



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

가플란의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한
인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구

-멀티미디어 작품 <Ambient reboot: Debussy's signal>을 중심으로-

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

최 응 식

2026

석사학위논문

가플란의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한
인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구

-멀티미디어 작품 <Ambient reboot: Debussy's signal>을 중심으로-

최응식

지도교수 김준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함
2025년 12월

최응식의 음악석사(컴퓨터음악) 학위 논문을 인준함
2026년 1월

위원장 정진현



위원 김정호



위원 김준



동국대학교 영상대학원

목 차

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 사례 연구	4
II. 기술 연구	7
1. 가플란의 특징 연구	7
1) 악기의 특징 및 역할	7
2) 악기의 음계	8
2. 사운드 제작 연구	10
1) 사운드 합성 기법 연구	12
① additive synthesis	12
② FM synthesis	15
③ 미니무그(Minimoog)	17
④ VCV Rack 2	20
2) 사운드 프로세싱 연구	22
① delay 효과	22
② reverb 효과	24
③ ring modulation 효과	27
④ pitch shift 효과	30
⑤ overdrive 효과	31

⑥ granular synthesis 효과	33
3) 사운드 시스템	36
3. 영상 제작 연구	40
1) 영상 시스템	40
2) TouchDesigner를 이용한 영상 제작	42
① noise	42
② TOP을 활용한 제작과정	45
③ SOP을 활용한 제작과정	46
④ CHOP을 활용한 제작과정	48
4. 공연 및 연동 시스템 연구	50
1) 공연 시스템	50
2) 음악과 영상의 연동 시스템	51
① OSC	51
② MIDI 매핑	54
Ⅲ. 연구 기술의 작품 적용	57
1. 작품 소개	57
2. 작품 구성	59
1) 음악 구성	59
2) 영상 구성	62
3) 무대 구성	64
3. 사운드 및 영상 기술 적용	65

1) A section	65
2) B section	66
3) C section	67
4) C' section	68
5) D section	69
6) C' section	70
IV. 결론	72
참고문헌	75
ABSTRACT	79
부록 : 첨부 DVD	82

표 목 차

<표-1> reverb의 구성요소	24
<표-2> mungger~ 오브젝트의 파라미터	35
<표-3> 음악 구성	59
<표-4> 영상 구성	62
<표-5> A section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용	65
<표-6> B section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용	66
<표-7> C section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용	67
<표-8> C' section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용	68
<표-9> D section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용	69
<표-10> C' section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용	70

그 립 목 차

[그림-1] 가믈란(gamelan)	2
[그림-2] 파코 로드리게즈의 프로젝트인 SITARSONIC	4
[그림-3] <An Optical Poem(시각적인 시)>	6
[그림-4] 가믈란의 강사(gangsa)	7
[그림-5] 강사의 음계	9
[그림-6] 사운드 시스템 설계도	10
[그림-7] additive synthesis 오실레이터의 합성 원리	12

[그림-8] additive synthesis Max/MSP 패치	13
[그림-9] FM synthesis의 기본적인 구조	15
[그림-10] FM synthesis Max/MSP 패치	16
[그림-11] 미니무그(Minimoog)	17
[그림-12] Arturia의 Minimoog VSTi	18
[그림-13] VCV Rack 2으로 만든 가상 모듈러 세트	20
[그림-14] delay Max/MSP 패치	22
[그림-15] reverb의 구성	24
[그림-16] Beap 모듈에 포함된 REVERB 1과 GIGAVERB	25
[그림-17] Max/MSP Beap 모듈 위치	26
[그림-18] 링모듈레이션(ring modulation)	27
[그림-19] dual ring modulation Max/MSP 패치	28
[그림-20] pitch를 조절 가능한 Max/MSP 패치	30
[그림-21] overdrive Max/MSP 패치	32
[그림-22] granular synthesis Max/MSP 패치	33
[그림-23] sine파와 granular synthesis 합성이 된 파형 비교	35
[그림-24] aux 트랙을 활용한 send/return 방식	36
[그림-25] Ableton Live의 session view	38
[그림-26] 그라디언트 노이즈(perlin, simplex)의 기본원리	43
[그림-27] TouchDesigner의 노이즈 타입	44
[그림-28] Noise TOP을 활용하여 제작한 TouchDesigner 패치	45
[그림-29] Circle SOP을 활용하여 제작한 TouchDesigner 패치	47

[그림-30] CHOP을 활용하여 제작한 TouchDesigner 패치	49
[그림-31] 공연 시스템 설계도	50
[그림-32] Ableton Live와 TouchDesigner의 OSC 통신	52
[그림-33] TouchDesigner에서 가블란 신호와 영상의 연동	53
[그림-34] 공연에서 사용한 MiniLab MK3의 미디 매핑	55
[그림-35] TouchDesigner에서 MIDI 매핑을 하는 과정	56
[그림-36] <Ambient Reboot: Debussy's Signal>의 공연 사진	57
[그림-37] <Ambient Reboot: Debussy's Signal>의 무대 구성	64

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

본 연구는 인상주의¹⁾ 음악이라는 독특한 역사적, 미학적 지점에서 출발한다. 19세기 말 프랑스에서는 상징주의²⁾와 인상주의가 새로운 문화사조로 나타났으며, 음악에서도 인상주의라고 불리는 새로운 음악 어법이 형성되었다. 이 인상주의 음악은 당시 유럽 음악계를 지배하던 후기 낭만주의³⁾ 음악의 거대한 스케일, 극단적인 감정 표현, 그리고 복잡한 관현악법에 대한 근본적인 반동으로 탄생한다. 그리고 이 새로운 음악 어법을 창시하고 확립한 중심인물이 바로 클로드 드뷔시(Claude Debussy, 1862~1918)이다. 드뷔시는 서양 음악의 전통적인 기능 화성(functional tonality)의 틀과 장, 단조의 조성을 벗어남으로써 음계(scale)⁴⁾를 근본적으로 재정의하고 동양의 음계 및 악기, 그리고 이국적인 요소들을 도입하여 서양 음악의 어법을 확대하는 데 크게 기여하였다. 그가 새로운 음색과 어법을 추구하게 된 결정적인 변곡점은 바로 19세기 말 파리 만국박람회⁵⁾에서 발생한다.

1) 19세기 말 프랑스에서 낭만주의의 격렬한 감정 표현에 반발하여 색채감 및 분위기 표현을 추구한 예술 사조

2) 19세기 말 문학에서 나타난 사조로 대상에 대한 직접적인 묘사 대신 언어의 암시와 은유를 통해 심리적 상태나 내면의 본질을 간접적으로 표현

3) 19세기(1800년경~1910년경) 유럽을 지배한 예술 사조

4) 하나의 음표와 그 옥타브 사이의 진행을 이루는 연속적인 음표들의 통칭

5) 각국의 과학, 기술, 예술, 문화를 전시하고 교류하는 국제적인 행사(엑스포)

드뷔시가 이 박람회에서 가믈란(gamelan) 음악을 접하며 영감을 얻었던 순간은 그의 창작 활동에 획기적인 전환점을 마련했으며, 이는 그의 음악 <탑(Pagodes)>⁶⁾과 현대 앰비언트 음악(ambient music)⁷⁾의 모태가 되는 새로운 음악적 언어를 탄생시켰다. 가믈란은 인도네시아의 자바(Java)와 발리(Bali) 지역을 중심으로 발달한 전통 타악기 앙상블 또는 그러한 앙상블이 연주하는 음악을 통칭한다. 그 이름은 자바어로 망치를 뜻하는 가믈(gamel)에서 유래했으며, 주로 금속으로 만든 타악기를 손이나 특수 채로 연주하는 것이 특징이다. 가믈란은 단순한 음악 공연을 넘어 왕실 의례, 춤, 그림자 인형극, 그리고 종교적 행사 등 인도네시아 문화와 사회 전반에 걸쳐 핵심적인 역할을 수행한다.



[그림-1] 가믈란(gamelan)⁸⁾

6) 드뷔시의 1903년에 작곡된 모음곡 <관화(Etampes)>중 첫 번째 곡

7) 분위기와 공간감의 조성을 주된 목표로 하는 전자 음악의 한 장르

8) https://igbf.kr/gugak_web/

가믈란 앙상블은 크게 세 가지 유형의 악기로 구성되는데 금속 메탈로폰(metallophones)의 범주에는 청동이나 황동으로 만들어진 건반을 가진 악기들인 사론(saron), 강사(gangsa) 등이 있으며, 이들이 음악의 주선율을 연주하거나 정교하게 장식한다. 공(gongs)은 거대한 음색을 가진 공 아궁(gong ageng)을 비롯해 케농(kenong), 보낭(bonang) 등 다양한 크기로 구성되며, 이 공들이 음악의 큰 단위와 리듬을 구조적으로 표식(colotomic structure)⁹⁾하는 역할을 수행한다. 이 외의 악기로는 꽤당(kendhang)이라는 북이 앙상블의 템포와 리듬을 이끌며, 때로는 술링(suling, 피리)이나 르바브(rebab, 현악기) 같은 비금속 악기가 소리의 질감을 더한다.

본 연구의 목적은 가믈란의 전통적인 음향 요소를 단순히 재현하는데 그치지 않고, 이를 컴퓨터 음악을 통해 앰비언트 사운드의 핵심 구성 요소로 재해석하는 구체적 방법론을 제안하고자 한다. 특히 가믈란 금속 타악기의 깊은 울림과 복합적인 잔향을 지속음(drone)¹⁰⁾과 유기적인 텍스처(texture)의 표현으로 변환하는 과정을 중점적으로 연구한다. 이를 위해 다양한 소리 합성 기법과 사운드 프로세싱을 활용하여, 타악기 소리의 고유한 특성을 앰비언트 사운드로 확장하는 새로운 패러다임을 제시하고자 한다. 본 연구는 이러한 다중 플랫폼 창작 환경의 효율성과 유연성을 입증함과 동시에 복잡한 사운드 디자인 과정을 상세히 기록하여 객관적인 연구 데이터로 학계에 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한 음악과 미디어, 컴퓨터가 융합된 다학제적 교육 콘텐츠로서의 활용 가능성을 탐구하고자 한다.

9) 가믈란 음악에서 사용되는 독특한 음악 구조의 조직 원리

10) 음악 작품 전체나 대부분의 구간에서 끊임없이 길게 유지되는 음 또는 화음

2. 사례 연구

사운드 프로세싱의 사례 연구로 전통 악기를 활용한 사운드 프로세싱 작품을 조사하였다. 전자음악은 다양한 음향적 요소와 전자적 기술이 융합된 형태로 발전하여 현대 음악에서 독창적인 표현 수단으로 기능하고 있다. 특히, 전자음악과 전통악기의 결합은 단순한 확장을 넘어 기존 음악의 경계를 허물고 새로운 예술적 가능성을 탐구하는 중요한 역할을 수행한다.



[그림-2] 파코 로드리게즈의 프로젝트인 SITARSONIC¹¹⁾

[그림-2]는 프랑스 출신 음악가 파코 로드리게즈(Paco Rodriguez)가 2000년부터 진행해온 퓨전 음악 프로젝트인 SITARSONIC의 공연 장면이다. 이 프로젝트는 인도 전통 악기인 시타르(sitar)¹²⁾의 라이브 연

11) <https://youtu.be/tCfVHtd88rc?si=qT8z4GvzAvh4icvr>

12) 인도의 대표적인 현악기

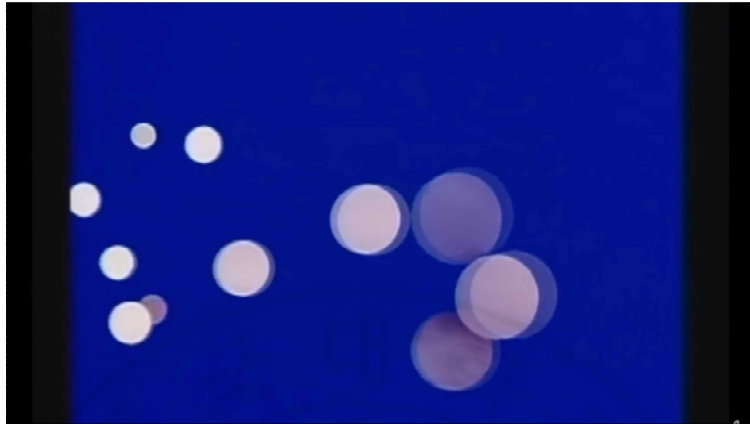
주를 핵심으로 삼으며, 전자음악적 요소와 결합하여 독특한 음향적 특성을 구축한다. SITARSONIC은 시타르 연주에서 생성되는 고유한 선율과 질감을 전자 합성 및 변조 기법으로 확장하며, 만트라(mantra)¹³⁾와 같은 영적인 요소를 포함한다. 특히 전통 악기 중 시타르가 전자음악에서 유독 많이 활용되는 배경에는 1960년대 비틀즈(The Beatles)¹⁴⁾의 영향을 빼놓을 수 없다. 비틀즈는 조지 해리슨(George Harrison)을 통해 시타르를 대중음악에 도입하여, 1965년 발매된 앨범 <Rubber Soul>의 수록곡 ‘Norwegian Wood’에서 처음으로 시타르를 사용하였다. 이후 1966년 앨범 <Revolver>의 ‘Love You To’와 1967년 앨범 <Sgt. Pepper’s Lonely Hearts Club Band>의 ‘Within You Without You’에서 동양 음악적 요소와 전자음악을 결합하는 혁신적인 시도를 이어갔다. 이러한 음악적 실험은 전통 악기가 대중음악 및 전자음악에서 거부감 없이 수용될 수 있음을 보여주는 중요한 사례가 되었다. 본 연구 역시 이러한 음악적 융합의 연장선상에서, 인도네시아의 전통 악기인 가믈란을 전자음악적 요소와 결합함으로써 전통음악과 현대음악 간의 새로운 접점을 탐구하고, 이를 기반으로 한 창작 작품을 구현하였다.

음악과 영상이 결합하여 상호작용하는 작품 사례로는 독일 출신의 추상 애니메이터이자, 비주얼 뮤직(visual music)¹⁵⁾분야의 개척자로 평가받는 오스카 피싱거(Oskar Fischinger, 1900~1967)의 <An Optical Poem(시각적인 시)>를 조사하였다. [그림-3]은 비주얼 뮤직 철학을 가장 잘 보여주는 대표작 중 하나이다.

13) 힌두교와 불교에서 신성한 힘을 지닌다고 믿어지는 특정 소리, 음절, 단어

14) 1960년 영국 리버풀에서 결성된 대중음악 역사상 최고의 4인조 록 밴드

15) 음악적 구조와 소리를 시각적 요소와 결합하여 표현하는 예술 분야로, 소리를 시각화하여 눈으로 볼 수 있게 재현하는 방법



[그림-3] <An Optical Poem(시각적인 시)>¹⁶⁾

피싱거는 이 작품에서 수천 개의 색종이 원형 조각을 공중에 매달거나 움직이는 방식으로 활용하며, 이 원들이 프레임 단위로 미세하게 움직이고, 분열하고, 다시 합쳐지는 과정을 보여준다. 이 아날로그적인 기법은 3D¹⁷⁾나 파티클¹⁸⁾효과 없이 오로지 색과 형태의 움직임만으로 음악적 감동을 전달하는 추상 애니메이션의 걸작으로 평가받는다.

본 논문의 작품 <Ambient Reboot: Debussy's Signal>은 전통악기인 가블란 연주와 이에 따른 소리에 직접적으로 반응하는 영상으로 구성되어 있다. 영상은 오스카 피싱거의 기법과 유사하게 3D나 파티클 효과를 사용하지 않고, 오직 색채와 형태의 움직임만으로 가블란 연주에서 생성되는 사운드 데이터를 활용한다. 이를 통해 음악과 시각적 요소 간의 실시간 상호작용을 보다 효과적이고 조화롭게 구현하는 데 중점을 두었다.

16) <https://youtu.be/6Xc4g00FFLk?si=s0Ee-aqwreUpXDvJ>

17) 3차원을 의미하며, 가로(x), 세로(y), 높이(z)의 세 축을 가진 공간을 뜻함

18) 시각 효과나 컴퓨터 그래픽스에서 작은 점, 입자 형태로 표현되는 요소

II. 기술 연구

1. 가믈란의 특징 연구

1) 악기의 특징 및 역할

본 연구에는 가믈란 중에서 발리 지역에서 사용하는 강사(gangsa)라는 악기를 사용하였다. 강사는 가믈란의 선율의 골격과 화려한 장식음을 책임지는 핵심적인 메탈로폰 악기이다. 강사는 두꺼운 청동 건반을 대나무 공명통 위에 끈으로 매단 구조를 취하며, 연주자는 나무 망치인 빵굴(panggul)로 건반을 타격함과 동시에 왼손으로 울림을 급격히 멈추는 댐핑(damping) 기술을 구사하여 짧고 명료한 스타카토¹⁹⁾ 사운드를 생성한다.



[그림-4] 가믈란의 강사(gangsa)²⁰⁾

19) 음악에서 각 음표를 짧게 끊어서 연주하는 표현법

20) <https://reverb.com/item/11613523-balinese-gamelan-kantilan-gangsa?>

강사는 크기와 음역에 따라 크게 중음역을 담당하는 뽀마데(pemade)와 고음역을 담당하는 칸뽀란(kantilan)으로 구분되며, 이들은 악단 내에서 가장 주도적인 선율 악기군을 형성한다. 음향학적으로 강사는 두대가 한 쌍을 이루어 조율되는데, 여성적인 성격의 뽀기셉(pengisep)은 남성적인 성격의 뽀굼방(pengumbang)보다 미세하게 높게 조율되어 두 악기가 동시에 같은 음을 연주할 때 발리 가믈란 특유의 울렁거리는 맥놀이²¹⁾ 현상인 음박(ombak)을 발생시킨다.

2) 악기의 음계

강사에 구성된 음계는 기본적으로 7음으로 이루어진 뽀로(pelog)음계²²⁾ 중 5음만을 선택적으로 사용하는 특징을 보인다. 강사는 서양음악의 평균율²³⁾과 달리 각 음정 간격이 불규칙한 미분음적 비평균율(non-equal temperament)시스템으로 조율되며, 음의 높낮이는 덩(ding), 동(dong), 땡(deng), 둥(dung), 단(dan)등의 현지어 명칭으로 불린다. 강사의 건반은 주로 두 옥타브에 걸쳐 총 10개의 음으로 구성되는데, 이 10개 구성음은 서양 피아노 음계와 정확히 일치하지는 않지만 청감상 근사치로 보자면 레, 미, 솔#, 라, 레, 레#, 미, 솔#, 라, 레와 같은 음의 배열을 가진다고 설명할 수 있다.

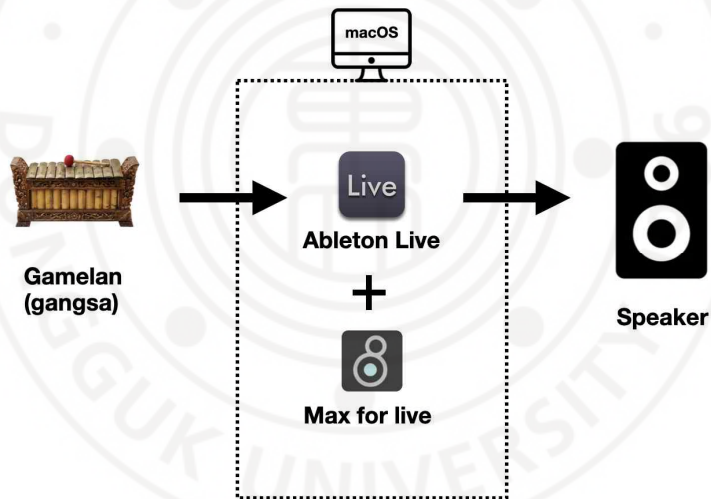
21) 주파수가 거의 비슷한 두 음이 동시에 울릴 때 진폭이 주기적으로 커졌다 작아졌다 하는 간섭 현상

22) 인도네시아 전통 음악에서 주로 사용되는 7음 음계

23) 평균율은 한 옥타브를 12개의 반음으로 동일한 비율로 나누어 조율하는 방식

2. 사운드 제작 연구

본 논문의 작품 <Ambient reboot: Debussy's signal>은 테이프음악 (tape music)²⁴⁾을 통해 재생되는 부분과 실제악기인 가믈란을 통해서 연주되는 부분으로 나누어진다. 테이프음악의 제작은 Ableton Live²⁵⁾에서 이루어졌으며, additive synthesis, FM synthesis, Mini moog VS Ti, VCV Rack2를 사용했다. [그림-6]은 본 작품의 사운드 시스템 신호 전송 과정이다.



[그림-6] 사운드 시스템 설계도

24) 녹음된 소리를 테이프 매체에 기록한 후, 이를 자르고 뒤집거나 속도를 조절하는 등의 편집을 통해 새로운 음악 작품을 만드는 전자음악의 초기 형태

25) 음악 제작과 라이브 퍼포먼스를 위한 디지털 오디오 워크스테이션(DAW) 소프트웨어

주로 가블란 연주에 멜로디와 화성을 풍부하게 만들기 위해 사운드를 레이어²⁶⁾ 했으며, 더해진 사운드에는 delay, reverb, ring modulation, pitch shift, overdrive, granular synthesis의 음향효과를 적용하였다. 가블란 연주의 사운드 신호는 오디오 인터페이스를 통하여 컴퓨터로 입력된다. 입력된 신호는 Ableton Live의 가블란 트랙에 전송되고, aux 트랙²⁷⁾에 넣은 Max for Live²⁸⁾ 사운드 프로세싱 패치를 사용하여 소리합성 및 음향효과로 변형되어 스피커를 통해 출력된다.

26) 여러 사운드 트랙이나 음원을 겹쳐 쌓아 풍부하고 입체적인 소리를 만드는 작업

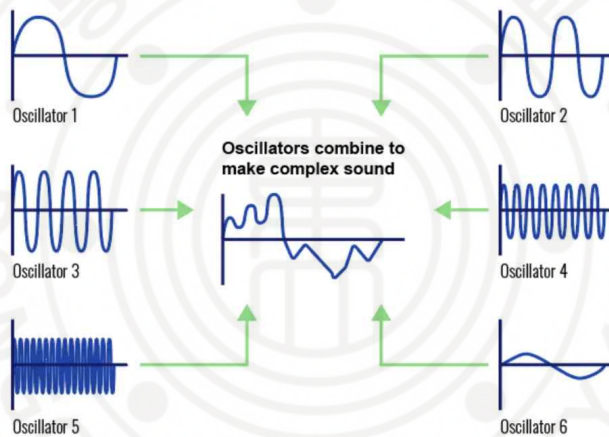
27) 오디오 장비에서 주 신호 외에 추가적으로 보조 입력이나 출력을 담당하는 신호 경로

28) Ableton Live에서 Max/MSP를 사용할 수 있는 프로그래밍 도구

1) 사운드 합성 기법 연구

① additive synthesis

additive synthesis는 주파수, 진폭, 위상이 다른 다수의 사인파를 결합하여 복잡한 소리를 생성하는 사운드 합성 기법이다. 배음의 간격과 음량 값에 따라 음색이 달라진다.



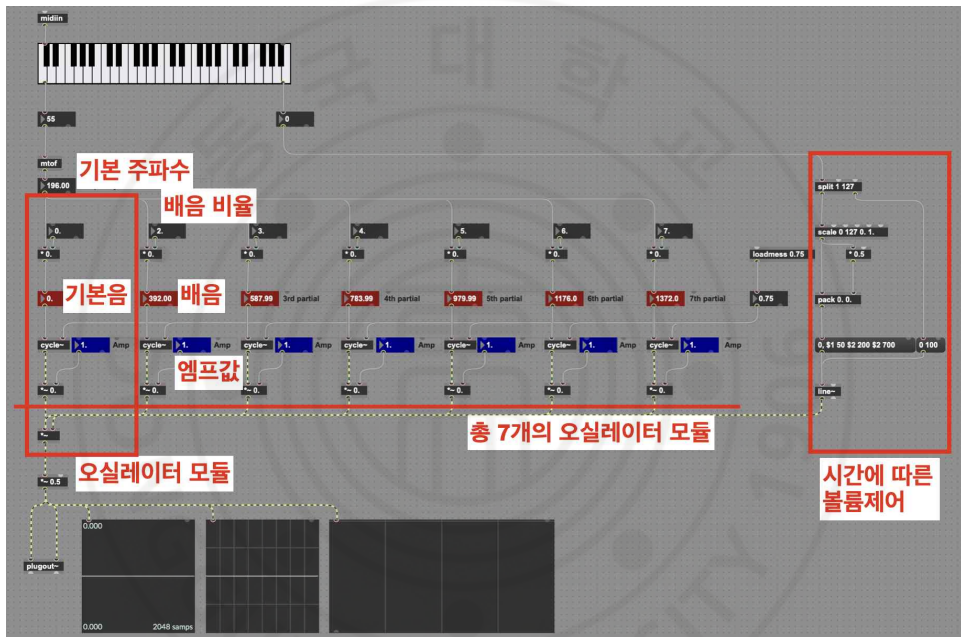
[그림-7] additive synthesis 오실레이터의 합성 원리²⁹⁾

[그림-7]은 다양한 오실레이터(oscillator)³⁰⁾ 신호들을 합성하여 복잡한 사운드를 생성하는 원리를 시각적으로 보여준다. 그림 중앙의 복잡한 파형은 주변의 오실레이터 1부터 6까지, 각각 다른 주파수, 진폭, 위

29) <https://unison.audio/additive-synthesis>

30) 주기적인 파형을 생성하여 기본 소리를 만들어내는 장치

상을 가진 단순한 파형(대부분 사인과 형태)들이 합쳐진 결과이다. 이는 additive synthesis의 핵심 원리를 나타낸다. additive synthesis는 여러 개의 단순한 배음을 더함으로써 원하는 음색을 처음부터 구성하며, 이처럼 다양한 성분을 조합하여 하나의 복잡한 파형과 그에 상응하는 소리를 만들어낸다.



[그림-8] additive synthesis Max/MSP 패치

[그림-8]은 7개의 사인과 오실레이터를 사용하여 additive synthesis을 Max/MSP에서 구현한 패치이다. midin 오브젝트를 통해 수신된 MIDI 노트 정보는 mtof 오브젝트에서 1st partial³¹⁾로 변환되며, 이

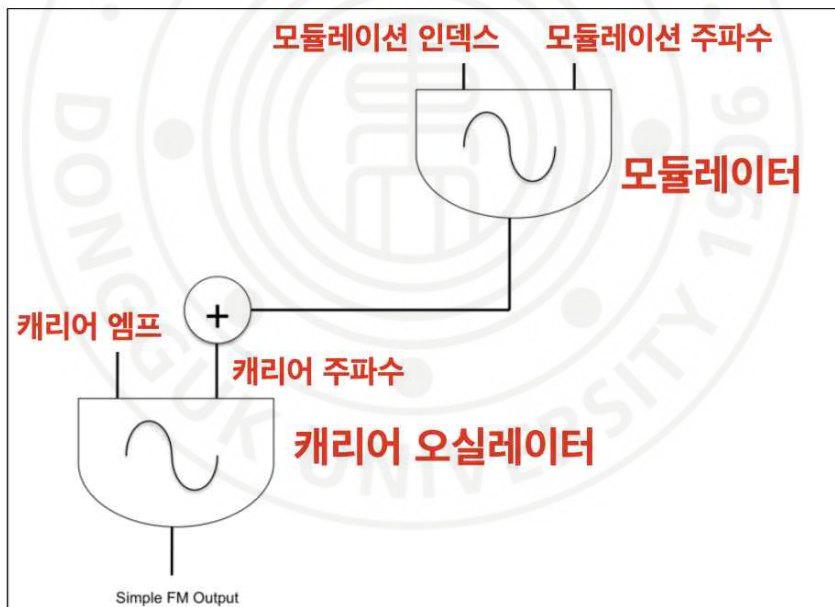
31) 복합음을 구성하는 주파수 성분 중 가장 낮은 주파수

기본 주파수에 배수를 적용하여 7th partial³²⁾까지의 주파수가 결정된다. 이 주파수들은 각각의 cycle~ 오실레이터의 입력을 결정하고, 오실레이터들은 *~ 오브젝트를 통해 진폭이 조절된다. split 1 127과 scale 0 127 0. 1. 오브젝트는 MIDI 벨로시티(velocity) 값을 진폭으로 변환하는 다이내믹 제어를 담당하며, pack 0. 0. 및 line~ 오브젝트는 진폭 값을 시간에 따라 부드럽게 변화시키는 엔벨로프 역할을 수행한다. 또한, 각 partial의 진폭은 1st partial부터 7th partial까지의 빨간색 넘버 박스를 통해 개별적으로 조절된다. 최종적으로 이 7개의 사인파 성분은 모두 합산되어 *~ 0.5 오브젝트의 게인 조절을 거친 후 plugout~ 을 통해 출력된다. 이 패치는 여러 개의 partial을 독립적으로 제어하고 합성하여 복잡한 음색을 생성하는 additive synthesis의 기본적인 구조이며, 이를 활용하여 가믈란의 단순한 멜로디 라인을 레이어함으로써 보다 풍부하고 다채로운 음색으로 확장하였다. 또한 Max/MSP에서는 cycle~ 오브젝트를 통한 사인파형 외에도 다양한 파형을 생성할 수 있다.

32) 기본 주파수와 함께 소리의 스펙트럼을 구성하는 모든 주파수

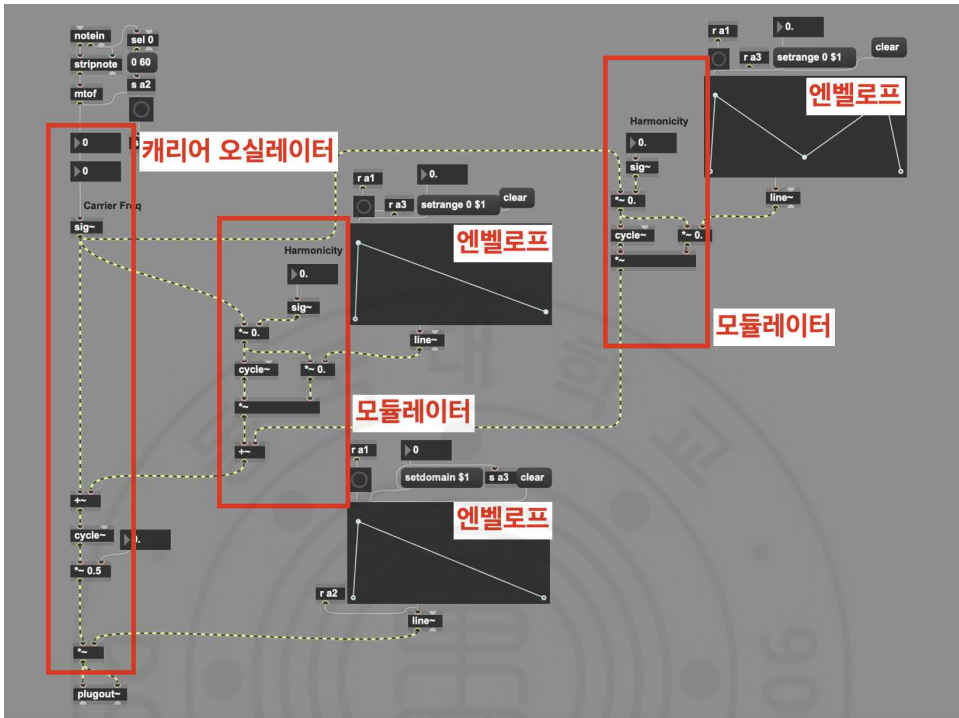
② FM synthesis

FM(frequency modulation) synthesis는 하나의 캐리어 오실레이터를(carrier oscillator)를 다른 오실레이터(modulating oscillator)로 변조하여 새로운 음색을 생성하는 사운드 합성 기법이다. 이 방법은 1960년대 존 차우닝(John Chowning, 1934~)에 의해 디지털 음악 합성의 주요 기법으로 발전하였다. FM합성은 간단한 구조를 사용하면서도 효율적이며 복잡하고 풍부한 음색을 생성할 수 있는 장점을 가지며, 이는 야마하 DX7과 같은 유명한 FM 신디사이저에서 널리 활용되었다.



[그림-9] FM synthesis의 기본적인 구조³³⁾

33) <https://www.researchgate.net/figure/Simple-FM-synthesis-as-outlined>



[그림-10] FM synthesis Max/MSP 패치

[그림-10]은 FM synthesis를 구현한 패치이다. notein 을 통해 수신된 MIDI 노트 정보는 mtof 에서 주파수로 변환되어 캐리어 오실레이터(carrier oscillator)로 사용되는 cycle~ 오브젝트의 기본 주파수를 결정한다. 이 패치는 두 개의 변조 오실레이터(modulating oscillator) 구조를 활용하며, 각 오실레이터는 function 오브젝트와 line~ 오브젝트를 통해 엔벨로프나 복잡한 변조 파형을 생성한다. 이 파형들은 캐리어 주파수 입력단에 변조 신호로 작용하여 캐리어 오실레이터의 주파수를 실시간으로 변동시킨다. 특히, function 은 setrange 메세지 명령을 통해 변조 신호의 범위를 조절하고, receive a1 및 a2 같은 수신 오브젝트를 통해 변조 신호를 공급받아 동적으로 음색을 변화시킨다. 최종적으로 다중 오퍼레이터 구조를 통해 변조된 오실레이터들의

신호가 합쳐져 *~0.5 계인 조절을 거친 후 plugout~ 을 통해 출력된다. 이로써 이 사운드 패치는 복잡하고 풍부한 FM synthesis 음색을 생성하며, 짧은 어택(attack)과 빠른 감쇄(decay)를 가진 엔벨로프를 필터에 적용하여 플럭(pluck)³⁴⁾사운드를 구현하였다.

③ 미니무그(Minimoog)

미니무그(Minimoog)는 1970년대 초 로버트 무그(Robert Moog, 1934~2005)에 의해 출시된 최초의 휴대 가능하고 통합된(non-modular) 아날로그 신시사이저이다.



[그림-11] 미니무그(Minimoog)³⁵⁾

34) 현을 튕기는 소리나 타악기적인 소리를 흉내 낸 것을 의미

35) <https://www.vintagesynth.com/moog/minimoog>

미니무그는 감산 합성(subtractive synthesis)³⁶⁾ 방식을 사용한다. 이 악기는 세 개의 오실레이터와 특히 유명한 무그 래더 필터(moog ladder filter)를 핵심으로 한다. 이 필터는 독특하고 풍부한 저음(bass)과 강력한 리드(lead) 사운드를 생성하는 특징을 가지며, 1970년대부터 현재까지 전자 음악의 음색을 정의하는 데 지대한 영향을 미친 전설적인 악기로 평가된다. [그림-12]는 Arturia의 Minimoog VSTi 이다.



[그림-12] Arturia의 Minimoog VSTi

본 작품에서는 실제 미니무그 하드웨어 신시사이저를 사용하지 않고 Arturia의 Minimoog VSTi (Virtual Studio Technology Instrument)³⁷⁾ 소프트웨어 복각제품을 사용하였다. 그 이유는 여러 가지이다. 첫째, 접

36) 오실레이터에서 생성된 배음이 풍부한 파형을 필터를 사용하여 원하는 음색을 만드는 기법

37) Steinberg가 개발한 가상 악기 플러그인 형식으로 소프트웨어 신디사이저, 샘플러, 드럼 머신 등 다양한 음원을 디지털 환경에서 생성한다

근성과 비용 문제이다. 오리지널 미니무그는 생산된 지 수십 년이 지난 희귀하고 고가의 빈티지 악기이므로, 실제 하드웨어를 구하기 어렵고 유지보수 비용도 상당하다. 반면 VSTi는 저렴하게 구매하여 PC 환경에서 쉽게 사용할 수 있다. 둘째, 편의성과 유연성 때문이다. VSTi는 DAW(Digital Audio Workstation) 내에서 플러그인 형태로 구동되므로, 오디오 및 MIDI 라우팅³⁸⁾, 프리셋³⁹⁾ 관리 등이 훨씬 용이하다. 셋째, 안정성과 확장성 측면에서 소프트웨어는 하드웨어에 비해 오류 발생률이 적다. 이러한 이유들로 인해, 오리지널의 사운드 특성을 충실히 재현하면서도 현대적인 작업 환경에 최적화된 VSTi를 선택하였다. 그리고 미니무그를 활용하여 가믈란의 공(gong) 사운드를 연상시키는 복잡하고 금속적인 음색을 구현하였다. 짧은 어택(attack)과 긴 릴리즈(release)를 가진 엔벨로프를 필터에 적용하여 소리가 울리면서 점차 사라지는 타악기적인 특성을 만들고, 동시에 레조넌스(resonance)⁴⁰⁾를 높여 비조화적인(inharmonic) 금속성 울림을 강조하였다.

38) 음악 제작 환경에서 소리와 제어 신호의 흐름을 특정 장치나 경로로 연결하는 과정

39) 음악 소프트웨어나 하드웨어에서 특정 설정값이나 효과를 미리 저장해 놓은 상태

40) 주로 필터의 컷오프 주파수 주변 특정 주파수를 강조하여 사운드를 부스트하는 역할

④ VCV Rack 2

VCV Rack 2는 실제 유로랙(Eurorack) 모듈러 신시사이저의 작동 방식과 사운드를 컴퓨터 환경에 그대로 구현한 가상 모듈러 신시사이저 플랫폼이다. 이 소프트웨어는 물리적인 모듈러 시스템의 유연성과 복잡성을 제공하여 실험적인 사운드 디자인에 이상적이다. [그림-13]은 VCV Rack 2으로 만든 가상 모듈러 세트이다.



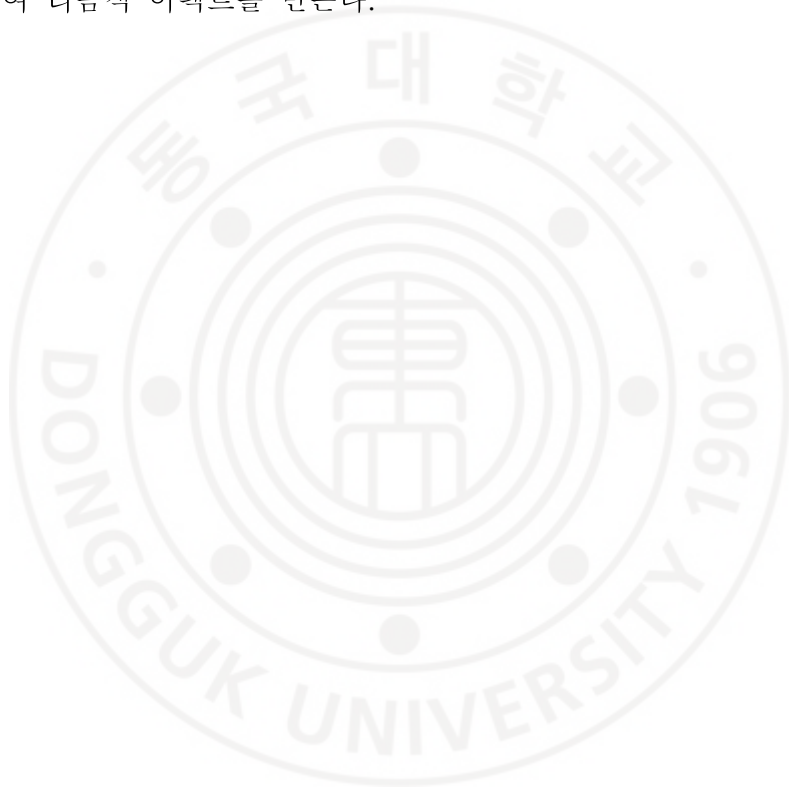
[그림-13] VCV Rack 2으로 만든 가상 모듈러 세트

본 작품에서는 여러 모듈의 복합적인 기능을 활용하여 가블란의 강사 멜로디 라인을 레이어 하고 배음을 풍부하게 해주는 용도로 사용된다. Macro oscillator 2는 Mutable Instruments⁴¹⁾ Plaits의 복각 모듈로, 단순한 파형을 넘어 FM, 웨이블랩, 피지컬모델링⁴²⁾ 등 16가지 이상의 다양한 디지털 합성 모델을 내장하고 있는 만능 오실레이터이다.

41) 프랑스의 전자음악 장비 제조사로 Émilie Gillet가 설립하였으며, 모듈러 신디사이저 분야에서 혁신적이고 인기 있는 Eurorack 모듈들을 개발함

42) 악기나 소리의 물리적 특성을 수학적 알고리즘으로 소리를 생성하는 합성 방식

Texture synthesizer는 Mutable Instruments Clouds의 복각 모듈로, 입력된 오디오 신호를 수 밀리세컨드(ms) 단위의 작은 조각인 그레인 (grain)으로 잘라내어 재생하고 혼합하는 granular synthesis 모듈이다. Plateau는 알고리즘⁴³⁾ 리버브로 decay, size 등의 설정을 통해 깊은 공간감을 더하며, Chronoblob 2는 스테레오 딜레이와 루퍼⁴⁴⁾ 기능을 제공하여 리듬적 이펙트를 만든다.



43) 문제를 해결하기 위한 단계적 절차나 명령어들의 유한 집합

44) 일정한 소리 또는 구간을 반복 재생하는 장치나 소프트웨어 기능

2) 사운드 프로세싱 연구

① delay 효과

delay는 입력된 오디오 신호를 일정 시간 지연시킨 후 다시 재생하는 효과이다. 이 효과를 조절하는 주요 매개변수에는 지연된 소리가 재생될 때까지 걸리는 시간인 딜레이 타임(delay time)이 있다. 또한, 지연된 소리를 다시 입력으로 되돌려 여러 번 반복시키는 비율을 피드백(feedback)이라고 하며, 이는 메아리의 지속 시간을 결정한다. 마지막으로, 원본 신호(dry)와 딜레이가 적용된 신호(wet)를 섞는 비율을 dry/wet(mix)이라고 하며, 이는 효과의 존재감을 조절한다. 딜레이는 이러한 원리를 바탕으로 메아리, 잔향 등의 공간감을 표현하거나 리듬적인 패턴을 만들 때 활용된다. [그림-14]는 delay 효과를 Max/MSP에서 구현한 패치이다.



[그림-14] delay Max/MSP 패치

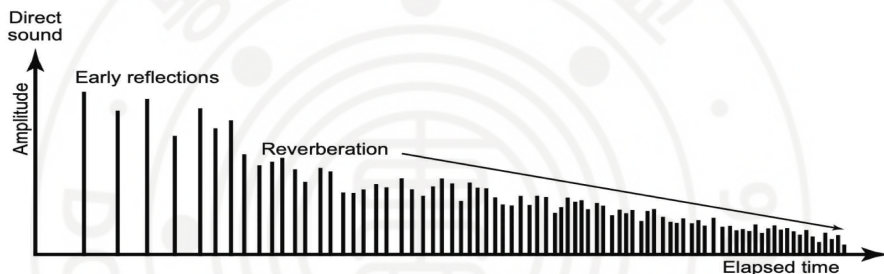
딜레이 효과는 주로 tapin~ 과 tapout~ 두 오브젝트로 구현된다. tapin~ 은 입력 오디오 신호(sample)를 지정된 용량의 버퍼(buffer)⁴⁵⁾에 실시간으로 저장하며, tapout~ 은 이 버퍼에서 입력된 지연 시간(ms)만큼 과거의 신호를 읽어 출력한다. tapout~ 을 거친 신호를 일정 비율로 감쇠시켜 다시 tapin~ 에 재입력하면 피드백 효과가 생성된다. 이 패치에서는 입력된 오디오 신호가 tapin~ 에 저장되고, tapout~ 이 좌우 채널에 다른 딜레이 시간을 적용하여 공간감을 부여한다. 딜레이 된 신호는 설정된 비율로 감쇠되어 다시 입력되는 피드백 루프를 통해 반복 효과를 만들며, 최종적으로 gain을 거쳐 출력된다. 이로써 좌우 채널의 지연 시간이 다른 핑퐁 딜레이⁴⁶⁾ 효과와 피드백이 결합된 사운드가 생성된다. 본 연구에서는 딜레이를 여러 악기에 다양하게 적용하였으며, 피드백의 양을 과도하게 주어 매우 긴 잔향을 생성하여 사운드의 공간감과 입체감을 증가시킴으로써 앰비언트 음악에 적합한 음향을 구현하였다.

45) 디지털 오디오에서 데이터를 임시로 저장하는 메모리 공간

46) 딜레이 효과의 한 종류로, 스테레오 필드를 활용하여 좌우 채널 사이에서 딜레이된 신호가 번갈아 가며 재생되는 것

② reverb 효과

reverb(reverberation) 효과는 소리가 공간 내 표면에 부딪혀 반사되며 발생하는 반사음들의 집합체이다. 이는 초기 반사음(early reflection)과 잔향(reverberation)으로 구성된다. 소리가 발생하면 벽이나 장애물에 부딪혀 시간차를 두고 반사되는 현상이 리버브의 원리이다. 초기 반사음은 공간의 크기와 형태를 파악하게 하고, 잔향은 수많은 반사음들이 섞여 소멸하는 울림을 만든다.



[그림-15] reverb의 구성⁴⁷⁾

<표-1> reverb의 구성요소

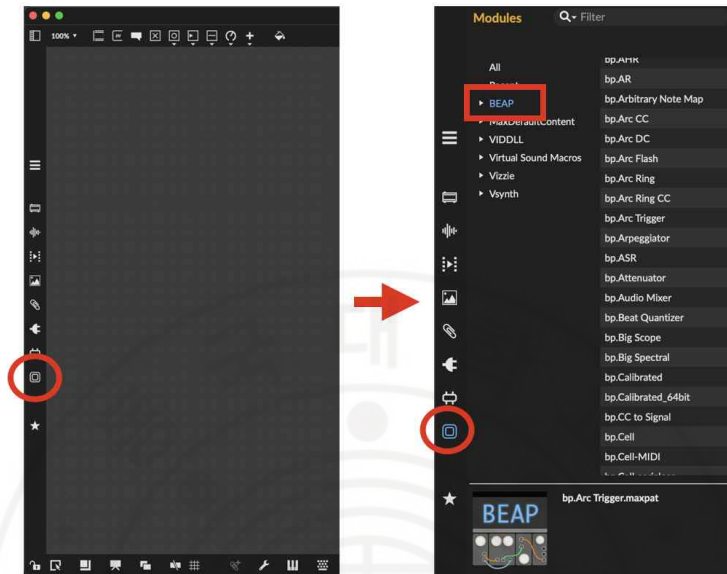
구분	설명
직접음(direct sound)	소스에서 청취자의 귀까지 직접 전달되는 초기 처리되지 않은 소리이다.
초기 반사음(early reflections)	벽, 천장과 같은 가까운 표면에서 반사되어, 직접 소리 직후 청취자에게 도달하는 첫 번째 반사된 소리이다.
잔향(reverberation)	공간 내에서 계속해서 수많은 번반사되어 감쇠하는 꼬리 부분을 만드는 나머지 소리이다.

47) <https://www.lewitt-audio.com/blog/what-is-reverb>



[그림-16] Max/MSP의 Beap 모듈에 포함된 REVERB 1과 GIGAVERB

[그림-16]은 Max/MSP의 Beap 모듈에 포함된 REVERB 1과 GIGAVERB로, 리버브 효과를 구현하는 플러그인이다. REVERB 1은 리버브 효과의 기본 매개변수를 제공하며, mix(dry/wet 혼합 비율), time(잔향 지속 시간), reflections(반사음 강도), cutoff(고주파 필터링 주파수)를 조절한다. GIGAVERB는 보다 세분화된 매개변수를 제공하는데, 이는 time(잔향 지속 시간), size(가상 공간의 크기), regen(피드백 양/잔향 밀도), damp(고주파 감쇠 속도), dry(원음 볼륨), early(초기 반사음 볼륨), tail(잔향 꼬리 볼륨), spread(스테레오 확산 정도)를 포함한다. 이러한 파라미터들을 활용하여 리버브의 공간감과 음색을 세밀하게 재현하며, live.dial과 같은 오브젝트를 활용해 실시간으로 조절하여 다양한 공간을 구현한다. 직접 복잡한 리버브 패치를 짜는 대신 이 Beap 모듈을 사용하는 가장 큰 장점은 효율성이다. 이 모듈들은 이미 최적화되어 있고 입출력 포트가 표준화되어 있어, 복잡한 내부 구조를 알 필요 없이 노브를 돌려 직관적이고 빠르게 전문적인 사운드 디자인을 수행하며, 다른 모듈과 쉽게 연결하여 모듈러 신시사이저처럼 활용할 수 있다는 이점을 가진다. 본 연구에서는 가물란 사운드 프로세싱 과정에서 두 가지 타입의 리버브를 병행 적용함으로써 음향적 공간감을 다층적으로 확장하고자 하였다.

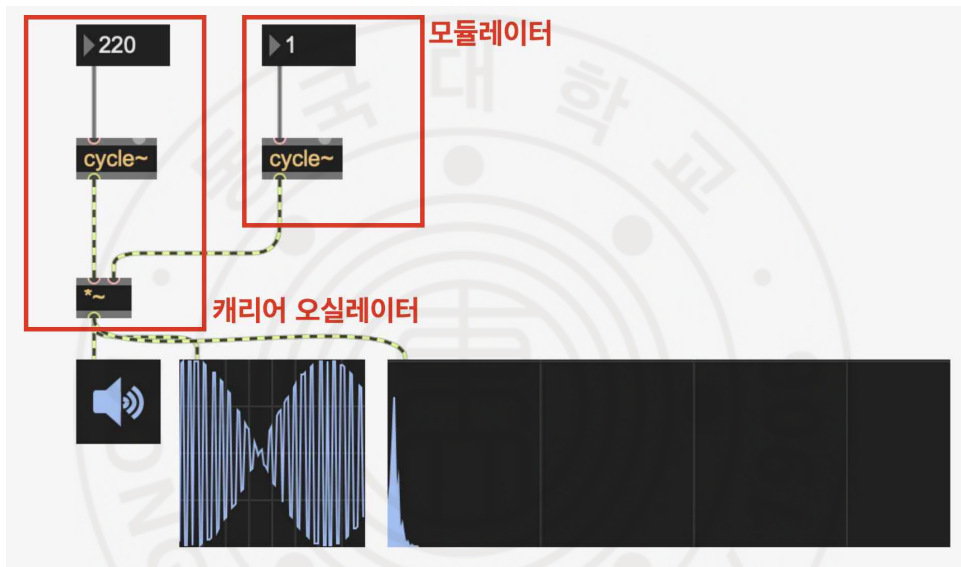


[그림-17] Max/MSP Beap 모듈 위치

Beap(Basic Elements for Auditory Processing)은 Max/MSP 환경에서 제공되는 모듈형 사운드 디자인 라이브러리이다. Beap의 오브젝트들은 입출력 포트 크기가 모두 표준화되어 있어 복잡한 연산 없이 마치 실제 물리적인 모듈을 연결하듯 직관적으로 사운드 회로를 구축할 수 있다. 이 모듈들은 오실레이터, 필터, 엔벨로프, 리버브 등 신시사이저의 기본 구성 요소를 포함하며, 사용자는 이 모듈들을 연결하여 새로운 사운드와 효과를 신속하고 실험적으로 디자인한다. Max/MSP에서 Beap 모듈을 찾으려면 오브젝트 팔레트(object palette) 또는 오브젝트 메뉴(object menu)에서 beap. 접두사를 검색하거나, Max/MSP를 설치하면 기본적으로 포함되는 패키지(packages) 목록에서 찾을 수 있다. 오브젝트 생성 시 b. 또는 beap.을 입력하면 관련 모듈 목록이 나타난다.

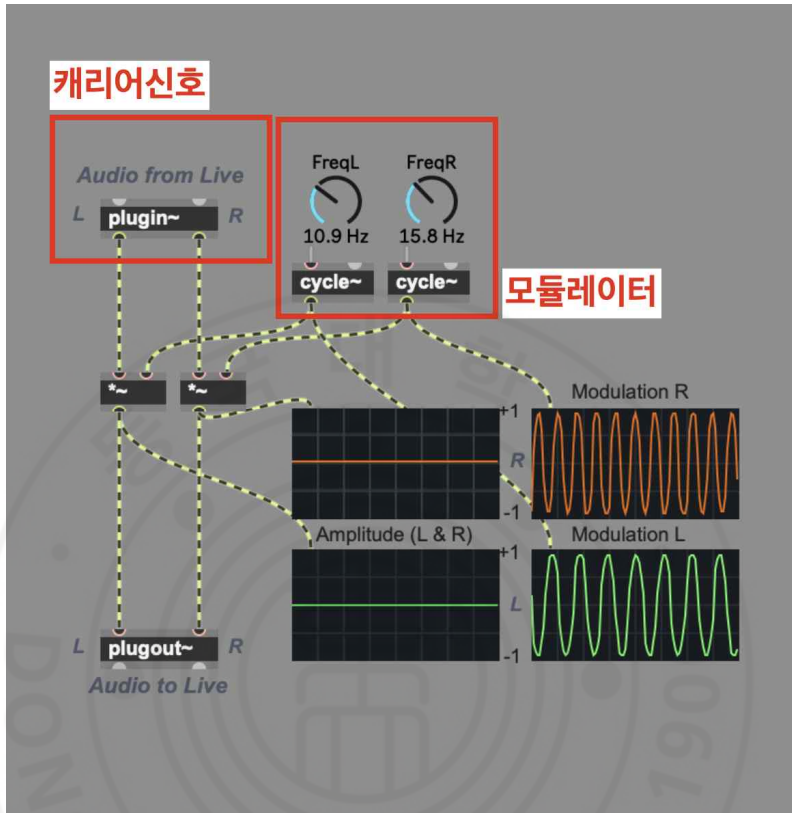
③ ring modulation 효과

전자음악에서 modulation이란 하나의 신호 혹은 하나의 소리가 가진 특성이 다른 신호의 특성에 의해 변화되는 것을 말하며 변조라고 불린다.



[그림-18] 링모듈레이션(ring modulation)

ring modulation 효과는 두 개의 신호, 즉 입력된 오디오 신호(carrier)와 변조 신호(modulator)를 서로 곱하여 새로운 배음 구조를 가진 사운드를 생성한다. 변조 신호의 주파수가 낮을 때에는 캐리어의 진폭이 천천히 커졌다 작아지는 느린 트레몰로(tremolo)처럼 들리며, 주파수가 점점 올라가면 진폭의 변화 속도가 빨라지면서 캐리어 주파수 주변에 상·하측대역(sideband)이 넓게 퍼지며 새로운 배음 구조가 형성된다.



[그림-19] dual ring modulation Max/MSP 패치

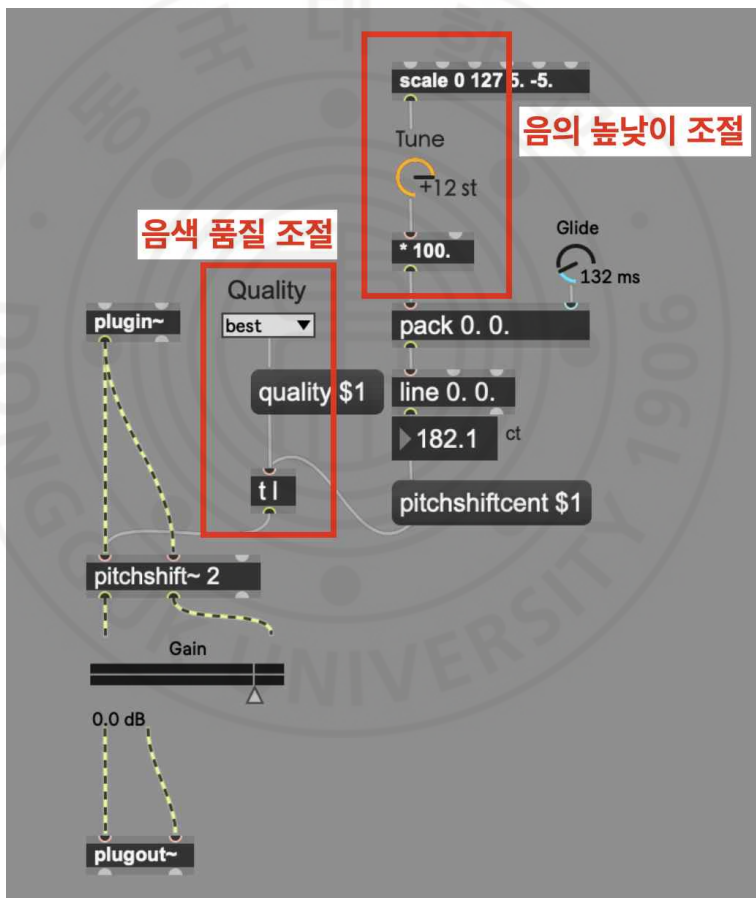
[그림-19]는 ring modulation 효과를 듀얼(dual) 버전으로 구현한 패치이다. 이전 버전과 차이점은 두 오디오 입력 신호를 공통의 오실레이터로 변조하는 대신, 각 오디오 채널(L/R)이 별도의 오실레이터로 변조된다는 점이다. 오디오 신호는 plugin~ 오브젝트를 통해 입력되며, 이 신호는 각각 왼쪽(L)과 오른쪽(R)의 *~ (곱셈) 오브젝트의 한쪽 입력으로 들어간다. 변조 신호는 cycle~ 오브젝트를 통해 생성되는데, freqL 노브로 제어되는 왼쪽 cycle~ 이 왼쪽 채널을, freqR 노브로 제어되는 오른쪽 cycle~ 이 오른쪽 채널을 변조한다. 이렇게 cycle~ 에

서 생성된 사인파(sine wave) 변조 신호와 입력 오디오 신호가 *~ 에서 곱해지며 링모듈레이션이 완성된다. 최종적으로 변조된 두 신호는 pluginout~ 오브젝트를 통해 출력된다. 각 채널이 독립된 주파수의 변조 신호를 사용함으로써 공간적 몰입감을 제공하는 스테레오 효과를 만든다. cycle~ 에서 발생하는 사인파가 가플란 사운드의 음량 값에 들어가 변조를 일으키게 만들었고 사인파의 주파수를 실시간으로 변화할 수 있게 제작하였다.



④ pitch shift 효과

pitch shift 효과는 오디오 신호의 음높이(pitch) 또는 음정을 변경하
되, 소리의 재생 속도(tempo)는 유지하는 음향 효과이다. [그림-20]은
pitchshift~ 오브젝트를 활용한 패치이다.



[그림-20] pitch를 조절 가능한 Max/MSP 패치

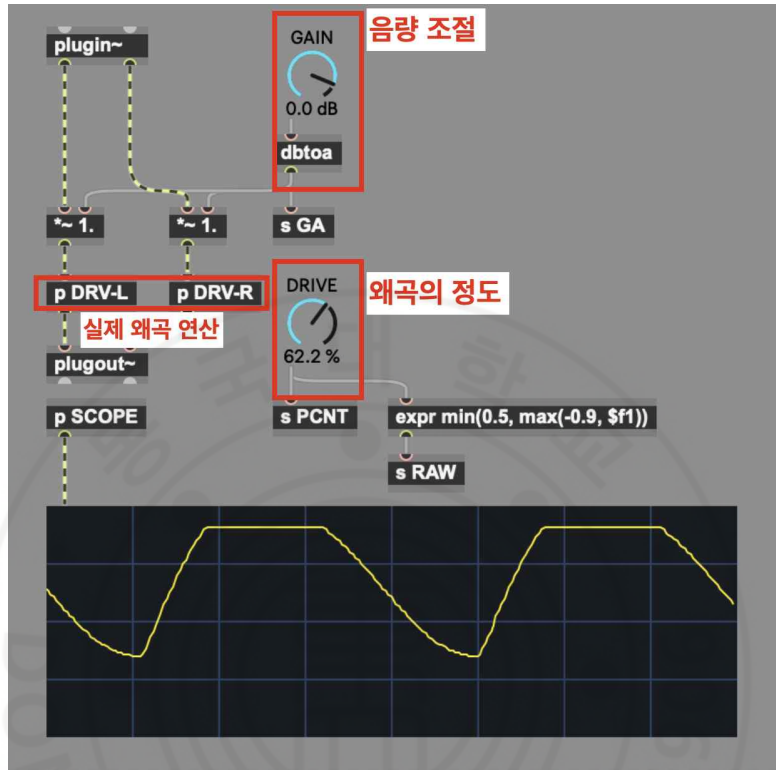
음의 높낮이를 semitone⁴⁸⁾ 단위로 조절이 가능하며 밀리세컨드 단위로 glide⁴⁹⁾ 효과를 연출할 수 있다. 또한 변화되는 음색의 품질을 선택할 수도 있다. 가플란의 구성음을 시간의 흐름에 따라 옥타브 단위로 중첩하여, 음의 높낮이를 낮추었다가 다시 높이는 방식을 사용함으로써 멜로디 패턴이 단조롭지 않도록 구성하였다.

⑤ overdrive 효과

overdrive 효과는 입력된 오디오 신호의 진폭(amplitude)을 인위적으로 증폭시켜 파형의 상한선과 하한선이 클리핑(clipping)되거나 제한(limiting)되는 비선형적인 왜곡(non-linear distortion)효과이다. 오버드라이브 효과는 파형의 모양을 사각형에 가깝게 왜곡시키면서 원음의 기본 주파수 외에 짝수 차수 및 홀수 차수의 배음을 풍부하게 생성한다. 특히 짝수 차수의 배음이 강하게 생성될 경우 소리는 따뜻하고 부드러운 특성을 가지며, 이는 기타 사운드를 두껍게 만들거나 신시사이저 소리에 밀도와 존재감을 더하는 데 활용된다. [그림-21]은 들어오는 오디오 신호에 소프트 클리핑(soft clipping) 형태의 오버드라이브 효과를 적용한 패치이다. 입력 오디오 신호는 plugin~ 을 통해 들어오며, *~ 1. 오브젝트를 거쳐 p DRV-L 및 p DRV-R이라는 두 서브패치로 전달된다. 이 서브패치 내부에서 실제 왜곡 연산이 이루어지며, 입력 신호의 피크(peak) 부분이 부드럽게 압축되어 배음을 생성한다.

48) 반음을 의미

49) 두 음 사이를 계단식으로 점프하지 않고, 음높이가 미끄러지듯 연속적으로 이동



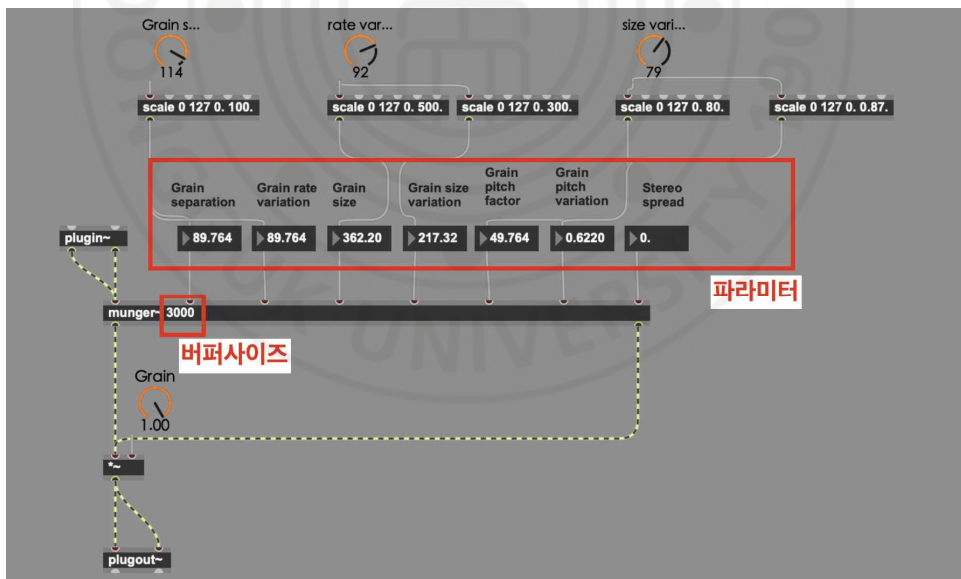
[그림-21] overdrive Max/MSP 패치

왜곡의 정도는 drive 노브를 통해 조절되며, 이 값은 send PCNT 오브젝트로 전송되어 서브패치에 영향을 준다. gain 노브는 왜곡된 신호의 최종 출력 레벨을 dbtoa 를 거쳐 선형 계인으로 변환한 후 send GA를 통해 서브패치 출력단에 전달하여 음량을 조절한다. 하단의 웨이브폼은 scope~ 오브젝트를 통해 사인과 입력 신호가 오버드라이브를 거쳐 위아래가 부드럽게 깎인 형태를 시각적으로 보여준다. 이로써 이 패치는 입력 신호에 밀도와 질감을 부여하는 오버드라이브 효과를 구현하며, plugout~ 을 통해 최종 오디오를 출력한다. 특히, 이 패치는 서브패치 내부에서 clip~ -0.9 0.9 와 같이 대칭적인 클리핑을

사용한다. 대칭 클리핑은 주로 홀수 차수의 배음을 강하게 생성하므로, 소리가 따뜻하기보다는 거칠고 날카로운 특성을 가진다. 이러한 특성을 작품의 하이라이트 구간에 적용함으로써 전체적인 사운드의 공간감과 밀도가 증가하도록 오버드라이브 효과를 구현하였다.

⑥ granular synthesis 효과

granular synthesis는 오디오 샘플을 아주 작은 단위(grain, 입자)로 나누고 그 입자들을 다양한 방식으로 재배열하거나 변형해 새로운 사운드를 만들어내는 합성 방식이다. [그림-22]는 munger~ 오브젝트를 활용하여 granular synthesis 효과를 구현한 패치이다.



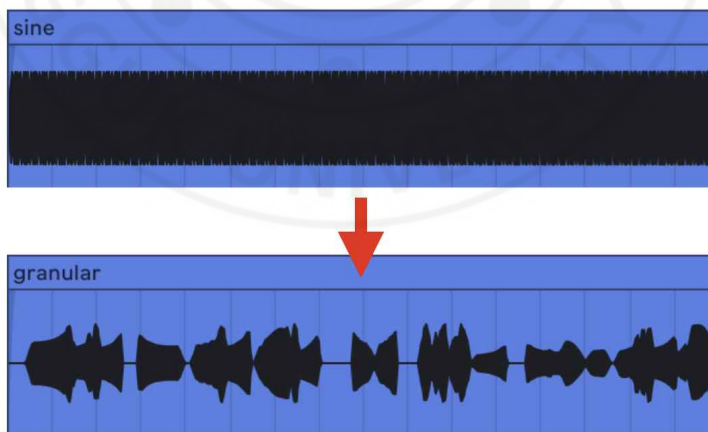
[그림-22] granular synthesis Max/MSP 패치

munger~ 는 들어오는 오디오 신호를 그레인 단위로 처리하며, 지정된 용량의 버퍼를 사용하여 소리를 저장한다. 이 패치는 그레인의 특성을 제어하는 7가지 핵심 매개변수를 제공한다. grain separation은 그레인 간의 간격(밀도)을 조절하고, grain rate variation은 그레인의 재생 속도 변화 폭을 결정하며, grain size는 각 그레인의 지속 시간을 설정한다. grain size variation은 그레인 크기의 무작위 변동 폭을, grain pitch factor는 그레인의 재생 주파수를, grain pitch variation은 피치 변화의 무작위성을 제어한다. 마지막으로 stereo spread는 생성된 그레인들을 스테레오 공간 내에서 분산시키는 정도를 조절한다. 주요 파라미터에 실시간으로 컨트롤하기 위해 필요한 live.dial 오브젝트와 scale 오브젝트를 연결해주었으며, 작품에서는 특히 하나의 live.dial을 grain size와 grain size variation에 동시에 연결하여 그레인의 기본 크기를 조절함과 동시에 그 크기의 무작위성을 함께 변화시켜 더욱 유기적이고 복잡한 질감의 변조를 시도하였다. 또한, live.dial 의 0부터 127까지의 값을 scale 을 통해 필요한 만큼의 수치로 치환되게 하였으며, 불규칙한 사운드 변조를 위해 음정과 사이즈의 변화 값도 과감하게 조절할 수 있게 하였다. 이 모든 매개변수들은 munger~ 의 입력 포트에 전달되어 그레인의 질감과 움직임을 결정하며, 처리된 그레인 사운드는 pluginout~ 을 통해 출력된다.

<표-2> munger~ 오브젝트의 파라미터

이름	역할
Grain separation	그레인 간의 간격(밀도) 조절
Grain rate variation	그레인의 재생 속도 변화 폭 결정
Grain size	각 그레인의 지속 시간 설정
Grain size variation	그레인 크기의 무작위 변동 폭 제어
Grain pitch factor	그레인의 재생 주파수(음정) 조절
Grain pitch variation	피치 변화의 무작위성 제어
Stereo spread	그레인들의 공간적 분산 정도 조절

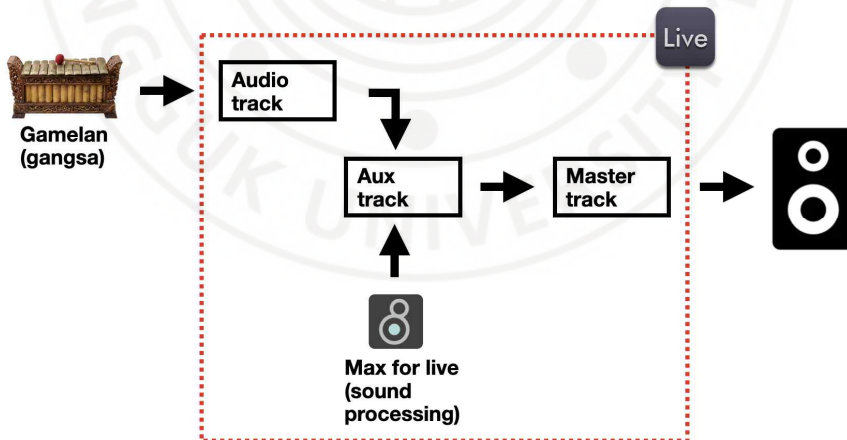
[그림-23]은 220Hz의 사인파와 그 파형을 100ms 단위로 나눈 granular synthesis로 합성한 파형의 모습을 보여준다. 위 그림과 같이 granular synthesis 효과를 적용하면 각각의 소리 입자들이 곡물과 흡사하게 보인다 하여 그레인(grain)이라고 부른다.



[그림-23] sine파와 granular synthesis 합성이 된 파형 비교

3) 사운드 시스템

작품 <Ambient Reboot: Debussy's Signal>은 가믈란 라이브 연주에 실시간 사운드 프로세싱을 적용하는 방식으로 구성되었다. 작품의 음향 효과는 Max/MSP 환경에서 제작되었으며, 이를 Ableton Live의 Max for Live를 통해 가믈란 연주 신호에 실시간으로 적용하였다. 가믈란의 연주 신호는 오디오 인터페이스를 통해 컴퓨터로 입력되며, 입력된 신호는 Ableton Live의 가믈란 트랙으로 전송된 후 send 방식을 통해 aux 트랙으로 전달된다. 이러한 구조 내에서 aux 트랙에 삽입된 사운드 프로세싱 패치를 활용하여 다양한 음향효과를 실시간으로 구현하였다. [그림-24]는 본 작품에서 사용된 aux 트랙 기반의 send/return 방식의 기본 원리를 도식화한 것이며, 이를 통해 실시간 사운드 프로세싱의 흐름과 구조적 관계를 명확히 이해할 수 있다.



[그림-24] aux 트랙을 활용한 send/return 방식

가플란 사운드는 최종 출력 경로에 신호를 전달하는 동시에 별도의 aux 트랙으로도 신호를 보낸다. 이 aux 트랙에서는 가플란 사운드에 대해 별도의 사운드 프로세싱이 적용되며, 프로세싱된 신호는 다시 최종 출력으로 합쳐진다. 따라서 원래의 사운드와 처리된 사운드가 병렬로 혼합되어 출력된다. send/return 방식을 사용할 때의 가장 큰 장점은 가플란 사운드를 100% 유지한 상태에서 프로세싱된 신호만 원하는 비율로 추가할 수 있다는 점이다. 일반적인 dry/wet⁵⁰⁾ 비율 조절과 달리, 가플란 신호의 손실 없이 프로세싱 신호의 양만 제어할 수 있어, 보다 자연스럽게 유연한 믹싱(mixing)⁵¹⁾이 가능하다. 또한 이 방식은 여러 트랙을 하나의 aux 이펙트 프로세서로 보낼 수 있어 시스템의 효율적 사용에도 기여한다. send 신호는 원본 트랙에서 복사되어 aux 트랙으로 보내져, 그곳에서 이펙트 프로세싱을 받고 다시 메인 출력을 향해 합쳐진다. 이때 aux 트랙 신호는 보통 페이더나 노브로 조절하여 프로세싱 레벨을 개별적으로 설정할 수 있다. 이런 구조는 공간계 이펙트(리버브, 딜레이 등)의 활용에 특히 유용하며, 믹스 전반의 음질 유지와 창의적 사운드 디자인에 큰 도움을 준다.

50) 오디오 효과에서 원신호(dry)와 처리된 신호(wet)의 혼합 비율을 조절하는 매개변수

51) 다수의 개별 오디오 트랙을 조화롭게 결합하여 하나의 통합된 사운드를 만드는 과정



[그림-25] Ableton live의 session view

[그림-25]는 작품에 활용한 Ableton live의 session view⁵²⁾ 모습이다. 이 그림은 Ableton Live 환경에서 send/return 방식으로 사운드 프로세싱 시스템을 구성한 예를 제시한다. 좌측에는 가를란 사운드를 위한 메인 트랙을 배치하고, 다양한 사운드 프로세싱 효과가 적용된 여러 send/return 트랙으로 신호를 분배하였다. 각 트랙의 상단에 위치한 send 노브를 조절하여, 신호를 각 aux 트랙으로 전달하는 양을 지정할 수 있다. 이와 같은 구조를 적용함으로써, Max/MSP로 제작한 여러 음향 효과 패치를 효율적으로 결합하여 사용하였다. 가를란 트랙을 연주할 때 다수의 send 노브를 동시에 물리적으로 제어하는 것은 어려우므로, 핵심적으로 필요한 몇 개의 노브만 미디 컨트롤러에 할당하여 실시간 조작하였다.

52) 타임라인에 구애받지 않고 음악의 재료(클립)를 자유롭게 연주하는 공간

추가적인 send 노브의 제어는 Ableton Live의 오토메이션(automation)⁵³⁾ 기능을 활용하여 시간의 흐름에 따라 자동으로 사운드 프로세싱이 변화하도록 구현하였다. 본 시스템은 라이브 퍼포먼스 환경에서 다양한 이펙트 신호의 혼합, 창의적 사운드 디자인 및 유연한 제어가 요구되는 상황에 효과적으로 대응할 수 있도록 설계하였다.



53) 볼륨, 패닝, 효과 매개변수 등의 변화를 시간에 따라 자동 기록·재생하는 기능

3. 영상 제작 연구

1) 영상 시스템

본 연구에서는 앞서 사례 연구에서 다룬 오스카 피싱거의 <An Optical Poem(시각적인 시)>의 작품 방식을 기반으로, 본 논문의 작품인 <Ambient reboot: Debussy's signal>의 주제와 연관된 동시대 인상주의 미술의 시각적 특징을 탐색하고자 다양한 시각 효과를 조사하였다. 인상주의 화가들은 팔레트에서 물감을 완전히 혼합하지 않은 상태로 원색과 밝고 순수한 색채를 사용하고, 이를 캔버스 위에 작은 붓 터치로 병치(juxtaposition)⁵⁴⁾하여 배치하는 기법을 활용하였다. 이 과정에서 색채는 물리적으로 섞이지 않지만, 관람자의 시각적 인지에 의해 혼합되는 시각적 혼합(optical mixture) 효과가 발생한다. 또한 인상주의 화가들은 세밀한 재현을 지양하고, 짧고 단절된 붓 터치와 다양한 색채의 병렬적 구성을 통해 색채 분할(divisionism)⁵⁵⁾ 기법을 사용하며, 이는 빛의 떨림과 특정 순간의 전체적인 분위기(인상)를 강조하는 데 목적을 두었다. 이러한 미술적 접근은 전통적 회화 방식에서 벗어난 인상주의의 혁신적 특징으로 평가되며, 작품에서 즉각적이고 시각적인 효과를 구현하는 데 중점을 둔다.

54) 혼색 대신 원색·보색을 작은 터치로 나란히 배치하여 망막상 시각적 혼합으로 밝게 생동하는 빛 효과를 창출하는 기법

55) 팔레트 혼색 대신 순수 원색을 작은 점/터치로 화면에 병치하여 관람자 망막에서 광학적 혼합으로 밝고 생동한 빛 효과

이러한 효과를 디지털 환경 속에서 재현하기 위해 본 연구에서는 노트 기반⁵⁶⁾ 실시간 비주얼 프로그래밍 툴인 TouchDesigner⁵⁷⁾를 활용하였다. TouchDesigner는 음향 신호나 센서 데이터와 같은 다양한 입력을 시각적 요소로 변환할 수 있는 인터랙티브⁵⁸⁾ 미디어 제작 도구로, 빛의 변화나 색채의 분할, 시각적 떨림 등의 인상주의적 효과를 동적으로 구현하기에 적합하며 Ableton Live와도 뛰어난 연동성을 갖추고 있다. 특히 본 작품에서는 Ableton Live에서 발생하는 음악적 신호를 색의 파동이나 형태의 움직임으로 변환하여, 각기 다른 시각적 요소들이 시간의 흐름 속에서 마치 인상주의 화가의 붓 터치처럼 상호작용하도록 설계하였다. 이를 통해 인상주의 회화의 감각적이고 순간적인 인상을 현대적 오디오비주얼 미디어 환경 속에서 확장적으로 재해석하고자 하였다.

56) 시각적 그래프 에디터에서 노트(작은 기능 블록)를 연결해 프로그램을 구성하는 방식

57) 실시간 인터랙티브 멀티미디어 제작 도구로, 노트 기반 비주얼 프로그램

58) 사용자의 입력(동작, 터치, 제스처, 소리)에 반응하며 상호작용하는 특성

2) TouchDesigner를 이용한 영상 제작

① noise

노이즈(noise)는 20세기 이전까지 주로 ‘방해가 되는 소리’라는 부정적 개념으로 이해되었으나, 20세기 초 통신 공학과 물리학의 발전을 거치면서 신호 전송 과정에서 발생하는 오류와 편차 전반을 지칭하는 개념으로 확장되었다. 축음기, 전화기, 라디오와 같은 음향 재생 기술의 등장과 더불어 브라운운동⁵⁹⁾에 대한 물리학적 연구, 그리고 수학적 측정 이론의 정립은 노이즈를 단순한 잡음이 아닌 계량·분석 가능한 변수로 전환시켰고, 이는 이후 정보 이론과 통신 시스템 전반에 적용되었다. 컴퓨터 그래픽스 분야에서는 1980년대 텍스처 매핑(texture mapping)⁶⁰⁾ 기술의 부상과 함께 노이즈가 물체 표면의 시각적 속성을 변조하는 핵심 도구로 자리 잡았다. 초기 컴퓨터 그래픽스 분야에서는 단순 난수 생성기(random number generator)⁶¹⁾를 이용하여 텍스처를 변조했으나, 완전한 무작위성만으로는 자연스러운 질감과 구조를 표현하는데 한계가 있었다. 이에 따라 격자(grid)상에 의사 난수를 바탕으로 한 그라디언트(gradient)⁶²⁾를 생성하고, 인접한 값들이 연속적으로 변화하도록 보간(interpolation)⁶³⁾하는 방식의 그라디언트 노이즈 함수가 개발

59) 영국의 로버트 브라운(Robert Brown)이 발견한 것으로 액체 혹은 기체 안에 떠서 움직이는 작은 입자의 불규칙한 운동

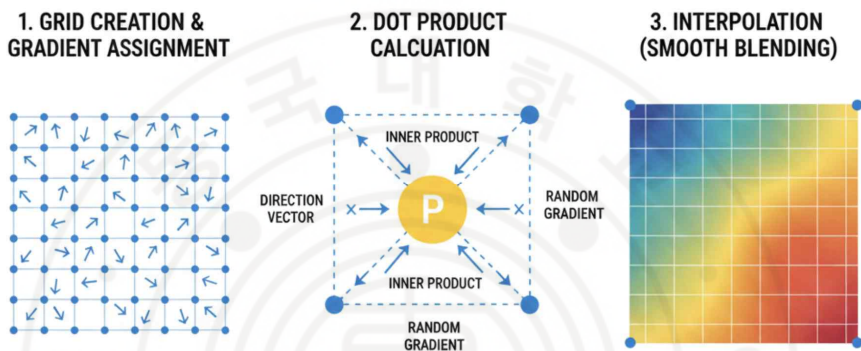
60) 2D 이미지(텍스처)를 3D 모델 표면에 적용해 세부 질감, 색상, 패턴을 부여하는 기법

61) 컴퓨터에서 무작위 숫자를 생성하는 알고리즘 또는 장치

62) 색상이나 값이 위치에 따라 부드럽게 변화하는 패턴

63) 알려진 데이터 포인트 사이의 중간 값을 추정하는 수학적 기법

되었다. Ken Perlin(1955~)⁶⁴⁾이 제안한 perlin noise와 이를 고차원에서 개선한 simplex noise가 대표적인 사례이며, [그림-26]은 그래디언트 노이즈(특히 perlin, simplex)의 기본 연산 과정(격자 할당 → 내적 계산 → 보간)을 설명한다.



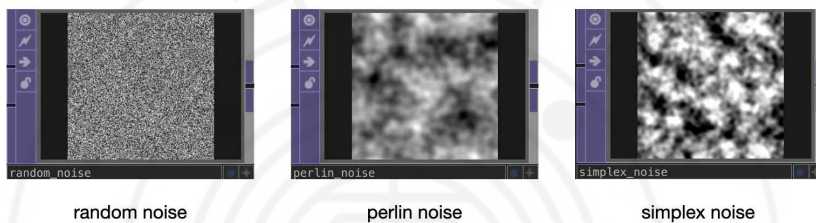
[그림-26] 그래디언트 노이즈(perlin, simplex)의 기본원리

이들 알고리즘은 완전한 백색소음이 아니라 공간적으로 상관성을 지닌 코히어런트 노이즈(coherent noise)⁶⁵⁾를 생성함으로써, 구름, 연기, 물결, 암석, 대리석 무늬 등 자연 현상을 시뮬레이션하는 데 널리 활용된다. TouchDesigner에서 노이즈는 이러한 코히어런트 노이즈의 개념을 시각·청각매체 제작 환경으로 직접적으로 가져오는 역할을 수행한

64) 컴퓨터 그래픽스의 거장이자 디지털 미디어와 시각 효과의 기초를 닦은 미국의 컴퓨터 과학자이자 뉴욕대학교 교수

65) 프로시저럴 콘텐츠 생성을 위한 결정론적 의사 난수 함수로, 같은 입력 좌표에 항상 동일한 출력 값을 생성해 일관된 패턴을 만든다

다. 특히 Noise TOP 오퍼레이터⁶⁶⁾는 사용자가 선택한 알고리즘(예: random, perlin, simplex, sparse, hermite 등)에 따라 무작위성이 포함되면서도 공간적으로 연속적인 패턴을 생성하며, 이 패턴을 텍스처 이미지로 출력하여 다른 TOP, SOP, CHOP 네트워크와 결합할 수 있도록 한다. [그림-27]은 터치디자이너에서의 Noise TOP 오퍼레이터의 구현 모습이다.



[그림-27] TouchDesigner의 노이즈 타입

이때 노이즈의 진폭(amplitude), 주기(period), 조화 성분 수(harmonics), 분포를 결정하는 지수(exponent)등 다양한 파라미터⁶⁷⁾를 제공함으로써, 노이즈의 스케일, 대비, 복잡성을 정밀하게 제어할 수 있으며, 그 결과로 생성된 데이터는 3D 지오메트리⁶⁸⁾의 표면을 변위(displacement)⁶⁹⁾시키거나, 애니메이션 파라미터를 유기적으로 변화시키고, 빛의 깜박임이나 연기의 흐름과 같은 미세한 변동을 실시간으로 시뮬레이션하

66) 노드 기반 프로그래밍의 기본 단위로, 기능을 수행하는 시각적 블록(박스)

67) 오퍼레이터(OP)의 설정 값을 조정하는 컨트롤 패널

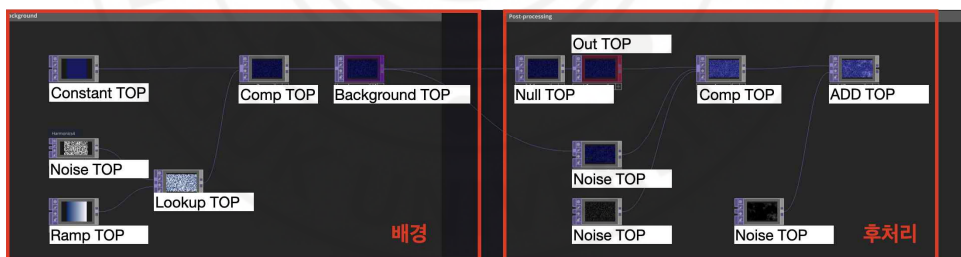
68) SOP(Surface Operator)를 통해 생성·수정·조합하는 3D 표면 데이터

69) 물리학에서 물체의 초기 위치와 최종 위치 사이의 직선 벡터 차이

는 데 활용된다. 따라서 TouchDesigner의 Noise 오퍼레이터는 추상적인 수학적 노이즈 함수를 실시간 시각·청각 효과로 변환하는 핵심적인 매개로 기능하며, 제어된 무작위성을 통해 디지털 오브젝트에 반복되지 않는 유기적 생명력을 부여하는 생성 도구라 할 수 있다.

② TOP을 활용한 제작과정

TouchDesigner의 주요 세 가지 네트워크 중 하나인 TOP(Texture Operator) 네트워크는 텍스처와 이미지, 비디오 데이터를 다루며, 모든 픽셀 기반 작업, 렌더링 결과물의 처리, 합성 및 이펙트 작업이 이 네트워크에서 진행된다. [그림-28]은 작품 <Ambient reboot: Debussy's signal>의 영상 첫 번째 구간으로, TOP 네트워크의 Noise TOP 오퍼레이터를 주로 활용하여 제작되었다. 해당 구간은 배경 생성(background)과 후처리(post-processing)의 두 단계로 구성된다.



[그림-28] Noise TOP을 활용하여 제작한 TouchDesigner 패치

배경 생성 단계에서는 Constant TOP으로 어두운 기본 배경을 설정하고, Noise TOP을 통해 랜덤 패턴을 생성한다. Ramp TOP으로 색상 그라디언트를 준비한 다음, Lookup TOP을 이용해 Noise TOP의 흑백

값에 Ramp TOP의 색상을 적용하여 컬러 노이즈 패턴을 만든다. Comp TOP은 이 패턴을 기본 배경에 합성해 초기 배경 패턴인 Background TOP을 완성한다. 후처리 단계에서는 Null TOP이 Background TOP의 텍스처를 전달하고, Out TOP이 이를 시스템에 출력한다. Comp TOP을 통해 배경에 또 다른 Noise TOP 패턴을 더해 디테일을 부여하고, Noise TOP들의 합성 결과에 디스플레이스먼트(displacement)와 같은 왜곡 효과를 적용한다. 최종적으로 Out TOP은 변형된 동적 비주얼을 화면에 출력하며, 전체 네트워크는 유기적인 노이즈 패턴의 실시간 생성 및 변형 과정을 보여준다.

③ SOP을 활용한 제작과정

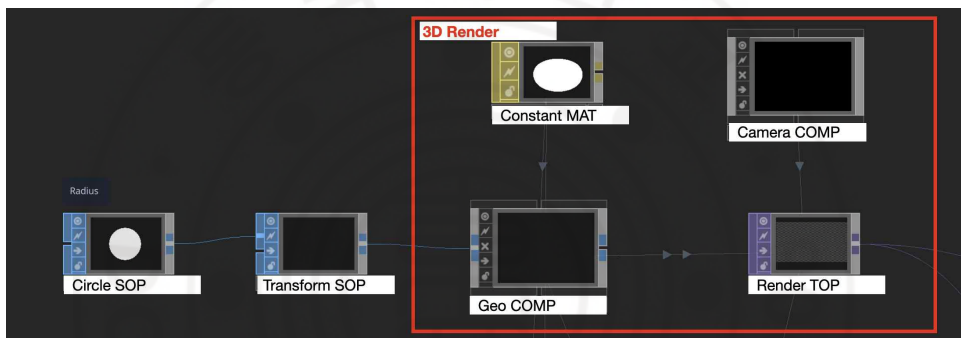
마찬가지로, 주요 세 가지 네트워크 중 하나인 SOP(Surface Operator) 네트워크는 3차원 지오메트리 데이터를 다루며, 점·선·면으로 구성된 3D 모델의 생성, 변형, 처리 작업이 이 네트워크에서 이루어진다. SOP 네트워크는 다른 네트워크와 차별화되는 특징을 지닌다. SOP 네트워크에서 제작된 3D 결과물을 실제 화면에 렌더링⁷⁰⁾하기 위해서는 반드시 지오메트리 컴포넌트(Geo COMP)⁷¹⁾와 카메라 컴포넌트(Camera COMP)⁷²⁾가 필요하다. SOP 네트워크를 Geo COMP 내부에 연결해야 TouchDesigner가 해당 구조물을 3D 오브젝트로 인식하며, 이 오브젝트의 시점과 뷰를 지정하기 위해 Camera COMP를 사용한다. 또한 모든 3D

70) 컴퓨터가 내부적으로 계산한 가상의 데이터를 사람이 볼 수 있는 형태로 변환하는 작업

71) 터치디자이너에서 3D 표면이나 객체를 포함하는 컨테이너

72) 3D 장면을 관찰하는 가상 카메라 객체

정보를 픽셀 기반 이미지로 변환하는 과정에서는 Render TOP⁷³⁾이 필수적으로 활용된다. 따라서 SOP 네트워크는 3D 데이터를 생성하는 도구이며, Geo COMP와 Camera COMP는 이러한 데이터를 렌더링하여 최종 비주얼로 구현하는 데 필요한 필수 구성 요소라 할 수 있다. [그림-29]는 영상의 두 번째 구간으로, SOP 네트워크의 Circle SOP 오퍼레이터를 주로 활용하여 제작되었다.



[그림-29] Circle SOP을 활용하여 제작한 TouchDesigner 패치

[그림-29]는 원 모양을 만들어 화면에 그림을 그리는 과정을 보여준다. Circle SOP는 원 모양의 지오메트리를 만들고, Transform SOP는 이 원을 움직이거나 크기를 바꾼다. 이렇게 만들어진 원은 Geo COMP 안에서 3D 공간에 배치된다. Constant MAT (Material Operator)은 원의 색상이나 표면 질감을 정해주며 Geo COMP에 연결된다. Camera COMP는 원을 찍는 카메라의 시점을 지정한다.

마지막으로 Render TOP은 Geo COMP와 Camera COMP 정보를 받아 3D 원을 2D 화면 이미지로 완성해 보여준다.

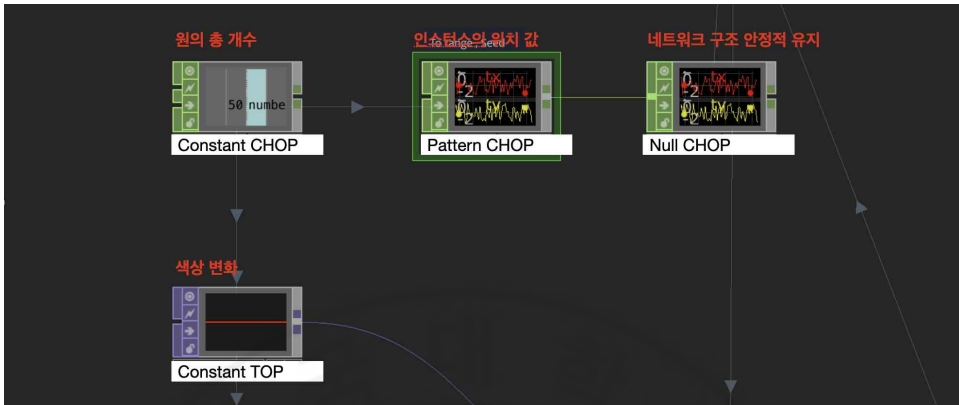
④ CHOP을 활용한 제작과정

주요 세 가지 네트워크 중 마지막인 CHOP(Channel Operator) 네트워크는 시간에 따라 변화하는 숫자 데이터, 즉 채널 데이터를 처리한다. 센서 입력, 오디오, MIDI 신호, 키프레임 애니메이션, 수학 함수 등 다양한 유형의 숫자 기반 신호가 CHOP 네트워크로 유입된다. Math CHOP⁷⁴⁾, Filter CHOP⁷⁵⁾ 등과 같은 오퍼레이터들은 이러한 데이터 스트림을 원하는 방식으로 연산·필터링·보정한다. 이렇게 가공·생성된 채널 데이터는 Null CHOP⁷⁶⁾을 통해 최종 출력되며, TOP이나 SOP 네트워크의 각종 파라미터를 직접 제어하거나 오브젝트 애니메이션, 실시간 상호작용에 활용된다. CHOP 네트워크는 터치디자이너의 모든 움직임, 동적 변화, 인터랙션을 통제하는 핵심적인 브레인 역할을 수행한다. [그림-30]은 CHOP 네트워크를 활용한 영상의 두 번째 구간 일부를 나타낸다.

74) 터치디자이너에서 입력 채널에 산술 연산(덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈 등)을 수행하는 오퍼레이터

75) 입력 채널을 샘플과 결합해 부드럽게(smooth) 하거나 날카롭게(sharp) 하는 오퍼레이터

76) 입력 데이터를 변경하지 않고 그대로 전달하는 플레이스홀더 오퍼레이터

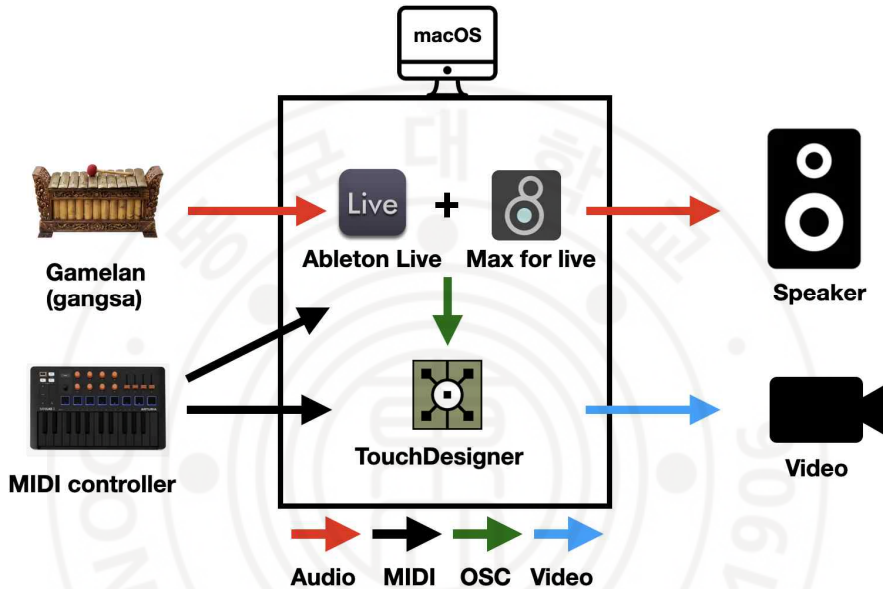


[그림-30] CHOP 네트워크를 활용하여 제작한 TouchDesigner 패치

Constant CHOP은 인스턴싱될 원의 총 개수를 정의하며, Pattern CHOP은 이 개수에 따라 각 인스턴스의 위치 값을 생성한다. 이렇게 생성된 데이터는 Null CHOP을 거쳐 Geo COMP의 인스턴싱 위치를 제어하는 데 사용된다. 마지막으로, Constant TOP은 각 노드의 색상 값을 정의한다.

4. 공연 및 연동 시스템 연구

1) 공연 시스템



[그림-31] 공연 시스템 설계도

[그림-31]은 무대에서 사용되는 사운드와 영상 시스템의 설계도를 나타낸다. 가믈란에서 수집된 오디오 신호는 마이크를 통해 오디오 인터페이스로 전달되어 컴퓨터에 입력된다. 입력된 신호는 Ableton Live의 오디오 트랙으로 들어가며, 각 트랙에 적용된 Max for Live를 통해 사운드 프로세싱이 수행된다. 각 음향 효과는 MIDI 매핑을 통해 MIDI 컨트롤러로 제어되며, 영상과 연동되는 오디오 정보는 TouchDesigner로 실시간 전송된다. 최종적으로 생성된 영상은 실시간으로 전달받은 오디오 데이터와 제어 정보를 반영하여 프로젝터를 통해 출력된다.

2) 음악과 영상의 연동 시스템

① OSC

본 작품에서는 사운드 시스템과 영상 시스템 간의 연동 방식을 위해 Ableton Live와 TouchDesigner 간의 OSC(Open Sound Control)⁷⁷⁾ 통신 방식을 선택하였다. OSC는 UDP(User Datagram Protocol)⁷⁸⁾ 기반의 네트워크 프로토콜⁷⁹⁾로, 다양한 디바이스 간 데이터 교환을 가능하게 한다. OSC는 주로 실시간 사운드 처리 및 프로그램 간 연동에 용이하며, 높은 정확도와 낮은 지연 시간이 특징이다. 본 연구에서는 OSC 통신을 통해 Ableton Live에서 생성된 오디오 신호나 MIDI 데이터를 TouchDesigner로 전송하여, 실시간으로 시각 효과·조명·다양한 미디어 요소와 상호작용하도록 구현하였다.

Ableton Live는 OSC 신호를 생성하고 전송할 수 있는 기능을 제공하며, TouchDesigner에는 Ableton Live에서 출력된 OSC 신호를 수신하기 위한 TDableton⁸⁰⁾ 도구가 내장되어 있다. TDableton은 양방향 OSC 통신을 통해 Ableton Live에서 생성되는 오디오·MIDI 및 곡 진행 정보를 TouchDesigner의 시각화 파라미터로 변환하는 표준적인 인

77) MIDI의 한계를 극복하기 위해 고안된 프로토콜로, 1997년 미국 뉴욕 대학교 ITP(Interactive Telecommunications Program)에서 개발

78) 데이터를 교환하는 방식 중 하나로, 속도와 실시간성을 최우선으로 하는 통신 방식

79) 컴퓨터나 네트워크 장치 간 데이터 송수신을 위한 표준화된 규칙과 절차의 집합

80) TouchDesigner에서 Ableton Live와의 실시간 연동을 위한 내장 도구 패키지

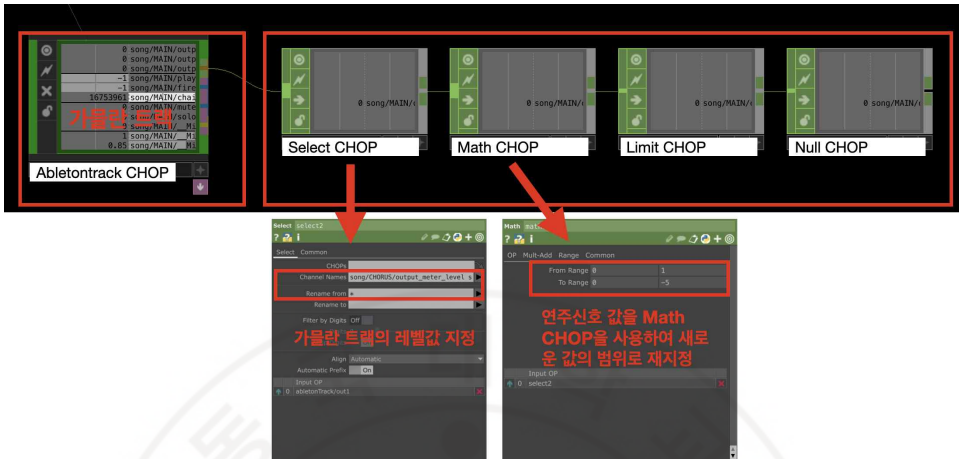
터페이스로, Ableton 측 TDA_Master 장치는 송신 허브로서 지정 포트(예: 58888)를 통해 연결 상태를 유지하고 /time 메시지 형식으로 재생 시간과 박자 정보를 지속적으로 전송한다. TouchDesigner 측 tdAbletonPackage는 Ableton Live 설치 경로와 연결 설정을 관리하는 수신 허브로서, 연결이 성립되면 Abletonsong, Abletontrack CHOP등의 컴포넌트로 데이터를 분기하여 곡의 전역 정보(BPM, 재생/정지 상태, 마디·박자, 큐 포인트 등)와 개별 트랙의 파라미터를 실시간으로 참조할 수 있도록 한다. [그림-32]는 두 시스템의 통신과정을 보여준다.



[그림-32] Ableton Live와 TouchDesigner의 두 시스템 간 OSC 통신

본 작품에서 가물란의 연주 신호는 오디오 인터페이스를 통해 컴퓨터로 입력되며, 입력된 신호는 Ableton Live의 가물란 트랙으로 전송된다. 이후 해당 트랙의 음량 값을 Circle SOP 오퍼레이터의 파라미터 radius⁸¹⁾에 매핑하여, 원의 크기가 실시간 음량 값에 따라 변화하도록 하였다. [그림-33]은 가물란의 연주 신호와 영상의 연동 과정이다.

81) 원이나 구의 중심에서 둘레까지의 거리



[그림-33] TouchDesigner에서 가블란 연주 신호와 영상의 연동 과정

Abletontrack CHOP에서 Select CHOP으로 이어지는 라인은 가블란 트랙에 정보 중 필요한 음량 채널만 선택적으로 사용하였다. Abletontrack CHOP에서 Select, Math, Limit, Null CHOP으로 이어지는 라인은 실제 시각화에 사용되는 핵심 제어 신호를 생성하는 구간으로, 우선 Select CHOP에서 다수의 트랙 파라미터 가운데 시각화 제어에 사용할 단일 수치를 선택한 뒤, Math CHOP에서 값의 범위를 원하는 영역으로 선형 변환하거나 스케일링⁸²⁾하고, Limit CHOP에서 최소·최대값을 지정하여 과도한 진폭 변화를 억제함으로써 시각 효과의 안정성을 확보한다. 최종적으로 정제된 데이터는 Null CHOP를 통해 출력되어 TOP이나 SOP등 시각 오퍼레이터의 파라미터에 매핑되며, 이를 통해 Ableton Live의 트랙·파라미터 변화가 TouchDesigner의 영상 요소에 실시간으로 반영되는 사운드-비주얼 상호작용 구조가 형성된다.

82) 입력된 데이터의 범위를 원하는 값대로 변환하여 파라미터에 맞게 조정하는 작업

② MIDI 매핑

MIDI 매핑(MIDI mapping)은 외부의 물리적 하드웨어 컨트롤러(버튼, 키보드, 노브, 페이더 등)에서 발생하는 Control Change(CC)⁸³⁾나 Note와 같은 MIDI 입력 신호를 컴퓨터 소프트웨어 내부의 특정 파라미터에 기능적으로 연결하는 인터페이스 설정 과정을 의미한다. 이 과정을 활용하면 인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스 환경에서 음악 및 영상의 제어 파라미터를 효과적으로 조절할 수 있다. MIDI 매핑을 통해 연주자는 마우스나 키보드를 통한 제한적인 입력 방식에서 벗어나, 물리적 컨트롤러를 활용하여 볼륨, 주파수, 영상 효과 등 다차원적인 변수를 직관적이고 유기적으로 제어할 수 있으며, 이러한 실시간 매핑 기능은 디지털 기반 오디오 및 비주얼 퍼포먼스에서 연주자의 의도가 즉각적으로 반영되는 상호작용성을 확보하는 데 핵심적인 역할을 한다. MIDI 매핑을 하기 위해서는 먼저 사용하는 소프트웨어 프로그램과 MIDI 컨트롤러가 필요하다. 본 작품에서 매핑이 적용된 소프트웨어는 Ableton Live와 TouchDesigner이며, MIDI 컨트롤러로는 Arturia사의 MiniLab MK3⁸⁴⁾를 사용하였다. MiniLab MK3는 노브(knob), 패드(pad), 키(key), 페이더(fader)를 모두 갖추고 있어, 작품에서 설계한 각 음향 효과에 대응하는 파라미터 값을 유연하게 조절하기에 적합한 장치이다. 작품에서 사용된 컨트롤러의 외형은 [그림-34]와 같다.

83) MIDI 프로토콜에서 연속적인 제어 값을 전달하기 위해 사용되는 컨트롤 메시지 유형

84) <https://www.arturia.com/store>



터치디자이너에서 영상효과의 세부 파라미터 제어 수치
 맥스포라이브에서 트랙 볼륨 및 사운드 프로세싱을 거친 신호 비율 제어
 맥스포라이브에서 각 음향효과의 세부 파라미터 제어 수치
 맥스포라이브에서 음향효과의 프리셋 전환

[그림-34] 공연에서 사용한 MiniLab MK3의 미디 매핑

Ableton Live에서 MIDI 매핑을 하는 방법은 먼저 MIDI 컨트롤러를 컴퓨터에 연결한 뒤, 프로그램 상단의 MIDI 맵 모드를 활성화한다. 적용하고자 하는 음향 효과의 파라미터를 클릭한 상태에서 해당 컨트롤러의 노브, 패드, 키 등을 움직이면 즉시 매핑이 적용된다. 예를 들어, 패닝(panning)⁸⁵⁾의 매개변수 값을 -127에서 127까지 자유롭게 제어하려면 MIDI 맵 모드를 켜고 패닝 파라미터를 선택한 다음, 컨트롤러의 노브를 움직여 값을 할당한다. 각 물리적 조작부(노브, 패드, 키, 페이더)의 선택 기준은 적용하려는 효과의 성격에 따라 결정되었다. 숫자 값을 선형적으로 입력할 경우 노브를 사용하였고, 신호 비율을 제어하는 용도로 페이더를 사용하였다. 특정 효과의 프리셋 호출이 필요한 경우 패드를 활용하였다. TouchDesigner에서 MIDI 매핑을 하는 방법은 MIDI In CHOP⁸⁶⁾을 활용하여 MIDI 컨트롤러의 노브를 조작하면, 해당

85) 음악에서 소리의 좌우 위치를 조절하는 것

86) TouchDesigner에서 MIDI 신호를 입력받아 실시간으로 제어 신호로 변환하는 CHOP

노브의 채널 번호가 MIDI In CHOP에 실시간으로 표기되어 입력 신호가 활성화됨을 알 수 있다. 이렇게 활성화된 각 신호는 Select CHOP을 이용해 원하는 채널만 선별한 뒤, TouchDesigner의 특정 파라미터에 연결하여 활용한다. [그림-35]는 TouchDesigner에서 MIDI 매핑이 이루어지는 절차를 시각적으로 보여준다.



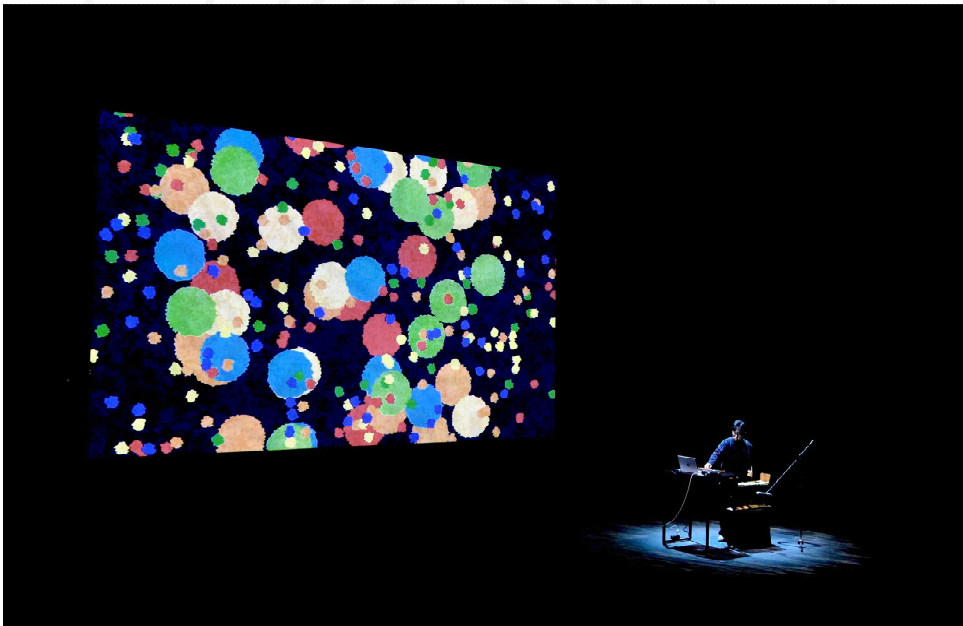
[그림-35] TouchDesigner에서 MIDI 매핑을 하는 과정

MIDI 데이터는 0에서 127 사이의 값으로 제한되기 때문에, Select CHOP 다음에 Math CHOP을 추가하여 파라미터 요구에 맞는 숫자 범위로 변환한 뒤 최종적으로 연결하였다. TouchDesigner에서의 MIDI 매핑은 주로 노이즈의 변화, 원의 움직임 및 형태 변환과 같은 시각적 요소를 제어하는 데 활용하였다.

Ⅲ. 연구 기술의 작품 적용

1. 작품 소개

연구된 가물란의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 <Ambient Reboot: Debussy's Signal>은 2025년 11월 8일 동국대학교 이해랑예술극장에서 진행된 'SEEING SOUND, LISTENING IMAGE(보는 소리, 듣는 영상) 2025'에서 초연되었다.



[그림-36] 작품 <Ambient Reboot: Debussy's Signal>의 공연 사진

작품 <Ambient Reboot: Debussy's Signal>은 클로드 드뷔시가 마주한 음악적 전환점을 21세기적 관점에서 재해석한 인터랙티브 미디어 아트이다. 해당 작품은 드뷔시가 영감을 얻었던 지점에서 출발하여, 인도네시아 전통음악인 가믈란의 전통적 음향 요소를 단순히 재현하는 것을 넘어 컴퓨터 음악을 활용하여 앰비언트 사운드로 재구성함으로써 새로운 음악적 시작을 모색하였다. 특히, 금속 타악기에서 발생하는 깊고 풍부한 울림과 잔향을 디지털 신호로 변환하여, 앰비언트 음악의 핵심 요소인 지속음과 유기적 텍스처 표현에 집중하였으며, 이와 함께 생성된 디지털 신호 데이터를 실시간으로 비주얼라이제이션하여 사운드와 영상의 상호 연동을 구현하였다.

또한 본 작품은 실시간 사운드 프로세싱을 적용하여 가믈란 멜로디가 지닌 연주적 한계를 극복하고, 음악적 표현의 풍부함을 확장하고자 하였다. 다양한 사운드 프로세싱 효과는 녹음된 테이프 뮤직 내 가믈란 악기의 소리를 변조하여 때로는 가믈란이 아닌 다른 악기처럼 들리게 탈바꿈시켰다. 더불어, 음악의 분위기에 실시간으로 반응하는 영상은 청중에게 현장감과 몰입감을 제공함으로써, 청각과 시각이 융합된 통합적 예술 경험을 창출하였다. 본 연구를 통해 전통악기와 현대 디지털 기술의 융합 가능성을 탐구하였으며, 가믈란의 고유한 소리를 현대 미디어 아트의 맥락에서 재해석하는 본 연구의 시도는 전통음악과 악기에 대한 깊이 있는 이해를 바탕으로, 인터랙티브 미디어 작품이 나아갈 새로운 예술적 방향성을 제시하는 중요한 의미를 가진다. 이는 전통적 음악 요소의 현대적 변용을 통해 시청각적 통합 경험을 창출하며, 전통과 현대의 경계를 넘나드는 예술적 확장 가능성을 탐구한다는 점에서 그 의의가 크다. 이러한 접근은 가믈란 음악의 재해석뿐만 아니라, 미디어 아트를 통한 새로운 문화적 담론 형성에도 기여한다.

2. 작품 구성

1) 음악 구성

본 작품은 새로운 음악적 시작(reboot)을 탄생에 빗대어 탄생하는 과정을 표현하기 위해 A-B-C-C'-D-C'의 구성으로 나누었다. <표-3>은 음악 구성에 따른 악기와 음향효과를 표로 정리하여 나타냈다.

<표-3> 음악 구성

section	악기	음향효과
A (0:02~0:21)	gamelan, pad synth	reverb, delay
B (0:21~2:06)	gamelan, additive synth(lead) FM synth(pluck)	reverb, delay, ring mod, pitch shift
C (2:06~2:36)	gamelan, additive synth(lead) FM synth(pluck), pad synth piano synth	reverb, delay, ring mod, pitch shift, overdrive
C' (2:36~3:33)	gamelan, additive synth(lead) FM synth(pluck), pad synth piano synth, bell synth	reverb, delay, pitch shift, overdrive, granular
D (3:33~4:12)	gamelan, additive synth(lead), bell synth, cymbal	reverb, delay, ring mod, pitch shift, overdrive
C' (4:12~5:36)	gamelan, additive synth(lead) FM synth(pluck), pad synth piano synth, bell synth, drum	reverb, delay, ring mod, pitch shift, overdrive, granular

A section 에서는 작품의 첫 과정인 탄생을 상징하는 이미지에 부합하도록 차분하고 조용한 인트로를 구성하였다. 많은 악기를 사용하지 않고 가블란과 패드 사운드만을 사용하여 단순하고 느린 멜로디를 반복하였고, 울림과 깊이를 강조하고 음색을 확장하기 위해 delay와 reverb 효과를 주었다. 무(無)에서부터 무언가가 피어나려는 듯한 이미지를 표현하고자 하였다.

B section 에서는 무수히 많은 작은 원들이 생성되는 시각적 이미지를 제시하였으며, 관람자들의 반응을 종합한 결과 꽃의 씨앗이나 별과 같은 해석이 주를 이루었다. 이러한 이미지에 부합하는 사운드를 구현하기 위해 FM synth를 활용하여 플럭 사운드를 제작하였는데, 플럭 사운드는 짧고 단단한 공격음과 빠른 감쇠 특성으로 인해 작고 선명한 객체의 이미지를 효과적으로 전달한다. 여기에 additive synth를 추가로 적용하여 공명감을 강화함으로써 시각적 이미지와의 통합적 조화를 이루어냈다. 이어 작은 원들이 미세하게 움직이기 시작하는 과정에서, 원들의 움직임을 더욱 효과적으로 구현하기 위해 ring modulation 효과를 적용하여 사운드의 동적 변화를 강조하였고, pitch shift 효과를 통해 단선을 멜로디를 다층적으로 확장함으로써 다수의 원들과의 시각적 이미지를 일치시켰다. 이러한 사운드 설계는 시각적 동역학과 음악적 전개를 유기적으로 연동하는 데 기여하였다.

C section 에서는 무수히 많은 작은 원들이 점차 커지는 이미지를 제시하였으며, 이러한 시각적 전개에 부합하도록 음악의 음량을 점진적으로 증대시키고 piano synth를 추가하여 노트 수를 확대하였다. 이러한 음악적 구성은 일반적으로 빌드업(build-up)⁸⁷⁾으로 표현되며, B sec

87) 긴장감을 점진적으로 고조시켜 클라이맥스로 이어지는 구간

tion 의 음향 효과에 overdrive 효과를 추가 적용함으로써 음량 증가를 더욱 거칠게 강조하였다. 이러한 사운드 설계는 시각적 확대와 음악적 긴장감의 동시적 고양을 효과적으로 구현하는 데 기여하였다.

C' section 에서는 무수히 많아진 원들이 노이즈로 인해 변형되고 끊임없이 움직이는 시각적 이미지를 제시하였다. 이러한 시각적 전개에 부합하도록 C section 대비 음량과 노트 수가 더욱 확대되었으며, bell synth를 추가하여 가물란 멜로디를 한층 다채롭게 구성하였다. 여기에 granular 효과를 적용함으로써 추상적이고 복잡한 사운드 텍스처를 형성하여, 시각적 풍부함과 동적 움직임을 효과적으로 반영하였다.

D section 에서는 노이즈로 인해 변형된 원들이 완전히 흐트러져 원형을 상실하고, 바람에 흩날리는 파편들처럼 움직이는 차분한 시각적 이미지를 형성하였다. 이러한 이미지에 부합하도록 멜로디 악기인 가물란과 bell synth를 남겨 조용한 연주로 구성하였으며, additive synth로 미세한 공명감을 더하였다. 이러한 구성은 가장 화려한 클라이맥스 직전의 전환부로서, 이러한 음악적 구성을 브릿지(bridge)⁸⁸⁾라고 표현한다.

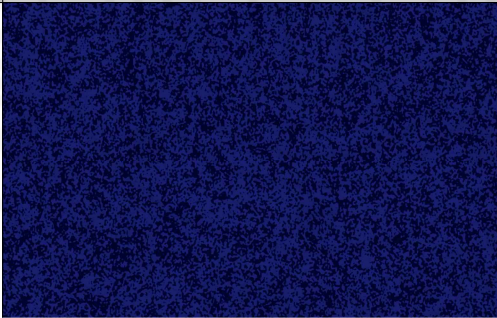
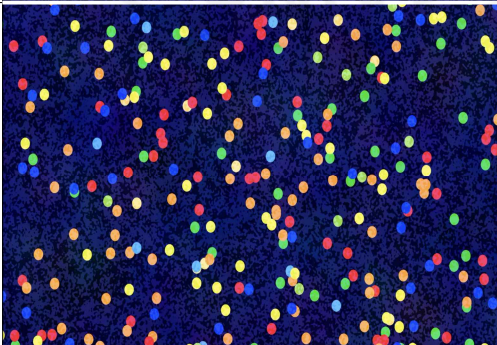
88) 곡의 절과 후렴을 연결하는 전환부

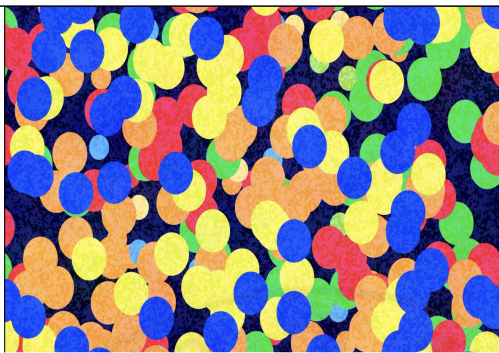
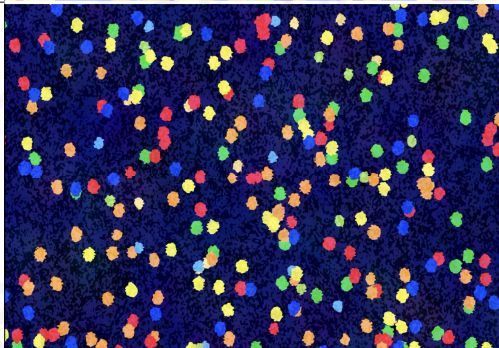
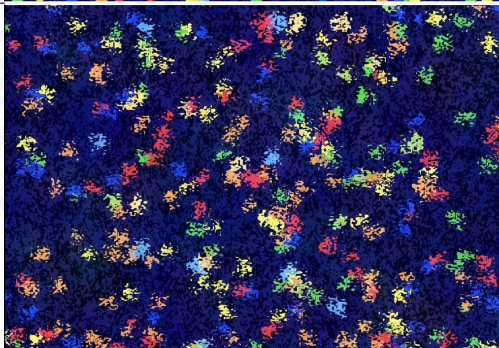
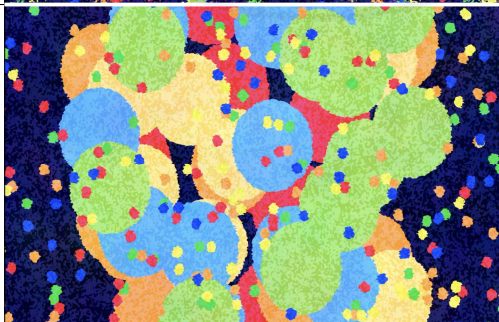
2) 영상 구성

영상은 음악 구성에 맞추어 A-B-C-C'-D-C'의 6가지 패턴으로 설계되었으며, 각 패턴은 음악의 전체적 분위기와 섹션별 서사적 의미를 시각적으로 표현한다. 차분하고 조용한 첫 번째 이미지는 무(無)에서 출발하는 듯 아무것도 없는 상태로 시작하여 탄생, 성장, 변화, 만개 직전의 어두움, 그리고 최종 만개에 이르는 이미지를 순차적으로 구현하였으며, 모든 영상 효과는 음악과 실시간으로 연동되어 동기화되었다.

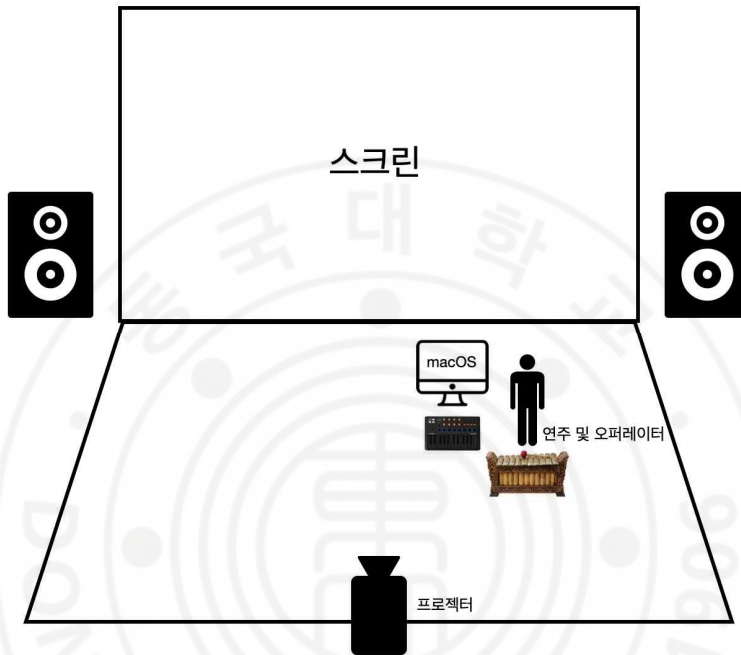
<표-4>는 영상 구성에 따라 진행되는 이미지와 의미를 정리하여 나타낸 것이다.

<표-4> 영상 구성

section	이미지	의미
A		아무 것도 없는 상태(무의 의미)
B		탄생

C		성장
C'		변화
D		만개 직전의 어두움
C'		만개

3) 무대 구성



[그림-37] 작품 <Ambient Reboot: Debussy's Signal>의 무대 구성

[그림-37]은 작품 <Ambient Reboot: Debussy's Signal>의 무대 구성을 보여준다. 가블란 연주와 시스템 제어를 동시에 수행해야 하므로 가블란, 컴퓨터, MIDI 컨트롤러를 일체화된 형태로 배치하였다. 가블란 연주 소리와 사운드 프로세싱을 거친 모든 오디오는 공연장 스피커로 출력되며, 음악과 연동되는 영상은 무대 프로젝터로 송출된다. 연주자 겸 오퍼레이터는 스크린을 기준으로 무대 우측에 위치하여 송출 영상과 퍼포먼스를 동시에 볼 수 있도록 구성하였다.

3. 사운드 및 영상 기술 적용

1) A Section

<표-5> A section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용

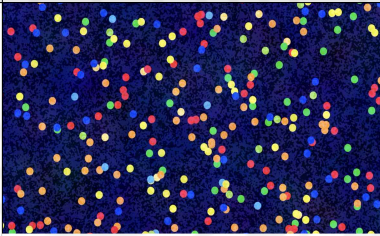
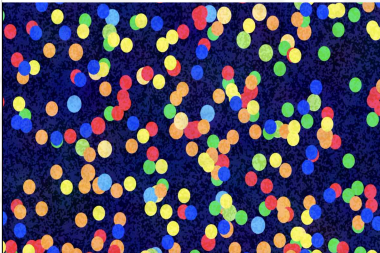
section	사운드 프로세싱	영상변화	사운드 연동
A	reverb delay		gamelan
			gamelan pad synth
			gamelan pad synth

A section 에서는 무(無)에서부터 무언가가 피어오르는 듯한 이미지를 표현하고자 하였다.

어둠 속에서 미세한 노이즈들이 끊임없이 움직이며 서서히 형상을 이루는 과정을 Noise TOP의 harmonics⁸⁹⁾ 값을 활용하여 구현하였다. 이는 작품의 첫 단계인 탄생을 상징하는 이미지와 맞닿아 있으며, 악기의 사용을 최소화하고, 가블란과 패드 사운드만으로 단순하고 느린 멜로디를 반복하였다. 또한 울림과 공간감을 강조하고 음색의 깊이를 확장하기 위해 리버브와 딜레이 효과를 적용하였다.

2) B Section

<표-6> B section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용

section	사운드 프로세싱	영상변화	사운드 연동
B	reverb delay ring modulation pitch shift		gamelan additive synth
			gamelan additive synth FM synth

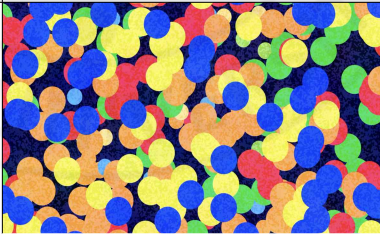
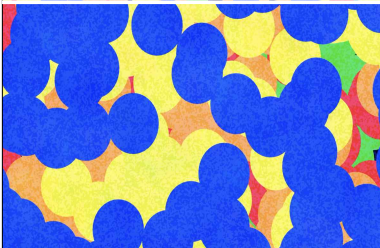
B section 에서는 무수히 많은 작은 원들이 생성되는 시각적 이미지

89) 노이즈를 구성하는 디테일한 레이어(옥타브)의 개수

를 제시하였으며, Circle SOP의 radius 값을 활용하여 이에 따라 원의 크기가 실시간 음량에 따라 변화하도록 하였다. 이러한 이미지에 부합하는 사운드를 구현하기 위해 FM synth를 활용하여 플릭 사운드를 제작하였는데, 플릭 사운드는 짧고 단단한 공격음과 빠른 감쇠 특성으로 인해 작고 선명한 객체의 이미지를 효과적으로 전달한다. 여기에 additive synth를 추가로 적용하여 공명감을 강화함으로써 시각적 이미지와의 통합적 조화를 이루어냈다. 이어 작은 원들이 미세하게 움직이기 시작하는 과정에서, 원들의 움직임은 더욱 효과적으로 구현하기 위해 ring modulation 효과를 적용하여 사운드의 동적 변화를 강조하였고, pitch shift 효과를 통해 단선율 멜로디를 다층적으로 확장함으로써 다수의 원들과의 시각적 이미지를 일치시켰다. 이러한 사운드 설계는 시각적 동역학과 음악적 전개를 유기적으로 연동하는 데 기여하였다.

3) C Section

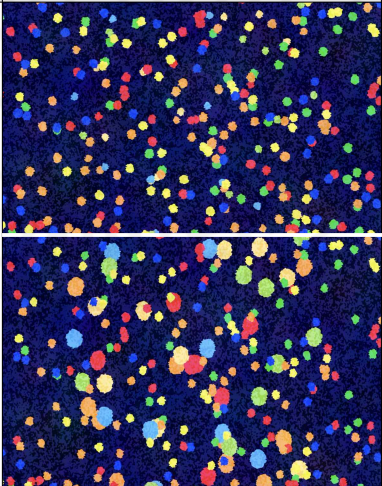
<표-7> C section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용

section	사운드 프로세싱	영상변화	사운드 연동
C	reverb delay		gamelan additive synth pad synth piano synth
	ring modulation pitch shift overdrive		gamelan additive synth FM synth pad synth piano synth

C section에서는 무수히 많은 작은 원들이 점차 확장되는 이미지를 제시하였다. Circle SOP의 radius 값을 실시간 음량에 연동시켜, 소리의 세기에 따라 원의 크기가 동적으로 변하도록 구성하였다. B section 보다 전체적으로 원의 크기가 더 크게 확장되도록 설계하였으며, 이에 대응하여 음악의 음량을 점진적으로 증대시키고 piano synth를 추가하여 노트 수를 확대하였다. 또한 B section의 음향에 overdrive 효과를 추가로 적용함으로써 음량의 상승을 보다 거칠고 강하게 표현하였다. 이러한 사운드 설계는 시각적 확장감과 음악적 긴장감의 동시적 고조를 효과적으로 구현하는 데 기여하였다.

4) C' Section

<표-8> C' section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용

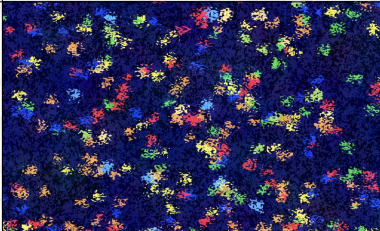
section	사운드 프로세싱	영상변화	사운드 연동
C'	reverb delay pitch shift overdrive granular		gamelan additive synth FM synth pad synth piano synth bell synth

C' section에서는 무수히 많아진 원들이 노이즈에 의해 변형되고 끊

임없이 움직이는 시각적 이미지를 제시하였다. Circle SOP에 Noise TOP, Displace TOP, 그리고 Cross TOP을 연결하였으며, Cross TOP을 통해 Circle SOP의 다수 원을 Noise TOP과 결합하여 형태를 변형시켰다. 또한 Noise TOP의 period 값을 실시간으로 제어함으로써 변형된 원들이 지속적으로 움직이는 동적인 시각 효과를 구현하였다. 이러한 시각적 전개에 맞춰 C section 보다 음량과 노트 수를 더욱 확대하였으며, bell synth를 추가하여 가믈란 멜로디를 한층 다채롭게 구성하였다. 여기에 granular 효과를 적용하여 추상적이고 복합적인 사운드 텍스처를 형성함으로써 시각적 풍부함과 동적 움직임 효과를 효과적으로 반영하였다.

5) D Section

<표-9> D section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용

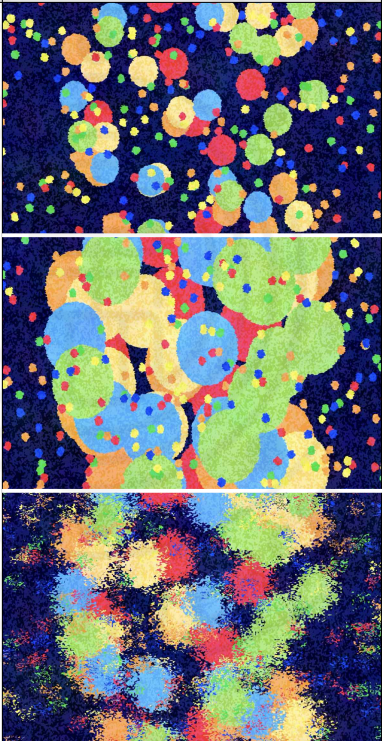
section	사운드 프로세싱	영상변화	사운드 연동
D	reverb delay ring modulation pitch shift overdrive		gamelan additive synth bell synth cymbal

D section에서는 Noise TOP과 연결된 Displace TOP의 displace weight 값을 실시간으로 제어하여, 노이즈에 의해 변형된 원들이 완전히 흩어져 원형을 상실하고 바람에 날리는 파편처럼 움직이는 차분한 시각적 이미지를 구현하였다. 이러한 이미지에 부합하도록 가믈란과 bell

synth만을 남겨 조용하고 절제된 연주로 구성하였으며, additive synth를 활용해 미세한 공명감을 더하였다.

6) C' Section

<표-10> C' section에 적용된 사운드 및 영상 기술 적용

section	사운드 프로세싱	영상변화	사운드 연동
C'	reverb delay ring modulation pitch shift overdrive granular		gamelan additive synth FM synth pad synth piano synth bell synth drum

마지막 C' section에서는 앞선 모든 section에서 사용된 오퍼레이터들의 파라미터 값을 실시간으로 제어하여, 노이즈에 의해 변형된 무수한 원들이 은하수처럼 쏟아져 내렸다가 이내 꽃잎이 만개하듯 퍼져나가며

신기루처럼 사라지는 동적인 시각 이미지를 형상화하였다. Circle SOP을 중심으로 한 기본 원형 구조에 Noise TOP을 연결하여 무작위 변형을 부여하고, Displace TOP을 통해 형태의 좌표를 왜곡시켜 원들이 해체되는 듯한 움직임을 구현하였다. Cross TOP은 이러한 변형된 신호들을 결합·혼합함으로써 다층적이고 공간적인 시각 질감을 생성하였다. 동시에 delay와 reverb 효과를 적용하여 사운드의 울림과 공간감을 확장하고, overdrive 효과로 음의 질감을 거칠게 하며 에너지감을 높였다. 또한 granular 효과를 활용하여 소리를 입자 단위로 분해하고 재조합함으로써 추상적이고 복합적인 사운드 텍스처를 형성하였다. 또한 가플란, additive synth, FM synth, piano synth, bell synth, pad synth 등 앞선 섹션에서 사용된 악기들을 모두 재도입하고 음량과 노트 수를 한층 확대하여, 시각적 확산과 음향적 폭발이 교차하는 작품의 클라이맥스를 구성하였다.

IV. 결론

본 연구는 가믈란 연주의 실시간 사운드 프로세싱을 통해 단순히 악기 연주만으로는 구현할 수 없는 독창적인 사운드를 창출하고, 이를 기반으로 사운드 데이터와 영상이 긴밀하게 연동되는 멀티미디어 작품 제작에 관한 연구이다. 기존의 영상 위에 음악을 덧입히는 음악 공연 형식과 달리, 작품 <Ambient Reboot: Debussy's Signal>은 악기 연주와 사운드를 중심으로 영상을 실시간 제어하는 융합 공연 형식을 채택하였다. 이를 통해 사운드를 주체로 음악과 실시간으로 상호작용하는 영상이 결합되어 구성되었다. 이러한 연출 방식은 음악적 표현의 폭을 확장하는 동시에, 관객으로 하여금 기존의 음악공연 형식보다 더욱 효과적으로 예술적 표현을 경험할 수 있도록 하였다. 본 작품은 Max for Live를 활용하여 가믈란 연주와 결합할 사운드를 제작하였으며, 실시간 사운드 프로세싱이 가능한 다양한 음향효과도 함께 개발되었다. additive synthesis와 FM synthesis를 적용하여 가믈란의 빈약할 수 있는 사운드를 다층적으로 레이어하였고, 작품의 주제에 부합하도록 delay, reverb, pitch shift, overdrive, granular synthesis 등 다양한 음향 효과를 조합하여 사용하였다. 이러한 사운드 및 음향 효과의 적용은 악기의 연주법, 음역, 음색 표현의 다변화를 가능하게 하였으며, 이는 기존의 전통 가믈란과 차별화되는 중요한 음악적 특징이다. 나아가 기존 악기로는 생성할 수 없는 독창적인 소리들을 구현함으로써 전통 악기의 연주 표현의 한계를 극복하였다. 영상은 TouchDesigner를 통해 구현되었으며, 실시간으로 가믈란 연주 신호를 수신하여 이를 내부 오퍼레이터에 적용함으로써, 가믈란의 음량 값에 따라 TouchDesigner 상에서 원의 움직임과 형태 변환을 실시간으로 제어할 수 있었다. 또한 MIDI 매핑을 통해 음향 효과와 영상 효과가 상호작용하도록 설계하여, 음향 효

과의 강도에 비례하여 영상 효과가 조절되도록 함으로써 사운드 시각화를 밀도 있게 구현하였다.

하지만 본 연구 과정에서 발생한 주요 문제점은 다음과 같다. 첫째, 악기 신호가 TouchDesigner에서 데이터화된 후 영상 변화에 완벽한 실시간 반응을 보이지 않는다는 점이다. 이는 오디오 신호 체인의 지연, 아날로그-디지털 변환 과정, 그리고 TouchDesigner 내부 처리 등의 복합적인 요인으로 인한 것으로 추측된다. 이에 따라 보다 정밀한 계산 시스템을 개발하여 사운드 신호와 영상의 상호작용 효율성을 향상시킬 필요가 있다. 둘째, 영상 패턴 구성에서 다수의 패턴이 동시에 작동함으로써 컴퓨터 시스템에 과부하가 발생하고 라이브 공연 시 오류의 위험성이 증가하는 문제이다. 따라서 TouchDesigner에서 최소한의 영상 패턴을 활용하여 최대한의 비주얼 변화를 도출하는 최적화 방안에 대한 추가 연구가 요구된다. 궁극적으로 시각적 다양성을 유지하면서 시스템 부하를 최소화하는 기술적 접근이 필요하다. 본 연구는 가물란이라는 전통적인 악기를 컴퓨터음악 기술과 융합함으로써 새로운 음악적 경험과 표현 가능성을 탐구하였다는 점에서 중요한 의의를 가진다. 특히, 사운드 프로세싱 기술과 실시간 비주얼라이제이션을 결합하여 단순히 청각적 영역에 머무르지 않고 시각적 영역으로 확대된 몰입감 있는 멀티미디어 경험을 제시하였다. 이를 통해 전통 음악의 고유성은 유지하면서도 현대 디지털 기술과 융합된 새로운 예술적 지평을 열었으며, 관객에게 보다 다층적이고 풍부한 감각적 경험을 제공하였다. 앞으로 이러한 기술적 시도와 구현 방식을 더욱 정교화하고, 실시간 공연 무대 환경에 최적화함으로써 현대적인 멀티미디어 공연 예술의 새로운 방향과 가능성을 지속적으로 개척해 나갈 것으로 기대된다.

Keyword(검색어)

컴퓨터음악(computer music), 사운드시각화(sound visualization),
실시간 사운드 프로세싱(real-time sound processing),
인터랙티브 멀티미디어 음악(interactive multimedia music),
Max/MSP, Ableton Live, Max for Live, TouchDesigner, Gamelan

E-mail: forguitar2@dgu.ac.kr



참 고 문 헌

1. 단행본, 학술지

Mark Ballora, 「*Essentials of Music Technology*」
(Oxford University Press, 2015)

Kim Bjørn & Chris Meyer, 「*Patch & Tweak: Exploring Modular Synthesis*」 (Bjooks, 2018)

Hal Chamberlin, 「*Musical Applications of Microprocessors*」 (Hayden Book Company, 1985)

Alessandro Cipriani & Maurizio Giri, 「*Electronic Music and Sound Design*」 (ConTempoNet, 2010)

Leonardo Gabrielli, 「*Developing Virtual Synthesizers with VCV Rack*」 (Packt Publishing, 2020)

Don Norman, 「*The Design of Everyday Things*」
(Basic Books, 2013)

Miller Puckette, 「*The Theory and Thechnique of Electronic Music*」
(World Scientific Publishing Company, 2006)

Curtis Roads, 「*The Computer Music Tutorial*」
(Massachusetts Institute of Technology, 2023)

Robert Rowe, 「*Interactive Music Systems*」 (Massachusetts Institute
of Technology, 1993)

Brian K. Shepard, 「*Refining Sound - A Practical Guide to Synthesis
& Synthesizers*」 (Oxford University Press, 2013)

David Toop, 「*Ocean of Sound*」 (Serpent's Tail, 1995)

2. 참고논문

김영민, 「전자음악의 예술적 정의와 지향성 연구」 (동국대학교 영상대
학원 멀티미디어학과, 2025)

김요한, 「막형 전위차계와 압력 센서를 활용한 인터랙티브 전자악기 제
작 및 공연 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2025)

김부경, 「목소리의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 멀티
미디어 퍼포먼스 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2024)

김진우, 「우두 드럼의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어음
악 작품 제작 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2021)

권정은, 「비브라폰의 실시간 사운드 프로세싱과 비주얼라이제이션을 이용한 멀티미디어 작품 제작 연구」(동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2021)

나준하, 「Max/MSP/Jitter를 이용한 기타 이펙터 제작과 실시간 소리 시각화 연구」(동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2015)

백석원, 「Claude Debussy의 Estampes에 관한 비교, 분석연구 「탑」(Pagodes), 「그라나다의 황혼」(La soiree dans Grenade), 「빗속의 정원」(Jardins sous la pluie) 을 중심으로」(배재대학교 대학원 음악학과, 2006)

이관규, 「피아노 연주와 무용수의 움직임을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」(동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2022)

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

오이령, 「베이스기타의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구」(동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2024)

조환희, 「베이스 트롬본과 피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어작품 제작 연구」(동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2019)

3. 웹사이트

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

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

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

CCRMA: <https://ccrma.stanford.edu/>

CNMAT: <http://cnmat.berkeley.edu/>

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

ABSTRACT

Research on Interactive Multimedia Co- position through Real-Time Gamelan Sound Processing

- With a Focus on the Multimedia Composition
<Ambient Reboot: Debussy's Signal> -

Choi, Woong Sik

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

This study investigates the creation of multimedia works through real-time sound processing of gamelan performances, producing original sounds unattainable by instrumental performance alone, and integrating them with tightly synchronized audio data and visuals. Unli

ke conventional music performances that superimpose music onto pre-existing video, the work *Ambient Reboot: Debussy's Signal* adopts a fused performance format that centers on instrumental playing and sound to control visuals in real-time. Through this approach, visuals dynamically interacting with sound as the primary element are integrated. Such staging expands the scope of musical expression while enabling audiences to experience artistic expression more effectively than traditional performance formats.

The work employs Max for Live to create sounds integrated with gamelan performance, alongside developing various real-time sound processing effects. Additive and FM synthesis were applied to multi-layer the potentially sparse gamelan timbre, while delay, reverb, pitch shift, overdrive, granular synthesis, and other effects were combined in accordance with the work's theme. These sound and audio effect applications enabled diversification of playing techniques, ranges, and timbral expressions, representing a key musical feature distinguishing it from traditional gamelan. Furthermore, they overcame the expressive limitations of traditional instruments by realizing original sounds impossible with conventional instruments alone. Visuals were implemented through TouchDesigner, receiving real-time gamelan performance signals and applying them to internal operators, thereby enabling real-time control of circular movements and shape transformations based on amplitude values. Additionally, MIDI mapping was designed to facilitate interaction between audio and visual effects, adjusting visual intensity proportional to audio effect strength for dense sound visualization.

This study holds significant value in exploring new musical experiences and expressive possibilities by fusing traditional gamelan with computer music technology. In particular, combining sound processing techniques with real-time visualization extends beyond the auditory domain to present immersive multimedia experiences encompassing the visual realm. This preserves the unique character of traditional music while opening new artistic horizons through integration with contemporary digital technology, providing audiences with richer, multi-layered sensory experiences. In the future, further refinement of these technical approaches and implementation methods, optimized for real-time performance environments, is expected to continuously pioneer new directions and possibilities in contemporary multimedia performance art.

부록 : 첨부 DVD 설명

1. <Ambient Reboot: Debussy's Signal>_공연영상

2025년 11월 8일 동국대학교 이해당예술극장에서 진행된
'SEEING SOUND, LISTENING IMAGE(보는 소리, 듣는 영상) 2025'
<Ambient Reboot: Debussy's Signal>

2. <Ambient Reboot: Debussy's Signal>_자료

작품에 사용된 Max/MSP, TouchDesigner 자료