



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

베이스기타의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한
인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구

- 멀티미디어음악 작품 <Dive>를 중심으로 -

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과

오 이 링

2 0 2 4

석사학위논문

베이스기타의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한
인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구

- 멀티미디어음악 작품 <Dive>를 중심으로 -

오 이 링

지도교수 김 준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2024년 6월

오이링의 음악석사(컴퓨터음악) 학위 논문을 인준함

2024년 7월

위원장 정 진 현



위원 김 정 호

위원 김 준



동국대학교 영상대학원

목 차

I. 서 론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 사례 연구	3
II. 기술 연구	6
1. 베이스기타의 특징 연구	6
1) 악기 역할	6
2) 기본 연주 기법	7
3) 베이스기타의 음역	8
2. 사운드 제작 연구	11
1) 사운드 시스템	11
2) 사운드 프로세싱 연구	12
① delay 음향효과	12
② flanger 음향효과	14
③ reverberation 음향효과	16
④ phase vocoder 음향효과	17
⑤ granular synthesis 음향효과	19
3. 영상 제작 연구	22
1) 영상 디자인	22
2) TouchDesigner를 이용한 영상 제작	23

① TouchDesigner에서 물 효과를 시뮬레이션 하는 방법	23
② 영상 기반 제작	24
③ 영상 작업 과정	26
④ Resolume Arena의 영상효과	28
⑤ Syphon을 이용한 TouchDesigner와 Resolume Arena의 연동	29
4. 공연 시스템 연구	30
1) 공연 시스템	30
2) OSC 통신	31
3) 미디 매핑을 이용한 사운드와 영상의 연동	32
III. 연구 기술의 작품 적용	34
1. 작품 소개	34
2. 작품 구성	36
1) 음악 구성	36
2) 영상 구성	38
3) 무대 구성	40
3. 작품에서의 사운드 및 영상 기술 적용	41
1) A Section	41
2) B Section	42
3) C Section	43
4) B' Section	44
5) A' Section	45
4. 연구 기술의 작품 적용 효과	46

IV. 결 론	48
참 고 문 헌	51
ABSTRACT	54
부록-1 : 작품 <Dive> 악보	56
부록-2 : 첨부 DVD 설명	59

표 목 차

<표-1> 베이스기타의 기본 연주 기법	7
<표-2> mungger~오브젝트 설명	20
<표-3> grain pitch factor 파라미터 의미	21
<표-4> TouchDesigner에서 물 효과를 시뮬레이션	23
<표-5> 영상 제작의 각 단계별 과정	27
<표-6> 작품에서 사용한 Resolume Arena의 영상효과	28
<표-7> 음악 구성	36
<표-8> 영상 구성	38
<표-9> A section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과	41
<표-10> B section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과	42
<표-11> C section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과	43
<표-12> B' section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과	44
<표-13> A' section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과	45

그 립 목 차

[그림-1] 오디오 조명 예술 작품 <NOMAD>	3
[그림-2] 오디오 비주얼 작품 <Seeing Synesthesia>	4
[그림-3] 4현 베이스기타	6
[그림-4] 4현 베이스기타의 음역(하모닉스 포함)	8
[그림-5] 자주 사용하는 4현 베이스기타의 natural harmonics 위치	9
[그림-6] 사운드 시스템 기본 신호 전송 과정	12
[그림-7] delay 음향효과를 구현한 Max 패치	13
[그림-8] flanger 음향효과와 작동 과정	14
[그림-9] flanger 음향효과를 구현한 Max 패치	15
[그림-10] reverb 음향효과를 구현한 Max 패치	16
[그림-11] phase vocoder 음향효과를 구현한 Max 패치	18
[그림-12] granular synthesis 음향효과를 구현한 패치	19
[그림-13] sine파와 granular synthesis를 입힌 파형 변화	21
[그림-14] Noise CHOP를 이용해서 만드는 TouchDesigner 패치	25
[그림-15] 'absTime.seconds' 명령을 Noise CHOP에 이용	25
[그림-16] 작품에서 사용한 Noise TOP의 세 가지 패턴	26
[그림-17] Syphon을 이용한 TouchDesigner와 Resolume Arena의 연동 ..	29
[그림-18] 공연 시스템 설계도	30
[그림-19] TouchDesigner에서 악기 연주 신호와 영상의 연동 과정	32
[그림-20] 공연에서 사용한 Novation Launch Control XL의 미디 매핑	33
[그림-21] 작품 <Dive>의 공연 이미지	34

[그림-22] 작품 <Dive>의 무대 구성	40
[그림-23] A section의 영상 변화	41
[그림-24] B section의 영상 변화	42
[그림-25] C section의 영상 변화	43
[그림-26] B' section의 영상 변화	44
[그림-27] A' section의 영상 변화	45



I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

과학 기술은 현대 사회에서 일상생활과 서로 긴밀하게 의존하고 있으며, 과학 기술의 활용은 현재 모든 분야에서 필연적인 요소로 자리를 잡고 있다. 물론 음악 퍼포먼스 분야도 예외가 아니다. 기술의 진화로 인하여, 오랜 세월을 걸친 음악의 공연 형식은 점차 전통적인 시스템의 틀에서 벗어나고 있다. 컴퓨터 기술의 활용과 함께 기존 음악 퍼포먼스에 대한 사람들의 고정관념을 해체하고 새로운 상상력을 제공하고 있다.

멀티미디어 아트(multimedia art)¹⁾는 현재 가장 진보하고 있는 예술 형태 중 하나로, 다양한 매체를 융합함으로써 관객에게 더 풍부한 감각 체험을 제공한다. 이를 실제 음악 퍼포먼스에 적용할 때, ‘음악’과 영상, 무용, 연극 등 서로 협력하는 방식으로 제시한다. 해당 방식은 강조된 다른 매체에 의해 관객의 주의가 그쪽으로 유도되어 음악의 ‘주체성’이 약화될 수 있다. 음악이나 소리를 주체로 하고 다른 매체를 ‘소리의 연장’으로 하는 퍼포먼스 형태는 특정 기술적 요구를 필요로 하여 초기에는 흔치 않았다. 현재는 컴퓨터 기술이 발전함에 따라 기술에 대한 접근이 보다 쉬워져, 음악과 소리를 중심으로 다른 매체를 연장 도구로 사용하는 퍼포먼스 형태가 다양하게 나타나 많은 관심을 받고 있다.

1) 멀티미디어 아트(multimedia art)는 다양한 예술 형식을 통합하려는 혁신적인 학문으로, 영화, 문학, 퍼포먼스, 음악과 소리, 연극, 시각 예술, 그리고 디자인과 같은 다양한 예술적 통찰과 기술이 결합하여 창의적으로 달성된다.

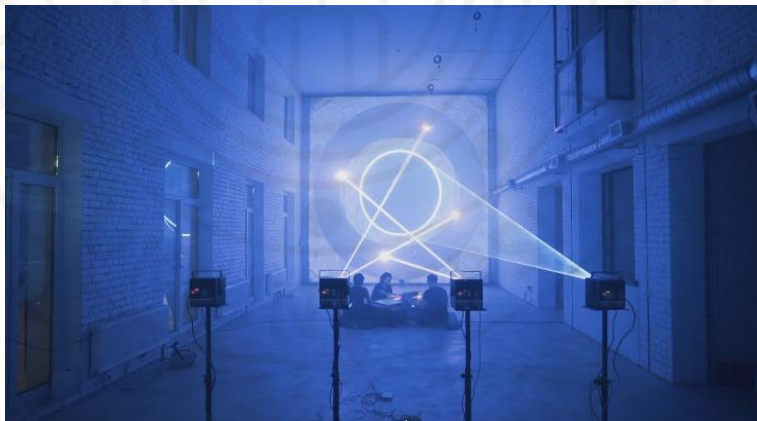
본 논문에서 다루고 있는 작품 <Dive>는 베이스기타(bass guitar) 연주의 음악 형식을 주제로 하며, 해당 주제에 대한 실시간 사운드 프로세싱 및 사운드 시각화(sound visualization)²⁾ 기술을 활용하여 표현의 범위와 다양성을 확장한 멀티미디어 음악 작품이다. 작품 <Dive>를 중심으로 실시간 악기 소리의 변화와 데이터화를 통한 시각적 인터랙션(visual interaction)³⁾을 조합하여, 효과적인 멀티미디어음악 공연 제작 방안을 제안한다.

2) 사운드 시각화(sound visualization)는 소리를 시각적으로 나타내거나 표현하는 과정이다.

3) 시각적 인터랙션(visual interaction)은 주로 시각적인 요소들이 서로 영향을 주고받거나 상호작용하는 과정을 나타낸다. 다양한 매체나 디자인 분야에서 중요한 개념으로 간주되며 여러 분야에서 발생할 수 있다.

2. 사례 연구

사운드가 주체인 멀티미디어음악 공연이 다양한 방식으로 제작되고 있다. 사운드를 데이터화한 후 다른 매체 형태로 전환되는 기술을 활용하여, 실시간 음악 퍼포먼스 형태에 보다 다양한 가능성을 제시하고 있다. [그림-1]⁴⁾은 뉴미디어 아티스트 그룹 TUNDRA⁵⁾가 2018년 캐나다 음악 페스티벌 MUTEK에서 선보인 오디오 조명 예술 작품 <NOMAD>다. 작품 형태는 현장 환경의 음성 신호를 조명 신호로 변환하여 조명 변화와 현장 소리를 상호작용할 수 있는 일련의 음성 제어 광원 장치가 포함되어 있다. 음악 소리, 심지어 관객의 대화 소리도 수집 및 분석되어 조명 장치의 예술적 변화를 주도한다.



[그림-1] 오디오 조명 예술 작품 <NOMAD>

4) https://wearetundra.org/nomad_live

5) TUNDRA는 Alexandr Sinitsa, Klim Sukhanov, 그리고 Semyon Perevoshchikov로 구성된 뉴미디어 아티스트 그룹이다.

[그림-2]⁶⁾는 2020년 피아니스트 James Francies⁷⁾와 오디오 비주얼 아티스트 Benjamin Heim⁸⁾의 협업 작품 <Seeing Synesthesia>다. 피아노 연주에 반응되는 시각적 패턴이 나타나며, 이러한 패턴은 연주자가 연주할 때의 악상, 속도, 선율 등 음악 요소에 따라 다양하게 변화한다. 따라서 소리와 영상은 직접적으로 상호작용 관계를 가진다. 해당 작품은 독특한 사운드 시각화 효과를 실현하여 관객이 음악을 청취하는 동시에 시각적 상호작용을 경험하게 한다.



[그림-2] 오디오 비주얼 작품 <Seeing Synesthesia>

앞서 언급한 사례들처럼 소리를 주제로 한 멀티미디어음악은 다양한 형태의 작품으로 구성 가능하며, 음악 퍼포먼스 형식의 발전

6) <https://www.benjaminheim.com/>

7) James Francies는 미국의 저명한 재즈 피아니스트로, 그의 연주는 독특하고 현대적인 음악적 표현을 보여준다.

8) Benjamin Heim은 현재 뉴욕시를 기반으로 하는 호주의 작곡가이자 오디오비주얼 아티스트다.

가능성을 엿볼 수 있다.

본 논문의 작품 <Dive>는 악기의 연주와 소리에 직접적으로 영향을 받는 영상으로 구성되어 있다. 베이스기타의 연주에서 생성되는 사운드 데이터를 활용하여 음악과 비주얼 간의 실시간 인터랙션을 더욱 효과적이고 조화롭게 구현하는 데 중점을 두었다.



II. 기술 연구

1. 베이스기타의 특징 연구

1) 악기 역할

음악 공연에서 베이스기타(bass guitar)[그림-3]⁹⁾의 역할을 살펴보면, 베이스기타는 단순히 저음의 기초를 제공하는 도구에 그치지 않고 밴드 내에서 불가결한 요소 중 하나로 작용한다. 베이스기타는 전체 곡에 안정적인 기초를 제공하여 합주를 진행하는 데에 있어 방향을 제시한다. 또한 드럼과 협력하여 밴드의 리듬 감각을 유지하고 음악의 통일성을 증진하는 역할을 한다. 또한 베이스기타는 독주 악기로서의 역할을 하기도 하며, 다양한 연주 기법을 통해 베이스 소리의 다채로움을 선보일 수 있다.



[그림-3] 4현 베이스기타

9) <https://www.pngegg.com/>

2) 기본 연주 기법

베이스기타는 1950년대부터 1960년대 까지 연주 기술이 주로 기본적인 finger picking(pizzicato)¹⁰⁾과 프렛(fret)¹¹⁾ 플레이에 중점을 두었으며, 부드러운 저음 진행을 만들어 내었다. 1970년대 히피 시대의 도래로 slapping¹²⁾과 popping¹³⁾기술이 일반화되었다. 연주자들은 타악 효과 연주 기법을 사용하여 리듬과 음색의 다양한 효과를 창출하는 데 중요한 역할을 하였다.

1980년대에서 1990년대의 Rock/Metal 시대에는 tapping¹⁴⁾기술이 등장했으며, 연주자들은 프렛 보드에서 tapping기술을 통해 빠르고 기술적인 음악 구간을 창조하기 시작했다. 2000년대부터 현재까지 베이스기타의 연주 기술은 더욱 다양해졌다.

<표-1> 베이스기타의 기본 연주 기법

왼손 적용 기법	fingering(fretting), hammer-ons, pull-offs, bends, slides
오른손 적용 기법	finger picking(pizzicato), picking(plectrum), slapping, popping, strumming, palm muting
양손 적용 기법	tapping, harmonics

-
- 10) 베이스기타의 finger picking(pizzicato) 기법은 손가락을 사용하여 현을 치는 연주 방식 중 하나다. 연주자는 손가락을 이용하여 현의 소리를 발생시키는 것이다.
- 11) 베이스기타의 프렛은 기타 넥(neck)에 위치한 금속 선으로, 음의 높낮이를 결정하는 중요한 부분이다.
- 12) 베이스기타의 slapping기법은 주로 손의 엄지나 중지를 사용하여 현을 두드리고, 강렬하고 강조된 리듬을 만들어낸다.
- 13) popping은 주로 중지 또는 약지를 사용하여 현을 튀기는 동작을 포함하고 있다. 팝핑 기법은 리듬을 강조하고 명확한 공격적인 소리를 만들어낸다.
- 14) tapping은 주로 손가락을 사용하여 현을 두드리거나 탭 하는 방식으로 소리를 내는 것이다. 이 연주 기법은 높은 음역대의 음향을 만들어내거나 빠른 속도로 연주할 때 효과적으로 사용된다.

현대의 연주자들은 일반적으로 다양한 스타일과 기술을 결합하여 다양한 음악 장르에 적용한다. 연주자들은 현대 음악의 요구와 음악 장르에 따라 유연하게 적절한 연주 기술을 선택하고 발전시켜 나가고 있다.

3) 베이스기타의 음역

베이스기타는 줄의 개수, 구조 및 특수 기능에 따라 다양한 유형으로 나뉜다. 음역은 유형에 따라 차이가 있으며, 일반적으로 가장 흔한 유형은 4현 베이스기타이다. 4현 베이스기타는 일반적으로 더블 베이스와 동일하게 튜닝되며, 기타의 4개의 최저음 현보다 1옥타브 낮은 음에 해당한다. 표준 튜닝에서 기본 4현 베이스기타의 주파수 범위는 보통 41Hz에서 392Hz까지다. 개방현 음고는 'E1-A1-D2-G2'이며, 음역은 [그림-4]와 같다. 연주 시 사용한 악보는 실제 음보다 한 옥타브 높게 기재되어 있다.

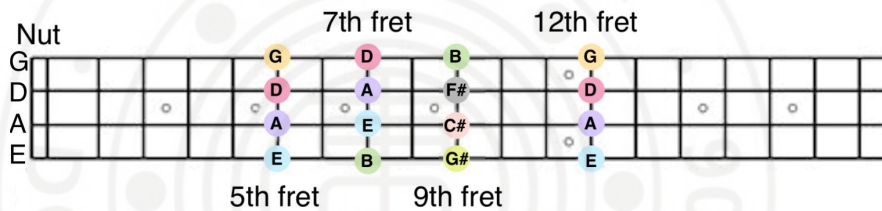


[그림-4] 4현 베이스기타의 음역(하모닉스 포함)

베이스기타는 현악기 중 하나로 음역을 확장할 수 있는 하모닉스(harmonics) 기법을 가지고 있다. 하모닉스 기법은 기존 음역을 넘어설 수 있는 독특한 특성을 갖고 있다. 하모닉스 기법의

종류는 여러 가지로 나뉘며, 그 중 natural harmonics와 artificial harmonics 기법을 흔히 볼 수 있다.

natural harmonics는 주로 특정 프렛 위치에서 발생하며, 베이스기타의 너트¹⁵⁾부터 브릿지¹⁶⁾까지의 길이를 1이라고 했을 때, 일반적으로 1/2 위치(12 프렛), 1/3 위치(7 프렛), 1/4 위치(9 프렛) 및 1/5 위치(5 프렛)와 같은 특정 위치에서 자주 사용된다. 이를 통해 고주파를 강화한 음색을 얻을 수 있으며, 각 위치에서 발생하는 음은 기존 음역을 넘어선다는 독특한 특성이 있다.



[그림-5] 자주 사용하는 4현 베이스기타의 natural harmonics 위치

artificial harmonics는 인공적으로 만들어진 하모닉스 주법이다. natural harmonics는 자연적으로 왼손을 지정된 프렛에 가져간 후 탄현 하면 배음이 생긴 반면, artificial harmonics는 자연적으로 배음이 발생되지 않는 지점의 소리를 오른손의 검지나 엄지손가락을 이용하여 정확하게 프렛의 위치를 찾아서 맞춘 후 탄현 하는 기술이다. artificial harmonics는 음역을 확장하여 미세하고

15) 현악기의 너트(nut)는 머리처럼 또는 스크롤에 가까운 끝에서 현을 지지하는 작고 단단한 물질 조각이다.

16) 브릿지 또는 테일피스는 현이 몸체에 연결되는 금속 판이다. 이 접촉 지점은 베이스기타의 몸체로 현의 대다수 진동이 전달되는 곳이다.

풍부한 음색을 얻을 수 있는 효과적인 기법 중 하나다.

하모닉스 기법은 낮은 주파수의 안정성을 유지하면서도 높은 주파수 대역에서 다양하고 풍부한 음향을 창출할 수 있는 동시에 음역의 폭과 깊이에서 더 큰 도약을 이룰 수 있다. 따라서 하모닉스의 범위를 합치면 베이스기타의 최대 주파수는 4,000Hz에서 5,000Hz 정도로 연주될 수 있다.



2. 사운드 제작 연구

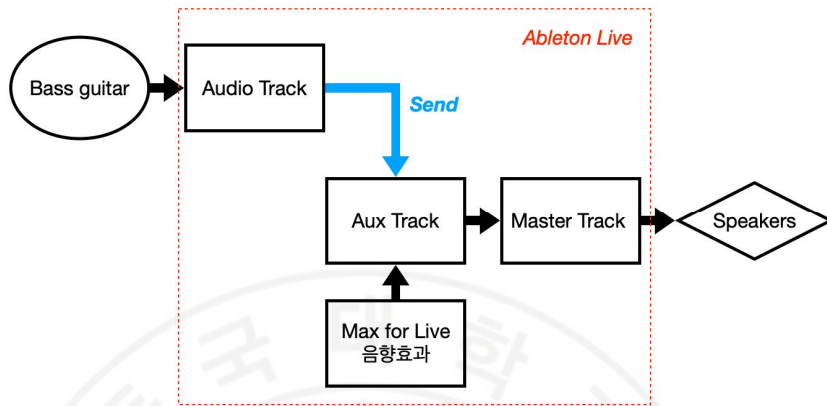
1) 사운드 시스템

본 논문에서 다루고 있는 작품 <Dive>는 베이스기타의 라이브 연주에 실시간 사운드 프로세싱 진행하는 방식으로 구성되었다. 음향효과는 Max¹⁷⁾에서 제작되어 Ableton Live¹⁸⁾에서 Max for Live¹⁹⁾를 통해 음향효과로 베이스기타 연주에 적용시켜 사용하였다.

베이스기타의 소리 신호는 오디오 인터페이스를 통하여 컴퓨터로 입력된다. 입력된 신호를 Ableton Live의 베이스기타 트랙에 send 방식으로 전송되고, aux track²⁰⁾에 넣은 사운드 프로세싱 패치를 사용하여 음향효과를 적용하였다.

[그림-6]은 본 작품의 사운드 시스템 기본 신호 전송 과정이다. 베이스기타 연주는 Max for Live로 전달되어 각각의 음향효과와 소리 합성법으로 변형되어 출력된다. 출력되는 사운드는 믹서로 입력되어 스피커를 통해 재생된다.

-
- 17) Max는 Cycling '74에서 개발한 그래픽 프로그래밍 환경으로, 오디오, 비디오, 미디어 아트, 인터랙티브 설치 작품 등 다양한 멀티미디어 프로젝트를 개발할 수 있는 도구이다. Max는 MSP(Max Signal Processing)와 Jitter 두 가지 중요한 확장 모듈을 포함하고 있다.
 - 18) Ableton Live는 전문적인 음악 제작 및 라이브 공연을 위한 디지털 오디오 워크스테이션(Digital Audio Workstation, DAW)이다.
 - 19) Max for Live는 Ableton Live와 통합되어 사용되는 확장 툴킷(toolkit)이다. 이 툴킷은 Cycling '74의 Max/MSP 환경을 기반으로 하며, 다양한 오디오 및 미디어 기능을 구현할 수 있다. Max for Live를 사용하면 사용자들은 Ableton Live에서 자신만의 커스텀 오디오 이펙트, 인스트루먼트, 시퀀서 등을 만들고 통합할 수 있다.
 - 20) aux track은 오디오 프로덕션에서 특수한 트랙 유형 중 하나다. 주요 기능은 신호 처리 및 효과 적용이다. aux track을 통해 사용자는 효과를 직접적으로 핵심 오디오 콘텐츠에 영향을 미치지 않고 다른 여러 트랙 그룹에 적용할 수 있다.



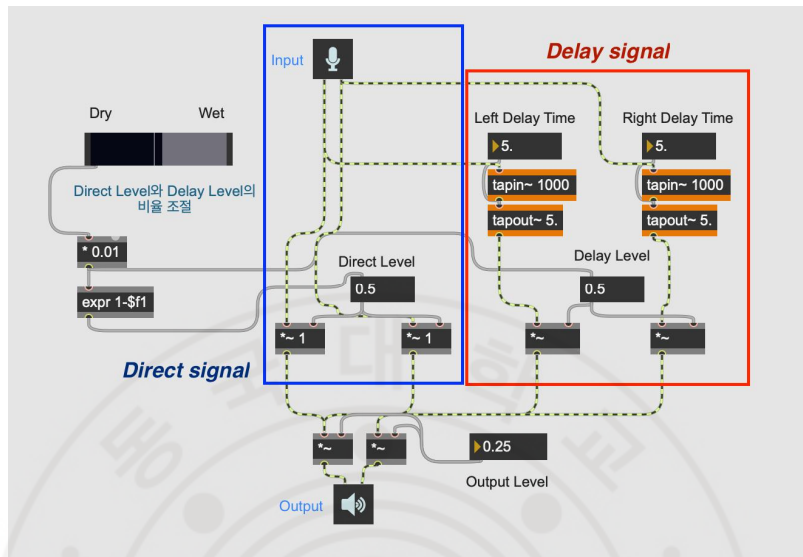
[그림-6] 사운드 시스템 기본 신호 전송 과정

2) 사운드 프로세싱 연구

① delay 음향효과

delay 음향효과는 오디오 신호를 일정한 시간 동안 지연시키는 효과이다. 지연 시간(delay time)은 millisecond(ms)에서부터 시작하여 second(s) 단위까지 조절할 수 있다. 지연 시간이 10ms와 같이 매우 짧은 경우, 원래 신호와 지연된 신호가 상호 간섭하여 미묘한 필터링(filtering) 효과²¹⁾를 만들어 낼 수 있다. 지연 시간이 약 100 ms인 경우 에코 효과를 발생시키며, 지연된 신호가 오리지널 신호와 연속되어 빠르게 재생된다. 100 ms보다 긴 delay 시간에서는 산에서 메아리가 발생하는 것처럼 각각의 이벤트로 듣게 된다²²⁾.

21) 필터링 효과는 주파수 영역에서 특정 주파수 성분을 강화하거나 약화하여 음향 신호의 특정 특징을 변경하는 효과이다.



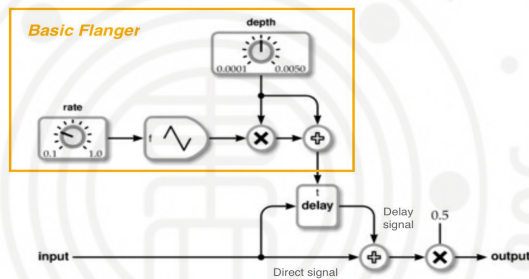
[그림-7] delay 음향효과를 구현한 Max 패치

[그림-7]은 작품 <Dive>에서 Max를 사용하여 delay 음향효과를 구현한 패치이다. tapin~오브젝트는 가장 최근에 수신한 신호를 저장하는 지속적으로 업데이트되는 버퍼(buffer)이다. 버퍼에 저장되는 신호의 양은 입력 시 지정된 지연 시간에 의해 결정된다. tapout~오브젝트는 tapin~에 저장된 오디오 신호를 지정한 시간만큼 지연시켜 내보낸다. 패치에서는 입력된 소리(direct signal)를 직접적으로 보내고 delay 구간으로도 보낸다. 각 스테레오 채널에서 듣는 신호의 양을 제어할 수 있으며, 원하는 비율로 원본과 지연된 신호를 혼합할 수 있다.

22) Chris Dobrian, *MSP : Tutorials and Topics* (California : Cycling '74, 2005), p.220

② flanger 음향효과

flanger 음향효과는 원본 오디오 신호를 짧은 시간 지연으로 복제하고, 지연 신호를 원본 신호와 조절된 위상으로 섞는 방식으로 작동한다. flanger는 주로 delay 음향효과에서 파생된 음향 효과로서, 상대적 위상의 조절을 통해 특이한 소리를 만들어내며, 음악에서 공간이 변하는 효과를 갖추게 된다. flanger 효과의 작동 과정은 [그림-8]²³⁾과 같다.

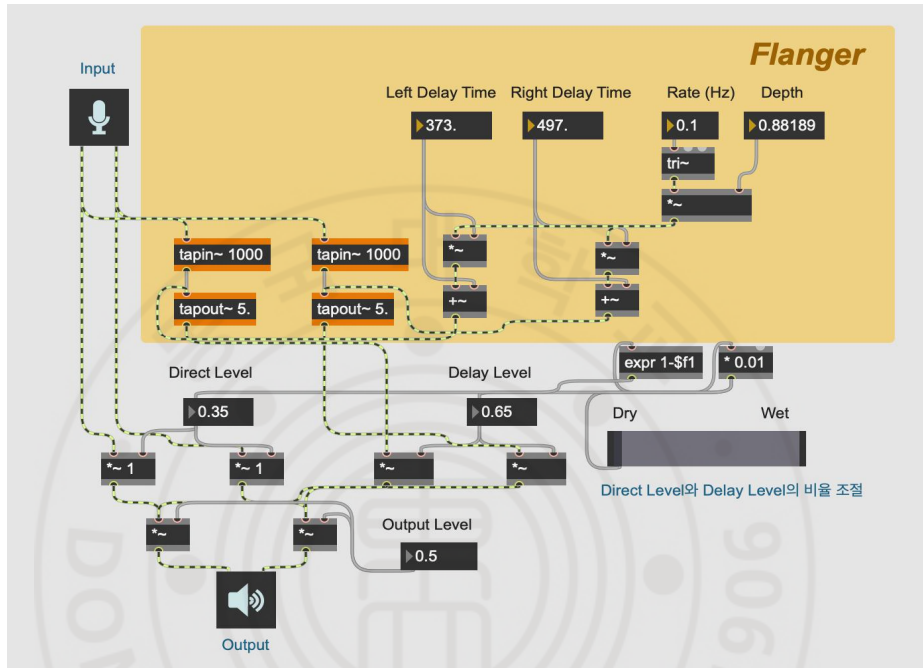


[그림-8] flanger 음향효과의 작동 과정

flanger는 신호를 해당 신호의 일부로부터 분수 지연된 복사본에 추가하는 것을 기반으로 한다. 지연의 길이는 시간에 따라 변동된다. [그림-8]에서 depth는 설정한 값과 동일하며, 효과가 delay 값 0부터 depth의 최댓값까지 변하는 것을 의미한다. triangular wave는 delay에서 안정적인 변화를 얻기 위해 사용되지만, 다른 파형 모양도 흥미로운 결과를 낼 수 있다. 가끔은 그림에 표시된 것보다 높은 rate와 depth로 실험하는 것도 특별한

23) David Creasey, *Audio Processes : Musical Analysis, Modification, Synthesis, and Control* (London : Routledge, 2016), p.279

소리를 만들어낼 수 있다.



[그림-9] flanger 음향효과를 구현한 Max 패치

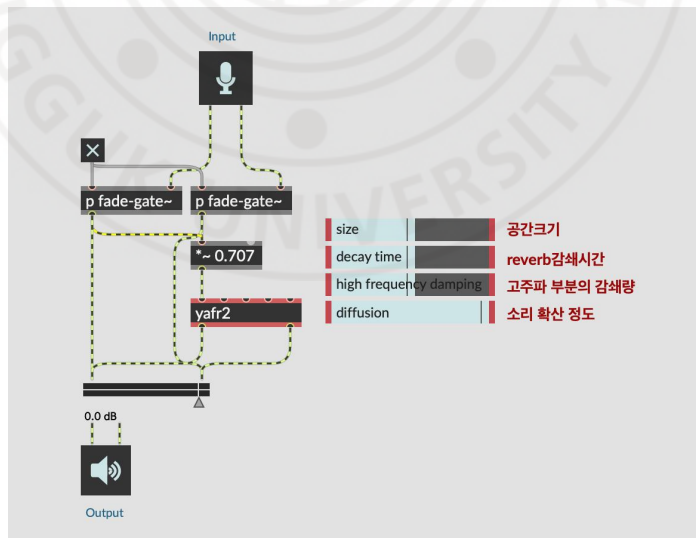
[그림-9]은 flanger 음향효과를 Max에서 구현한 패치다. delay 음향효과를 구현하는 tapin~와 tapout~를 사용하여, triangular wave를 생성하는 tri~오브젝트를 통해 주기적으로 변동한 파형에 따라 지연 시간이 실시간으로 변화하게 된다. 이는 도플러 효과(Doppler effect)를 만들어 음고의 변화가 일어난다.

도플러 효과는 소리의 주파수와 파장이 청취자와 소리 발생원 사이의 상대 운동에 의해 변화하는 현상을 말한다. 예를 들어, 구급차가 경로를 통과할 때 나타나는 사운드의 변조 현상이다. 소리가 청취자에게 접근할 때는 더 높은 주파수와 짧은 파장으로

들리고, 멀어질 때는 낮은 주파수와 긴 파장으로 들리게 된다. 이로 인해 청취자가 움직이는 것에 따라 소리의 음정이 변화하게 된다. 따라서 주기적으로 시간을 지연시키면 소리의 음정이 주기적으로 변하는 현상을 관찰할 수 있다.

③ reverberation 음향효과

reverberation(reverb) 음향효과는 음악 또는 음향 기술에서 사용되는 효과 중 하나로, 사운드가 공간 안에서 반사되거나 퍼지는 특성을 모방하는 것이다. 오디오 프로덕션에서 reverb는 주파수 변조, 위상 변화, 간섭 및 디지털 신호 처리 방법과 같은 기술을 포함한 알고리즘을 이용하여, 가상공간에서 풍성한 공간감을 만들어 소리가 퍼지는 모습을 재현하는 것이 목적이다.



[그림-10] reverb 음향효과를 구현한 Max 패치

[그림-10]는 yafr2~오브젝트를 활용하여 만든 reverb 음향효과 패치이다. 해당 reverb는 Lexicon plate reverb²⁴⁾의 파라미터를 기반으로 Griesinger reverb²⁵⁾ 스타일을 모방하도록 개발되었다. 이 패치는 size, decay, high frequency damping 및 diffusion이라는 4가지 주요 제어 기능을 조절할 수 있다.

④ phase vocoder 음향효과

phase vocoder는 FFT(Fast Fourier Transform)²⁶⁾ 분석을 통해 음원을 재조합하는 방식으로, 피치의 높낮이를 조절하거나 오디오 원본의 피치를 유지하면서 time stretching²⁷⁾을 할 수 있는 소리 합성법이다. 일반적으로 오디오 파일에서 시간을 조절하면 원본의 음고가 변조되고, 피치를 조절할 때는 원본이 손상될 수 있다. 그러나 phase vocoder는 이러한 문제를 피할 수 있다.

FFT 분석을 통해 전체 오디오 파일을 작은 조각으로 나누어 각 조각을 'bin'이라고 하여, 이 bin 안에는 다양한 주파수 성분이 포함되어 있다. phase vocoder는 FFT를 통해 오디오 데이터를 시간 영역(time domain)²⁸⁾에서 주파수 영역(frequency domain)²⁹⁾으로

24) Lexicon은 오디오 장비의 제조업체로, 그 plate reverb 제품은 전통적인 판 형태의 reverb 특성을 모방하며, 따뜻하고 자연스러운 사운드로 유명하다.

25) Griesinger reverb는 1990년대 초반 David Griesinger가 도입한 디지털 오디오 reverb 처리 방법이다. 이 방법은 초기 반사와 후반 잔향 꼬리를 활용하여 소리가 실제 공간에서 반사되고 확산되는 방식을 더 자연스럽게 모방하는 기술이다.

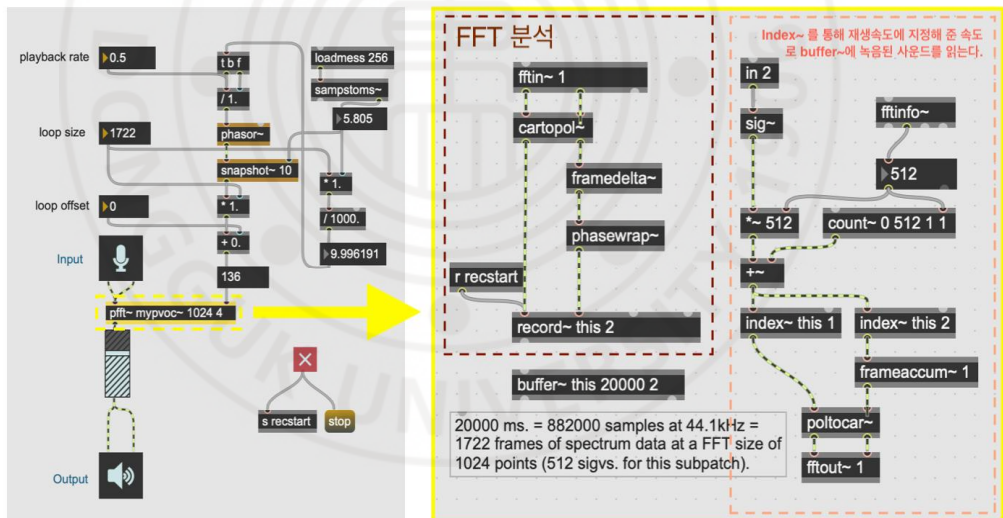
26) FFT는 시간 영역의 오디오 데이터를 주파수 영역으로 분석해서 변환 시켜주는 알고리즘이다. 주로 신호의 스펙트럼 콘텐츠를 분석하는 데 사용되어 신호를 다양한 주파수 성분으로 변환한다.

27) 오디오 신호의 재생 속도를 조절하여 길이를 늘리거나 줄이는 기능이다.

28) 시간 영역은 시간에 대한 수학적 기능, 물리적 신호 또는 경제적 또는 환경적 데이터의 시계열을 분석하는 것을 말한다.

변환하고, 음원의 재생속도를 변화시키거나 재생 방향을 역방향으로 변경하여도 피치의 변화나 사운드의 왜곡 없이 처리하는 기술이다.

[그림-11]의 왼쪽 부분은 pfft~오브젝트를 이용한 phase vocoder의 Max 패치이다. playback rate는 1일 때 원본 소리를 그대로 재생하며, 값이 증가함에 따라 음원의 속도가 빨라지고 0에 가까워질수록 느려진다. 음수를 입력하면 음원이 역방향으로 재생되며 값이 0에서 멀어질수록 속도가 증가한다. 또한, 반복되는 사운드 구간을 설정하는 loop size와 loop offset에 대한 파라미터(parameter)도 함께 제공된다. pfft~안에는 buffer~오브젝트에 저장된 사운드 데이터를 phasor~오브젝트의 입력된 값으로 재생하고 값에 따라 재생속도와 재생방향이 결정된다.



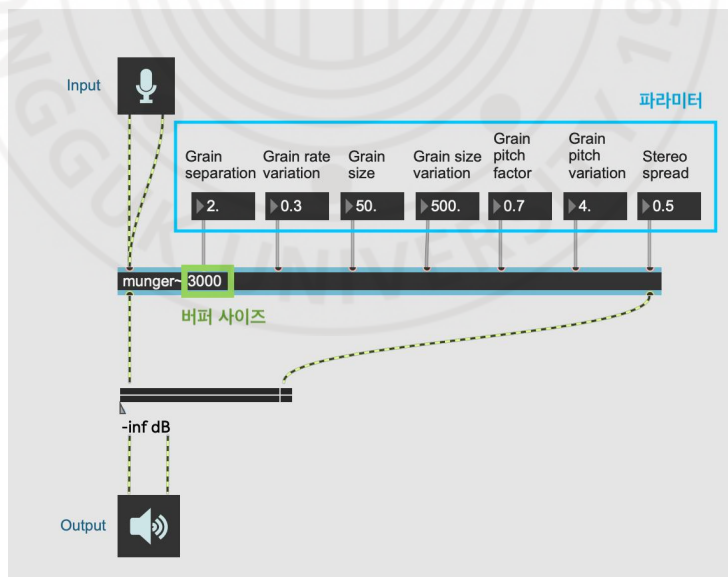
[그림-11] phase vocoder 음향효과를 구현한 Max 패치

29) 주파수 영역은 시간이 아닌 주파수에 대한 수학적 기능이나 신호를 분석하는 것을 말한다.

[그림-11]의 오른쪽 부분은 phase vocoder의 내부 패치이다. 입력된 사운드 데이터는 pfft~ 안에서 사운드에 대한 FFT 분석이 이루어진다. 사운드 데이터는 record~오브젝트로 녹음된 후 buffer~에 저장되면 index~오브젝트를 이용하여 저장된 사운드를 샘플 단위로 재생시킨다.

⑤ granular synthesis 음향효과

granular synthesis는 소리 합성 기법 중 하나로, 오디오 신호를 작은 grain(알갱이) 같은 조각으로 나누어 새로운 소리를 창조하는 방법이다. grain은 일반적으로 작은 오디오 조각이 될 수 있으며, 시간과 주파수에서 다양한 방식으로 재배열하고 처리할 수 있다.



[그림-12] granular synthesis 음향효과를 구현한 패치

[그림-12]은 `munger~` 오브젝트를 활용하여 만들어진 패치이다. `munger~`는 특정 `munger~`의 오브젝트 이름 옆에 입력된 값은 최대 버퍼 사이즈를 의미한다. `munger~`에서 조절할 수 있는 파라미터가 총 7개 있다. 각 파라미터의 의미는 <표-2>와 같다.

<표-2> `munger~` 오브젝트 설명

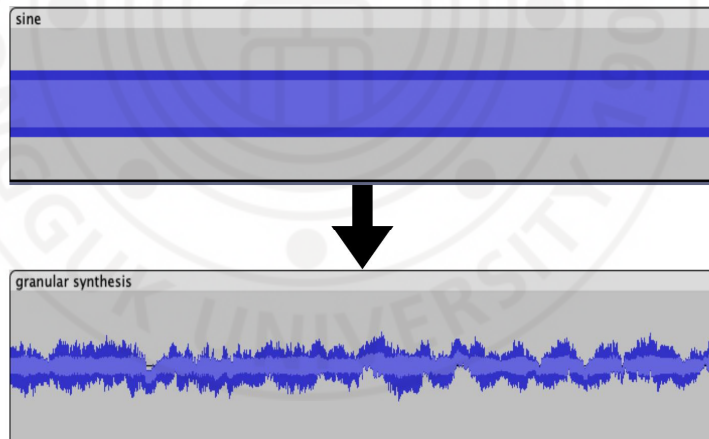
grain separation	각 grain 사이의 간격을 조절한다.
grain rate variation	grain의 생성 속도를 변화시킨다. grain의 생성 속도를 불규칙하게 만든다.
grain size	각 grain의 크기를 지정한다. grain 크기는 그레이인의 길이를 결정한다.
grain size variation	grain 크기의 변동성을 조절한다.
grain pitch factor	각 grain이 원래 오디오 신호의 어느 pitch에서 들릴지 조절한다.
grain pitch variation	grain pitch의 변동성을 조절한다.
stereo spread	grain의 스테레오 폭을 조절한다.

`grain separation`, `grain rate variation`, `grain size`, `grain size variation`의 단위는 millisecond(ms)이다. `stereo spread`에서 소리의 공간감을 조절할 수 있으며 원음 그대로의 상태는 1의 값을 가진다. `grain pitch`의 파라미터 값은 2ⁿ 처럼 2의 지수에 해당되는 값에 따라 옥타브 간격으로 음정이 변화된다. `grain pitch factor`의 파라미터 값을 정리하면 <표-3>와 같다.

<표-3> grain pitch factor 파라미터 의미

파라미터 값	$2^{-2} = 0.25$	$2^{-1} = 0.5$	$2^0 = 1$	$2^1 = 2$	$2^2 = 4$
의미	2옥타브 낮음	1옥타브 낮음	원음	1옥타브 높음	2옥타브 높음

granular synthesis는 입력된 사운드를 아주 작은 시간 단위로 나뉘서 재조합하는 합성 방식을 의미한다. 퍼즐로 상상해 보면 모든 조각이 함께 있으면 완성된 그림이 만들어지지만, 그것들을 다른 위치에 놓고 다시 조합하면 그림이 변형되어 보이는 것처럼 소리가 다르게 들릴 수 있다. [그림-13]은 500Hz의 sine 파형과 그 파형에 50ms 단위로 나눈 granular synthesis가 된 파형이다.



[그림-13] sine파와 granular synthesis 합성이 된 파형 비교

3. 영상 제작 연구

1) 영상 디자인

본 연구에서는 작품 <Dive>의 주제인 ‘물’에 대한 시각적 표현을 찾기 위해 다양한 시각 제작 소프트웨어의 효과를 조사하였다. 첫 번째 단계에서는 Unity³⁰⁾, TouchDesigner³¹⁾ 및 Resolume Arena³²⁾ 세 가지 소프트웨어를 선별하였다. Unity에서는 매개변수 제어를 통해 물의 색상, 굴절, 투명도 등을 섬세하게 모방하여 현실의 물을 재현할 수 있다. 반면에, TouchDesigner는 node-based programming³³⁾을 기반으로 수학적 알고리즘을 통해 물이 가지고 있는 형태와 효과를 자유롭게 표현할 수 있는 장점이 있다. Resolume Arena에서는 영상효과를 사용하여 화면에 다양한 변화를 생성할 수 있다.

작품에서 요구하는 물의 다양한 형태와 추상적인 표현을 구현하기 위해서는 음악에 따라 지속적으로 변화해야 하는 점을 고려하여, 최종적으로 TouchDesigner를 선택하여 영상을 제작하였다. 또한 Resolume Arena를 사용하여, 영상에 다양한 시각적 효과를 추가함으로써 영상 표현의 다채로움을 구현할 수 있었다.

30) Unity는 비주얼 디자인을 위한 도구와 환경을 제공하는 통합 개발 환경(IDE, integrated development environment)이다. 게임 개발뿐만 아니라 시뮬레이션, 교육, 가상현실 (VR), 증강현실 (AR), 영화 및 기타 대화형 디지털 콘텐츠를 만들기 위한 다양한 분야에서 사용된다.

31) TouchDesigner는 실시간 인터랙티브 미디어 아트와 그래픽 프로그래밍을 위한 개발 환경으로, 노드 기반의 시각적 프로그래밍 언어를 사용한다.

32) Resolume Arena은 주로 라이브 이벤트, 콘서트, 무대 공연 및 비디오 아트 등의 분야에서 사용되는 전문적인 비디오 및 라이브 비주얼 퍼포먼스 소프트웨어이다.

33) node programming은 시각적 프로그래밍의 한 형태로, 프로그래밍 태스크를 노드와 에지로 표현하는 방식이다. 텍스트 기반의 코딩보다 직관적이며 시각적으로 이해하기 쉬운 방식을 제공한다.

2) TouchDesigner를 이용한 영상 제작

① TouchDesigner에서 물 효과를 시뮬레이션 하는 방법

TouchDesigner로 물의 비주얼 형태(visual characteristics of water)를 시뮬레이션하는 데 사용되는 몇 가지 일반적인 기술 방법을 요약하면 아래 <표-4>와 같다.

<표-4> TouchDesigner에서 물 효과 시뮬레이션

procedural 함수 기반	사용자 지정 디지털 노이즈 및 수학 기능 구축.
	파라미터 매핑 및 반복을 통한 기본 물 형태 생성.
space perturbation	vector displace와 같은 operator를 사용하여 좌표를 간섭.
	noise 또는 사용자 정의 함수를 사용하여 물의 무작위 요동을 근사화.
particle 시스템 시뮬레이션	속도, 결합, 충돌 등과 같은 입자 파라미터 설정.
	수면에서 기포, 물결 거품 등의 효과를 재현.
wave 함수 모델	물이 힘의 영향을 받아 움직이는 것을 설명하는 수학적 모델 구축.
	물결, 유체 낙하 등의 현상을 표현.

본 작품은 예술적 비주얼 효과를 통해 다양한 물의 형태를 모방하는 데 중점을 두었으며, 주로 procedural 함수, space perturbation(좌표 공간 간섭), particle 시스템 세 가지 방법을 사용하였다.

procedural 함수를 기반으로 한 기술을 사용하여 TouchDesigner의 내장 노이즈 생성 기능을 이용하여 디지털 노이즈를 정교하게 구축하였으며, 물의 풍부한 질감과 파동을 모방하였다. 파라미터 매핑과 반복을 통해 매력적인 물의 기본 형태를 제시하였다. 또한 space perturbation 기술과 vector displace와 같은 연산자를 사용하여 좌표를 정밀하게 간섭함으로써, 수면 표면의 파동과 소용돌이를 모방하였다. 그리고 TouchDesigner의 particle 시스템을 활용하여 particle의 속도, 결합도 및 충돌 파라미터를 조절하여 물속의 거품, 물결 효과를 생생하게 재현하였다. 이러한 방법들의 조화로운 결합은 효과적이고 유연한 물 표현을 창출하여, 풍부하면서도 예술적인 시각적 효과를 제시하였다.

② 영상 기반 제작

TouchDesigner에서 noise operator³⁴⁾는 본 연구 작품에 물의 시각적 효과를 제작하는 데 밀접한 관련이 있다. noise operator를 사용하면 자연스럽게 유동적이며 다양한 텍스처를 생성할 수 있으며, 물체의 외관을 시뮬레이션하는 데 매우 유용하다.

작품<Dive>에서는 Noise CHOP 및 Noise TOP을 영상 기반 제작에 활용하였다. Noise CHOP 같은 CHOPs operator³⁵⁾는 오디오 파형의 합성에서 스펙트럼 모양 조정에 사용될 수 있어 영상과

34) TouchDesigner에서는 noise operator가 Noise CHOP, Noise TOP와 Noise SOP로 제공된다. 이 세 오퍼레이터는 각각 CHOP (channel operator), TOP (texture operator) 과 SOP(surface operator)의 형태로 노이즈를 생성한다.

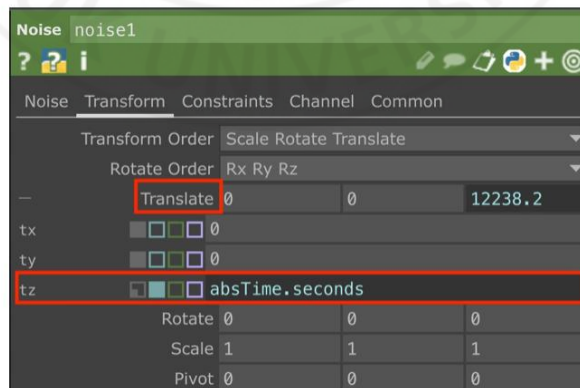
35) CHOPs(Channels Operators) 연산자는 TouchDesigner에서 사용되는 데이터 처리 도구이다. 주로 오디오, 비디오 및 센서 데이터와 같은 다양한 유형의 시간 데이터를 다루다.

소리 간의 더욱 효율적인 상호 작용을 가능케하여 보다 더 밀접한 시각적 효과를 낼 수 있다. [그림-14]는 Noise CHOP를 이용해서 만드는 TouchDesigner 패치이다.



[그림-14] Noise CHOP를 이용해서 만드는 TouchDesigner 패치

‘absTime.seconds’ 명령을 Noise CHOP의 Translate 필드에 넣으면, Noise CHOP의 출력이 시간에 따라 변화하면서 비주얼에 이동 효과가 적용된다[그림-15]. 해당 조작은 장면에서 시간 동적인 노이즈 이동 효과를 생성하여, 객체의 위치가 시간이 지남에 따라 변화함으로써 동적 효과를 자연스럽게 시뮬레이션할 수 있게 한다.



[그림-15] ‘absTime.seconds’ 명령을 Noise CHOP에 이용

Noise TOP은 2D 영상 데이터를 생성하며 각 픽셀 값은 영상의 색상 또는 그레이스케일을 나타낸다. 무늬 매핑, 이미지 교란, 특수 효과 등에 사용된다. 작품에서는 물결무늬의 영상은 Noise TOP을 기반으로 만들어졌다. ‘absTime.seconds’ 명령을 Noise TOP의 Translate 필드에도 이용할 수 있으며, 물의 시각적인 파동 효과를 시뮬레이션하고 파동 속도를 제어할 수 있다.




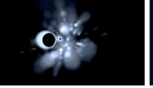

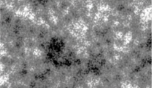
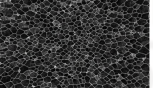
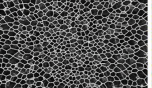
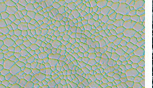
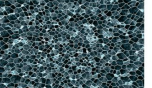
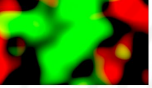
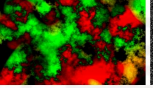





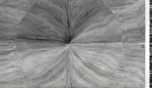
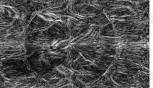
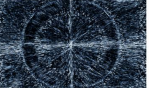


[그림-16] 작품에서 사용한 Noise TOP의 세 가지 패턴

③ 영상 작업 과정

본 작품의 영상 부분은 Circle SOP 및 Noise CHOP을 기반으로 한 패턴 하나와 Noise TOP을 기반으로 한 세 가지 패턴으로 구성되어 있다. 더불어 Feedback TOP, Edge TOP, Blur TOP, Ramp TOP, Slope TOP과 같은 오퍼레이터를 사용하여 패턴 색상을 변경하고 운동 경로의 잔영 효과를 증가시키며 패턴 테두리를 밝게 하고 흐림 효과를 조절할 수 있다. 영상 제작의 각 단계별 과정을 다음 <표-5>에서 볼 수 있다. 영상 제작 외에도 앞서 언급한 오퍼레이터의 파라미터를 연결하여 사운드와 인터랙션을 할 수 있다. 사운드와 영상의 인터랙션은 연구 기술의 작품 적용 부분에서 자세히 다룰 것이다.

<표-5> 영상 제작의 각 단계별 과정

영상	제작과정				
패턴-1	 <p>Circle SOP 사용</p>	 <p>Noise CHOP 값을 추가</p>	 <p>Feedback TOP 사용</p>	 <p>Ramp TOP, Blur TOP 사용</p>	 <p>Level TOP 사용</p>
패턴-2	 <p>Noise TOP 사용</p>	 <p>Feedback TOP 사용</p>	 <p>Edge TOP 사용</p>	 <p>Slope TOP 사용</p>	 <p>Ramp TOP 사용</p>
패턴-3	 <p>Noise TOP 사용</p>	 <p>Noise TOP 하나 더해서 사용</p>	 <p>Noise TOP 값을 particlaGpu에 추가</p>	 <p>Feedback TOP 사용</p>	 <p>Ramp TOP를 particlaGpu에 추가</p>
패턴-4	 <p>Noise TOP 사용</p>	 <p>Feedback TOP 사용</p>	 <p>Blur TOP 사용</p>	 <p>Edge TOP, Slope TOP 사용</p>	 <p>Ramp TOP 사용</p>

④ Resolume Arena의 영상효과

Resolume Arena는 다양한 영상효과 및 효율적인 영상 송출 시스템 구현을 위해 사용되었다. 작품에서 사용한 Resolume Arena의 영상효과는 다음 <표-6>과 같다. 미디 컨트롤러와 매핑해서 각 영상효과의 특정 파라미터를 실시간으로 조절하여 음악과 영상의 상호작용을 부각시켰다.

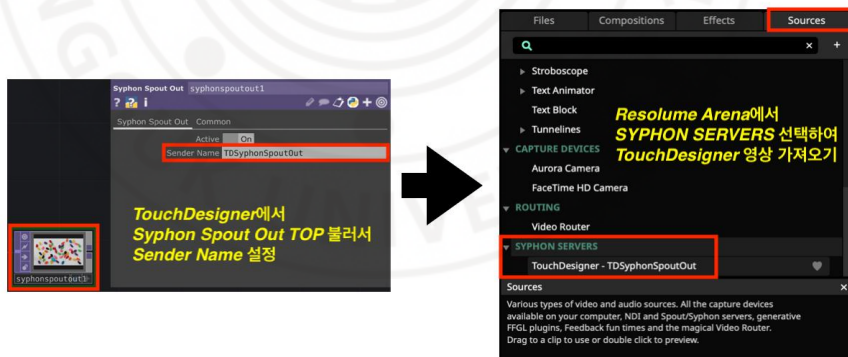
<표-6> 작품에서 사용한 Resolume Arena 효과

영상효과	효과 설명
fish eye	중심 영역 확대, 테두리 영역 축소로 볼록하게 하는 효과
kaleidoscope	다양한 반사 및 대칭 패턴을 생성한 효과
wave warp	영상을 파도 모양으로 휘거나 흔드는 효과
acuarela	수채화 스타일의 그림 텍스처 부여하는 효과
threshold	영상의 각 픽셀의 밝기를 강조한 효과
blow	영상을 부풀려서 확대하는 효과
recolor	영상의 색상을 재구성하거나 조정하는 효과
iterate	영상을 반복적으로 배치하거나 조작하는 효과

⑤ Syphon을 이용한 TouchDesigner와 Resolume Arena의 연동

Syphon은 macOS 운영 체제에서 사용되는 실시간 비디오 프레임워크이다. Syphon은 비디오 생성 및 처리 소프트웨어 사이에서 비디오 스트림을 실시간으로 전송하는 역할을 하며, 시각적인 효과를 생성하거나 프로젝션 매핑 등의 다양한 창조적인 용도에 사용될 수 있다.

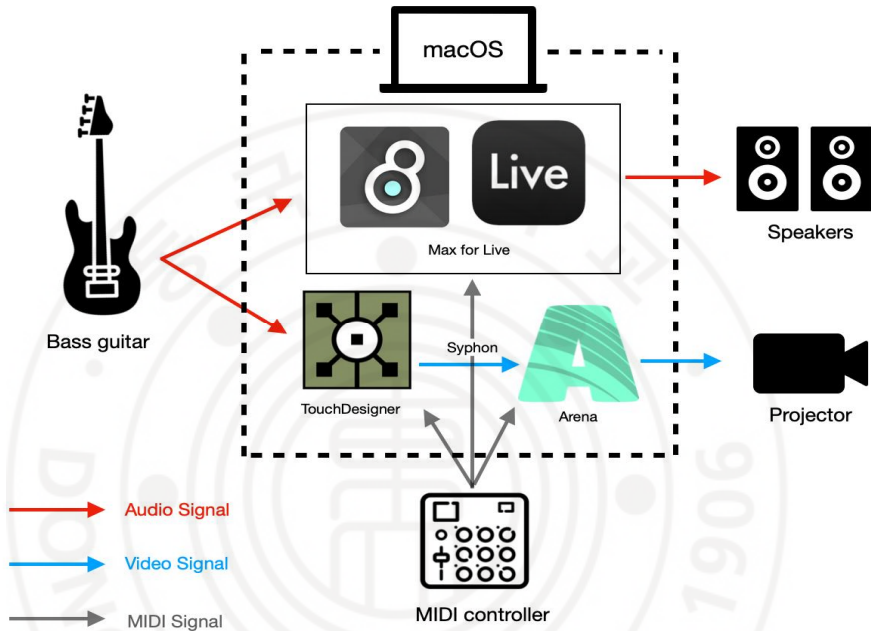
macOS에서 TouchDesigner와 Resolume Arena를 연결하는 방법은 다음과 같다. TouchDesigner에서는 Syphon Spout Out TOP을 추가하고 Sender Name을 설정하여 전송할 비디오 스트림의 이름을 지정한다. Resolume Arena를 동시에 열고 Sources 섹션에서 Syphon servers 옵션을 활성화하면 TouchDesigner에서 설정한 Sender Name 이름을 볼 수 있다. 해당 항목을 Layer에 추가하여 Resolume Arena에서 비디오를 조정할 수 있고 TouchDesigner와 Resolume Arena 간의 비디오 공유를 구현할 수 있다.



[그림-17] Syphon을 이용한 TouchDesigner와 Resolume Arena의 연동

4. 공연 시스템 연구

1) 공연 시스템



[그림-18] 공연 시스템 설계도

음악과 영상이 인터랙션 하는 멀티미디어음악 작품을 제작하기 위해 악기 연주와 프로세싱 된 사운드의 데이터를 주고받을 수 있는 공연 시스템을 제작하였다. [그림-18]은 공연 시스템 설계도이다. 베이스기타의 연주 신호는 오디오 인터페이스를 거쳐 컴퓨터로 입력되며 Max for Live를 통해 사운드 프로세싱을 진행하여 스피커로 출력되었다. 영상 시스템은 악기의 음량 값을 TouchDesigner로 실시간 사운드 데이터가 전송되고 데이터의 영향으로 인해 변화된 영상이 TouchDesigner에서 Syphon을 통해

Resolume Arena로 전달되어서 영상효과를 입힌 후에 프로젝터로 출력되었다.

2) OSC 통신

본 작품에서 사운드 시스템과 영상 시스템 간의 연결을 고려할 때, 처음에 선택한 방법은 Ableton Live와 TouchDesigner의 OSC³⁶⁾ 통신 방식이었다. Ableton Live는 OSC 신호를 생성하고 전송할 수 있는 내장 기능을 제공하며, TouchDesigner에는 Ableton Live에서 출력된 OSC 신호를 수신하기 위한 TDableton³⁷⁾ 도구가 내장되어 있다. OSC 통신 방식을 통해 Ableton Live에서 생성된 오디오 신호나 미디(MIDI) 데이터를 TouchDesigner로 전송하여 실시간으로 시각 효과, 조명 또는 다양한 미디어 요소에 상호작용을 할 수 있다. 그러나 해당 방식은 본 연구 작품에서는 이상적인 결과를 얻지 못했다. 악기의 연주 신호가 Ableton Live를 통해 TouchDesigner로 전송될 때, OSC 통신 방식을 통해 전송되는 신호는 TouchDesigner의 파라미터에 적용하기 어려웠다. 따라서 최종 선택한 방식은 TouchDesigner에서 Audio Device In CHOP³⁸⁾를 사용하여 악기

36) OSC(Open Sound Control)는 CNMAT의 Adrian Freed와 Matt Wright가 개발한 통신 프로토콜로, UDP(User Datagram Protocol)를 기반으로 한다. 악기, 컴퓨터, 멀티미디어 장치 간 음악 공연 데이터를 실시간으로 주고받기 위해 고안되었다. OSC를 통해 사용자는 오디오, 제어, 동기화 정보 등을 다른 장치로 효율적으로 전송할 수 있다.

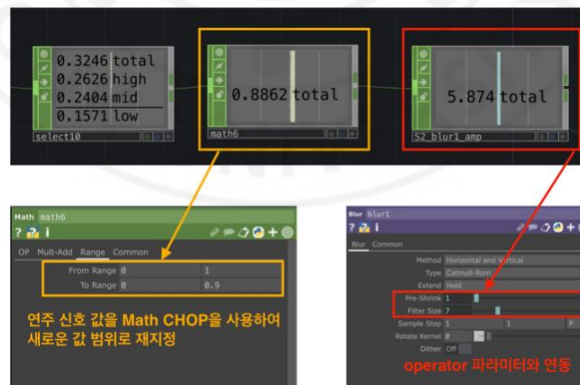
37) TDableton은 TouchDesigner에서 Ableton Live의 정보를 실시간으로 수신하고 처리하여 영상 및 사운드 시각화, 조작, 인터랙션 등의 작업을 수행할 수 있게 해준다.

38) TouchDesigner의 Audio Device In CHOP은 오디오 입력 장치로부터 수신된 오디오 신호를 처리하는 역할을 한다.

연주 신호의 음량 값을 직접 받아들이는 방식이었다. 또한, 사운드 프로세싱을 진행 시 사운드와 영상을 인터랙션을 할 수 있도록 Max for Live, TouchDesigner, Resolume Arena 그리고 미디어 컨트롤러와의 미디 매핑(midi mapping) 방식을 사용하였다.

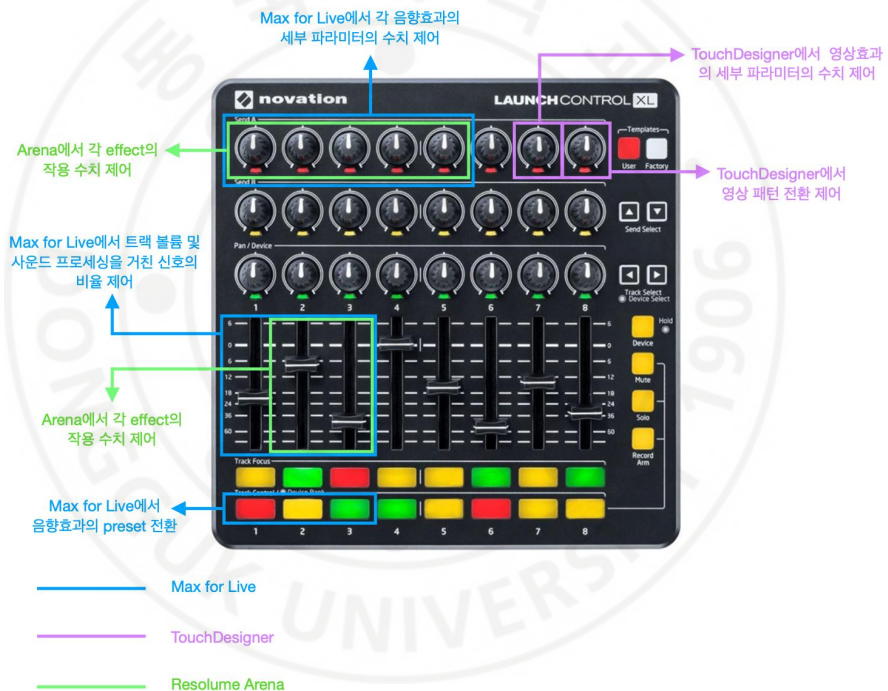
3) 미디 매핑을 이용한 사운드와 영상의 연동

본 작품에서 음향과 영상 간의 연동 방식은 주로 두 가지로 나뉜다. 첫 번째 방식은 TouchDesigner에서 직접 악기 연주 신호를 수신하고 영상과 인터랙션 하는 방식이다. TouchDesigner에서는 받은 악기 음량 값을 Math CHOP을 사용하여 새로운 값 범위로 재지정하고, 해당 값을 drag and drop 방식으로 특정 operator의 세부 파라미터에 적용하여 악기 신호와 영상 간의 인터랙션을 실현할 수 있다. 즉, 악기를 연주하면 지정된 영상효과가 변화하게 된다.



[그림-19] TouchDesigner에서 악기 연주 신호와 영상의 연동 과정

두 번째 방식은 미디 컨트롤러 Novation Launch Control XL³⁹⁾에서 미디 매핑을 하여 Max for Live의 음향효과와 Resolume Arena의 시각적 이펙트를 연동시키는 것이다. [그림-20]은 미디 컨트롤러의 knobs와 faders에서 한 세부적인 미디 매핑이다. 미디 매핑을 사용하면 음향효과를 조절하는 동시에 시각적 이펙트의 작용량도 음향효과에 따라서 제어할 수 있다.



[그림-20] 공연에서 사용한 Novation Launch Control XL의 미디 매핑

39) Novation Launch Control XL은 미디 컨트롤러로, 음악 제작 및 디지털 오디오 소프트웨어를 조작하는 데 사용됩니다. 주로 Ableton Live와 같은 소프트웨어와의 통합을 위해 디자인되었다.

III. 연구 기술의 작품 적용

연구된 베이스기타의 실시간 사운드 프로세싱과 영상 시스템을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 <Dive>는 2023년 11월 11일 동국대학교 이해랑 예술극장에서 진행된 한국 멀티미디어음악학회(SIMM)의 ‘SEEING SOUND LISTENING IMAGE(보는 소리, 듣는 영상) 2023’ 공연에서 초연되었다.

1. 작품 소개

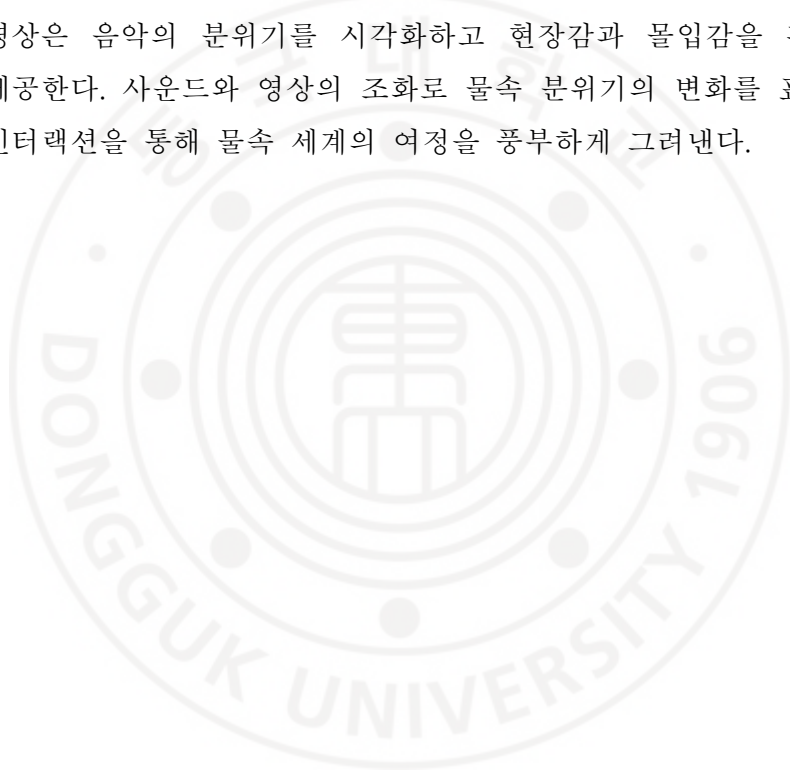


[그림-21] 작품 <Dive>의 공연 이미지

작품 <Dive>는 물속 세계의 신비를 탐험하는 과정에서 예측할 수 없는 경험을 표현한다. 다양한 베이스기타 연주 기법을 통해 물속의 고요함과 깊이에 따라 변하는 분위기를 의도한다. 깊고 울림이 풍부한 베이스기타 소리는 바다의 신비를 묘사하여, 제작된

음악은 다양한 리듬을 사용하면서 물속 심연을 향해 점차 잠겨나가는 과정을 형상화한다.

본 작품에서는 실시간 사운드 프로세싱을 이용하여 베이스기타가 가지고 있는 연주적 한계를 벗어나 음악의 표현적 풍부함을 의도하였다. 사운드 프로세싱은 물속에서의 불안감과 산소 공급이 점점 감소하며 나타나는 긴장감을 표현하였다. 실시간으로 반응하는 영상은 음악의 분위기를 시각화하고 현장감과 몰입감을 관객에게 제공한다. 사운드와 영상의 조화로 물속 분위기의 변화를 표현하며, 인터랙션을 통해 물속 세계의 여정을 풍부하게 그려낸다.



2. 작품 구성

1) 음악 구성

수심에 따른 인간의 호흡 변화는 수중 세계의 다른 분위기를 느끼게 한다. 작품 <Dive>는 이러한 분위기 변화에 따라 크게 A-B-C-B'-A'의 구성으로 나누어진다.

<표-7> 음악 구성

section	주요 베이스기타 주법	조성
A	finger picking	D minor
B	slapping, popping, hammer-ons	D minor
C	natural harmonics, finger picking	E minor
B'	slapping, popping, hammer-ons	G minor
A'	finger picking	D minor

A section에서 D minor를 시작으로 베이스기타가 낮은 음역의 음으로 차분하고 깊은 느낌을 표현하였다. 느린 멜로디 라인을 사용하여, 느긋한 다이빙이 시작되는 듯한 느낌을 전달하였다. B section으로 넘어가면서 리듬이 세분화되며 slapping과 descending melodic contour⁴⁰⁾를 이용하여, 수심이 깊어질수록 호흡이 불규칙해지는 느낌을 자아 내었다. C section으로 전환되면서 조성이 E

40) descending melodic contour는 음악에서 멜로디의 움직임을 나타내는 개념 중 하나이며, 멜로디가 높은 음에서 낮은 음으로 움직이는 형태이다. descending은 하강하는 또는 내려가는 것을 의미하며, melodic contour는 멜로디 선의 형태이다.

minor로 전조되며 베이스기타의 natural harmonics 기법을 활용하여 숨을 다시 찾고 밸런스가 회복되는 느낌을 전달하였다. 리듬이 느려지고 strumming 기법을 사용하여, 안정된 상태에서 물속 세계의 신비를 탐색하는 것을 표현하였다. B' section에서 G minor로 전조되며, slapping 기법을 통해 산소가 부족해지는 상태를 묘사하였다. ascending melodic contour⁴¹⁾를 이용하고 세분화된 리듬이 다시 B section의 리듬으로 전환되고 숨이 급해지는 것을 표현하였다. 이것은 마치 수면으로 돌아가야 할 것만 같은 긴장감을 전달하였다. 마지막으로 A' section으로 돌아와 다시 D minor로 복귀하면서 리듬이 또한 원래의 리듬으로 복귀하여 수면으로 돌아온 느낌을 자아내었다. 음악은 A' section에서 끝나며, 깊고 안정된 멜로디 라인으로 마무리되어 수중 탐험의 완성을 표현하였다.


41) ascending melodic contour는 멜로디가 낮은 음에서 높은 음으로 움직이는 형태를 나타낸다. ascending은 상승하는 또는 올라가는 것을 의미한다.

2) 영상 구성

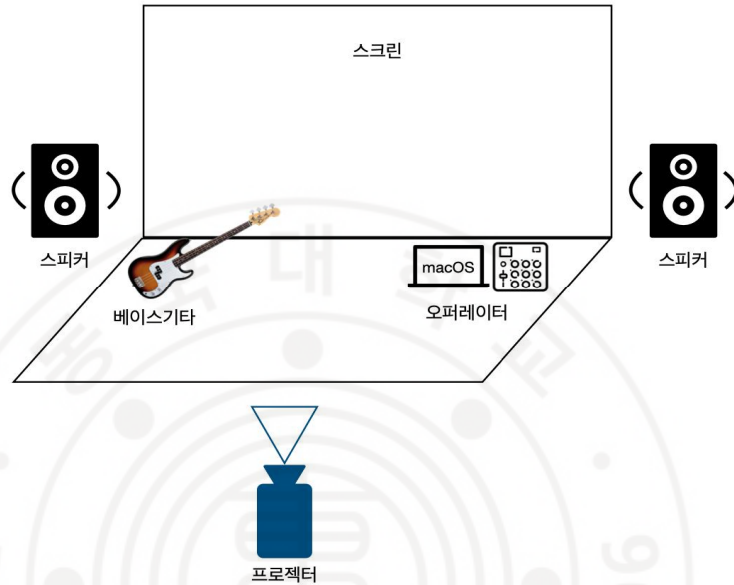
작품을 위해 사용된 영상 패턴은 음악의 전개와 각 부분의 의미에 따라 5개의 다른 시각적 표현을 하였다. A section은 물의 고요한 분위기를 나타내고 있으며, B section에서는 물속으로 들어간 후, 숨이 급격해지고 주변이 혼란스러워지는 물 흐름을 보여주었다. C section에서는 숨을 고른 후, particles 사용을 통해 넓은 물 속 세계의 웅장함을 묘사하였다. B' section에서는 산소가 거의 소진되어 물에 삼켜질 것 같은 상상을 그려내었다. 이때 수면으로 돌아가 숨을 몰아쉬어야 하며, A' section으로 이어지면서 분위기는 다시 평온으로 전환되었다. A section과 또한 동일한 시각적 패턴으로 돌아가며 다이빙의 끝을 상징하였다.

<표-8> 영상 구성

section	이미지	의미
A		수면에 스며든 빛과 거품
B		혼란스러워진 물 흐름

C		<p>숨을 고른 후 느껴지는 웅장함 표현</p>
B'		<p>산소가 고갈되어 물에 잠겨질 것 같은 상상</p>
A'		<p>다시 수면에 가까워지며, 점점 밝아진 시야</p>

3) 무대 구성



[그림-22] 작품 <Dive>의 무대 구성

[그림-22]는 작품 <Dive>의 무대 구성이다. 베이스기타의 소리와 사운드 프로세싱이 이루어진 소리는 공연장의 스피커로 함께 출력되고 오디오 신호와 인터랙션이 일어나는 영상은 프로젝터로 송출하도록 하였다. 공연장의 정면 스크린을 기준으로 베이스기타와 오퍼레이터의 위치를 무대 양쪽으로 배치하였다. 실시간 사운드 프로세싱의 장점을 복각하기 위해 베이스기타 연주자와 오퍼레이터가 서로 마주 볼 수 있도록 무대 위에 배치하였다. 따라서 오퍼레이터는 베이스기타 연주자의 호흡에 맞춰 보다 더 섬세한 사운드 프로세싱 컨트롤이 가능하며, 연주자는 컨트롤된 사운드 프로세싱을 기반으로 연주 타이밍 및 강약을 조절할 수 있다.

3. 작품에서의 사운드 및 영상 기술 적용

1) A section

<표-9> A section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과

section	사운드 프로세싱	영상 패턴	Arena 영상효과
A	delay reverb granular synthesis	패턴-1	fish eyes wave warp

A section은 다이버가 물속에 몸을 던지는 소리로 시작해 베이스기타의 연주가 천천히 이어진다. 베이스기타의 음량 값은 TouchDesigner에 수신되어 패턴-1의 거품 크기 조절에 관여한다.

음향효과는 delay와 reverb를 사용하여 물속의 고요함을 조성하며, granular synthesis를 추가하여 다이버가 숨결을 운용할 때 천천히 상승하는 기포를 묘사하였다. 영상효과 부분은 수중 시선의 몽롱함을 더하기 위해 음향효과에 맞춰 fish eyes와 acuarela를 사용하였다. [그림-23]은 베이스기타 음량 값과 음향효과에 따라 반응되는 영상 변화이다.



[그림-23] A section의 영상 변화

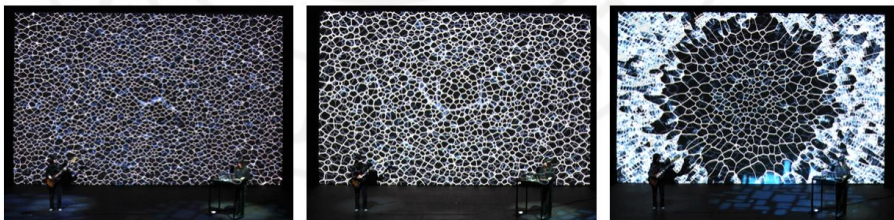
2) B section

<표-10> B section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과

section	사운드 프로세싱	영상 패턴	Arena 영상효과
B	delay flanger	패턴-2	fish eyes

B section은 긴장감 있는 분위기로 전환되며, 베이스기타의 음량 값은 TouchDesigner에서 패턴-2의 밝기를 실시간으로 조절하였다.

음향효과는 다이버가 호흡이 잡히지 않아 느껴지는 불안감을 표현하기 위해 delay와 flanger가 사용되었다. B section 끝나기 전에는 TouchDesigner의 operator 파라미터 값을 조절하여 물 흐름이 가속되는 효과를 나타냈다. [그림-24]는 베이스기타 음량 값의 영향을 거쳐 fish eyes 효과에 의한 변화를 나타낸 그림이다.



[그림-24] B section의 영상 변화

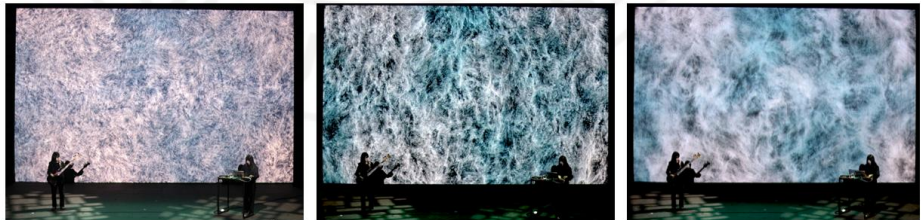
3) C section

<표-11> C section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과

section	사운드 프로세싱	영상 패턴	Arena 영상효과
C	granular synthesis phase vocoder reverb	패턴-3	acuarela wave warp threshold

C section의 베이스가타 음량 값은 TouchDesigner에서 패턴-3의 particle 흐름 및 밝기와 인터랙션을 하도록 설계되어 마치 다이버가 안정적으로 호흡을 조절하면서 편안함을 느낄 수 있도록 의도하였다.

음향효과는 granular synthesis, phase vocoder, reverb를 같이 사용하여 수중 세계의 환상적이고 광활한 분위기를 표현하였으며, 영상효과 부분은 acuarela, wave warp와 threshold를 사용하였다. [그림-25]는 베이스기타 음량 값과 음향효과에 따라 반응되는 영상 변화이다.



[그림-25] C section의 영상 변화

4) B' section

<표-12> B section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과

section	사운드 프로세싱	영상 패턴	Arena 영상효과
B'	granular synthesis delay flanger	패턴-4	wave warp kaleidoscope iterate

B' section은 베이스기타의 음량 값이 TouchDesigner에서 패턴-4의 중심에서 바깥쪽으로의 움직임 및 색상 변화를 의도하여 분위기가 다시 긴장됨을 표현하였다.

음향효과는 flanger, granular synthesis, delay를 사용하여 산소 고갈로 인해 긴박하고 초조해진 분위기를 표현하였다. 영상효과 부분에서 kaleidoscope, iterate와 wave warp를 사용하여 물에 잠길 듯한 상상과 시각적으로 불안정하고 혼란스러운 느낌을 증가시켰다. [그림-26]은 베이스기타의 음량 값과 음향효과에 따른 영상 변화를 나타낸 그림이다.



[그림-26] B' section의 영상 변화

5) A' section

<표-13> A' section에 적용된 사운드 프로세싱 및 영상효과

section	사운드 프로세싱	영상 패턴	Arena 영상효과
A'	delay reverb granular synthesis	패턴-4 ↓ 패턴-1	fish eyes wave warp blow recolor

A' section은 분위기가 다시 평온하게 변한다. 영상은 패턴-4에서 다시 패턴-1로 돌아가며, 베이스기타의 음량 값은 A section과 동일하게 거품의 크기와 색상과 인터랙션을 하였다.

음향효과로는 delay, reverb, granular synthesis를 사용하여 깊은 분위기를 조성하였으며, 영상효과 부분에서는 음향효과와 맞춰서 fish eyes, blow, acuarela를 사용하였다. 마지막에 recolor를 추가하여 다시 수면으로 돌아갈 때 시선이 환해지는 것을 모방하며, 물의 흐름과 거품 소리로 끝난다. [그림-27]은 베이스기타의 음량 값과 음향효과가 영상에 미치는 변화를 나타낸 그림이다.



[그림-27] A' section의 영상 변화

4. 연구 기술의 작품 적용 효과

작품 <Dive>는 Max for Live를 통해 음악의 각 섹션에서 표현하고자 하는 의도에 따라 다양한 사운드 프로세싱 기법을 적용함으로써 독특한 수중 분위기를 연출하였다. granular synthesis를 사용하여 베이스기타의 저음을 높여 악기가 낼 수 없는 고음역대를 보강하여 풍부한 음향효과로 표현하였다. 다양한 연주 기법과 granular synthesis의 다른 파라미터 설정을 결합하여 새로운 음향효과를 창출하였고 flanger를 사용하여 음색 변화를 주어 소리의 불안정성을 증가시켰다. phase vocoder와 granular synthesis를 함께 사용하여 높은 음고와 빠른 재생 속도로 베이스기타의 사운드를 변형하여 맑고 독특한 음색을 강조하는 효과를 얻을 수 있었다. 또한, delay와 reverb를 사용하여 수중 공간 분위기를 형성하고, 다양한 음향효과를 통해 처리된 소리가 더 원활하게 연결되도록 하였다.

음악과 연동된 영상은 각 음악 구간의 이미지를 형성하여 작품의 기승전결에 대한 이해를 도왔다. 악기의 음량 값이 영상 패턴의 움직임 파라미터와 연동되어, 사운드 프로세싱과 영상효과의 동기화를 통해 소리의 공연을 시각적으로 표현하였다. 사운드에 반응하는 영상은 작품의 이야기 전개를 더욱 역동적으로 구현해 내었다.

작품 <Dive>는 수중 탐험의 여정을 그려내고 있다. 수심이 점차 깊어지다가 다시 수면으로 돌아오는 과정을 다루는데, 실제 수중 환경 자체는 변함이 없다. 하지만 인간이 물속으로 들어가면서 산소 공급에 한계가 생기게 되고, 이에 따라 호흡수의 변화로 이 여정의 체험에 기대와 긴장, 탄복 등의 다양한 심경의 기복이 더해지게

된다. 사운드와 영상의 융합을 통해 음악적 표현력이 청각과 시각적 공명으로 확장되었다. 이를 통해 관객들은 수중 세계에 잠기게 되었고, 흐르는 듯한 사운드스케이프(soundscape)⁴²⁾와 서정적 영상이 교차하는 가운데 생명력 있는 다감각적 체험을 하게 되었다.



42) 사운드스케이프(soundscape)는 특정한 몰입적 환경에서 형성되거나 발생하는 소리 또는 소리의 조합을 일컫는다. 단순한 배경 소음이 아닌, 환경을 구성하는 중요한 요소로서 그 장소의 소리의 다양성, 균형, 미학적 가치를 내포하고 있다.

IV. 결론

본 연구는 베이스기타(bass guitar) 연주의 실시간 사운드 프로세싱을 통해 단순한 악기 연주만으로 만들 수 없는 소리를 구현하고 사운드 데이터를 통해 영상과 긴밀하게 연동되는 멀티미디어 작품 제작에 관한 연구이다. 기존의 영상에 음악을 덧입히는 음악 퍼포먼스 형식과는 달리, 작품 <Dive>는 악기 연주 및 사운드로 그려진 영상의 융합된 공연 형식을 채택하여, 사운드를 주체로 하여 음악과 실시간으로 인터랙션이 된 영상이 더해져 구성되었다. 이러한 연출 방식은 음악적 표현의 폭을 넓힐 뿐 아니라 관객들은 기존의 음악 퍼포먼스 형식보다 예술적 표현을 효과적으로 받아들일 수 있었다.

본 작품은 Max for Live를 이용하여 실시간 사운드 프로세싱으로 제작되었다. 악기 및 작품 주제의 특성에 맞게 delay, flanger, reverb, phase vocoder, granular synthesis 등의 음향효과를 조합하여 사용하였다. 이러한 음향효과의 적용으로 악기의 연주, 음역, 음색 표현이 다양화되었으며 이는 기존의 베이스 기타 연주와 차별화된다. 더불어 음악에 기존 악기에서 나올 수 없는 소리들을 적용하여 악기 연주의 한계를 벗어날 수 있었다.

영상 부분은 TouchDesigner를 통해 구현되었으며, 실시간으로 베이스기타 연주 신호를 수신하여 이를 연산자에 응용함으로써 베이스기타의 음량 값이 TouchDesigner 내에서 다양한 영상 변화를 실시간으로 제어할 수 있었다. 또한 미디 매핑을 통해 음향효과가 Resolume Arena의 영상효과와 상호작용하도록 하여 음향효과의 강도에 따라 영상효과를 조절함으로써 사운드 시각화를 밀접하게 구현하였다. 영상의 재생도 Resolume Arena를 통해

이루어졌다.

하지만 이번 연구과정에서 발생한 문제점은 다음과 같다. 첫째는 악기 신호가 TouchDesigner에서 데이터화된 후 영상 변화에 완벽하게 실시간으로 반응하지 않는다는 점이다. 오디오 신호 체인에서의 지연, 아날로그-디지털 변환, TouchDesigner 내의 처리 등이 반응의 지연에 영향을 줄 수 있었다. 이러한 이유로 완전하고 자세한 계산 시스템을 연구하여, 사운드 신호가 영상과 보다 효율적으로 인터랙션을 할 수 있도록 해야 한다. 또한 영상 패턴의 구성이다. 본 작품은 다양한 영상 패턴을 사용하여 각 작품 섹션에 따라 전환되었다. 그러나 여러 패턴이 동시에 작동하기 때문에 컴퓨터 시스템에 부담을 줄 수 있으며, 라이브 공연의 위험부담이 높다. 따라서 TouchDesigner에서 적은 영상 패턴에서 비주얼 변화를 최대한 활용할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 시각적으로 다양한 효과가 만들어지지만 시스템 부담을 줄일 수 있는 방법에 대한 추가적인 연구 또한 필요하다.

본 작품의 주제인 수중 탐험 여정을 효과적으로 표현하기 위해서는 음향과 영상의 긴밀한 통합이 작품의 예술적 표현력을 한층 높여주었다. 실시간 사운드 프로세싱을 통해 다이버가 물속에서 느껴지는 분위기를 세밀하게 청각화할 수 있었으며, 베이스기타의 소리를 변형하여 기존 악기로는 구현할 수 없었던 독특한 수중 사운드스케이프를 만들어냈다. 또한 영상과 사운드 데이터의 실시간 연동을 통해 시각적 표현이 음악과 동기화될 수 있었다. 이를 통해 관객은 다이버 호흡의 기복에 따른 심리적 변화를 직관적으로 경험할 수 있었다. 궁극적으로 기술의 활용은 작품의 서사를 보다 생동감 있게 전달하는 데 기여하였다.

작품 <Dive>는 사운드와 영상, 기술과 예술의 융합을 보여주었다. 이를 통해 수중 탐험이라는 서사를 다각적이고 몰입감 있는 방식으로 제시할 수 있었다. 실시간 인터랙션을 통해 매 공연마다 다소 다른 결과물이 만들어지므로, 작품에 생동감이 부여될 수 있다. 이는 고정된 창작물과 달리 예술 작품에 자연스러운 호흡과 생명력을 불어넣어 줄 수 있다. 향후에도 이러한 기술과 예술의 융합은 다양한 예술 형식의 지평을 열어갈 것으로 기대된다.

Keyword(검색어)

컴퓨터음악(computer music), 사운드 시각화(sound visualization)
인터랙티브 멀티미디어 음악(interactive multimedia music), Max,
실시간 사운드 프로세싱(real-time sound processing), TouchDesigner,
Ableton Live, Resolume Arena

E-mail: wuyiling17@gmail.com

참 고 문 헌

1. 단행본, 학술지

- Jakob Abeßer, Gerald Schuller, “*Instrument-Centered Music Transcription of Solo Bass Guitar Recordings*”(New York, IEEE, 2017)
- David Creasey, “*Audio Processes*”, :Musical Analysis, Modification, Synthesis, and Control(New York, Routledge, 2017)
- Patrik Lechner, “*Multimedia Programming Using Max/Msp and Touchdesigner*”(Birmingham, Packt Publishing, 2014)
- V. J. Manzo, Will Kuhn, “*Interactive Composition*”, :Strategies Using Ableton Live and Max for Live(New York, Oxford University Press, 2015)
- V. J. Manzo, “*Max/MSP/Jitter for Music*”, :A Practical Guide to Developing Interactive Music Systems for Education and More, Second Edition(New York, Oxford University Press, 2016)
- Curtis Roads, “*The Computer for music*”(MIT Press, 1996)
- N. Wolek, “*Granular Toolkit v1.0 for Cycling74’s Max/MSP*”(Illinois, Northwestern University, 2002)

- 이관규, “*be sound be visionary TouchDesigner Guide*”(be sound be visionary, 2023)

2. 참고논문

- 라경외, 「밴드음악을 활용한 실시간 사운드 프로세싱과 비주얼라이제이션 연구 (멀티미디어 작품 <Blue Lagoon>을 중심으로)」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2022)

- 이관규, 「피아노 연주와 무용수의 움직임을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구 (멀티미디어음악 작품 <Circles>를 중심으로)」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2022)

- 이보강, 「피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 인터랙티브 멀티미디어 퍼포먼스 연구」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2018)

- 조환희, 「베이스 트롬본과 피아노의 실시간 사운드 프로세싱을 이용한 멀티미디어작품 제작 연구 (멀티미디어음악 작품 <Yes, I am.>을 중심으로)」 (동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, 2019)

- 한상도, 「현대 베이스 연주에 나타난 퍼커시브 핑거스타일 주법연구 (Damian Erskine, Abraham Laboriel의 연주를 중심으로)」 (동국대학교 문화예술대학원 실용예술학과, 2017)

3. 웹사이트

- Ableton: <https://www.ableton.com/>
- Bass Magazine: <https://bassmusicianmagazine.com/>
- Bass Musician Magazine: <https://bassmagazine.com/>
- Benjamin Heim: <https://www.benjaminheim.com/>
- CNMAT: <http://cnmat.berkeley.edu/>
- Max: <https://cycling74.com/>
- MusicRadar: <https://www.musicradar.com/>
- NOMAD: https://wearetundra.org/nomad_live
- Resolume Arena: <https://www.resolume.com/>
- TouchDesigner: <https://derivative.ca>

ABSTRACT

**A Study on Interactive Multimedia Music
Production utilizing Real-time Sound Processing of
Bass Guitar
- focus on Multimedia Music <Dive> -**

WU YI LING

**Dept. of Multimedia,
Graduate School of Digital Image and Contents
Dongguk University**

The multimedia music <Dive> explored the expansion of musical expression through real-time sound processing of bass guitar performance and its integration with reactive visuals. Granular synthesis via Max for Live was primarily employed to raise the low frequencies of the bass guitar, reinforcing the high-frequency range unattainable by the instrument alone. This created rich sonic textures by combining various playing

techniques with different granular synthesis parameters, generating novel acoustic effects.

The flanger effect introduced timbral instability, while the phase vocoder and granular synthesis transformed the bass guitar sound into a clear, distinct tone by increasing pitch and playback speed. Delay and reverb established an underwater atmosphere, allowing seamless transitions between the processed sounds. The visuals formed representations of each musical section, aiding comprehension of the work's narrative arc.

Real-time mapping of the instrument's amplitude levels controlled diverse visual changes in TouchDesigner, and MIDI mapping facilitated interaction between audio effects and video effects in Resolume Arena. This allowed the visuals to be modulated by the intensity of the audio effects, achieving tight integration of sound visualization.

Unlike traditional performances with pre-rendered visuals, <Dive> adopted a fusion of instrumental performance and sound-generated, reactive visuals through real-time interaction between music and visuals. With sound as the driving force, this approach expanded musical expression while enabling the audience to engage more effectively with the artistic representation compared to conventional formats.

부록-1 : 작품 <Dive> 악보

Dive

A ♩ = 105 (waves sound)

8

H H H

3 3 3

12

20

28

36 (Wait until the processing sound ends) rit.

B

48

52 S H S S P S P S S H P S S H S S P S P S P S P S S H P S S H S S P S P

55 S P S P S S H P S S H S S S P H S S H S S S P H S S H H

57 H S P H S P H S H S P H S P H S H S P H S P H S

2

59 HS P H S PHS PS P S P *rit.* (Wait until the processing sound ends)

C Harm. Harm.

68

72

76 Harm.

80 Harm.

86 (Wait until the processing sound ends)

D

96

부록-2 : 첨부 DVD

1. Dive video : 2023년 11월 11일 이해랑 예술극장 공연 영상
2. Dive score : 작품 악보
3. Dive max patch : 작품에 사용된 Max 패치 폴더

