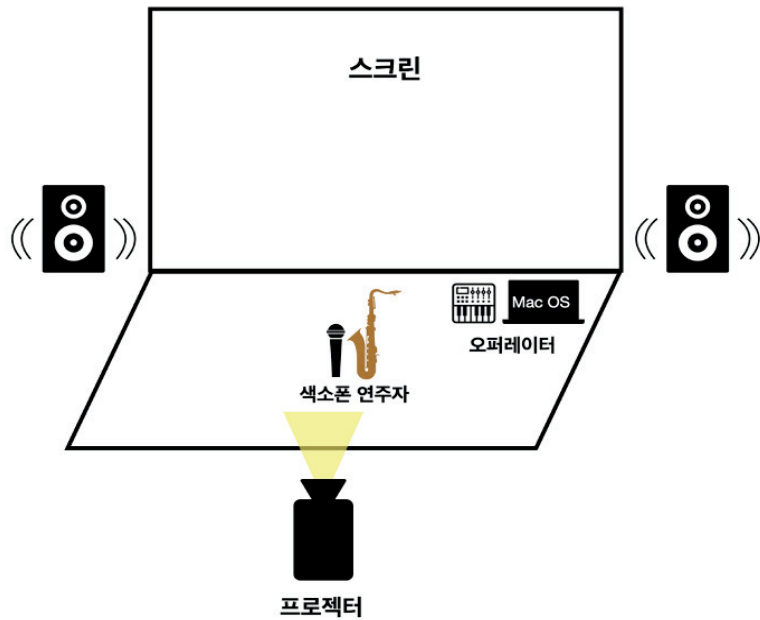


[그림-30] 작품 <Liminal>의 공연 이미지

작품 <Liminal>은 색소폰과 전자음악이 결합된 멀티미디어 작품으로 색소폰의 고유한 음색을 음량, 음정, 음색을 분석한 뒤, 그 데이터를 비주얼라이제이션에 적용시켰다. granular synthesis로 사운드를 디자인하고 레코딩된 색소폰 사운드는 색소폰이 아닌 다른 악기로 들리게끔 다양한 프로세싱 기법을 활용하여 테이프음악으로 재생된다. 라이브 색소폰 연주와 프로세싱 된 색소폰 사운드가 더해지며 음악과 시각화가 조화를 이루는 작품을 설계함으로써 새로운 차원의 상호작용을 구현했다.

## 2. 작품 구성

### 1) 무대 구성

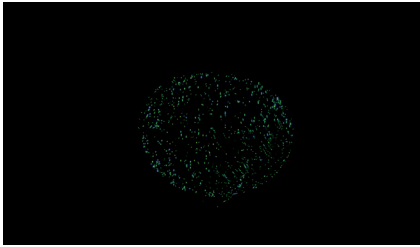

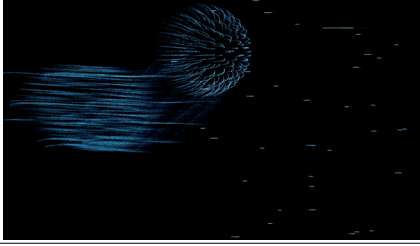
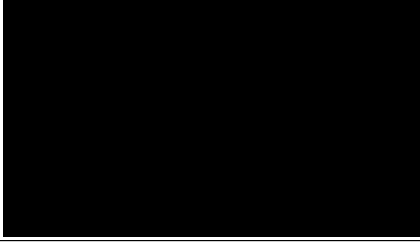


[그림-31] 작품 <Liminal>의 무대 구성

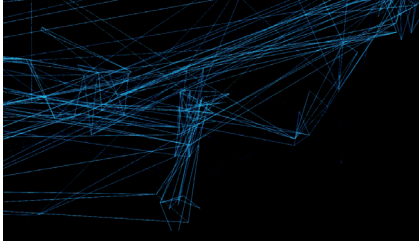
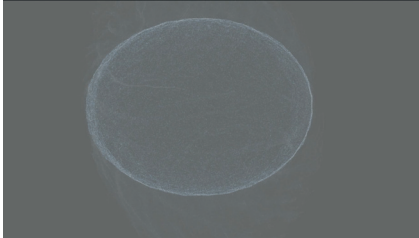
[그림-31]은 작품 <Liminal>의 무대 구성이다. 색소폰의 소리와 사운드 프로세싱이 이루어진 소리는 공연장의 스피커로 함께 출력되고 오디오 신호와 영상은 프로젝터로 송출되게 했다. 컴퓨터에서는 Max와 TouchDesigner, Ableton Live를 구동한다. 오퍼레이터는 연주자의 다이내믹에 맞춰 사운드 프로세싱 컨트롤이 가능하도록 무대 구성을 했다.

## 2) 영상 구성

<표-5> 영상 구성

파트	이미지	연주 기법
A		
B		텅잉, 하프텅잉, 앰브셔, 서브톤
C		텅잉, 앰브셔, 폴링, 스쿱
solo		텅잉, 하프텅잉, 앰브셔, 그로울링, 스플릿 톤, 폴링, 스쿱



D		텅잉, 하프텅잉, 엠브셔
E		텅잉, 엠브셔, 스플릿 톤

작품을 위해 사용된 영상은 5개의 파트와 영상이 없는 solo 파트로 이루어져 있다. A 파트는 색소폰 연주자가 등장하기 전의 장면으로, 비어있는 무대에서 sphere가 공간을 향유하고 있으며 A 파트 후반부에서 연주자가 등장하게 된다. B 파트는 연주자가 연주를 시작하게 되는데 연주가 시작됨과 동시에 영상에서의 파티클과 입자들이 공간을 가득 채우듯이 퍼진다. 파티클의 개수와 움직임이 점점 커지는 모습을 볼 수 있다. C 파트는 입자들이 줄어드는 모습을 볼 수 있는데 테이프음악의 음고에 따라 움직이는 장면이 연출된다. 다음 파트는 색소폰 연주자의 solo 파트로 영상은 블랙아웃 된다. D 파트는 영상이 페이드인(fade-in)<sup>50</sup>되는데 테이프음악의 음색에 맞춰 서서히 등장한다. E 파트는 리듬에 따라 시각적인 변화를 극대화한 장면으로 invert 효과를 통해 강렬한 자극을 전달한다. 관객의 시선을 사로잡는 동시에 강렬한 몰입감을 유도하고자 했다. 이는 단순한 시각적 표현을 넘어선 감각적 경험을 제공한다.

50) 어두웠던 화면이 점차 밝아지며 장면이 전환되는 기법을 뜻한다.

### 3) 음악 구성

본 논문의 작품 <Liminal>은 granular synthesis를 BPM(Beat Per Minute)<sup>51)</sup> 115의 무조<sup>52)</sup>음악이다. 장면 변화에 따라 크게 A-B-C-solo-D-E의 구성으로 나누어진다.

<표-6> 곡 파트 별 악기 구성

파트	악기 구성
A	플럭, 앰비언트
B	색소폰, 패드, 드럼
C	색소폰, 패드, 드럼, 피아노, granular synthesizer
solo	색소폰
D	색소폰, 앰비언트, 패드, 드럼, granular synthesizer
E	색소폰, 패드, 드럼, 베이스, 벨, granular synthesizer

파트마다 악기 구성을 다르게 하고 리듬 패턴에 변화를 주었다. granular synthesis를 사용하면 원래 샘플의 음이 아닌 다른 음고를 가진 소리가 만들어지기도 한다. 오묘한 음정과 음고를 가진 사운드를 최대한 활용하고자 곡의 조성을 정하지 않았다. 어딘가의 ‘경계’에 있는 사운드를 적극적으로 활용하고 곡에 어울리게 배치했다.

51) 음악에서 1분당 박자 수를 나타내는 단위

52) 정해진 조성이 없이 연주되는 곡을 뜻한다.

<표-7> 작품에 적용된 음향효과

파트	작품에 적용된 음향효과
A	delay, reverb
B	delay, reverb, granular synthesis
C	reverb, granular synthesis, audio effect rack
solo	delay, reverb, audio effect rack
D	delay, reverb, granular synthesis
E	reverb, audio effect rack

<표-7>은 작품에 적용된 음향효과를 나타낸 것이다. 테이프음악을 제작할 때에도 cut, reverse<sup>53)</sup> 등의 편집을 활용하고 음향효과를 동시에 적용시켰다. 색소폰 연주 뿐만 아니라 테이프음악과 음향효과 조절을 통해 기승전결을 표현하고자 dry/wet 비율을 매 파트마다 다르게 설정했고 그레인 입자 크기, 재생속도, 딜레이타임 등의 수치도 다르게 사용했다.

---

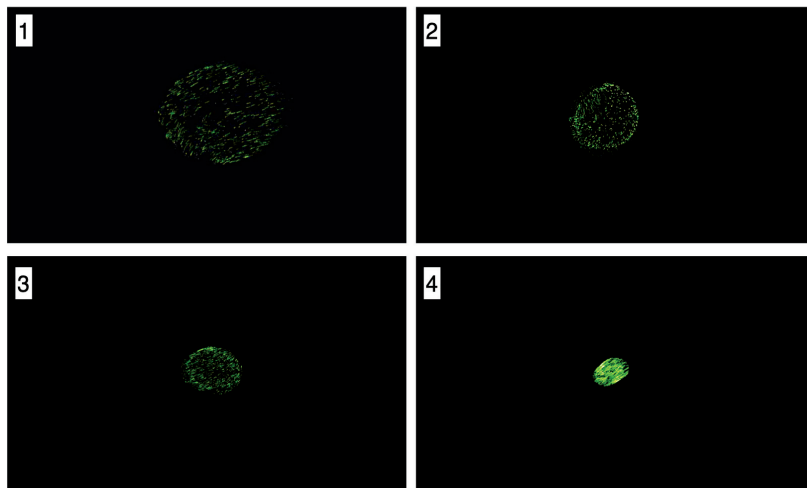
53) 재생방향을 역방향으로 만들어주는 음향효과

### 3. 작품에서의 사운드 및 영상 기술 적용

비주얼라이제이션으로 표현된 영상은 테이프음악과 인터랙션된다. 테이프 음악의 BPM, 음량, 음고, 리듬, delay 효과가 영상의 파티클로 재구성된 각종 지오메트리와 카메라의 위치와 속성을 제어한다.

#### 1) A 파트

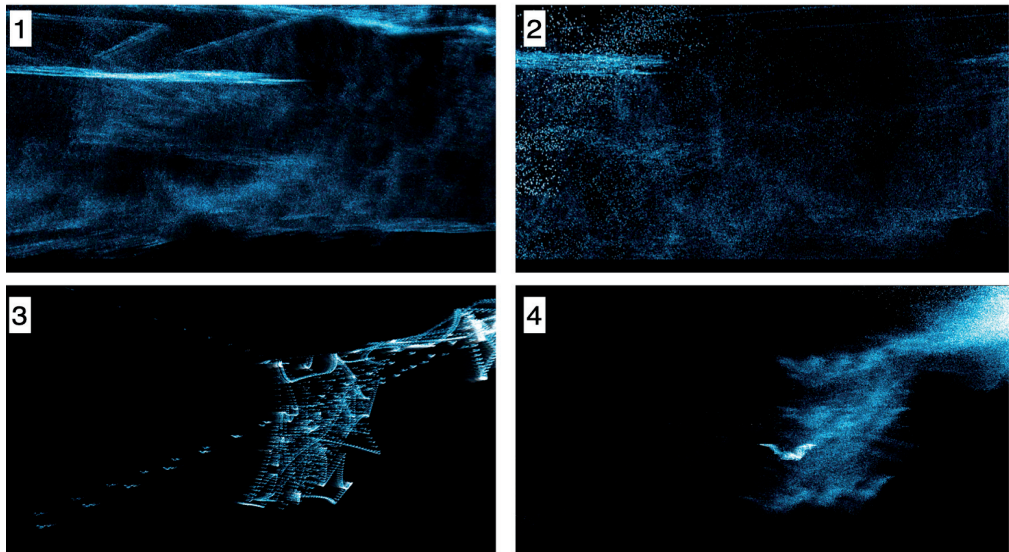
테이프음악의 배경에 사용된 노이즈 사운드의 음량에 따라서 파티클로 재구성된 sphere의 크기와 위치가 변화한다. [그림-32]에 나타나듯 입력 신호의 음량과 딜레이 타임에 맞춰 움직이게 설계했다. 무대에 연주자 없이 영상만 보여지는 파트로 작품의 시작을 알리며 관객에게 궁금증을 유발하는 파트이다.



[그림-32] 테이프음악의 음량에 따라 크기와 위치가 변화하는 효과

## 2) B 파트

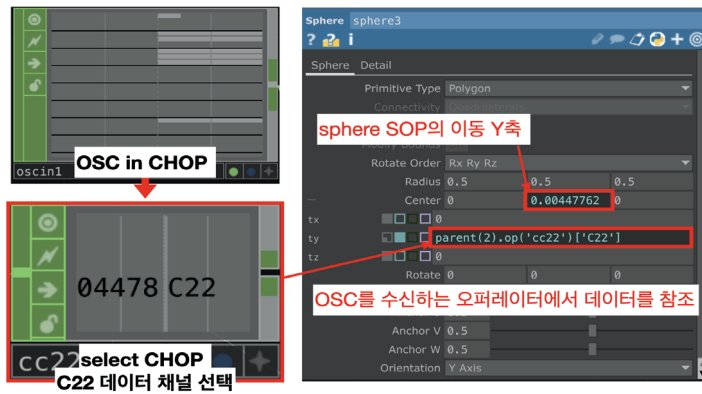
[그림-33]는 앞서 설명한 camera blend COMP를 통해서 시점이 전환되는 작품의 일부 장면이다. grain synthesis가 테이프음악으로 같이 재생되는 파트로 딜레이 타임을 짧게 설정하여 그레인의 움직임을 극대화하여 표현했다. 영상에 몰입감을 더하고 그레인의 작은 알갱이들을 표현하고자 다양한 구도에서 총 4대의 camera COMP가 사용되었다.



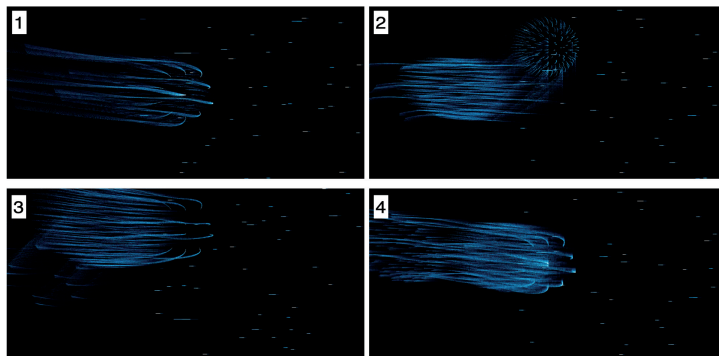
[그림-33] 리듬에 따라 카메라가 이동하여 다르게 보여지는 이미지

### 3) C 파트

테이프음악의 음고는 파티클로 재구성된 sphere의 y축 위치를 변화시킨다. OSC in CHOP으로 수신한 데이터를 select CHOP으로 선택한 뒤, sphere SOP의 y축 파라미터에 참조하여 실시간으로 위치 이동을 구현하였다[그림-34].



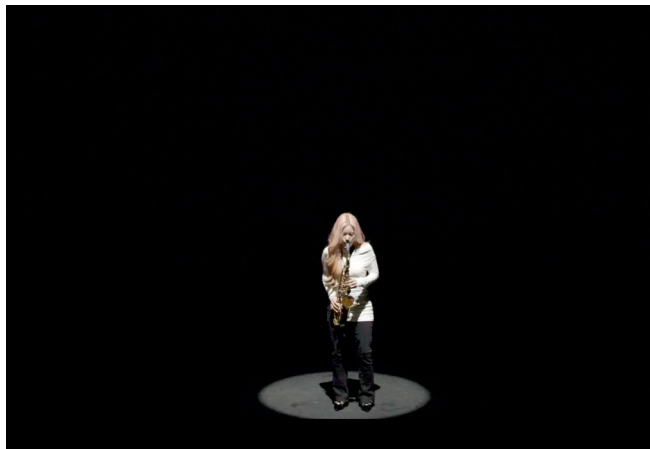
[그림-34] OSC 데이터와 sphere SOP의 파라미터 윈도우



[그림-35] 음고에 따라서 변화하는 y축 위치

#### 4) solo

solo 파트는 무대 연출의 핵심적인 전환점으로 앞 파트들의 영상 및 음악적 요소들을 잠시 배제하고 순수한 라이브 퍼포먼스와 음향효과에 집중하도록 설계하였다. 이 파트에서는 테이프음악이 뮤트(mute)되고 스크린의 비주얼라이제이션 영상이 블랙아웃(blackout)<sup>54)</sup>되어 무대가 어두워진다. 오퍼레이터도 조명을 받지 않고 색소폰 연주자만 [그림-36]처럼 보여진다.



[그림-36] 스크린이 블랙아웃 되고 연주자만 조명을 받는 상태

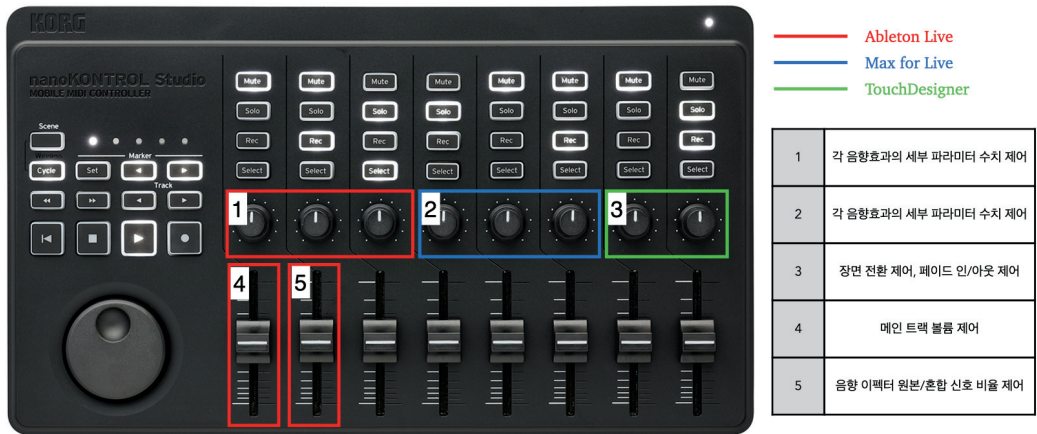
무대 중앙에 위치한 색소폰 연주자가 연주를 하게 되면 오퍼레이터는 실시간으로 음향효과를 제어하면서 색소폰의 원음과 사운드 프로세싱의 융합을 극대화 한다. 사운드는 스피커를 통해 공간에 확산되면서 관객들이 단순히

---

54) 영상, 공연 등에서 화면이나 조명이 완전히 꺼지게 하는 연출 기법

듣는 것을 넘어 ‘경험’할 수 있도록 설계하였다. 특히, 이전 연구를 바탕으로 만들어진 사운드 프로세싱 기법이 가장 뚜렷하게 드러난다. 무대 위에서 연주자의 섬세한 움직임과 호흡, 소리의 미세한 변화까지도 직관적으로 느낄 수 있게 하였고 공간 전체를 하나의 악기로 표현한 듯한 몰입감을 전달하기 위해 의도적으로 제작된 파트이다.

audio effect rack과 reverb, delay 음향효과 제어는 미디 컨트롤러 Korg nanoKONTROL Studio<sup>55)</sup>가 사용되었다. 컨트롤러에 개별 수치들을 매핑<sup>56)</sup>하여 Ableton Live, Max for Live의 음향효과와 TouchDesigner의 시각적 효과를 연동시켰다. [그림-37]은 미디 컨트롤러의 노브와 페이더의 미디 매핑을 나타냈다. 미디 매핑을 사용하면 음향효과를 직접 제어할 수 있고 연주자의 연주를 직접 보고 들으면서 디테일한 컨트롤이 가능하다.



[그림-37] 공연에서 사용한 Korg nanoKONTROL Studio의 미디 매핑

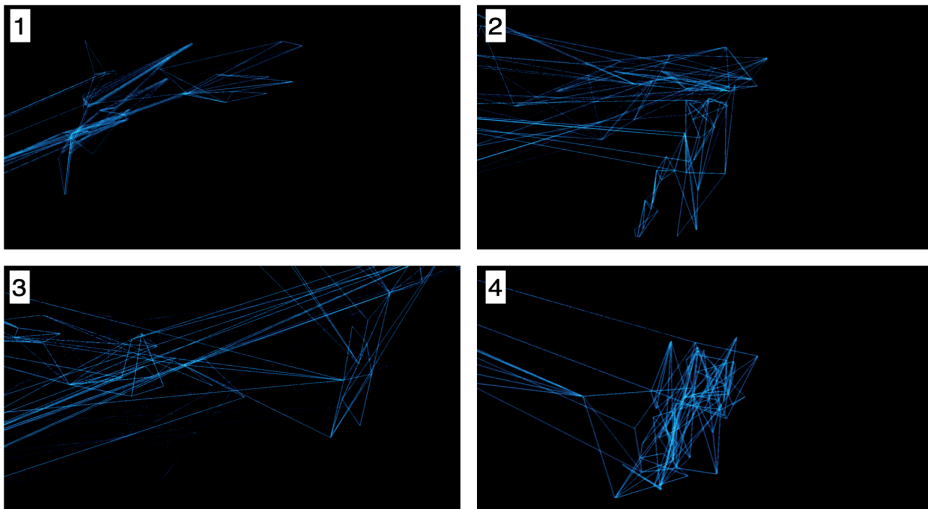
55) [https://www.korg.com/us/products/computergear/nanokontrol\\_studio/](https://www.korg.com/us/products/computergear/nanokontrol_studio/)

56) 데이터(key)와 값(value)를 연결 지어 저장하는 데이터 구조



## 5) D 파트

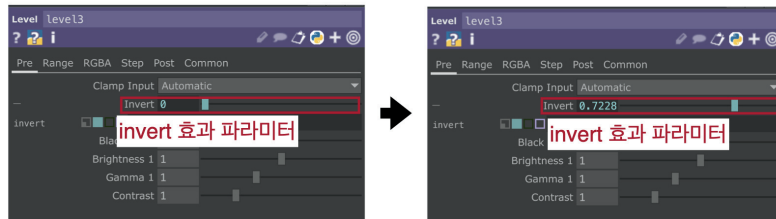
D 파트는 torus SOP, sphere SOP, box SOP이 스네어 사운드에 맞춰서 일그러지며, 각 지오메트리를 구성한 point의 배열 순서 또한 뒤섞인다. 이후, 앞서 언급한 세 가지의 SOP의 point들은 무작위로 연결되어 뒤엉킨 듯한 비주얼을 보여준다. point들의 연결을 활용하여 [그림-38]에 선으로 나타나는 모습을 볼 수 있다.



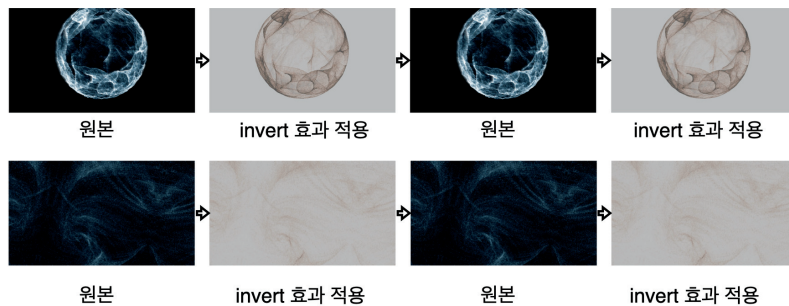
[그림-38] point의 배열 순서에 따른 비주얼 변화

## 6) E 파트

테이프음악의 BPM에 맞춰 TouchDesigner에서 [그림-39]처럼 invert<sup>57)</sup> 효과를 적용하였다. [그림-40]의 해당 효과는 작품의 E 파트에서 각 홀수 마디마다 반전 효과가 적용된다. 큰 스크린에 반전 효과를 적용하게 되면 시각적 자극을 강하게 느낄 수 있다. 0과 1의 완전한 반전은 공연장의 밝기가 너무 밝아지는 단점이 있어서 0.7의 값으로 설정을 하였다. 작품의 마지막 파트로 색소폰 연주도 절정에 치닫고 있기에 시각적인 자극을 연출한 파트이다.



[그림-39] invert 효과



[그림-40] invert 효과가 적용된 작품의 영상

57) 색상 반전 효과

## 4. 연구 기술의 작품 적용 효과

작품 <Liminal>은 색소폰 연주에 실시간 사운드 프로세싱과 비주얼라이제이션을 적용하여 색소폰이 가진 고유한 개성을 극대화하도록 연출했다. 다양한 색소폰 연주 기법에 맞는 음향효과를 연구하여 각 기법에 맞는 사운드 프로세싱을 적용했다.

시작은 노이즈 사운드와 음량에 따른 파티클로 색소폰이 등장하기 전 긴장감을 조성했다. 색소폰 연주가 등장하고 이를 주목함과 동시에 몰입감을 더하기 위해 4대의 카메라를 사용하는 영상과 granular synthesis 음향효과를 사용했다. 음고에 따라 위치가 변하는 영상과 시간에 따른 거리감을 느끼게 하는 delay 음향효과로 시청각의 위치 이동과 역동감을 더했다. 오직 색소폰 연주만 나오는 solo 파트에서 오히려 과감히 비주얼라이제이션이 없는 블랙아웃으로 사운드에 집중하도록 했다. 색소폰의 울림에 깊이를 더하고 음색의 확장을 위해 reverb, delay 음향효과를 증가시켰다. 색소폰 연주가 고음역대를 강조하고 리듬감이 더해져 절정에 달한 것을 나타내기 위해 영상의 point를 무작위로 배열하여 사운드와 연동하여 빠르게 분산하게 표현했다. 연주가 마무리될 때 영상의 반전 효과를 홀수 마디마다 적용하여 여운을 남기고자 했다.

색소폰 연주와 영상을 연동하여 색소폰이 낼 수 있는 고유한 음색과 개성을 시각적으로 표현했다. 색소폰 사운드에 전자음악적 요소를 적용하여 전통적 악기와 현대적 기술의 결합을 나타내고자 했다. 또한 음악에 맞추어 일어나는 인터랙션으로 감각의 한계를 넘어 청각과 시각이 합한 멀티미디어 음악 작품을 만들었다.

## IV. 결론

본 논문은 작품 <Liminal>을 중심으로, 색소폰 연주의 전통적인 기법과 현대적인 실시간 사운드 프로세싱 기술의 융합을 통해 멀티미디어 작품의 새로운 가능성을 나타냈다. 이 연구는 단순히 색소폰 연주의 음색적 다양성을 탐구하는 데 그치지 않고 전자음악 및 비주얼라이제이션과 결합하여 악기 연주의 기존 한계를 넘어서는 창의적이고 몰입감 있는 멀티미디어 작품을 창출하는 데 초점을 맞췄다. 특히 텅잉, 하프텅잉, 엠브서 조절 등 색소폰의 세밀한 연주 기법을 적극 활용하여, 기존의 전통적인 연주 방식으로는 도달할 수 없는 새로운 사운드 스펙트럼을 구축하였다. 이러한 기법들은 연주자의 세부적인 표현력을 확장함으로써 프로세싱 된 사운드와 상호작용하며 작품에 독창적이고 감각적인 음향적 특징을 부여했다. 사운드 프로세싱 기술은 Max 소프트웨어를 활용하여 실시간으로 설계되었다. 이를 통해 색소폰 연주와 디지털 프로세싱 간의 즉각적인 상호작용을 가능하게 하였으며 이 과정에서 연주가 독창적으로 재구성되었다. 또한 TouchDesigner를 활용해 작품의 전개와 밀접하게 연동된 비주얼라이제이션 시스템을 구축함으로써 사운드와 이미지의 통합적 표현을 더욱 심화시켰다. 이를 통해 관객들은 몰입감 있는 서사를 느낄 수 있었다. 그러나 본 연구에서는 라이브 공연 환경에서 마이크를 통해 프로세싱 된 색소폰 사운드보다 실제 색소폰 연주의 소리가 상대적으로 크게 들리는 문제가 확인됐다. 이는 프로세싱 된 사운드가 테이프음악에 비해 존재감이 약하게 느껴지는 결과를 초래했다. 향후 이를 해결하기 위해 다음과 같은 개선 방안을 추가적으로 연구할 필요가 있다. 마이크 배치 및 음향 믹싱을 최적화하고 특정 주파수 대역을 강조하여 프로세싱 사운드의 존재감을 강화한다.

그리고 사운드 프로세싱이 적용되지 않은 마이킹 된 색소폰 사운드도 스피커로 동시에 출력을 하는 것이 더 자연스러울 것이다. 또한 공간 음향 및 무대 설정에 따라 최적화된 하드웨어와 소프트웨어 통합 방식을 설계하고 다양한 공연 조건에 유연하게 대처할 수 있는 시스템을 구축한다.

본 연구는 색소폰이라는 전통적인 악기를 전자음악 기술과 융합함으로써 새로운 음악적 경험과 표현 가능성을 탐구했다는 점에서 중요한 의의를 가진다. 사운드 프로세싱 기술과 비주얼라이제이션을 결합하여 단순히 청각적 영역을 넘어 시각적 영역까지 확장된 몰입감 있는 멀티미디어 경험을 제시했다. 앞으로 이러한 기술적 시도를 더욱 정교화하고 무대 및 공연 환경에 최적화함으로써 현대적인 멀티미디어 공연 예술의 새로운 지평을 열어나갈 것으로 기대된다.

Keyword(검색어) : 오디오 비주얼(audio-visual), 컴퓨터음악(computer music), 인터랙티브 멀티미디어 음악(interactive multimedia music), Max, 실시간 사운드 프로세싱(real-time sound processing), Reason Studios, granular synthesis, TouchDesigner, Ableton Live, Max for Live

E-mail : p-jieun@naver.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)
- Mark Ballora 「Essentials of Music Technology」 (Pearson, 2002)
- V.J.Manzo, 「Max/MSP/Jitter for music」 , (Oxford University Press, 2011)
- Miller Puckette, 「The Theory and Technique of Electronic Music」 (World Scientific Publishing Company 2007)
- Curtis Roads, 「The Computer for music」 , (MIT Press, 1996)

## 2. 참고논문

- 라경외, 「밴드음악을 활용한 실시간 사운드 프로세싱과 비주얼 라이제이션 연구 (멀티미디어 작품 <Blue Lagoon>을 중심으로)」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2022)
- 이관규, 「피아노 연주와 무용수의 움직임을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2021)
- 오이링, 「베이스기타의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구-멀티미디어음악 작품<Dive>를 중심으로-」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2024)
- 조환희, 「베이스 트롬본과 피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어작품 제작 연구(멀티미디어음악 작품<Yes, I am.>을 중심으로)」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2019)
- 홍의식, 「Saxophone의 음색분석을 통한 오디오-비주얼 작품 제작 연구 (멀티미디어음악작품 <魂>을 중심으로)」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2011)

### 3. 웹사이트

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

-Korg: <https://www.korg.com/us/>

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

-Reason studios: <https://www.reasonstudios.com/>

-Shure: <https://www.shure.com/>

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

-Yarden Klayman: <https://www.yardensax.com/>



# ABSTRACT

## A Study on Real-Time Sound Processing and Visualization Artworks Utilizing the Saxophone

Park, Ji Eun

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

This study, centered on the piece *Liminal*, explores new possibilities in multimedia art by integrating traditional saxophone performance techniques with modern real-time sound processing technologies. This

research examines the tonal richness of saxophone playing. It pushes the boundaries of conventional instrumental performance by integrating it with electronic music and visualization, creating a novel and immersive multimedia experience.

Specifically, detailed saxophone performance techniques—such as tonguing, half-tonguing, embouchure adjustments, subtone, growling, split tones, falling, and scooping—were actively utilized to construct a new sound spectrum that is unattainable through traditional methods alone. These techniques expanded the performer's expressive capabilities, dynamically interacting with the processed sound to endow the piece with unique sensory and auditory characteristics. The sound processing technology was designed in real time using Max software. This enabled immediate interaction between the nuanced elements of saxophone performance and digital processing, during which the physical energy of the performance was creatively reconstructed in a digital environment.

Utilizing TouchDesigner, a visualization system was developed that tightly synchronized with the narrative progression. This integrated expression and combination of sound and visuals intensified the audience experience. Furthermore, this allows the audience to immerse themselves in a narrative shaped by the dynamic interplay of both auditory and visual elements. Yet, the study identified an issue in live performance settings: the acoustic sound of the saxophone was perceived as louder than the processed sound captured via the microphone. This made the processed sound less prominent than the

tape music. To address the previous challenge, further research is required to optimize microphone placement and refine sound mixing techniques. A particular focus on emphasizing specific frequency bands to enhance the presence and clarity of the processed sound is also key. It is also essential to design integrated hardware and software solutions customized for spatial acoustics and stage configurations. Developing systems that can adjust to different performance conditions is crucial, ensuring reliable and consistent sound quality across various environments.

This study is valuable as it explores new musical experiences and expressive possibilities by integrating the traditional saxophone with electronic music technologies. Merging sound processing techniques with visualization extends beyond the auditory realm to offer a multisensory experience encompassing visual dimensions. Moving forward, refining these technological approaches and optimizing them for stage and performance environments are expected to open new horizons in modern multimedia performance art.

## 부록 : 첨부 DVD

### 1. Liminal 공연 영상

2024년 11월 9일 멀티미디어 작품 <Liminal>의 공연 영상

### 2. Liminal 작품 패치

작품에 사용된 Max, Max for Live 패치