creative commons

COMMONS DEED

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

dCollection

디자인학 석사학위논문

인터랙티브 미디어를 활용한 가상 어쿠스틱 악기의 시각화

- 바이올린족 현명악기 재현 모델을 중심으로 -

2022년 02월

지도교수 김 수 정

서울대학교 대학원

디자인학부 시각디자인전공

최 이 레

인터랙티브 미디어를 활용한 가상 어쿠스틱 악기의 시각화

- 바이올린족 현명악기 재현 모델을 중심으로 -

지도교수 김 수 정

이 논문을 디자인학 석사학위논문으로 제출함
2022년 2월

서울대학교 대학원
디자인학부 시각디자인전공
최 이 레

최이레의 석사 학위논문을 인준함
2022년 2월

위 원 장 _____ 이장섭 _____ (인)

부위원장 _____ 김경선 _____ (인)

위 원 _____ 윤주현 _____ (인)

국문초록

음악을 시각의 영역에서 표현하는 소리 시각화(Audio Visualization), 또는 음악 시각화(Music Visualization)의 시도들은 역사상 끊임없이 이어져 왔다. 그 가운데 추상 주의 예술 사조는 기하학적인 조형 요소들을 통하여 음악을 시각적으로 표현하며 소리 시각화의 기틀을 세웠다, 20세기 중후반을 거쳐서 회화와 조각의 정적인 특성에서 탈피한 영상물이 등장하고 과학 기술의 발전으로 소리의 물리적 본질을 수학적 수치와 그래프로 분석할 수 있게 되자, 측정 가능한 음악의 객관적 데이터를 변용하는데 적합한 추상 주의 양식이 음악 시각화의 주된 표현 방법으로 자리를 잡았다.

하지만 오늘날 이러한 방식은 결과적으로 음악을 진동의 작용이라는 과학적 현상으로만 한정하게 되었고, 음정, 음량, 파형, 화음 등의 이론적이고 수치적 데이터 이외의 음악의 주변적 요소와 물리적 음원의 특징은 소리 시각화에서 배제되는 현상이 일어나게 되었다. 따라서 본 연구에서는 기존 소리 시각화 사례의 편향성에서 벗어나서, 소리의 근원인 악기와 연주자, 공간 등 소리를 이루는 다양한 요소들을 시청각적으로 반영할 수 있는 소리 시각화 방법론을 주제로 하였다.

본 연구에서는 새로운 관점의 소리 시각화 작품을 제작하기 앞서서 매우 정교하고 복잡한 창음(創音) 방법과 역동적인 연주 동선을 가진 바이올린, 비올라, 첼로, 콘트라베이스 총 네 종의 현명악기를 선정하여, 구상적 소리 시각화로써 이룰 수 있는 최고의 가능성을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 해당 현명악기를 모델로 하는 가상 어쿠스틱 악기(Virtual Acoustic Instrument) 소프트웨어를 음향 도구로 설정하였다.

설계 단계에서는 앞서 선택한 가상 어쿠스틱 악기 소프트웨어에서

지원하는 바이올린족 현명악기의 아티큘레이션 재현 및 물리적 변수 조절 알고리즘을 분석하고, 그 값들을 제어할 수 있는 하드웨어 장비들을 개발하거나 선정했다.

본격적인 시각화 단계에서는 실제 악기의 원리와 연주자의 동작, 이와 관련한 물리적 작용 등을 총체적으로 분석하여 이를 바탕으로 시각적으로 재해석된 가상 악기와 가상 무대 공간의 디자인을 제시하고, 동작 가능한 3차원 오브젝트로 구현했다.

마지막 시각화 단계에서는 앞서 제작한 가상의 악기와 무대 요소가 특정한 MID 입력에 따라서 자연스럽게 반응하고, 아티큘레이션 동작을 시행하도록 설계했다. 이 모든 요소를 차세대 그래픽 기술로 렌더링 되는 엔진에서 구동하게 함으로써, 사용자가 MIDI 하드웨어를 통해 사실적인 3D 가상 공간에 존재하는 악기 및 무대 요소와 실시간으로 시청각적 상호작용 할 수 있는 인터랙티브 미디어 작품을 제작하였다.

본 연구자는 이번 연구를 통하여, 사실적인 악기 음의 디지털적 재현과 사실적인 그래픽 표현 기술을 결합하는 총체적인 시청각적 표현 방법을 개척하고자 하였다. 이로써 객관적 데이터 중심의 추상적 음악 시각화만이 유일한 시각 음악의 형식이 아니며, 음악의 시각화는 차세대 시청각 재현 기술과 음악에 대한 새로운 관점을 통하여 더 다양한 표현 방식과 개념으로 나아갈 수 있다는 사실을 보여주고자 하였다.

주요어 : 인터랙티브, 미디어, 시각 음악, 현악기, 가상악기
학 번 : 2020-23944

목 차

1. 서론 ····· 1
1.1. 연구 배경 및 목적 ····· 1
1.2. 연구 방법 및 방향 ····· 3

2. 소리에 대한 시각화 ····· 4
2.1. 청각적 요소의 시각화 ····· 4
2.1.1. 주관적 청감에 따른 시각화 ····· 4
2.1.2. 청각적 데이터에 따른 시각화 ····· 7
2.2. 소리의 기원에 따른 시각화 ····· 13
2.2.1. 주관적 청감에 따른 시각화 ····· 13
2.2.2. 기능하는 음향 장치의 시각적 표현 ····· 17
2.2.3. 가상 악기 인터페이스에서의 시각화 ····· 19

3. 악기와 소리 ····· 22
3.1. 음악과 시각 표현 ····· 22
3.1.1. 소리의 시각화 방법 비교 ····· 22
3.1.2. 가상 어쿠스틱 악기의 시각화 ····· 23
3.1.3. 가상 어쿠스틱 악기의 원리 ····· 25
3.2. 선정 악기 연구 ····· 27
3.2.1. 악기 모델 선정: 바이올린족 현명악기 ····· 27
3.2.2. 바이올린족 악기의 기능과 외형 분석 ····· 29

4. 관련 선행 작품 연구 ····· 33
4.1. Bass Echo ····· 33
4.2. A Lightroom String ····· 36

5. 상호작용 프로그래밍 ····· 38
5.1. 인터페이스 설계 ····· 38
5.1.1. 인터페이스 입출력 데이터 ····· 38
5.1.2. 하드웨어 인터페이스 ····· 39
5.1.3. 소프트웨어 인터페이스 ····· 42
5.2. 상호작용 방법론 설계 ····· 47
5.2.1. 프로그램 객체 구조 ····· 48
5.2.2. 현명악기 작동 방식 ····· 49

6. 작품 제작 ····· 57
6.1. 악기의 시각적 분석 ····· 57
6.1.1. 바이올린족 악기에서 비롯한 시각 요소 ····· 57
6.1.2. 바이올린족 악기의 시각 요소 응용 ····· 59
6.1.3. 3D 프로토타입 ····· 62
6.2. 가상 현명악기 디자인 ····· 65
6.2.1. 바이올린 솔로 오브젝트 ····· 69
6.2.2. 비올라 솔로 오브젝트 ····· 70
6.2.3. 첼로 솔로 오브젝트 ····· 71
6.2.4. 더블 베이스 솔로 오브젝트 ····· 72

6.3. 악기 동작 설계 ····· 75
6.3.1. 레가토(Legato) 동작 ····· 77
6.3.2. 어택(Attack) 동작 ····· 77
6.3.3. 활 방향 변환 동작 ····· 78
6.3.4. 런(Runs) 동작 ····· 79
6.3.5. 크레센도(Crescendo) 동작 ····· 80
6.4 가상 무대 디자인 ····· 81
6.4.1. 무대 공간의 시각 요소 분석 ····· 81
6.4.2. 가상 무대 시각화 ····· 83
6.4.3. 가상 무대 구성: 세로 화면 ····· 86
6.4.4. 가상 무대 구성: 가로 화면 ····· 94
6.5. 최종 작품 이미지 ····· 97

7. 결 론 ····· 106

참고문헌 ····· 108

그 림 목 차

그림 1 <Nocturne in Black and Gold - The Falling Rocket>, 1874 ···· 5
그림 2 <Nocturne Trafalgar Square Chelsea Snow>, 1876 ····· 5
그림 3 <Impression III>, 1911 ····· 6
그림 4 <Composition VII>, 1913 ····· 6
그림 5 <Catalog>, 1961, John Whitney ····· 7
그림 6 인간의 가청영역 주파수 그래프 ····· 9
그림 7 MIDI 데이터의 시간적 나열 ····· 9
그림 8 <Spectral Density Estimation>,2012,Andreas Nicolas Fischer · 10
그림 9 <Ljósið>, 2008, Ólafur Arnalds ····· 10
그림 10 알바 노토의 오디오 퍼포먼스, 2010 ····· 12
그림 11 <바이올린과 포도>, 1912, 피카소 ····· 14
그림 12 코지 타케이의 작품 모음, 2013 ····· 15
그림 13 Choreographer, 1983, 페르낭데 ····· 16
그림 14 Le violon de Crémone, 1997, 페르낭데 ····· 16
그림 15 뮤직 박스, 1890 ····· 17
그림 16 노래하는 새, 1891 ····· 17
그림 17 <Marble Machine>, 2014, Wintergatan ····· 18
그림 18 <Pipe Dream>, 2001, Animusic ····· 18
그림 19 <Resonant Chamber>, 2008, Animusic ····· 19
그림 20 Chris Hein Strings, 2018 ····· 20
그림 21 8Dio Adagio Violins, 2016 ····· 20
그림 22 Wavesfactory Le Parisien, 2020 ····· 21
그림 23 Audio Modeling SWAM Violin Solo, 2021 ····· 21

그림 24 바이올린족 현명악기: 바이올린,비올라,첼로,더블베이스 ····· 27
그림 25 바이올린족 악기들의 구성 부품들과 연주 무대 배치 ····· 29
그림 26 에프홀의 변화 과정과 음악적 기호의 유사성 ····· 30
그림 27 바이올린의 공통적인 스크롤과 현의 구성 ····· 30
그림 28 바이올린족 악기의 현의 구성 ····· 31
그림 29 <Bass Echo>, 2021 ····· 33
그림 30 재프로그래밍된 Roli Lightpad ····· 34
그림 31 실시간 레이 트레이싱(RTX)과 기존 라이팅의 비교 시연 ···· 35
그림 32 Bass Echo의 Nanite 메시 셰이딩 시각화 ····· 35
그림 33 <A Lightroom String>, 2021 ····· 36
그림 34 Nektar SE 49 피아노 레이아웃 MIDI 컨트롤러 ····· 39
그림 35 익스프레션 페달 ····· 40
그림 36 4축 스틱형 컨트롤러 ····· 41
그림 37 Sample Modeling 社 Solo & Ensemble Strings ····· 42
그림 38 작품 전체를 구성하는 클래스의 구조도 ····· 48
그림 39 노트 입력과 아티큘레이션에 따른 현 위치 인식 알고리즘 순서도 ····· 49
그림 40 현명악기 아티큘레이션 구현을 위한 알고리즘 순서도 ····· 52
그림 41 Expression, Attack Time, Release Time 변환 그래프 ····· 56
그림 42 바이올린족 악기 연주자의 실루엣에 따른 곡선적 표현 ····· 58
그림 43 바이올린족 악기와 연주자의 동선에 따른 선적 요소 ····· 59
그림 44 가상 어쿠스틱 악기 시각화 컨셉화 1 ····· 60
그림 45 가상 어쿠스틱 악기 시각화 컨셉화 2 ····· 60
그림 46 가상 어쿠스틱 악기 시각화 컨셉화 3 ····· 61
그림 47 가상 어쿠스틱 악기 시각화 컨셉화 4 ····· 61

그림 48 바이올린족 악기의 곡선 요소의 2D 에셋 ····· 62
그림 49 가상 현명악기의 프로토타입 모델링 ····· 63
그림 50 바이올린 솔로의 모델링과 텍스처링 전(上)과 후(下) ····· 64
그림 51 포토 리얼리스틱 환경에 배치된 바이올린 솔로 ····· 65
그림 52 바이올린, 비올라, 첼로, 더블 베이스 ····· 67
그림 53 공용 텍스처가 적용된 셰이더 볼과 UV 맵 ····· 68
그림 54 텍스처링 된 바이올린 솔로 3D 모델 ····· 69
그림 55 바이올린 솔로 PBR 텍스처 ····· 70
그림 56 텍스처링 된 비올라 솔로 3D 모델 ····· 70
그림 57 비올라 솔로 PBR 텍스처 ····· 71
그림 58 텍스처링 된 첼로 솔로 3D 모델 ····· 72
그림 59 첼로 솔로 PBR 텍스처 ····· 72
그림 60 텍스처링 된 더블 베이스 솔로 3D 모델 ····· 73
그림 61 더블 베이스 솔로 PBR 텍스처 ····· 73
그림 62 현명악기 오브젝트들에서의 Pivot 위치 ····· 75
그림 63 레가토 연주에 따른 바이올린 연속 이미지 ····· 77
그림 64 어택에 따른 바이올린 연속 이미지 ····· 78
그림 65 데타셰에 따른 바이올린 연속 이미지 ····· 79
그림 66 런에 따른 바이올린 연속 이미지 ····· 80
그림 67 크레센도에 따른 바이올린 연속 이미지 ····· 80
그림 68 National Polish Radio Symphony ····· 81
그림 69 Sidney Concert Hall ····· 81
그림 70 Stern Auditorium ····· 82
그림 71 무대 바닥과 천장 컨셉화 ····· 83
그림 72 가상 무대 컨셉 ····· 83

그림 73 배경 요소를 적용하지 않은 악기 배치 ····· 84
그림 74 가상 무대 프로토타입 ····· 85
그림 75 가상 무대: 세로 화면 ····· 86
그림 76 가상 무대: 가로 화면 ····· 86
그림 77 3D 공간에서의 거리에 따른 무대의 영역 구분 ····· 88
그림 78 무대 영역의 3D 모델 ····· 89
그림 79 실제 연주 무대 ····· 89
그림 80 무대 영역의 오브젝트 전경 ····· 89
그림 81 Expression(CC11)에 따른 무대의 광원 변화 ····· 90
그림 82 중간 영역의 오브젝트 구성 ····· 91
그림 83 배경 영역의 3중 회전판 ····· 92
그림 84 Expression(CC11)에 따른 배경 회전과 전체 광원의 변화 ···· 93
그림 85 3D 공간에서의 화면 위치에 따른 영역 구분 ····· 95
그림 86 무대 영역의 하단 조명 및 악기 플랫폼 ····· 95
그림 87 측면 영역의 보조 기둥 ····· 96
그림 88 배경 영역의 회전판 ····· 96
그림 89 MIDI 하드웨어를 이용한 인터랙션 작품 전시, 2021.12.10., 서울대학교 미술관 MOA ····· 97
그림 90 프로젝터와 MIDI 하드웨어를 이용한 인터랙션 작품 전시, 2021.12.15., 서울대학교 미술관 MOA ····· 98
그림 91 세로 화면에 최적화된 가상 환경의 변화 ····· 99
그림 92 가로 화면에 최적화된 가상 환경 ····· 99
그림 93 세로 화면 환경 : 최소 셈여림 값 ····· 100
그림 94 세로 화면 환경 : 최대 셈여림 값 ····· 101
그림 95 바이올린 솔로 확대 ····· 102

그림 96 비올라 솔로 확대 ····· 103
그림 97 첼로 솔로 확대 ····· 104
그림 98 더블 베이스 솔로 확대 ····· 105

표 목 차

표 1 MIDI 데이터 구조 ····· 38
표 2 Sample Modeling Strings의 아티큘레이션에 따른 연산 추정 ···· 43
표 3 Sample Modeling Strings의 대표적인 CC 종류와 물리 작용 ····· 44
표 4 중요도에 따른 CC 입력 범위 선정 ····· 53
표 5 본 작품에 사용하는 컨트롤러들에 따른 MIDI 입력 종류 ····· 54
표 6 악기에 따른 비브라토 관련 CC 변수의 변화량 차이 ····· 55
표 7 악기 오브젝트의 각 Pivot에 연결된 물리 메시 숫자 ····· 76
표 8 거리에 따른 영역별 특성: 세로 화면 ····· 87
표 9 거리에 따른 영역별 특성: 가로 화면 ····· 94

1. 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

20세기 디지털 시대에 접어들면서, 청각과 시각의 연결에 대한 다양한 시도가 이루어져 왔고, 인간의 다양한 감각을 자극할 수 있는 새로운 매체와 표현 방식들 또한 발달하기 시작하였다. 그 가운데 시각과 청각을 유기적으로 연결하는 공감각적 시청각 편집물들은 현대 미디어에서 적극적으로 활용되며 오늘날까지 주류 시각 문화로 자리 잡게 되었다. 실험적인 시각화 예술부터 상용화된 모션 그래픽까지, 움직임과 리듬, 색과 화음 등 서로 다른 두 가지 감각 요소들을 하나의 관계로 묶어서 표현하는 예술적 결과물들은 지금도 다양하게 생산되고 있다. 더욱이 오늘날에는 반도체 기술이 상용화되면서 예술 표현의 디지털 구현 수준 또한 더욱 발전하고 정교해졌다. 이에 따라 시청각의 요소들이 체험자의 입력에 따라 실시간으로 반응하는 상호작용성을 구현할 수 있는 기술 또한 상용 가능한 수준까지 발전하여 미디어 예술에 반영되기 시작했다.

본 연구자는 관현악에서 사용하는 악기들이 만들어내는 음향과 작동 방식에 큰 관심을 가져왔다. 관현악기는 음향학과 함께 발전했고, 오랜 세월 동안 과학적인 개량을 거치며 수백 년이 지난 오늘날까지도 현대 음악의 탄생에 직접적인 영향을 행사하며 대중에게 널리 사랑받는 위치에 이르렀다. 또한, 관현악기들을 다루기 위하여 개발된 다양한 물리적 동작 및 넓은 스펙트럼의 소리 구현 기법 등을 알아보며 해당 악기들에서 비롯한 시청각적 표현 방식에 큰 영감을 받았다. 이와 같은 맥락으로 본 연구자는, 곡이라는 것은 연주를 통하여 생겨나므로, 음악에서는 음 자체의 아름다움을 넘어서 악기와 음악 간의 인과적 관계를 느낄 수 있어야만 진정한 감상에 이를 수 있다고 보았다. 그러나 오늘날 음악의 시각화 사례들은 음향이라는 표면적 현상을 이용하여 결과물을 구현하는

데 초점을 두는 경우가 많다. 음의 크기, 화음, 템포, 주파수의 높낮이 변화 등 음악을 구성하는 디지털 정보들은 가시적이고 측정하기 쉬운 데이터라는 이유로 시각화에서 사용되는 변수로 널리 차용되고 있다. 이러한 데이터는 음악을 디지털화 한 음의 파장에 대한 정보를 담고 있을 뿐이지, 음악의 이면에 존재하는 다양한 음원 및 악기들의 움직임과 서로 간의 관계를 나타낼 수 없고, 음원들의 작동 방식 및 원리 또한 반영할 수 없다. 음악을 시각화할 때, 녹음을 통해 양자화된 음파의 과학적 수치를 주된 변수로써 활용할 뿐이라면, 그것은 음악의 본질적 요소를 놓치게 되는 것으로 판단하게 되었다.

본 연구에서는 기존에 널리 사용되던 음파 측정 데이터를 대신하여, 악기 자체가 음악의 시각적 표현에서 어떠한 역할을 할 수 있는지 고찰했다. 이로써 악기들이 만들어내는 순수한 소리 이외에도, 음을 내기 위해 각자 고유의 방법으로 운동하는 모습, 물리적인 마찰과 우연으로 인한 불완전한 음을 완벽하게 꾸며주는 순간 등, 음이 생성되는 여정 자체에 주목하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 음파의 수학적 요소들을 어떻게 활용할 것인지를 주제로 하는 편향성에서 벗어나고자 한다. 본 연구에서는 가상 악기 가운데 실제 악기의 음을 재현하는 가상 어쿠스틱 악기(Virtual-Acoustic Instrument)라고 정의하였다. 이러한 재현 악기들을 통하여 음악을 구성하는 실제 악기의 작동 방식과 움직임을 분석하여 데이터로 정량화하는 프로그래밍 방법론을 설계하여 실제로 실시간으로 동작하는 시각적인 가상 어쿠스틱 악기로서 구현하는 것에 초점을 두었다. 본 연구에서는 해당 방법론을 응용하여 실시간으로 전해지는 체험자의 입력에 따라 음악을 제어할 뿐만이 아니라, 악기의 원리와 본연의 물리적 작용까지 시각적으로 표현할 수 있는 작품을 제작하고, 그 과정을 서술하고자 한다.

1.2. 연구 방법 및 방향

본 연구에서는 음을 생성하는 악기의 동작과 원리를 분석하여, 음의 시각화를 설득력 있게 표현할 수 있게 해주는 인터페이스를 작품에 반영하고자 한다. 이를 위한 연구 과정은 아래와 같이 구성하였다.

1. 근대부터 현재까지 이어져 내려오는 음악의 시각화 예술의 발전 역사를 살펴보고, 시대에 따른 과학 기술의 발전 및 예술 표현 방법론의 변화가 시청각적 표현 방식에 끼친 영향과 결과에 관해 기술한다.

2. 분석한 사례들을 통하여, 주 소재로 하는 청각적 요소가 무엇인지에 따라 음악 시각화의 두 종류를 분류한다. 이로써 음향 측정 데이터 중심의 시각화를 탈피한 가상 어쿠스틱 악기 시각화를 진행하는 목적과 의의를 제시하고, 이러한 시도가 기존의 사례들과 어떠한 차이점과 특이점이 있는지 제시한다.

3. 본 연구의 시각화 모델로 현명악기를 선정하는 이유에 대해서 말하고, 이를 위해 도입된 소프트웨어 및 하드웨어 인터페이스의 기능적 측면에 따른 설계 방법론을 제시한다.

4. 가상 어쿠스틱 악기를 활용한 구상적 실체화를 향한 제작 단계와 결과물을 구체적으로 보여주고, 이를 체험자와 실시간 상호작용하며 작동하는 인터랙티브 미디어 작품으로 완성되어가는 과정을 성실하게 서술한다.

2. 소리에 대한 시각화

2.1. 청각적 요소의 시각화

본 차례에서는 지난 100년간 수많은 변용을 통해 시도되어왔던 소리의 감각적 자극에 관한 시각화 사례를 기능적인 측면에 따라 살펴본다. 이를 통하여 본 연구에서 진행하고자 하는 악기의 시각화라는 맥락과는 정 반대에 있는, 소리 자체의 성질에 대한 시각화가 어떠한 역사적 맥락에서 변화해왔는지, 오늘날까지도 형식적 표현에 있어서 얼마나 큰 영향을 끼치고 있고, 그 이유는 무엇인지에 대한 추론을 진행하고자 한다.

2.1.1. 주관적 청감에 따른 시각화

주관적인 해석 또는 청각적 자극에 따른 시각화는 전통적 회화와 현대적인 미디어 아트에 거쳐 다양한 예술 분야에서 오늘날까지 쉽게 관측할 수 있는 사례이다. 소리의 감각적 자극을 시각화하기 시작했던 시기적 배경은 19세기 후기와 20세기 초기에 거쳐서 유럽의 국가들에서는 산업과 과학 기술이 빠른 속도로 발전하였던 시대와 맞물린다. 당시 자연과학과 공학의 공통된 응용 분야였던 음향학은 미학과 형식 수학의 영향을 받아 청각의 영역을 넘어서 공감각적 표현과 철학적 영역까지 영향력을 확장하는 새로운 국면을 맞이하게 되었다. 19세기 개념적 영향력을 끼치는 것에서 더 나아가 구성주의를 통해 직접적인 시각화로 이어진 청각적 요소의 시각화 사례들은, 현대의 표현 양식에도 많은 영향을 미치고 있다.

음향학과 수학의 예술적 응용과 일어난 직접적인 시각적 활용 사례는 아니지만, 19세기의 미국의 인상주의 작가들은 음악에서 사용하는 용어를 공감각적으로 받아들여 자신들의 회화 작품을 설명하는 데 사용

하였다. 특히 미국의 인상파 화가 제임스 위슬러(James Abbott McNeill Whistler, 미국, 1834-1903)는 교향곡, 편곡, 화음 등의 음악적 용어를 자신의 작품 제목에 사용하는 독특한 행보를 보였다.

그림 1 <Nocturne in Black and Gold - The Falling Rocket>, 1874

그림 2 <Nocturne Trafalgar Square Chelsea Snow>, 1876

당시 위슬러를 포함한 미국의 인상파 화가들은 흐릿한 안개를 묘사하여 서정적이고 몽환적인 분위기를 표현하는 색조주의(Tonalism) 작품 운동을 진행하였는데, 색조주의에서 강조하는 색조(tone)와 음악의 음(tone)이 영어로 동의어라는 점에서 이러한 경향을 띠었다고 추측할 수 있다. 위슬러는 주로 어두운 야경[그림 1]이나 저녁노을이 진 배경[그림 2]을 그린 자신의 작품에 '야상곡(Nocturne)' 이라는 음악적 용어를 제목으로 붙였고, 이를 "꿈과 같이 구슬픈 분위기"를 작품에 반영하기 위해서라고 설명했다.[1)]

1) "Tonalism and the Nocturne." *Detroit Institute of Arts.* last modified Jan 16, 2012, accessed Oct 3, 2021. https://web.archive.org/web/20120616104611/http://www.dia.org/exhibitions/whistlersite/8.htm.

그림 3 <Impression III>, 1911

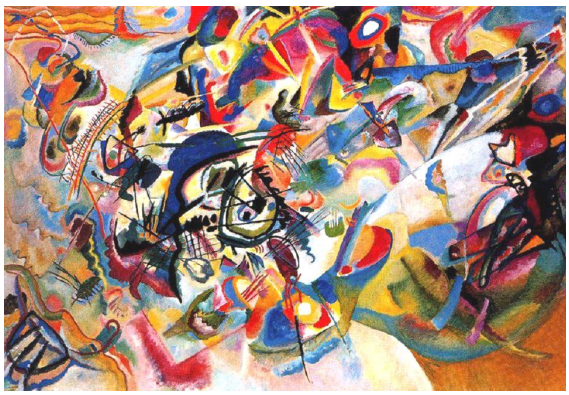

그림 4 <Composition VII>, 1913

한편, 자연물에 대한 표현을 중시하였던 인상주의에서 벗어나서, 새로운 미술사조들 또한 등장하게 되는데, 이 가운데 추상주의의 대표적인 작가인 바실리 칸딘스키(Василий Васильевич Кандинский, 러시아, 1866-1944)는 청각적 자극을 자신의 추상 회화에 적극적으로 활용한 청감각의 시각화의 대표적인 사례를 만들어냈다. 일명 칸딘스키의 청기사파 시기라고 불리는, 1911년부터 시작된 칸딘스키의 추상화 작품들은 강렬한 색감과 본질적 점, 선, 면의 형태들을 통하여 오늘날의 대중에게도 익숙한 칸딘스키 특유의 강렬한 색감의 추상적 표현 성향이 잘 나타난다. 마치 미국의 색조주의 인상파 화가들이 그랬던 것처럼, 칸딘스키는 자신의 후기 작품들에 '즉흥작(Improvision)' [그림3] 혹은 '작곡(Composition)' [그림4]과 같은 음악적 용어를 사용하며, 자신의 시각적 표현에서, 음악의 추상적 특성과 영감이 반영되었다는 것을 끊임없이 강조한다. 칸딘스키는 뮌헨에서 개최한 아르놀트 쇤베르크(Arnold Schönberg, 1874-1951)의 피아노 연주회를 듣고 <인상 III>을 통하여 자신의 감상을 나타내었다. 이 그림은 대중에게 익숙한 완전 추상 화가로서의 칸딘스키의 과도기적 작품인데, 피아노는 건반에서 볼 수 있는 흑백의 색감과 실루엣으로 구성되어 있고, 관객은 둥근 선과 다양한 색으로 표현되어 구상적 표현의 흔적이 그대로 남아있다. 이후에도 칸딘스키는 현실의 작용에서 비롯한 외형적 특성보다 그 내면의 본질적 구조와 공감각적 색감에 완전히 집중하면서 추상의 영역을 적극적으로 작품에 반영

하게 되었다. <Composition VII>은 칸딘스키의 Composition 작품들 가운데 하나로, 관현악의 다양한 악기들과 그 소리들을 색과 점, 선, 면의 형태들로 재구성한 공감각적 표현 사례이다. 본 작품의 요소들은 원래의 시각적 기원을 알 수 없을 만큼 추상화되었고, 단순하지만 다양한 형태와 색감이 어우러지며, 음악 특유의 리듬감이 나타난다.

2.1.2. 청각적 데이터에 따른 시각화

그림 5 <Catalog>, 1961, John Whitney

추상 주의 예술의 표현 방법과 예술 철학은 시대가 흘러감에 따라 음악의 시각화에 큰 영향을 끼쳤다. 추상 주의적 표현 방법의 영향력은 20세기 중기의 영상 기술을 이용한 작품에도 잘 나타난다. 그 사례 중 하나로, 존 위트니(John Hales Whitney, 미국, 1917-1995)는 진공관의 개

발과 함께 등장하기 시작했던 비디오 재생 디스플레이와 저장장치라는 새로운 매체에 대한 이해를 적극적으로 작품에 활용했다. 위트니는 동시대의 다른 모션 그래픽 예술가들과는 다르게, 소리와 영상의 시각적 합일에 대해서 색다른 관점에서 고민하였다. 그가 1980년 펴낸 저서인 <Digital Harmony: on the Complementarity of Music and Visual Art>[2]에서 확인할 수 있듯이, 위트니는 물리적인 카메라 촬영 기법과 카메라로 촬영한 결과물의 집합은 음악이 가지는 비물질성과 추상성에 비교하여 매우 정적이라고 판단했다. 그는 모더니즘 예술 철학의 영향을 받아, 시각 표현물의 정적인 틀을 탈피하는 최종 목표인 유동적인 구성(Liquid Architecture)이라는 개념을 추구하며, <Catalog>[그림 5]에서 보이는 그의 작품처럼 색과 형태나 질감과 같은 시각 표현의 근본적인 요소들을 통하여 청각과도 같은 시각의 유동성을 확보할 수 있다고 주장했다. 위트니의 논리적인 작품 성향은 실제로 당시 등장하였던 모션 그래픽 산업 분야에 유행하던 공통적인 예술적 논의를 함양한 것으로서, 앞으로의 시대에 따라 변화할 청감의 시각적 표현 방식의 전조를 보여주었다. 이렇게 회화와 조형물 중심의 예술 시대가 지나고, 위트니가 활약했던 20세기 중후반에는 모션 그래픽과 영화 등 새로운 종류의 미디어가 거대한 규모로 발전하였다. 이에 따라 새롭게 떠오르게 된 예술 산업은 미디어와 결합하여 새 시대의 주역으로 활약하게 되었다.

위트니는 초기에는 수동적인 영상 제작 기술을 이용하여 직접 소리를 듣고 자의적으로 해석한 감상을 동적으로 표현하는 데 그쳤지만, 과학 기술이 발달하면서 위트니를 포함한 청각적 시각 표현 사례에 전체에 변화가 찾아오게 된다. 아날로그적인 음의 성질을 주파수와 크기, 화성으로 정량화할 수 있게 해주는 새로운 음향 공학 기술과 소리 분석에 대한 방법론이 발전하며, 청각적 요소의 시각화는 새로운 국면을 맞이했다. 기존에는 완벽하게 추상적 영역에 머물러 있던 청감은, 기계 장비를 통하여 인간의 인지 범위를 넘어서는 수준까지 명백히 파악할 수 있는

2) Whitney, John H. “Digital Harmony: on the Complementarity of Music and Visual Art.” published May 10, 1980. ISBN 0-07-070D15-X

특정 주파수의 연속되는 진동으로서 해석할 수 있게 되었다. 그와 더불어 아날로그 정보와 디지털 정보 간의 자유로운 변환 기술 덕분에 소비자용 스피커와 신디사이저 등의 음향 관련 장비가 개발되며, 청각적 경험 또한 시간성과 현장성으로 인한 한계를 벗어던지고 시공간적 제약에 상관없이 누구나 체험할 수 있도록 일반화되었다.

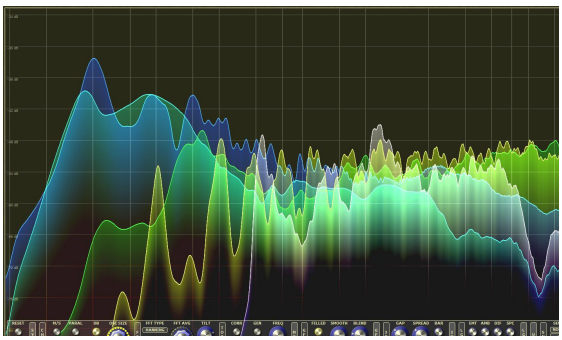

그림 6 인간의 가청영역 주파수 그래프

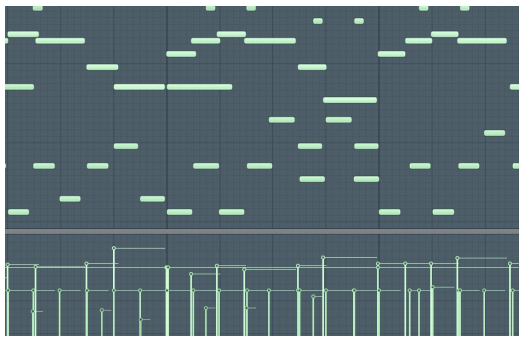

그림 7 MIDI 데이터의 시간적 나열

소리의 구현 가능한 가청 주파수 범위를 넓히고 다양한 방법의 소리 편집을 가능하게 해주는 디지털 형식의 장비들이 등장하며, 1981년 Audio Engineering Society Conference에서 범용적인 7 bit MIDI 데이터 통신 규격[3]이 정의되어 반도체 장비를 활용한 음향 생성 및 공유 기술이 대중에게 널리 공개되었다. 이렇게 오디오 기술의 발전에 따라 체험자의 인식과 수요 또한 변화하며, 음악의 시각적 표현은 진보된 디지털 기술에 의해 상단의 진동 주파수 그래프[그림 6]이나 MIDI 데이터 시트[그림 7] 형식의 오디오 데이터의 형태를 창의적으로 활용하는 방향으로 표현되는 경우가 많아졌다. 이러한 새로운 소리 시각화 방법을 이용하면 작품의 소재에 객관성과 정확성을 더할 수 있다는 장점이 있었다. 무엇보다 작가가 음향 혹은 관련 데이터의 입력을 시각적 요소로 변환하는 초기의 알고리즘만 효율적으로 설계하면 연산장치가 자동으로 데이터를 통해 작품을 만들어낼 수 있는 생성 예술(Generative art)을 통하여 생산

3) “MIDI History:Chapter 6-MIDI Is Born 1980-1983.“ *www.midi.org.* accessed Nov 11, 2021. https://www.midi.org/midi/midi/midi-articles/midi-history-chapter-6-midi-is-born-1980-1983.

성과 효율성까지 갖출 수 있었다. 이로써 양적 측면이 중요한 미디어 관련 예술에서 음악 시각화 예술 양식의 대중화는 빠른 속도로 이루어질 수 있었다.

그림 8 <Spectral Density Estimation>, 2012, Andreas Nicolas Fischer

그림 9 <Ljósið>, 2008, Ólafur Arnalds

음향 데이터를 이용한 음악 시각화 사례로서, 현대 미디어 작가인 안드레아스 피셔는 <Spectral Density Estimation>[그림8]에서 윈스턴-샐럼 교향악단(Winston-Salem Symphony orchestra)이 연주한 곡의 음향 스펙트럼을 측정하여 목재에 시각화하였고, 올라퍼 아르놀즈는 자신의 곡에서 나타나는 음향 주파수를 분석하여 3D 렌더링 된 유체가 움직이는 영상[그림9]으로 표현하였다. 현재 이렇게 청각적 데이터를 시각적 요소로 표현하는 과정은 음악 시각화(Music Visualization) 혹은 음향 시각화(Audio Visualization)라는 명칭으로 불리게 되며, 쉽게 찾아볼 수 있는 디지털 데이터 시각화의 한 축으로 자리를 잡게 되었다. 오늘날 소리를 '시각화' 한다고 하면, 위의 사례들처럼 MIDI 데이터 혹은 파장을 이용한 수학적 데이터를 활용한 것이 가장 일반적인 방법으로 인식된다. 그리고 이러한 음악 시각화 방법에 가장 큰 비중을 차지하는 것이 바로 시각적 추상 표현 방식으로서, 결과적으로 현대의 음악 시각화는 근대부터 이어져 내려온 구성주의의 영향을 받았다고 볼 수 있다. 음과 진동의 객관적인 수치들은 인간이 관측할 수 있는 파형 그래프로 주로 그려지는데, 제작자들은 이러한 수치화된 데이터에서 목격할 수 있는 시각적 특성을 그대로 반영하여 선적인 율동 형태를 추상적 면과 선으로 나타내거나, 음의 크기와 주파수의 진동수에 따라 색감 혹은 시각 요소의 위치를 변화시키는 표현 방식을 형식화했다.

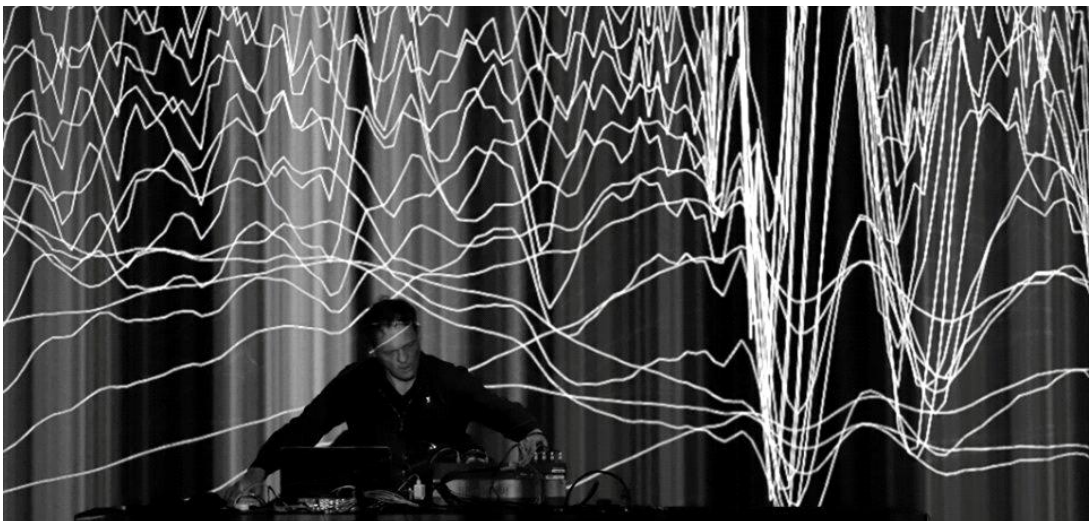

그림 10 알바 노토의 오디오 퍼포먼스, 2010

오늘날의 소리와 청각적 감각을 시각화한 사례들은, 구성주의로부터 출발하여 완전한 추상 표현으로 이어지다가, 이후에는 음향의 표면적인 관측 데이터를 주로 활용하는 작품 성향으로 주요 흐름이 바뀌는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여, 오늘날에 끊임없이 추상적 음악 시각화가 재생산되는 이유는, 현실 세계를 색, 선, 형 등의 단순한 기하학적 조형 요소로 표현하려는 추상 주의 미학과, 음향의 수학적 데이터들이 그래프와 수치로 표기되는 모습이 개념적, 시각적 측면에서 유사하기 때문이라고 추측할 수 있다. 그러나 한편으로, 추상 표현은 소리의 불확정적인 성질을 시각적으로 반영하기 위해서는 상당히 유효한 방식이지만, 결과적으로는 음악을 자연과학적 현상의 결과물이라는 제한된 관점에서 분석함으로써, 음악에 대한 현실의 중요한 인과적 요소들이 배제되는 결과를 초래한다고 본 연구자는 판단하였다.

2.2. 소리의 기원에 따른 시각화

구성주의에서는 묘사와 재현 중심적 표현을 멀리하고, 순수한 근본적 시각 형태로 작품을 구성하는 기하학적 추상의 방향을 지향했다. 그러나 모든 청각과 관련된 예술 작품이 과학적 음향 데이터에 기반을 두고 그것을 추상화하는 방식으로 진행되는 것은 아니다. 추상주의와 다르게, 현실에 존재하는 음향적 기원과 연관성을 가진 예술 표현물들은 소리의 근원이 되는 물리적 요소들을 다양한 방식으로 시각화하기 위하여 구상적 표현 방식을 택하는 경우가 많았다. 추상적인 음악 시각화가 현실에 존재하는 소리의 기원에 배타적인 입장이라면, 구상적인 음악에 대한 시각화는 필연적으로 소리를 내는 인과적 요소들에 집중했기 때문이다.

2.2.1. 기존 악기의 형태적 변용

직접적인 청각적 자극 자체에 집중하기보다는 음향을 만들어내는 악기나 연주자와 같은 청각적 감각의 물리적인 기원을 주관적으로 시각화하는 사례들 또한 20세기 예술에 다루어져 왔다. 특히 곡선의 실루엣이 주로 보이는 관현악의 악기들은 다양한 표현적 시도를 하는 작가들이 애용하는 주제가 되기도 했다.

그림 11 <바이올린과 포도>, 1912, 피카소

그림 12 코지 타케이의 작품 모음, 2013

[그림 11]의 파블로 피카소와 [그림 12]의 코지 타케이(Koji Takei)의 작품은 입체주의에 따라 현명악기들을 표현한 것이다. 이들은 악기를 주제로 작품을 제작하였지만, 악기 자체의 성질이 어떤 기능적 특성이 있는지보다는 정적인 사물에 대한 입체주의적 표현 방식과 재해석을 가미한 것에 가깝다. 이러한 작품들은 비구상적 측면을 중시하였던 앞선 추상 주의와 그에 영향을 받은 현대적 음악 시각화의 사례들과는 다르게, 이미 세상에 실존하는 물건의 모습과 세월의 흔적을 부각한다는 점에서, 예술로서 자신 내면의 독자적 영감을 표현하는데 치중하던 추상 예술과 대비된다.

입체주의 작품들의 사례는 음악을 만들어내는 역할을 하는 악기의 특수한 성격 자체를 표현하는 것에 초점을 맞추기보다는, 입체주의 특유의 일상적 사물의 다초점적 분해에 대한 미적 철학을 나타내기 위한 수단으로써 악기의 형상이 사용되었다는 점에서, 본 연구에서 진행하고자 하는 악기와 소리의 연결성과는 다소 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

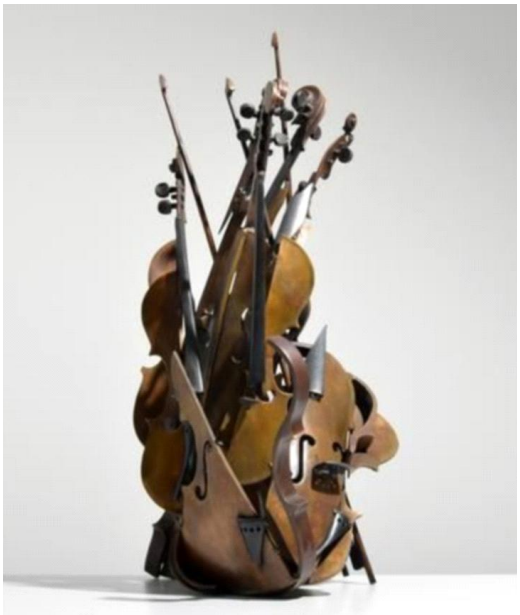

그림 13 Choreographer, 1983, 페르낭데

그림 14 Le violon de Crémone, 1997, 페르낭데

그러나, 입체주의 표현 방식에 일부 영향을 받은 신사실주의 작가인 아르망 피에르 페르낭데(Armand Pierre Fernandes, 프랑스, 1928-2005)는 일상적인 물건들을 해체하고 그것을 전반적인 맥락과는 상관없이 입체 공간에 배치하는 아상블라주(Assemblage) 기법을 활용하며 악기의 기능적 특징을 작품에 일부 반영하는 모습을 보인다. 좌측의 그의 작품인 <Choreographer>[그림 13] 는 '안무가' 라는 뜻으로서, 바이올린이 연주되는 역동적인 모습 자체를 다양한 측면에서 분해하여 재결합한 모습을 나타낸 것이다.

입체주의 표현에 따라 악기의 외형적 성질을 재해석한 방식들은, 소리라는 눈에 보이지 않는 요소을 나름대로 시각적으로 나타내고자 하는 예술적 통찰을 보여주기도 한다. 그러나 전체적으로 봤을 때, 추상주의 작품 사례들과는 다르게 기존 악기의 형상을 변형하는 형식을 취하는 본 사례의 예술적 지향점으로는, 음악 자체의 속성에 대한 고찰이 충분히 이루어질 수 없다고 말할 수 있다.

2.2.2. 기능하는 음향 장치의 시각적 표현

악기, 즉 음을 내는 장비들이 어떠한 형태를 가졌는지에 따라 그 물리적 형상을 변형하는 것을 위주로 다루는 작가들이 있는 한편, 작가 본인이 나타내고자 하는 음향의 기능적 특성에 따라 작품 혹은 제품을 구현하는 사례 또한 관찰할 수 있다.

그림 15 뮤직 박스, 1890

그림 16 노래하는 새, 1891

노래하는 새(Singing Bird) 장치[그림16]는 근대부터 만들어진 뮤직 박스 장치[그림15]의 변형으로서, 완전한 음악을 자동으로 연주하는 뮤직 박스와는 다르게, 소형 장치들이 맞물리며 마치 실제 새의 지저귐과 구분하기 힘들 정도로 유사한 소리를 내준다. 노래하는 새 장치는 현실의 소리에 대한 모방적 표현으로서, 오늘날의 디지털 가상 악기와 목적은 다를지언정, 모방적인 맥락은 어느정도 유사하다는 점을 발견할 수 있다.

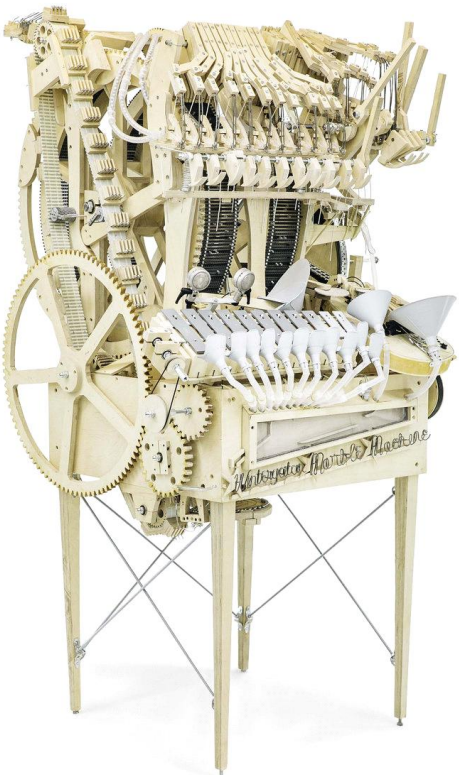

그림 17 <Marble Machine>, 2014, Wintergatan

그림 18 <Pipe Dream>, 2001, Animusic

그림 19 <Resonant Chamber>, 2008, Animusic

2014년 빈터가탄(Wintergatan) 그룹이 제작한 <Marble Machine>[그림 17]은 구슬이 물리적으로 운동하고 부딪히며 트리거에 따라 소리를 내는 장치로서, Animusic에서 제작한 <Pipe Dream>[그림 18]과 <Resonant Chamber>[그림 19] 3D CG 애니메이션 뮤직 비디오 시리즈와 같은 선 상에서 비교할 수 있다. Animusic의 작품은 앞선 빈터가탄의 마블 머신과 거의 흡사한 성격의 악기 구현 사례이지만, 이 뮤직 비디오 시리즈는 엄밀히 말해서 실제 현실에서 작동하는 구슬 기계와 현실적인 물성을 띠고 있지는 않다. 해당 사례에서 지향하는 가상의 물성에 따라 Animusic의 작품들 또한 넓은 의미에서 음향에 대한 물리적 기원을 표현했다고 분류할 수 있다는 점에서, 후자의 사례는 본 연구에서 진행하고자 하는 가상 현실에서의 악기 구현이라는 목표를 일부 구현한 선례라고 볼 수 있다.

2.2.3. 가상 어쿠스틱 악기에서의 시각화

앞서 설명한 음향의 시각화 사례들은 실제로 음악을 효과적으로 생성해내기 위한 목적도 가지고 있지만, 무엇보다 개성적인 관점에서 음악

과 시각 간의 예술적 표현에 초점을 맞춘 성격이 강한 사례들이었다. 한편 영화, 만화, 게임 등 산업 디자인의 영역에서는, 실제로 대중을 위한 미디어 작품을 생산하는 데 참여하던 음악 전문가들을 위해 개발된 소프트웨어의 인터페이스 디자인이 발전했다. 오늘날까지 제품화를 거치며 발전한 가상 악기 소프트웨어 신디사이저는, 한때 MIDI 하드웨어에 부가적으로 탑재되던 때의 단순한 문자형 인터페이스를 벗어나서, 현대적인 그래픽 인터페이스를 가지게 되었다. 본 연구에서는 가상 악기 가운데 실제 악기들을 재현한 소프트웨어 악기들을 가상 어쿠스틱 악기(Virtual-Acoustic Instrument)라고 명명하였으며, 본 항목에서는 이에 대한 인터페이스 디자인들을 다룬다.

그림 20 Chris Hein Strings, 2018

그림 21 8Dio Adagio Violins, 2016

현재 많은 산업용 가상 어쿠스틱 악기[그림 20, 21]들은 악기 프로그램의 레퍼런스 모델이 되는 현실의 악기와의 연관성을 부각하기 위하여 본 악기에서 찾아볼 수 있는 재료와 질감적 특징을 인터페이스 디자인에 그대로 적용하기도 한다. 이러한 디자인 경향성은 현대적인 기술을 도입하기 시작하던 기존의 관현악 작곡가들의 작업 환경과 시각적 익숙함을 반영한 결과물이라고 할 수 있다.

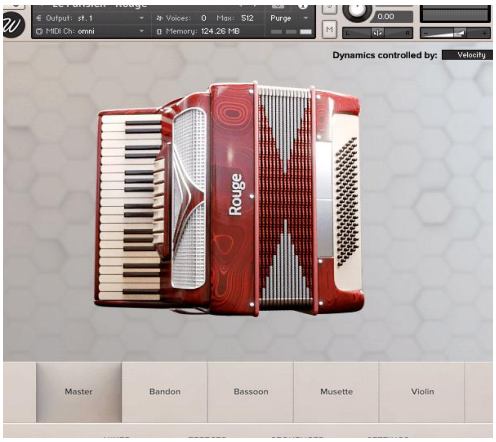

그림 22 Wavesfactory Le Parisien, 2020

그림 23 Audio Modeling SWAM Violin Solo, 2021

가상 악기 기술은 소비자용 컴퓨터의 사양에 맞추어 제공되기에, 초기의 음향 소프트웨어 인터페이스들은 오로지 하드웨어의 최저 사양에 기대어 애니메이션 요소가 없는 정적인 디자인을 보여준다. 하지만 2010년에 이르러 새롭게 개발되는 가상 악기들은 컴퓨터 자원을 최소화하기보다는, 사용자가 시각적으로 체험할 수 있는 사용성과 경험성을 높이는데 초점을 두어, [그림22, 23]에서 보이듯이 동적인 그래픽 표현 기법의 수준을 높인 사례들이 만들어졌다.

이로써 전문가용 가상 어쿠스틱 악기 소프트웨어들은 그럴듯한 악기 소리를 생산해내는 프로그램이라는 정체성을 넘어서, 실시간 상호작용을 통하여 심미성을 고려하는 단계까지 뻗어나가게 되었다는 점에서 역사적으로 발전해 온 음악의 시각적 표현의 결과들과 유사한 맥락을 공유한다는 사실을 발견할 수 있다. 본 연구자는 앞선 차례에서 음악과, 소리를 만들어내는 근원이 생성과 표출의 인과관계를 다루는 시청각 예술 사례들에 대해 다루었는데, 가상 어쿠스틱 악기 소프트웨어 또한 기존에는 시각적으로 확인할 수 있는 동작이 없이 순수하게 소리만을 재생해주는 '도서관'과 같은 역할만을 했다면, 오늘날에는 물질 세계의 악기와 비물질적 악기의 경계가 모호해지는 메타적 표현의 단계로 접어들고 있다.

3. 악기와 소리

3.1. 음악과 시각 표현

3.1.1. 소리의 시각화 방법 비교

앞서 살펴본 두 번째 장에서 나타난 여러 시청각 표현 사례를 통하여 알 수 있듯이, 오늘날 음악과의 시간적 상관관계를 잘 나타낼 수 있는 시각 표현 기법을 구분한다면, 음향의 데이터를 시각화하는 방법과 음향적 기원을 시각화하는 방법으로 나눌 수 있다. 음향 데이터를 음악과 연관 지어 시각화하는 것은, 시각적 결과물과 청각적 결과물을 평행한 관계에 놓는 것으로서, 두 감각 요소는 서로 영향을 주고받는 시청각의 연결성을 가지고 있지만, 결과적으로는 독립된 표현물로서 하나의 작품에 존재한다고 볼 수 있다.

반면에, 음향적 기원을 시각화하는 방법은 악기의 동작과 음악의 생성이 이루는 하나의 관계를 표현한다. 이러한 표현 방법은 체험자에게 악기가 특정한 작용에 따라 음악이 생성하는 과정을 관찰할 수 있게 하는 것에 초점을 두는데, 이 과정에서 일어나는 악기와 음악 간의 단방향적인 상호작용을 체험자가 직접 목격할 때 비로소 시청각의 인과적 연결고리가 완성될 수 있다.

본 연구자는, 비구상적 기하학적 형태와 색감을 이용해서 음악의 개념적 성질을 효과적으로 나타낼 수 있다는 전자의 추상 주의적 표현 방식은, 필연적으로 디지털 장비로 측정되거나 생성될 수 있는 피상적 음향 데이터에 어느정도 의존하기에, 음악 속 악기의 특색, 음악과 함께 실시간으로 발생하는 현장감 등을 나타내기 힘들다고 보았다. 이는 음향의 완전한 추상적 표현 방식을 차용하는 예술의 철학적 관점 자체가 자

연적 영역에서 비롯한 소리의 근원을 소리 자체에서 분리하는 것을 지향하기 때문이다. 그와 달리 본 연구자가 판단하였을 때, 음악이 소리의 근원으로부터 탄생하는 과정을 보여주는 후자의 표현 방법은 음악의 생성에 대한 시각적 인과관계를 나타낼 수 있고, 이로써 청각적 결과물이 단독으로 주어지거나, 독립된 시각 표현물이 함께 제시될 때보다 더 큰 시청각적 경험의 일치감 및 만족감을 불러올 수 있다고 보았다.

3.1.2. 가상 어쿠스틱 악기의 시각화

컴퓨터에서 주로 동작하는 가상 어쿠스틱 악기(Virtual-Acoustic Instrument)의 장점은, 입력과 제어의 통일성에 있다. 현명악기, 타악기, 관악기 등의 현실에 존재하는 여러 가지 악기들은 작용 원리에 따라 물리적 형상과 연주 방법이 제각각이며, 하나의 악기의 기초를 익히는데에도 수많은 시간과 노력이 필수적으로 요구된다. 그러나 소프트웨어 악기를 사용 시, 일반화된 배열의 입력장치와 필요에 따라 추가할 수 있는 적절한 부가 하드웨어를 함께 이용하면, 큰 틀에서 벗어나지 않는 범위 내의 연주 방법 변용만으로 악기 음을 재현할 수 있다.

이러한 사용성 측면의 장점에도 불구하고 가상 어쿠스틱 악기들이 충분히 주목받지 못한 이유는, 21세기 초까지만 하더라도 실제 악기의 재현 결과물들은 원형 악기와 비교해서 매우 부자연스러웠기 때문으로 보인다. 지금까지 가상 어쿠스틱 악기들은 현실에서 악기를 녹음하기 전에 결과물을 엿보기 위한 시제작(Mock-up)을 만들 때 주로 쓰이거나, 악기의 음향적 특색이 도드라지지 않는 범위 내에서 사용되었다. 그러나 가상 어쿠스틱 악기와는 반대로 현실에 물리적 기원을 두지 않은 소프트웨어들을 순수 가상 악기(Pure Virtual Instrument)라고 분류했을 때, 이러한 순수 가상 악기들은 질적 측면에서 비교될 원형이 없기에 원본 악기의 아우라에 의해 부정적인 영향을 받을 일이 없었다. 또한, 순수 가상 악기의 이러한 자기 근원적 본질은 앞서 언급한 음악의 추상 주의적

시각화와 개념적으로 어울리는 측면이 컸고, 결과적으로 현재까지 등장한 음악 시각화 사례의 대다수에서 전자 음을 근간으로 하는 경우가 주류가 되는 현상에 일조했다. 소리의 시각화는 현실에 근원을 두지 않은 채 완전한 가상에서 비롯한 신디사이저 가상 음에 기반을 두고 끊임없이 재생산되었으며, 이따금 파생되는 어쿠스틱 음악의 시각화 또한 동일한 맥락에서 음의 원형에 대한 이해가 생략되는 현상이 생겨났다. 그리하여 음악의 시각화라는 개념이 음악을 어우르는 수많은 요소를 배제한 채 음의 수학적 데이터를 소재로 하는 편향적 표현 방법만을 주로 일컫게 된 현 상황까지 이어지게 되었다는 사실을 본 연구에서 추론했다.

그러나 오늘날에는 컴퓨터 연산 하드웨어와 응용 프로그램이 높은 수준으로 개량되고, 현실의 복잡한 악기를 재현하는 새로운 재현 모델들이 개발되면서, 소프트웨어를 통한 어쿠스틱 악기 재현 방식 또한 자연스러운 결과물을 기대할 수 있을 만큼 크나큰 발전을 거듭하고 있다. 차세대 가상 어쿠스틱 악기 프로그램들이 현실의 모델 악기들의 원리와 음향을 충실히 재현하는데 큰 성과를 이루어내며, 앞서 언급한 범용적인 사용성의 혜택을 입음과 더불어서, 소프트웨어 특유의 유연성 덕분에 현실의 원형 악기에서 보이는 필연적인 물리적 제약에서조차 일정 부분 자유로워지는 모습을 보여주고 있다.

이로써 과거의 불완전한 시제 도구의 취급을 벗어남과 동시에 원형에서 비롯했지만, 원형과는 다른 독특한 관계의 독립적인 악기의 영역에 들어선 가상 어쿠스틱 악기의 위상에 걸맞도록, 이를 이용한 음악의 시각화를 제작할 때에도 순수 가상 악기의 비실체적인 맥락에 기댈 필요가 없다고 판단하였다. 반대로, 음향 데이터에 의존하는 기존의 음악 시각화의 틀을 벗어나서 음원 자체의 관계와 특성을 고려한 실시간 인터랙티브 미디어 예술을 구현한다면, 발전한 가상 어쿠스틱 악기가 가장 적합한 도구로 선정되는 것 또한 당연한 일이라고 할 수 있다.

앞서 언급했듯이, 실체가 없는 순수 가상 음은 주로 추상적 표현 양

식을 통하여 시각화되었다. 그렇다면, 반대로 현실적인 악기 음을 재현하는 가상 어쿠스틱 악기의 청각적 표현 목표는, 현실과 자신의 밀접한 관계를 추구한다는 점에서, 사실적인 그래픽을 추구하는 실시간 포토리얼리스틱(Photo-realistic) 3D 표현 방식과 어느 정도 동질적인 맥락을 공유한다고도 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 가상 어쿠스틱 악기의 원형 모델의 물리적, 외형적 핵심을 적극적으로 반영한 사실적이고 구상적인 표현 기법을 기초로 삼고자 한다. 이로써 현실의 물성이 재해석된 가상 세계에서, 원형 악기의 기능성 하나만은 그대로 빌려왔지만, 그 외의 특성들은 원본과는 독립된 실재로서의 가상 어쿠스틱 악기를 표현하고자 한다.

3.1.3. 가상 어쿠스틱 악기의 원리

본 연구에서는 악기의 움직임과 음악을 시각적으로 재해석하기 위하여 소프트웨어 신디사이저(Software Synthesizer), 혹은 디지털 시뮬레이션 신디사이저(Digital Simulation Synthesizer)를 이용한다. 넓은 의미에서 신디사이저의 사전적 정의는 전기적 신호를 통한 파장을 이용하는 모든 기술적 활용과 구현 방식을 의미하지만, 본 논문에서 소개하는 신디사이저는 동일한 원리를 통하여 음향 분야에서 응용하는 방식만을 뜻한다.

소프트웨어 신디사이저 가운데 전기적 합성 방식이나 실제 악기를 통한 음향을 디지털로 구현할 수 있는 플러그인 프로그램 형태의 제품들은 스테인버그(Steinberg) 社에서 1996년부터 그 규격을 정하기 시작하며, 가상 스튜디오 악기(VST: Virtual Studio Instrument) 혹은 가상 악기라는 이름으로 불리게 되며, 프로그램의 형태로 미디어 음향 산업에서 컴퓨터의 디지털 오디오 워크스테이션(DAW: Digital Audio Workstation) 소프트웨어에 탑재하여 활용할 수 있도록 개발되고 있다. 가상 악기는 대부분 샘플링(Sampling) 방식을 통하여 미리 녹음되어 저장된 음들을 입력된 화음에 맞게 들려주는 방식으로 주로 작동하였다. 샘플링 방식을

사용한 소프트웨어 신디사이저는 실제 악기에서 낼 수 있는 수많은 경우의 수에 따라 음을 최대한 많이 녹음한 샘플(Sample)을 확보하여, 필요에 따라 불러올 수 있다는 점에서 샘플 라이브러리(Sample Library)라고 불리기도 했다.

진보한 현시대의 고성능 프로세서를 적극적으로 활용하는 일부 가상 어쿠스틱 악기는, 이전부터 사용하던 샘플링 방식과는 다르게 피지컬 모델링(Physical Modeling) 방식을 실용 가능한 수준에서 응용한다. 음향에서의 피지컬 모델링은 샘플링처럼 저장장치에 있는 음향 데이터를 불러오는 것에 그치지 않고, 현실의 악기들이 음을 만들어낼 때 물리적으로 일어날 수 있는 현상을 변수화 함으로써 가상으로 시뮬레이션하여 음을 만들어내는 기술을 뜻한다. 피지컬 모델링은 20세기 후반에 실험적으로 사용했지만, 당시의 처리장치의 기술적 한계로 인하여 2010년 이후에 소프트웨어 신디사이저에 상용화되기 시작했다. 이러한 소프트웨어 신디사이저들은 현실의 악기를 모델링하여 실제 악기에서 나타나는 고유의 물리 현상 및 음의 생성 과정에 따른 변수를 제어하는 방식을 취한다. 이렇게 피지컬 모델링은 샘플링으로 구현할 수 없는 악기의 자연스러운 연결 지점과 물리적 상호작용 방식을 모방하여, 가상으로 악기 음을 재현할 수 있다. 이로써 오늘날의 소프트웨어 신디사이저는 단순히 입력되는 화음에 맞추어 녹음된 샘플을 독립적으로 재생하는 초창기의 기술적 한계를 넘게 되었고, 스튜디오에서 실제 악기를 통해 연주를 녹음하지 않고도, 디지털 기술을 통하여 현실 악기의 음을 재현할 수 있는 수준으로 발전하고 있다.

현재 고도로 발전한 디지털 모델링 기술을 통해 만들어지는 재현 음은 실제 악기에서 구현 가능한 음을 만들어내는 것 이외에도 악기를 연주할 때 영향을 주는 현과 바람의 마찰, 우연성, 손의 위치 등 현실적 요소들을 조절 가능한 데이터로 가공하는 과정을 거친다. 고유의 물리 현상 및 음의 생성 과정에 따른 결과물을 사실적으로 시뮬레이션하는 방식은 지속해서 개선을 거치며 실용적인 관점에서 충분히 유효한 과정이

되었다. 특정한 악기를 모델로 하는 소프트웨어 신디사이저가 외부로부터 MIDI 데이터를 입력받아 프로그램상에서 음을 생성하는 인터페이스를 역으로 분석하면, 동일한 MIDI 데이터를 이용하여 해당 악기 모델이 실제로 음을 만들어내는 복잡한 생성 과정과 원리 또한 정량화 가능한 방법으로 추론할 수 있다. 이를 실시간 상호작용이 가능하도록 프로그래밍을 진행하면, 음향의 수학적 데이터라는 지엽적 요소들을 이용하는데 치중된 기존 시도의 한계를 넘어서, 음을 만들어지는 과정 자체에 대한 더 근원적인 관점을 시각화에 반영할 수 있다.

3.2. 선정 악기 연구

3.2.1. 악기 모델 선정: 바이올린족 현명악기

그림 24 바이올린족 현명악기: 바이올린,비올라,첼로,더블 베이스

다양한 미디어 산업의 발전에 힘입어, 음향의 디지털 시뮬레이션 기술 산업 분야에서도 생산자와 소비자들의 높은 수요를 만족하고자 주 악

기인 현명악기를 포함한 많은 수의 악기들이 다양한 샘플링 및 모델링 기술을 통하여 소프트웨어로 구현되고 있다. 여기서 말하는 현명악기들은 바이올린족(Vioilin Family)의 악기들로서, 호른보스텔-작스 악기 분류법에 따라 현명악기의 유경 사각 류트족(有頸四角류트, Necked box lutes, 321.32)으로 분류하며, 일반적으로 바이올린(Violin), 비올라(Viola), 첼로(Violincello, Cello), 더블 베이스(Contrabass, Double bass)[그림24]을 일컫는다.

이들 4종의 악기들은 수 백년에 거쳐서 개량되고, 다양한 실험적 도전을 통하여 수많은 기법이 연구된 덕분에, 관현악을 넘어서 수많은 음악 장르에서도 주역을 맡고 있다. 바이올린족 현명악기들은 서로 조합되었을 때, 높은 음역부터 낮은 음역까지 빠짐없이 표현할 수 있도록 만들어졌으며, 현과 활의 민감한 마찰을 이용하는 복잡한 물리적 특성은 음향적 다양성을 확보하는 역할을 하며, 소수의 악기로도 차갑고 따뜻한 분위기부터 무겁거나 가벼운 느낌까지 주제를 가리지 않고 연주할 수 있다. 현재 대다수의 매체물에서는 전기적 합성음 혹은 관현악의 음악적 표현을 차용하고 있는데, 이때 자주 사용되는 바이올린족의 현명악기는 음향학과 소프트웨어 공학이 접목되어, 진보된 가상 악기 프로그램으로 구현되며, 현존하는 여러 악기 모델 가운데 가장 높은 사용 빈도와 기술적 성취를 보여주고 있다. 이렇게 자유로운 특성과 큰 잠재력을 가진 바이올린족 악기들은 앞서 언급했듯이 가상 악기 시뮬레이션에서 가장 많이 다루는 악기 모델이지만, 바이올린족 악기는 다양한 각도와 속도로 동작하는 활과 현의 마찰로 음이 만들어지기에, 피아노, 기타, 관악기와는 비교할 수 없이 다양한 경우의 수가 존재하고, 이로 인해 미묘한 동작의 차이가 불러오는 큰 음향적 차이를 디지털상에서 정확히 구현하는 것은 현재 가상 악기 시장의 거대한 난관으로 작용하고 있다.

그러나 한편으로는 오랜 기간동안 연구된 수많은 운지법과 운현법을 통하여 바이올린족 악기들이 취할 수 있는 다양한 동작의 가능성은, 악기의 작용을 시각화하고자 하는 본 연구의 취지에 매우 적합한 특성이라

고 판단된다. 본 연구자는, 바이올린족 악기에서 보이는 독특한 물리적 우연성, 연주자의 큰 동작, 다양한 기법에 따른 수많은 활과 현의 작용들은, 적합한 방식으로 디지털상에서 시각적으로 구현될 수 있다면, 여느 악기 모델을 선택했을 때보다도 청각적 기원에 따른 시각 표현의 범위를 넓게 확장해주는 기회로 작용할 것이라고 보았다.

3.2.2. 바이올린족 악기의 기능과 외형 분석

본격적인 시각화 단계에 들어가기 전에, 현명악기의 외형과 구성 요소들을 분석하고, 이들에게서 추출할 수 있는 재해석 가능한 시각 요소들을 먼저 고려하기로 하였다.

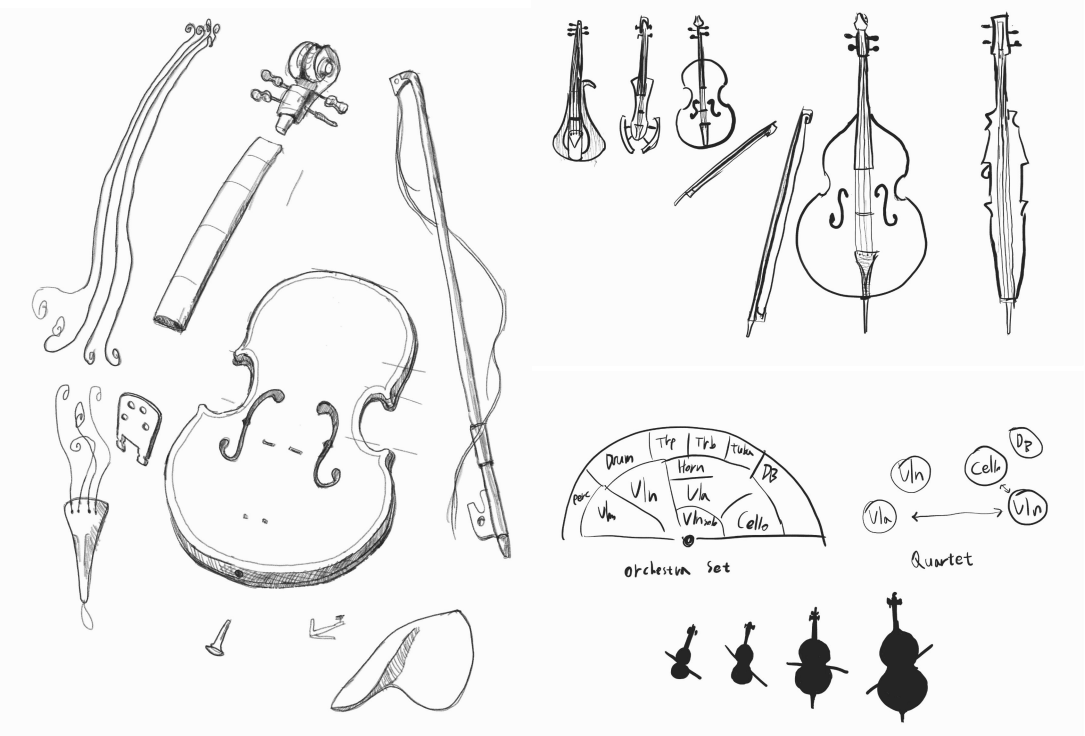

그림 25 바이올린족 악기들의 구성 부품들과 연주 무대 배치

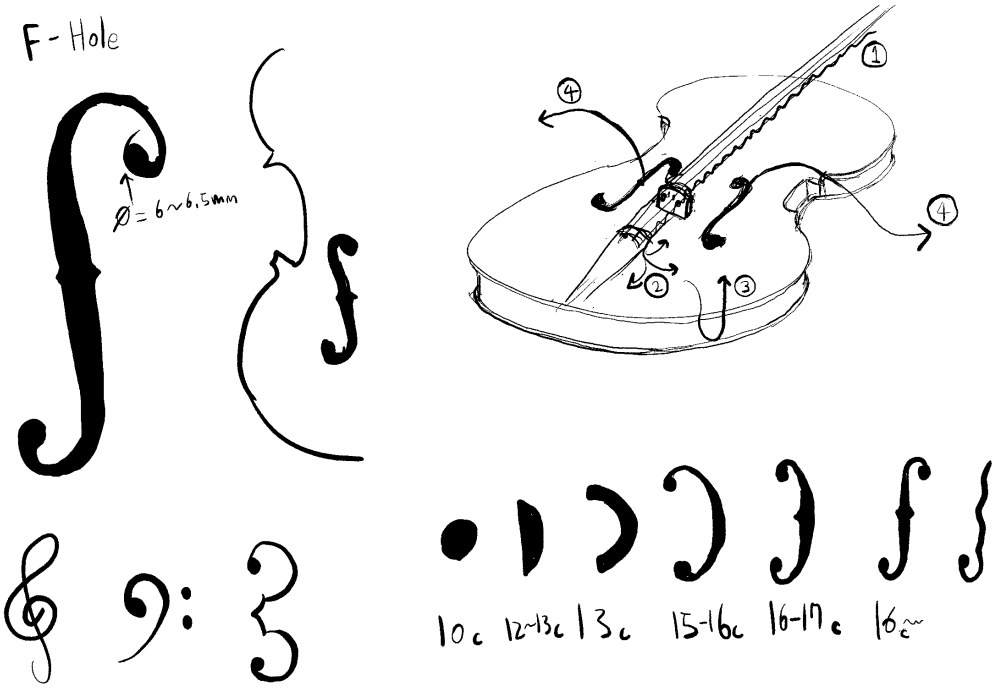

그림 26 에프홀의 변화 과정과 음악적 기호의 유사성

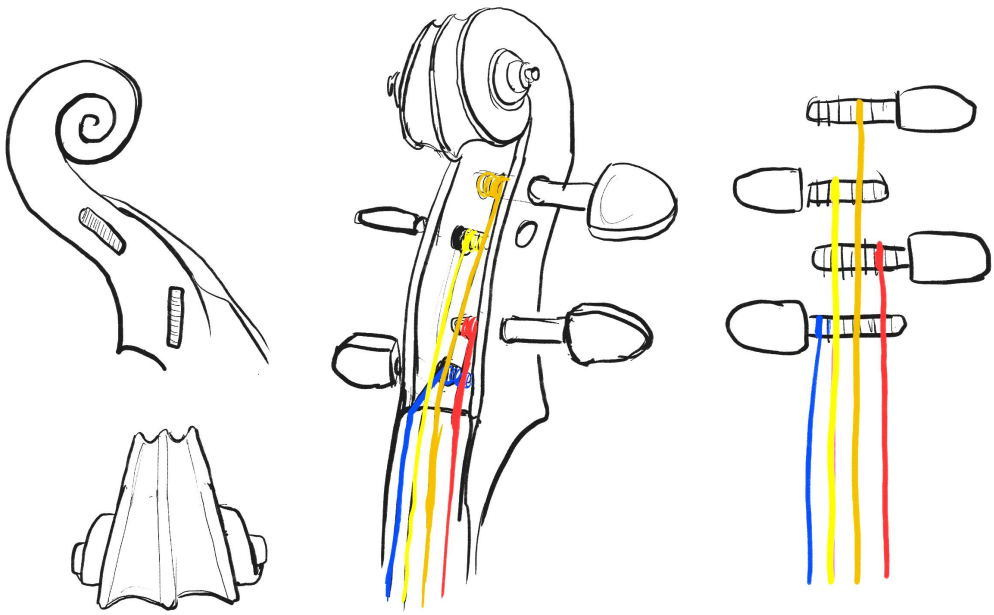

그림 27 바이올린의 공통적인 스크롤과 현의 구성

네 종의 바이올린족 악기들은 같은 비올족 악기 계통에서 공통적으

로 발전하였다. 바이올린, 비올라, 첼로, 더블 베이스 모두 에프홀(F-hole) 형상[그림 26]을 가졌다는 점에서 동일한 악기 종의 정체성을 확인할 수 있다. 에프홀은 현명악기에서 찾아볼 수 있는 소리 구멍(Sound Hole)의 변형으로, 초창기에는 알파벳 D 혹은 C 형상의 구멍들이 이용되었다, 이러한 소리 구멍은 보통 현명악기의 몸통의 양 측면에 총 2개 존재하는데, 울림통으로 전달된 현의 진동이 증폭되어 바이올린족 특유의 소리로 출력해주는 역할을 한다. 진동의 흐름을 효율적으로 이용하기 위해 이루어진 역사상의 경험적 시도를 통하여, 소리 구멍의 모양은 알파벳 F의 필기체 모양으로 점점 변화하게 되었다.[4] 이러한 곡선의 외형적 특징은 바이올린족 악기들의 머리 부분이자 현의 끝을 지탱하는 스크롤[그림 27]의 장식적인 생김새에도 확인할 수 있다.

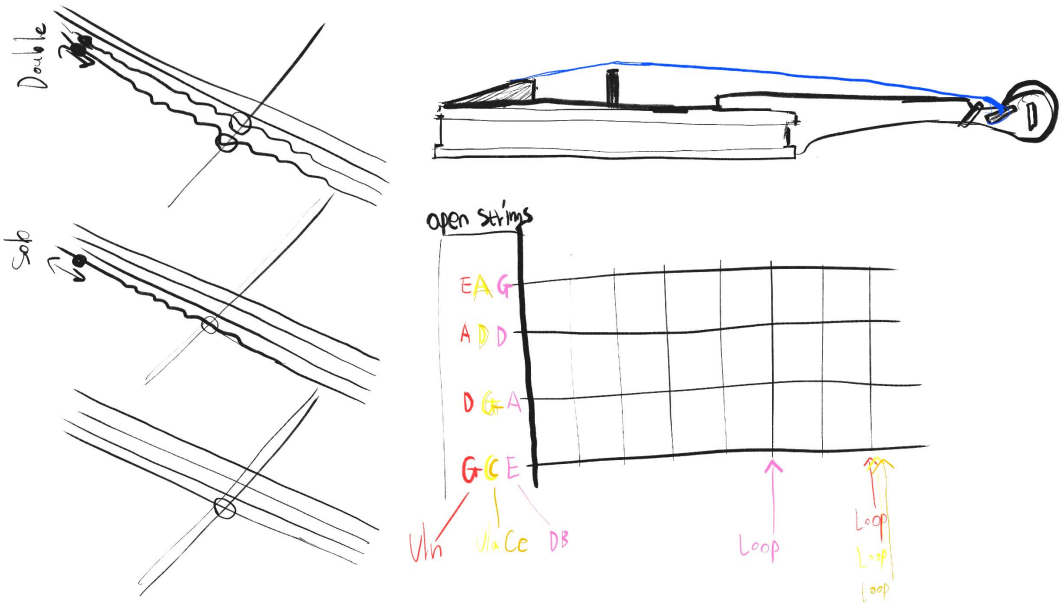

그림 28 바이올린족 악기의 현의 구성

바이올린족 악기들의 현[그림 28]들은 스크롤의 아래 부위에 장착된 줄 감개를 통하여 팽팽하게 연결되어있다. 바이올린족 악기들은 공통적

4) “MIT News: Power efficiency in the violin.” *MIT News.* last modified Feb 01, 2017, accessed Nov 12, 2021. https://news.mit.edu/2015/violin-acoustic-power-0210.

으로 오로지 4개 현의 장력을 통하여 활과의 마찰로 음을 생성하는데, 현과 브릿지(Bridge) 사이의 길이가 길어질수록 더 낮은 음역의 소리를 표현할 수 있고, 그 길이가 짧아질수록 더 높은 음역의 소리를 낼 수 있다. 각각의 현은 좌측에서 우측으로 완전 5도씩 음이 상승하며, 콘트라베이스를 제외한 나머지 3개의 악기들이 낼 수 있는 개방현의 음은 옥타브의 차이를 빼고 모두 동일하다.

현과 활은 바이올린족 악기에서 물리적인 움직임을 보여주는 유일한 부분인데, 역설적이게도 바이올린의 정적인 외형은 전체적으로 곡선으로 이루어져 있는데도 실제로 운동하는 이 두 부분만은 직선적 외형을 가지고 있다. 활은 네 현을 넘나들며 연주자에 의해 매우 다양한 동선을 그리지만, 현은 활에 의해 눌러지며 팽창하거나, 비브라토(Vibrato) 기법을 통해 자기 위치를 벗어나지 않은 선에서 미세하게 진동하는 모습을 보여준다. 상술한 바이올린족 악기들의 외형은 해당 악기들로 낼 수 있는 소리가 다양하고 넓은 스펙트럼을 가지고 있듯이, 상당히 유려한 곡선과 동적인 직선의 조합으로 구성되어 있다는 것을 알 수 있다.

4. 관련 선행 작품 연구

4.1. Bass Echo

그림 29 <Bass Echo>, 2021

Bass Echo[그림 29]는 체험자가 직접 손가락으로 바이올린족 악기의 현의 구성 형태를 모방한 실리콘 패드를 누름으로써 동작하는 인터랙티브 미디어 작품이다. 본 작품에서는 상호작용을 위하여 MIDI 통신 장비인 Roli Lightpad를 이용했는데, 15cm에 달하는 해당 장비의 표면은 정사각형의 실리콘 구조로 이루어져 있으며 FSR 센서를 통하여 사용자가 손으로 인식 표면의 특정 위치를 누르는 압력을 정확히 감지하여 7 bit의

MIDI 신호로 출력한다. Lightpad는 C언어 기반 API인 Juce를 통하여 재프로그래밍되어 해당 작품의 통일된 색감과 인터랙션 방식이 어우러질 수 있도록 설계하였다.

그림 30 재프로그래밍된 Roli Lightpad

Roli Lightpad[그림30]는 실제 콘트라베이스의 구조를 반영하여 현이 4개의 현과 네 군데 이상의 위치에 운지 가능한 구조로 인터랙션이 가능하다. 체험자가 Lightpad의 특정 위치를 손으로 누르면, 작품의 주 색감인 붉은 빛이 하드웨어의 표면에 번져나가며, 동시에 정면에 배치된 디스플레이와 스피커를 통하여 초현실적인 산 정상에 놓인 가상의 구조물에서 적색광과 콘트라베이스 앙셈블의 소리가 울려 퍼지는 모습을 보고 듣게 된다. 앙셈블의 소리가 메아리처럼 작용하게 만들기 위하여, 실제로 현실에 존재하는 특정한 환경에 대한 임펄스 리스폰스(Impulse Response)를 캡쳐한 샘플 데이터를 이용하여, 열린 공간의 음향적, 물리적 특색을 분석한 컨볼루션 잔향(Convolution Reverb) 모델을 적용하였다.

본 작품에서는 체험자의 인터랙션에 맞추어 실사와 같은 CG로 표현된 구조물이 자연스럽게 실시간으로 동작하는 모습을 보여준다. 이는 실시간 레이 트레이싱(Real-time Ray tracing) 기반 기술인 LUMEN과 메시 셰이딩(Mesh Shading)을 통하여 현실적 빛의 작용과 자세한 3D 폴리곤

표현으로써 시뮬레이션할 수 있었다. 이러한 21세기의 진보된 시각적 효과를 작품에 적용하기 위하여, 실시간 렌더링 게임 및 시네마틱 엔진으로 만들어진 소프트웨어 Unreal Engine 5를 이용하였다. 시각 효과는 Unreal Engine의 그래픽 표현 API에서 제공하는 기술들을 응용하였으며, 악기와 음의 작용은 C++ 개발 환경에서 구현되었다.

그림 31 실시간 레이 트레이싱(RTX)과 기존 라이팅의 비교 시연

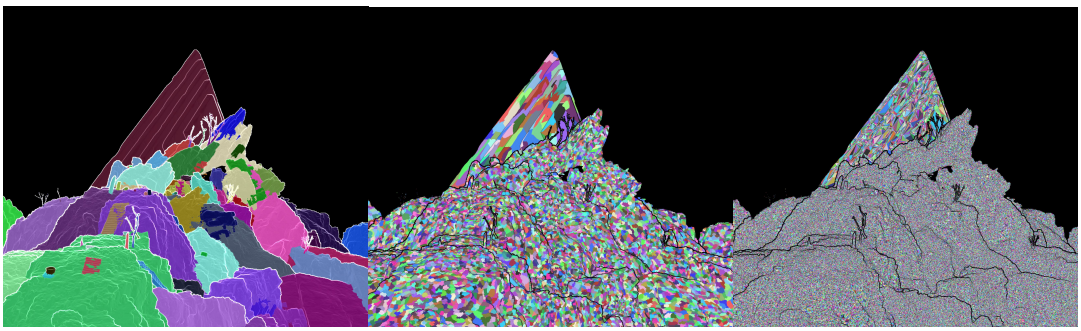

그림 32 Bass Echo의 Nanite 메시 셰이딩 시각화

본 작품에서는 체험자의 인터랙션에 맞추어 실사와 같은 CG로 표현된 구조물이 자연스럽게 실시간으로 동작하는 모습을 보여준다. 이는 오늘날 발전된 컴퓨터 그래픽스 기술 덕분에 실시간 레이 트레이싱(Real-time Ray tracing) 기반 기술인 LUMEN[그림 31]과 메시 셰이딩(Mesh Shading)의 연장선인 Nanite[그림32]를 통하여 현실적 빛의 작용하고 자세한 3D 폴리곤 표현하는 것이 가능해졌기 때문이다.

Bass Echo는 본 작품에 등장하는 환경의 시각적 표현 방식에 큰 영향을 준 작품으로서, 사실적으로 묘사된 물리 요소와 광원이 체험자와 상호작용 한다는 점에서 이번 연구에서 진행할 작품과 흡사한 성격을 띤다.

4.2. A Lightroom String

그림 33 <A Lightroom String>, 2021

A Lightroom String[그림 33]은 인체공학적 입력장치를 활용한 자연스러운 바이올린 음향 재현 연구[5]의 연장선으로, 해당 연구 자체는 브레스 컨트롤러(Breath Controller)와 미디 키보드를 이용하여 이전의 샘플링 방식으로는 재현할 수 없었던 수준의 바이올린 음을 컴퓨터 시뮬레이션으로 만들어내고, 그러한 가상의 물리적 변수들을 제어할 수 있는 방법론과 제어 장치를 제작하는 것을 목표로 하였다.

본 연구자는 A Lightroom String을 통하여 가상 바이올린의 음향을 효과적으로 제어하는 것을 넘어서, 시각적인 면에서까지 바이올린의 물리적 한계를 넘음으로써, 바이올린의 동작을 새로운 맥락에서 표현하고자 하였다. 본 작품은 사실적인 그래픽과 사실적인 음이라는 두 가상의 비실제적 요소가 역설적이게도 현실적 맥락을 탈피하고 새로운 초자연적 실제를 형성해나가는 가능성을 보여준다. A Lightroom String에서 보이는 시청각적 표현의 의의는, 본 연구에서 앞서 설명하였던 소리의 물리적 기원에 따른 시각화의 예시들과 매우 유사한 지향점을 공유한다. 본 연구자는 해당 작품 실험을 통하여 현실 세계의 악기에서 나오는 음에 대한 사실적인 재현 기술을 실제로 구현했을 뿐만이 아니라, 본 연구에서 진행하는 최종적인 작품 연구에 대한 미학적 가능성 또한 미리 관찰할 기회를 얻게 되었다.

5) 최이레, “피지컬 모델링을 통해 디지털 재현된 어쿠스틱 악기 음의 응용 연구: 현악기를 중심으로,“ 한국HCI학회, HCI2020 학술대회 (2021):492-497.

5. 상호작용 프로그래밍

5.1. 인터페이스 설계

5.1.1. 인터페이스 입출력 데이터

본 작품 연구의 결과물은 실시간으로 입력에 반응한다. 따라서 실제 현실 공간에 위치할 입력 장치들 역할과 기능을 고려하는 것 또한 중요하다. 이를 위하여 사용자가 입력장치를 통하여 작품에 전송할 수 있는 입력 정보를 MIDI 형식으로 규정하였다. MIDI 데이터 양식은 1981년 규정된 데이터 전송 양식으로, 매우 단순한 7 bit의 데이터만으로 음악 생성에 사용하는 데 필요한 정보를 전송할 수 있기에, 컴퓨터 음악에서 가장 널리 사용되는 규격이다. 본 연구에서 사용하는 소프트웨어 또한 MIDI 데이터에 기반을 두기 때문에, 해당 규격을 도입하는 것이 실용적인 측면에서 가장 효율적이라고 판단하였다.

7-bit MIDI Data																							
Status byte								Data byte															
MSB				LSB				Data 1 byte								Data 2 byte							
1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

표 1 MIDI 데이터 구조

MIDI 데이터는 표 1과 같이 Status, Data 1과 2를 나타내는 총 세 부분의 바이트들로 되어있다. MIDI 데이터의 앞자리에 있는 Status byte는 MSB(Most Significant byte)와 LSB(Least Significant Byte)로 되어있다.[6)]

6) Huber, David M. *The MIDI Manual.* Carmel, Indiana: SAMS, 1991.

Status byte 중 MSB는 건반이 눌러졌는지, 건반이 때어졌는지, Control Change 값이 입력되는 중인지, Pitch 값이 입력되는 중인지 등 현재 입력되는 데이터의 종류를 나타낸다. LSB 영역의 bit는 0부터 15까지의 범위 내에서 채널의 인덱스 값을 저장한다. 두 data byte들은 8개의 bit 중 좌측 1개 bit를 제외하고 7개만을 사용하여 0부터 127 사이의 값을 담는다. 단, 예외적으로 Pitch 데이터는 Data 1과 Data 2의 영역을 하나로 묶어서, 총 14bit로서 0부터 16,383 범위의 data를 담는다.

5.1.2. 하드웨어 인터페이스

본 작품 연구에서는 체험자가 디지털 악기와 상호작용할 수 있게 해주는 물리적 인터페이스로서, 대다수의 예상 사용자들이 쉽게 조종할 수 있는 입력 장치들을 제공하고자 했다.

그림 34 Nektar SE 49 피아노 레이아웃 MIDI 컨트롤러

사람들에게 가장 익숙한 음향 입력장치는 전통적인 피아노 배열 MIDI 컨트롤러이다. 본 연구는 49개의 건반으로 4개 옥타브 음을 낼 수 있는 MIDI 컨트롤러를 채택했다. 옥타브를 조절한다면 49 건반의 키보드로도 충분히 현명악기의 음역대를 모두 제어할 수 있고, 그 크기도 지나치게 넓지 않고 조작 또한 단순하고, 강하게 건반을 치는 것을 가정하여 내구성 설계가 되어있기에 사용자에게 거부감이 적은 형태의 장비인 것이 선정의 이유다. 본 컨트롤러는 좌측에 단일한 CC 중 하나를 택하여 조절할 수 있는 Mod Wheel과 음의 높낮이를 값을 조절할 수 있는 Pitch

Bend가 부착되어 있다. 단, Pitch bend는 이미 후술할 스틱형 컨트롤러에서 담당하기 때문에 기능을 비활성화했다.

그림 35 익스프레션 페달

[그림 35]는 익스프레션 페달로서 내부에 회전형 가변저항이 설치되어 있다. 안쪽의 고정 장치는 사용자가 페달을 발로 밟는 수직의 직선 운동을 회전 운동으로 변환하여 사용자가 현재 페달을 밟는 세기에 따라서 최대 전압과 최저 전압 사이의 전압을 출력해준다. 익스프레션 페달 이외에도 페이더(Fader), 슬라이더(Slider) 등의 음악 생성에서 사용하는 다양한 가변저항 장치가 존재하지만, 익스프레션 페달은 다른 CC 입력 장비 가운데 동적으로 수치를 입력할 수 있는 장비 중 하나이기에 현명악기의 정교한 셈여림을 표현하는 데 적합하다고 판단하였다.

$$f_i = f_{i-1}\left(\frac{\tau}{\tau + \Delta T}\right) + V\left(\frac{\Delta T}{\tau + \Delta T}\right) \quad where \quad \tau = 100$$

수식 1 페달에 적용된 Low-pass filter 수식

익스프레션 페달의 전압 변화를 부드럽게 다듬기 위하여, 0-3.3v의 전압값에 총 연산 시간 120㎲에 평균 15㎳의 대기 시간에 따라 로우 패

스 필터(Low-pass filter)를 적용하였다. 로우 패스 필터는 연속해서 전압이나 실수 정보를 입력 받을 시 잡신호 때문에 그 입력 결과가 요동치는 것을 막기 위해서, 현재 값을 기준으로 이전 값과 미래에 예측되는 값을 [수식 1]에 따라 연산하여 평탄한 값으로 변환하는 필터링 방법의 하나다. 로우 패스 필터 공식에 적힌 τ(tau) 는 완만함을 결정하는데 영향을 끼치는 시정수로, 이번 연구에서는 200으로 설정하였다. 페달을 밟는 행위는 건반을 누르는 행위 다음으로 중요도가 높은 입력 행위로서, 익스프레션 페달은 0부터 127의 값을 CC11의 MIDI 데이터로 전송하도록 프로그래밍하였다.

그림 36 4축 스틱형 컨트롤러

[그림 36]은 네 종류의 입력을 받아들일 수 있는 스틱형 컨트롤러의 사진이다. 이러한 컨트롤러는 기존 음악 생성에서 주로 사용하는 모듈레이션 휠(Modulation Wheel)이나 피치 벤드(Pitch Bend)보다 더 많은 값을 직관적으로 조절할 수 있으며, 본 연구에서 사용하는 소프트웨어의 특성과도 적합하다고 판단하였다. 스틱형 컨트롤러의 하단 본체에는 두 개의 가변저항이 달려있어서 스틱이 움직이는 회전 값을 XY 평면 좌표 이동거리로 변환할 수 있도록 해준다. 아무 힘이 가해지지 않을 때 스틱은 XY 좌표의 0점에 위치하게 된다. 스틱의 상단에는 Z축으로 회전할 수

있는 가변저항과 버튼이 하나씩 달려있어서, 클릭과 회전을 통한 추가적인 입력이 가능하다. 이로써 해당 스틱형 컨트롤러는 총 3개의 아날로그 값과 1개의 디지털 값을 받을 수 있다.

5.1.3. 소프트웨어 인터페이스

바이올린족 악기들의 소리를 재현하기 위하여 산업용 가상 어쿠스틱 악기 소프트웨어를 사용하였다. 본 작품에서 사용할 도구는 기존의 샘플링 방식과는 다른 차세대 모델을 적용한 소프트웨어로 선택하였다.

그림 37 Sample Modeling 社 Solo & Ensemble Strings

이탈리아의 Sample Modeling 社에서 제작한 가상 음향 소프트웨어인 Solo & Ensemble Strings를 바탕으로 이번 작품 제작에 필요한 현명악기 음향 재현을 구현하였다. 해당 소프트웨어는 독자적으로 개발한 위상 정렬 방식의 적응형 모델(adaptive model)[7]을 이용한다. 해당 모델 재현 방법은 실제 현명악기가 내는 소리의 성질을 최소한의 단위로 분석한 뒤, 현명악기가 물리적 작용을 통하여 소리를 내는 과정을 프로그래밍으로 재현할 수 있도록 모방하여, 적절하게 주어지는 MIDI 데이터를 토대로 사실적인 악기 음을 재구축하는 방식으로 동작한다.

---

7) Tommasini, Giorgio. “Time alignment of the phase of a set of musical sounds to be used with samplers“. Patent filed September 23th 2004, issued December 16th, 2008.

Sample Modeling의 가상 현명악기는 현존하는 다른 가상 어쿠스틱 현명악기들과는 다르게, 건반 입력 정보와 정적인 CC 값으로 작동하는 것이 아닌, 실제 현명악기의 특성을 반영하여 다양한 현과 공간의 물리적 변수들을 표현하는 CC 값들을 사용자가 빠르게 변화해가며 동작하는, 전형적이지 않은 사용법을 가지고 있으므로 앞서 선정한 다수의 컨트롤러가 필수적이다.

아티큘레이션 종류	아티큘레이션 발동 조건
Legato	60 <≒ Velocity <≒ 90
Arpeggio	두 건반 동시 입력 간격 <≒ 40ms
Portamento	Velocity <≒ 60
Detaché	64 <≒ CC 64
Attack	90 <≒ Velocity
Trills	이전 건반을 해제하지 않은 상태로 현재 건반 해제
Runs	빠르게 건반 입력 60 <≒ Velocity <≒ 90

표 2 Sample Modeling Strings의 아티큘레이션에 따른 연산 추정

아티큘레이션(Articulation), 혹은 기교나 기법으로 불리는 것은 악기 연주에서 특정한 작용으로 음을 만들어내는 행위를 뜻한다. 현명악기는 매우 다양한 아티큘레이션들을 가지고 있으며, 이를 매우 자연스럽고 구체적으로 반영하는 것이 가상 어쿠스틱 악기에서 가장 중요한 재현 과제라고 볼 수 있다. 본 소프트웨어는 건반 입력 시의 Velocity 값, 이전 건반과 현재 건반 사이의 시간 간격, 현재 건반이 눌러졌다가 때지는 시간의 간격 혹은 현재 특정 CC 값이 임계치에 도달했는지에 따른 조건을 판단하여 어떠한 아티큘레이션이 제공될지 결정한다. 본 연구에서 사용하는 현명악기의 아티큘레이션은 CC 정보와 건반을 통한 연주로 자연스럽게 구현된다. 그러나 몇몇 아티큘레이션들은 가상 재현 시에 요구되는

물리적, 음향적 특성이 매우 독특하여서 MIDI 데이터의 특정한 입력 조건에 따라서만 자동으로 따로 발동하도록 설계되어있다. 위의 표는 해당 소프트웨어가 제공하는 설명서와 실제 사용을 통한 역설계를 통하여 추정해낸 개별 아티큘레이션 발동 조건을 나열한 것이다.

CC 번호	조절 변수	물리 작용	기본값
CC 1	Vibrato Intensity	비브라토 세기	0
CC 11	Expression	셈여림	0
CC 19	Vibrato Rate	비브라토 속도	30~80
CC 21	Bow Noise	활의 마찰음	64
CC 22	Overtones	활의 누르는 힘	0
CC 23	Vibrato Delay	비브라토 지연	31
CC 24	Dynamics to Pitch	셈여림에 따른 음 변화	50
CC 25	Velocity to Dynamics	건반 세기에 따른 셈여림	127
CC 26	Attack Time	활과 현의 접촉하는 시간	64
CC 27	Release Time	활과 현이 분리되는 시간	110
CC 28	Attack Detuning	강한 마찰 시 불안정성	40
CC 33	Dynamic Modulation	지속적인 마찰 시 불안정성	35
CC 38	Attack	강한 현 튕김의 정도	64
CC 64	Bow Change	활 방향 변경 플래그	0

표 3 Sample Modeling Strings의 대표적인 CC(Control Change) 종류와 물리 작용

본 소프트웨어에서는 현과 활의 물리적 과정을 시뮬레이션하는 변수들을 MIDI 데이터의 CC 값으로 제어할 수 있다. 위의 표는 실시간으로 변경했을 때 유의미한 결과물을 내는데 지대한 영향력을 끼치는 CC 인자를 나열한 것이다.

비브라토(Vibrato)는 지판에서 운지를 한 손가락을 좌우로 흔들며 음의 높이에 변화를 주는 기법으로, 본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로

CC1에 지정된 Vibrato Intensity는 현명악기에서의 비브라토가 얼마나 명확하게 표현될 것인지를 나타낸다.

셈여림은 대부분의 악기에서 공통으로 pp에서 ff까지로 표현되는 음의 강약을 말한다. 현명악기의 셈여림은 활을 얼마나 빠른 속도로 현과 마찰시키는지에 따라서 주로 결정된다. 본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC11에 지정된 Expression은 현명악기에서의 셈여림의 정도를 결정한다.

앞서 비브라토의 세기는 비브라토 주법이 얼마나 선명하게 들릴지를 결정하는 것이라면, 비브라토의 빈도를 비브라토가 음을 높고 낮게 변화하는 빠르기를 결정한다. 본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC19에 지정된 Vibrato Rate는 현명악기에서의 비브라토의 빈도를 결정한다.

현명악기는 활과 현이 마찰하며 특정한 음역의 진동을 내고, 우리가 듣는 악기의 소리는 그 진동이 현을 타고 몸통을 통하여 흘러 들어가서 f홀로 나오는 공기의 진동이 대부분을 차지한다. 그러나 현과 활이 마찰하는 미약한 소음 또한 자연스러운 현명악기 소리를 재현하는 요소 중 하나라고 할 수 있다. 본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC21에 지정된 Bow Noise는 현명악기에서의 활의 소음을 지정한다.

본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC22에 지정된 Overtones은 보통 배음이라고 번역되지만, 본 프로그램에서는 활과 현의 마찰이 과도하게 이루어져 나타나는 자연스러운 물리적 불일치를 위한 설정값을 뜻한다. 해당 값이 간헐적으로 상향 조절되면, 악기 연주의 불안정성을 만들어내어 단조로운 음 생성을 방지해주며 재현 음의 자연스러움을 더해준다.

본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC23에 지정된 Vibrato Delay는 비브라토 세기가 갑작스럽게 올라갔을 때 실제로 비브라토 기법이 적용되기까지의 지연시간을 뜻한다.

본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC24에 지정된 Dynamic To Pitch는 높은 셈여림을 표현하기 위하여 활의 속도가 급격하게 빨라졌을 때, 실제로 눌러진 현에서 나오는 음보다 다소 높은 음이 나오는 현상을 반영하는 정도를 뜻한다.

본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC25에 지정된 Velocity To Dynamics는 127로 설정하면, 건반을 강하게 눌렀을 때 현재 CC11이 얼마인지에 따라 상관없이 초기 셈여림을 급격하게 높여준다.

본 소프트웨어에서 Attack이란 활이 현에 닿아서 현재 셈여림에 맞는 이동속도까지 도달하는 시간을 뜻한다. 시스템 기본값으로 CC26에 지정된 Attack Time은 Attack의 발동 정도를 낮거나 높게 설정할 때 사용한다. Attack Time이 낮을수록 건반을 빠르게 누르고 떼었을 시에 강한 활의 튕김, Spiccato 아티큘레이션에 가까운 소리가 난다.

본 소프트웨어에서 Release란 건반을 해제했을 때 현재 활의 이동이 멈출 때까지 걸리는 시간을 뜻한다. 시스템 기본값으로 CC27에 지정된 Release Time은 Release의 발동 정도를 설정한다. Attack Time과 마찬가지로, Release Time이 낮을수록 건반을 100ms 이내에 빠르게 누르고 떼었을 시에 강한 Spiccato 아티큘레이션에 가까운 소리가 난다.

현실의 현명악기 연주 시에 현의 특정 위치를 누른 손가락 위치만이 아니라, 얼마나 활을 세게 움직이는지며 현에 도달하는지에 따라 순간적인 음색 또한 바뀌게 된다. 본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC28에 지정된 Attack Detuning은 강한 Attack이 발동 시에 활이 빠른 속도로 움직이며 음이 불안정 상태로 진입하는 정도를 조절한다.

연주에서 활과 현이 마찰할 시에, 실제 악기 연주자는 인간인 이상 기계적으로 동일한 힘과 속도로 팔을 움직일 수 없으므로 활의 마찰 정도를 항상 똑같이 유지할 수 없다. 본 소프트웨어에서 시스템 기본값으

로 CC33에 지정된 Dynamic Modulation은 활이 현에 닿고 나서 지속해서 움직일 시에 활과 현의 마찰 정도가 불안정하게 유지되는 정도를 조절한다.

앞서 CC26으로 조절하는 Attack Time은 활이 현에 닿는 시간을 조절하지만, 본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC38에 지정된 Attack은 활이 현에 닿을 때 일어나는 최초의 마찰 정도를 조절한다고 볼 수 있다. 둘 다 마찬가지로 활과 현의 최초 마찰의 정도에 영향을 미친다는 공통점이 있지만, Attack을 조절하면 접촉 시간과 관련 없이 세기 자체에 영향을 끼치며 순간적인 현의 튕김을 조절할 수 있다.

본 소프트웨어에서 시스템 기본값으로 CC64는 서스페인 페달과 연결된 값으로, 새롭게 건반이 입력되면 현재 활의 방향을 전환하는 데타셰 아티큘레이션을 발동하거나, 건반이 해제되더라도 현재 활을 현에서 때지 않고 최소한의 속도로 움직이도록 유지한다.

5.2. 상호작용 방법론 설계

본 연구자는 앞서 바이올린족 가상 현명악기를 3차원 오브젝트로 구현하고, 이를 음향 프로그램과 함께 연동하여 사용자의 입력에 따라 실시간으로 동작하기 위하여 Unreal Engine 5 베타를 통해서 C++와 Blueprint 스크립트 프로그래밍을 진행하였다. Unreal Engine은 Epic Games 社가 만든 실시간 렌더링 기반 게임 엔진이며, C++로 함수를 프로그래밍하여 전반적인 연산 속도를 높일 수 있다.[8] 이를 통하여 3D 렌더링까지의 지연시간을 최소화하여, 사용자에게 실시간으로 사실적인 결과물을 부드럽게 재생해줄 수 있는 기능적 효율성을 가지고 있다. 해당 객체들은 본격적인 시각화에 앞서 미리 제작되어서 본 연구에서 필요한

8) “Unreal Engine 4 - First Look“. *About.com.* last modified December 29, 2017, accessed Oct 2, 2021. https://web.archive.org/web/20120524062935/http://gameindustry.about.com/od/trends/a/Unreal-Engine-4-First-Look.htm

모든 물리적, 상호작용적 요소들을 조절할 수 있도록 만들어졌다.

5.2.1. 프로그램 객체 구조

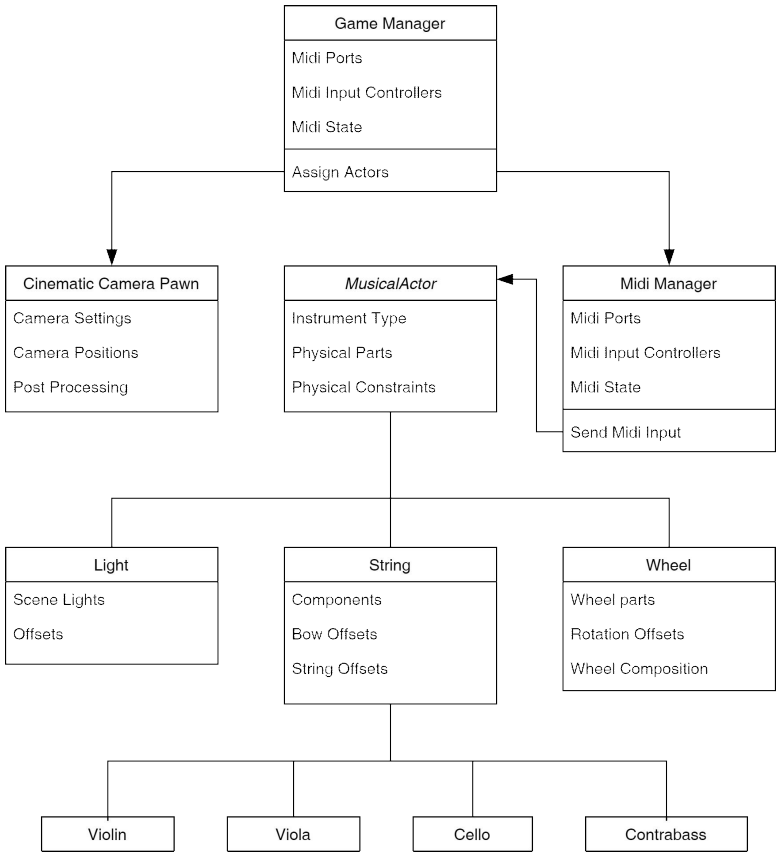

그림 38 작품 전체를 구성하는 클래스의 구조도

[그림 38]은 본 작품 연구를 구성하는 C++ 클래스들의 구조를 나타낸 것이다. 모든 객체들은 Unreal Engine 5의 Actor로부터 상속된 개체들이며, 모두 MIDI 입력에 직간접적인 영향을 받아서 작용한다는 공통점이 있다. Game Manager 클래스는 촬영 설정을 담당하는 Cinematic Camera Pawn과 미디 포트를 찾아 입력 컨트롤러를 생성하고 관리자는 MIDI Manager 클래스를 플레이 시에 생성한다. MIDI Manager는 미리 생성된 포트 이름과 ID에 해당하는 MIDI 포트를 응용 프로그램에 연결하

고, 30~60ms의 처리 시간 안에 입력되는 MIDI 데이터들을 Musical Actor와 그 상속 클래스들에게 전달한다. Musical Actor의 상속 클래스들은 모두 MIDI Manager의 데이터 전달 신호에 감응할 수 있다. 이 중 일부는 빛을 설정하거나 Static Mesh들의 위치 변환 값을 조절하는 기능을 한다. 이 가운데 활로 연주하는 현명악기 Actor는 String으로, 바이올린, 비올라, 첼로, 콘트라베이스 악기 클래스를 상속한다.

5.2.2. 현명악기 작동 방식

바이올린, 첼로, 비올라, 더블 베이스 총 4가지 바이올린족 현명악기들은 거의 동일한 작동 방식을 공유한다. 가상 현명악기는 실제 모델이 되는 악기와 마찬가지로 활의 속도와 활의 압력에 따라서 기초적인 음이 발생하고, 이에 더해 다양한 물리적 변수들이 가해질 수 있다. [표 2]와 [표 3]에서 확인할 수 있듯이, 가상 어쿠스틱 악기 소프트웨어에서는 해당 음의 변화와 생성은 CC 및 건반 입력을 통하여 직관적으로 조절할 수 있다.

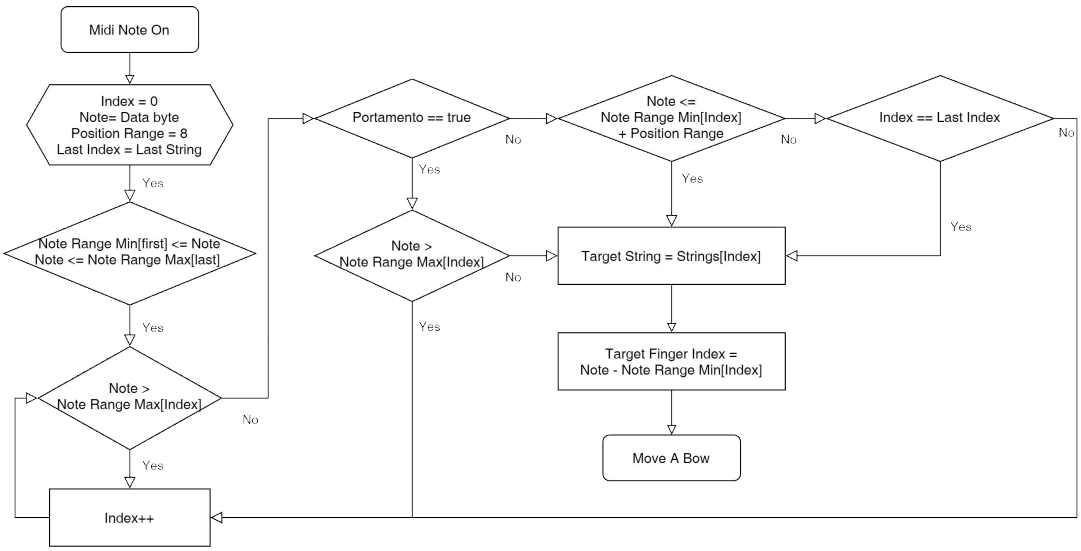

그림 39 노트 입력과 아티큘레이션에 따른 현 위치 인식 알고리즘 순서도

본 항목에서는 물리적 하드웨어에 따른 소프트웨어를 통한 음향 재현이 어떠한 과정에 거쳐서 이루어지는지 설명하고, 이에 따른 시각적 동작 변화와 제어에 대한 알고리즘 자료들을 제시하였다. [그림 39]는 현명악기 연주 시에 연주하고자 하는 음에 따라서 알맞은 현을 골라서 연주하는 특유의 운지법이 진행되는 과정을 모방한 방법론을 프로그래밍하여 적용한 순서도로, MIDI 입력장치를 통해서 건반 신호가 전달되었을 때, 현재 활의 위치, 제일 가까운 현의 위치, 아티큘레이션의 종류 등을 바탕으로 받아들여진 건반 정보에 맞는 음을 재현하고, 시각적으로 표현할 때 사용하기 위하여 구성했다. 본 프로젝트에서 구현한 바이올린과 비올라, 첼로, 더블 베이스 오브젝트는 더블 베이스를 제외하고 4개의 현으로 구성된다. 그리고 [그림 38]에서 보이는 String 객체들은 [그림39]의 방법에 따라서 최소 1개 이상의 주어진 현들과 각각의 현이 표현 가능한 음의 고저를 능동적으로 분석하여 활의 이동과 운지 동작을 명령한다.

그러나 실제 현명악기와 다르게 디지털로 재현되는 악기는 인간이 가진 다섯 손가락의 물리적 특성에 구애받을 필요가 없으니, 자유롭게 정확한 음을 의도한 아티큘레이션에 따라 낼 수 있다. 바이올린족 악기에서 보이는, 포지션에 따른 운지법의 변화와 아티큘레이션의 제한은 본 연구에서 고려하지 않으며 시각적으로 반영되지 않는다. 따라서 가상 악기의 시각적 운동은 손가락의 물리적 도달 범위를 무시하고 각각의 현이 표현할 수 있는 음의 범위가 어디까지인지에 따라서 결정된다.

각 현은 기본적으로 최소 15개 이상의 음을 표현할 수 있지만, 마지막 현을 제외하고, 한 현에서의 기본 표현 범위는 8개의 음으로 한정되어 있다. MIDI 건반 데이터가 입력될 시에, 입력된 음정을 지원하는 가장 가까운 현을 활성화하거나, 입력 음정이 현재 활성화 중인 현의 기본 표현 범위 내에서 표현할 수 있지 않을 경우, 다음 현의 기본 표현 범위 내에 입력 음정이 존재하는지 탐색한다. 단, Portamento와 Pitch 조절 시에는 8개 음의 기본적 표현 범위와 상관없이, 현재 활성화된 현을 우선

으로 하나의 현이 표현 가능한 모든 음정과 입력 음정을 대조하여 탐색한다. 이렇게 입력 음정에 따라서 활성화된 현과 운지 자리가 결정되면 3D 악기의 활이 회전 이동하여 해당 현에 마찰하는 상태가 되도록 설정하고, 이러한 활의 운동은 Velocity 값에 따라서 Portamento 조건이 활성화된 상태와 그렇지 않은 상태에 따라 활의 움직임 방향과 속도에 차이가 있도록 설정하였다.

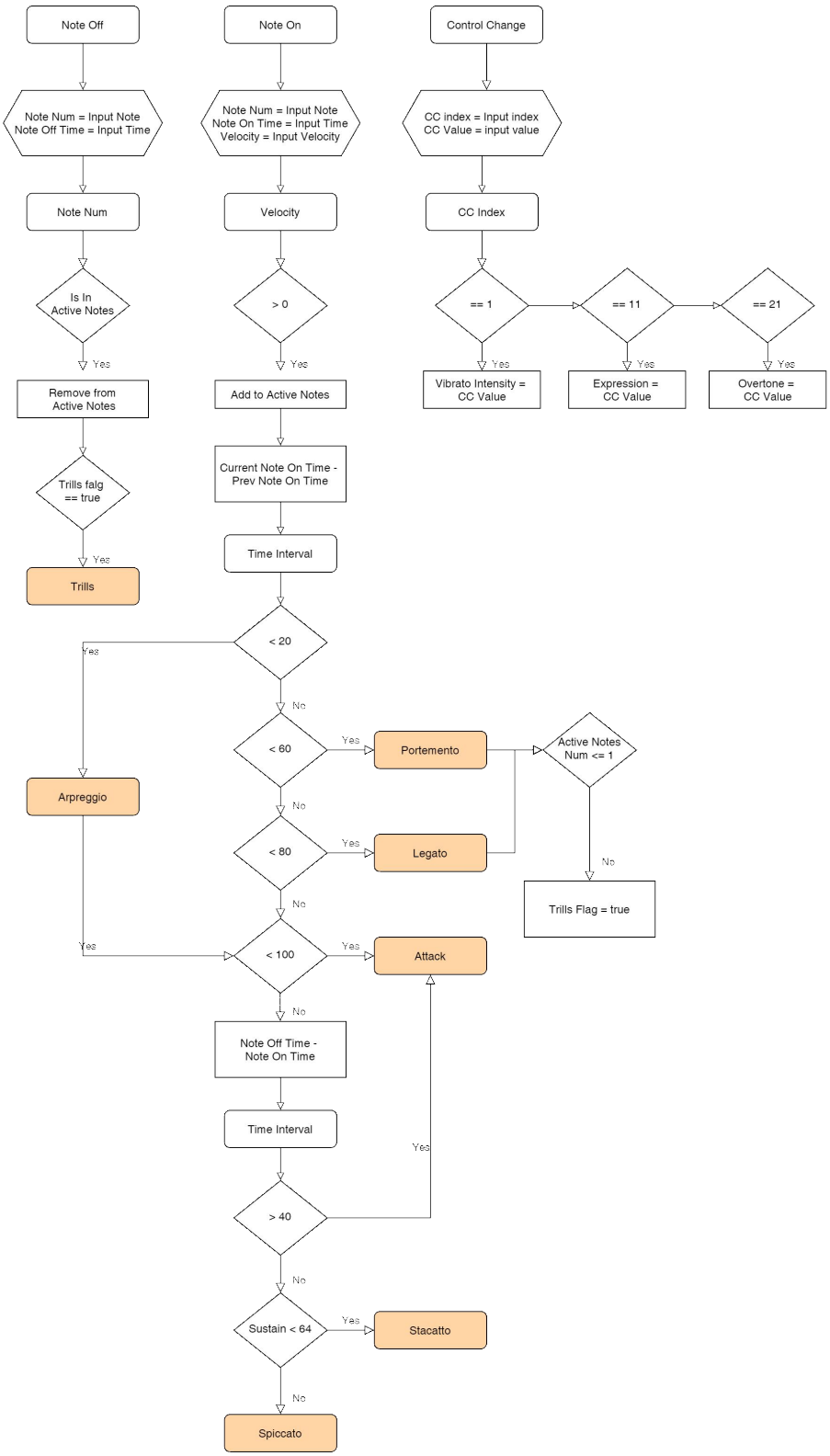

그림 40 현명악기 아티큘레이션 구현을 위한 알고리즘 순서도

4종의 현명악기는 모두 동일한 종류의 상호작용 처리 방식을 공유하므로 특정 아티큘레이션이 적용되는 방법 또한 매우 흡사하다. 본 연구에서 사용한 현명악기의 MIDI 입력에 따른 아티큘레이션 선택 방법은 큰 맥락에서 차이점 없이 같은 과정을 거쳐서 연산한다.

본 가상 악기 음향 소프트웨어는 특정 MIDI 데이터의 처리에 따라서 개별적으로 발동되는 아티큘레이션들이 존재한다. [그림40]은 그러한 원래 음향 소프트웨어를 분석하여 개별 아티큘레이션들의 발동 조건을 추론하고, 그것을 다시 시각적 표현물의 동작으로 구현하는 방법론을 나타낸 것이다.

CC 명칭	조절 변수	물리 작용	기본값	중요도 (0-5)
CC 1	Vibrato Intensity	비브라토 세기	0	4
CC 11	Expression	활의 속도	0	5
CC 19	Vibrato Rate	비브라토 속도	40~65	2
CC 22	Overtone	활과 현의 압력	0	3
CC 26	Attack Time	활이 현에 닿는 시간	64	2
CC 27	Release Time	활이 현을 떠나는 시간	110	2
CC 38	Attack	활이 마찰하는 세기	64	1
CC 64	Bow Change	활 방향 전환	0	3

표 4 중요도에 따른 CC 입력 범위 선정

소프트웨어 인터페이스에서 실시간으로 변환할만한 CC 데이터 형식의 현명악기 재현 변수를 선정하였다. 선정의 기준으로 음의 재현에 끼치는 영향이 지대한지에 대한 중요도를 매기고, 주어진 하드웨어 인터페이스들로 해당 값들을 조절하는 것이 경험적 관점에서 적절한지를 따졌다. 중요도가 1보다 낮은 변수들은 제외하고, 최종적으로 소프트웨어 인

터페이스를 통하여 변화할 값으로 선정된 변수들은 [표 4]에서 나와있듯이 Vibrato Intensity, Expression, Vibrato Rate, Overtone, Attack Time, Release Time, Attack, Bow Change이다.

컨트롤러 유형	조절 방법	MIDI Type	기본값	변화량
스틱형 컨트롤러	X축 이동	Pitch	0	±16,383
	Y축 이동	Vibrato Intensity (CC1)	64	±64
	Z축 회전	Attack Time (CC26)	64	±64
		Release Time (CC27)	110	+17, -110
		Attack (CC38)	64	±64(inverse)
	클릭	Overtone (CC22)	0	+127(On/Off)
익스프레션 페달	밟는 정도	Expression (CC11)	0	+127
서스테인 페달	밟는 정도	Sustain (CC64)	0	+127(On/Off)
건반	건반 속도	Velocity	0	+127
	건반 순서	Note	12	+49
	볼륨 페이더	Vibrato Rate (CC19)	개별	±개별

표 5 본 작품에 사용하는 컨트롤러들에 따른 MIDI 입력 종류

스틱형 컨트롤러는 손으로 잡아서 움직이는 주 막대가 움직이는 수평 X축을 Pitch에 할당하여 현재 재생 중인 음의 높이를 조절한다. X축 이동 범위를 조절하여 14bit MIDI 값으로 전송한다. Y축 이동은 이동하지 않았을 시에 0을 출력하고, 극단으로 갈수록 최댓값에 가까워지도록 하여 CC1을 전송하여 비브라토 기법의 세기를 결정한다. 스틱 상단의 회전 조절 장치는 CC26과 CC27, CC38을 전송하되, CC38은 CC26과 CC27이 가장 클 때 가장 적은 값을, 가장 적을 때 가장 큰 값을 출력하도록 한다. 이로써 가장 낮은 전압에서는 끊어서 연주하는 강한 스피카

토가 연주되고, 가장 높은 전압에서는 부드러운 음이 연결되게 할 수 있다. 그리고 최상단의 버튼은 CC22를 통하여 음의 불안정성을 조절할 수 있는데, 클릭 된 상태에서는 서서히 최대 127까지의 값을 전송하고, 클릭이 해제되었을 때 0으로 내려서 전송한다.

조절 변수	바이올린	비올라	첼로	콘트라베이스
Vibrato Intensity (CC1)	0 [+120]	0 [+102]	0 [+84]	0 [+65]
Vibrato Rate (CC19)	65 [+50/-65]	54 [+40/-54]	48 [+39/-48]	40 [+32/-40]

표 6 악기에 따른 비브라토 관련 CC 변수의 변화량 차이

실제 현명악기들은 같은 음을 연주하더라도 악기의 크기, 현의 굵기, 손가락의 움직임 속도가 다르므로 같은 빈도의 비브라토가 재생되지 않는다. 따라서 비브라토 빈도는 악기마다 서로 기준값, 최솟값, 최댓값이 다르게 설정하였다. 해당 부분은 하드웨어가 아닌 DAW의 소프트웨어 단계에서 트랙별로 다르게 적용되는 CC 변환으로 처리했다.

$$p(u) = (3.3-u)^3 P_0 + 3u(3.3-u)^2 P_1 + 3u^2(3.3-u)P_2 + u^3 P_3$$
$$g(u) = p(u) \times 127$$

$$0 \le u \le 3.3$$

수식 2 입력 전압에 따라 MIDI 값을 가공하는 베지어 곡선 함수

모든 건반을 제외한 MIDI 입력장치는 3.3v 전압 입력에 따라 0v부터 3.3v까지의 변화에 따라 0부터 127의 내에서 MIDI CC 데이터를 연산한다. 그 중에 일부 값들은 전압에 대하여 선형적 관계에 놓여있지 않다. 따라서 본 작품의 하드웨어들은 자체적으로 받아들이는 전압을 특정한 연산에 따라서 새로 설정할 필요가 있었는데, 이를 위하여 베지어 곡선

(Bezier Curve) 방정식을 이용했다. 베지어 곡선 매개 변수 방정식은 컴퓨터 그래픽스에서 부드러운 곡선이나 애니메이션 키 프레임(Key frame) 연산에 주로 사용하는 공식으로써,[9] 본 프로젝트에서는 입력되는 전압을 베지어 곡선 방정식에 따라 새롭게 변환하여 7-bit의 데이터로 출력할 수 있게 하였다.

[수식 2]의 공식에서 u는 0v에서 3.3v 사이의 아날로그 전압이다. 본 연구에서 사용한 입력 장비들은 모두 5v의 USB 전압을 공급받지만, 마이크로프로세서는 3.3v 이하의 입력만을 허용하기 때문에 전압 분배기로 가변저항의 결괏값을 낮추어 사용한다. 그리고 이를 위의 공식에 대입하여 계산한 값에 MDI 입력의 최댓값인 127을 곱하여 MIDI 통신 규격에 따라 공급한다. P0은 최솟값, P3는 최댓값이며 베지어 핸들인 P1와 P2를 조절하여 곡선을 알맞게 형성한다.

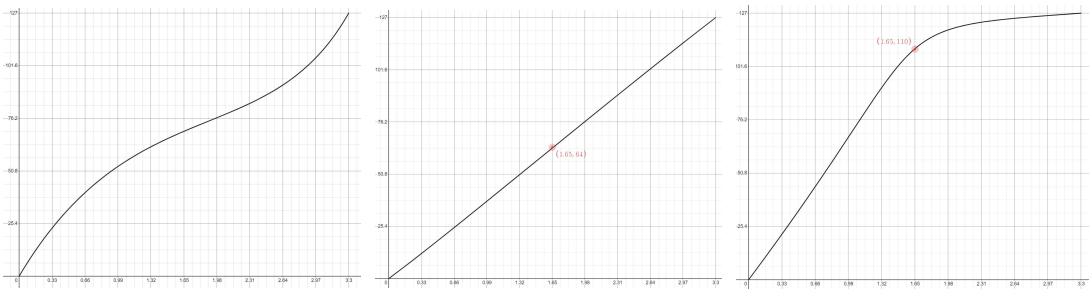

그림 41 Expression, Attack Time, Release Time 변환 그래프

[그림 41]은 베지어 수식을 통해서 가공한 MIDI 데이터 그래프 중 일부를 표현하는 예시이다. X축은 입력되는 선형적 전압이고, Y은 축은 연산의 결과로서 출력되는 MIDI 7-bit 값이다.

9) Mortenson, Michael E. *Mathematics for Computer Graphics Applications, 263.* Industrial Press Inc. 1999. ISBN 9780831131111.

6. 작품 제작

6.1. 악기의 시각적 분석

본 연구의 주제는 악기의 시각화이지만, 그렇다고 해서 단순하게 실제 악기와 같은 복제본을 가상 공간에 그대로 배치하고, 그 위에 시뮬레이션으로 구현된 악기의 소리를 덧붙이는 것이 악기와 소리의 관계를 나타내는 유일한 방법인 것은 아니다. 본 작품 연구는 가상 어쿠스틱 악기 소프트웨어를 통해 실제 원본 악기의 기능성을 불완전하게 모방하는 것에 그치는 것이 아니라, 디지털 재현 기술을 통하여 현실에 존재하는 악기들이 필연적으로 종속될 수밖에 없는 물리적 형상의 제한성, 공간의 제약, 정해진 재질과 규격의 틀을 깨는 것을 지향한다. 가상 악기의 등장에 따라서 악기의 청각적 특성이 현장성의 제약에서 벗어났다면, 악기의 시각적 형태와 동작성 또한 수백 년간 개량을 거쳐 효율적으로 진화해 온 바이올린족 악기의 기능·형태적 역사성의 핵심만을 계승한 채, 디지털 기술의 도움을 받아 새로운 단계로 접어들 수 있을 것이다. 상술한 이론적 지향점에 따라서, 본 작품 연구에서는 악기의 작용과 음의 생성 간의 인과관계를 가상 환경에서 효과적으로 표현할 시각 요소들을 발견하고자 한다. 또한 본 작품에서는 체험자가 디지털 악기의 작용을 관찰하는 것을 넘어서 직접 시뮬레이션 변수를 조절하는 음의 생성 과정에 실시간으로 참여하게 함으로써, 재현된 가상 악기가 디스플레이 영상에 갇힌 디지털 그래픽 요소가 아닌 현실과 가상의 양 방향적 상호작용이 가능한 메타적 시청각 표현물의 역할을 하게 된다.

6.1.1. 바이올린족 악기에서 비롯한 시각 요소

앞선 차례에서는 바이올린족 악기에서 비롯한 외형적 특징을 객관적인 관점에서 분석하고, 해당 악기들을 모델로 한 가상의 악기들을 활용

한 시각적 표현 방법들에 대해서 알아보았다. 선행 연구들에서는 가상 어쿠스틱 악기의 기능적 활용에 주된 초점을 맞춘 채로 작품이 제작되었지만, 그에 비해 본래 바이올린족 악기들에서 찾을 수 있는 외형적 특징과 소리를 시각적으로 설득력 있게 연결할만한 구체적인 연구 및 고찰이 부족했다는 점을 부정할 수 없다. 따라서 이번 연구에서는, 시각적인 가상 어쿠스틱 악기와 그 악기에서 생성된 음악의 인과적 연결을 더욱 견고히 할 수 있을 만한 바이올린족 악기의 시각적인 요소들의 분석을 진행하였다. 본격적인 악기의 시각화에 앞서, 본 연구자는 바이올린족 악기 연주자들의 자세와 악기의 곡선적 외형 및 움직임이 함께 어우러질 때 생겨나는 순간들에서 비롯한 시각 요소들을 제시하였다.

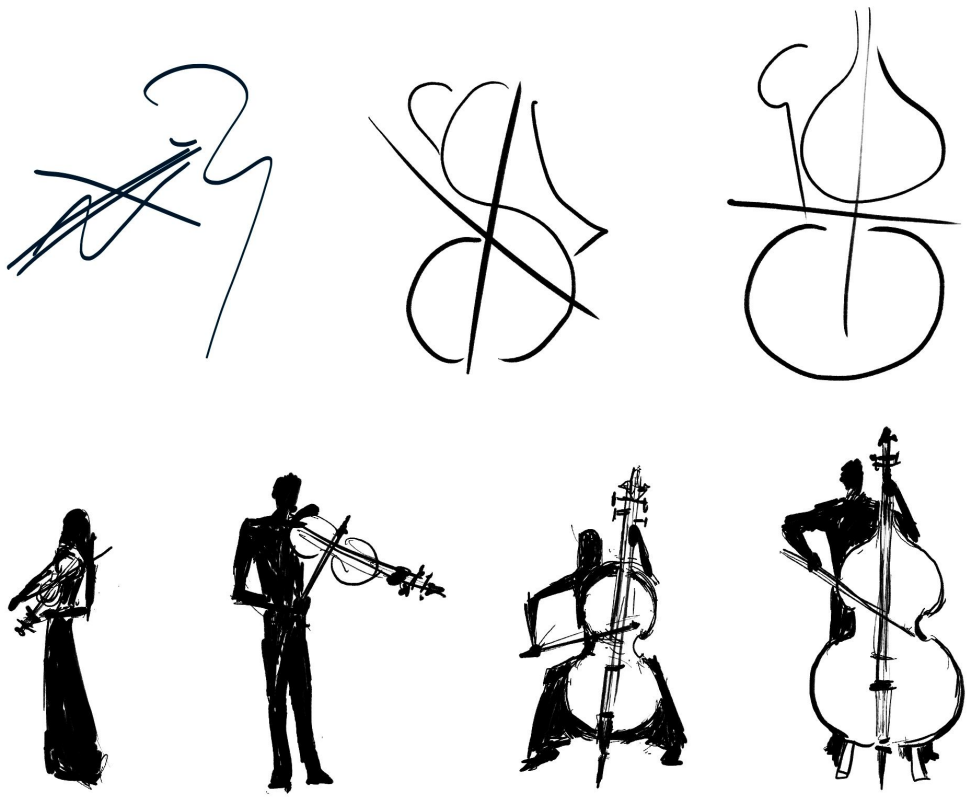

그림 42 바이올린족 악기 연주자의 실루엣에 따른 곡선적 표현

그림 43 바이올린족 악기와 연주자의 동선에 따른 선적 요소

[그림 42]와 [그림 43]은 현명악기 연주자의 실루엣과 연주자의 동선에 따라 새로운 악기의 컨셉 모티브를 구상한 것이다. 본 연구에서 구현하는 새로운 형태의 악기 오브젝트들은, 모델이 되는 악기 물리적 요소만을 포함하지 않는다. 음의 생성과 연주란 악기의 작용에 따라서만 이루어지는 것이 아니라 연주자와 주변 요소와 함께 이루어진다. 따라서 본 연구에서 지향하는 가상의 악기에는 악기를 연주하는 사람들의 모습과 움직임을 함께 재해석한 요소들이 반영될 수 있도록 하였다.

6.1.2. 바이올린족 악기의 시각 요소 응용

바이올린족 악기의 핵심적인 시각적 요소를 추출하여 재구성하기 위해서 현실 세계의 맥락을 가져오는 구상적 표현 방식을 택했다. 이에 맞는 악기의 재구성에 대해서 다양한 컨셉을 실체화해나가며, 본 연구에서 지향하는 가장 적합한 형태의 가상 환경의 악기 요소에 대한 아이디어를 정리하였다.

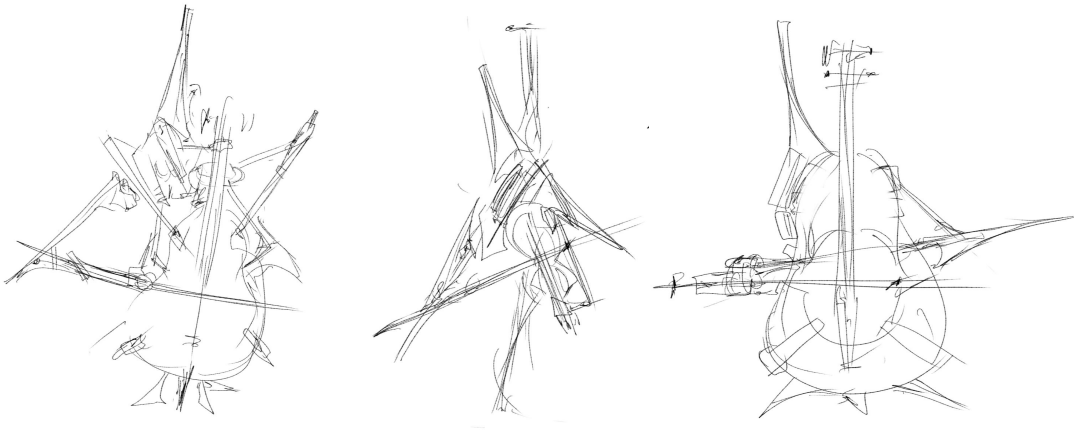

그림 44 가상 어쿠스틱 악기 시각화 컨셉화 1

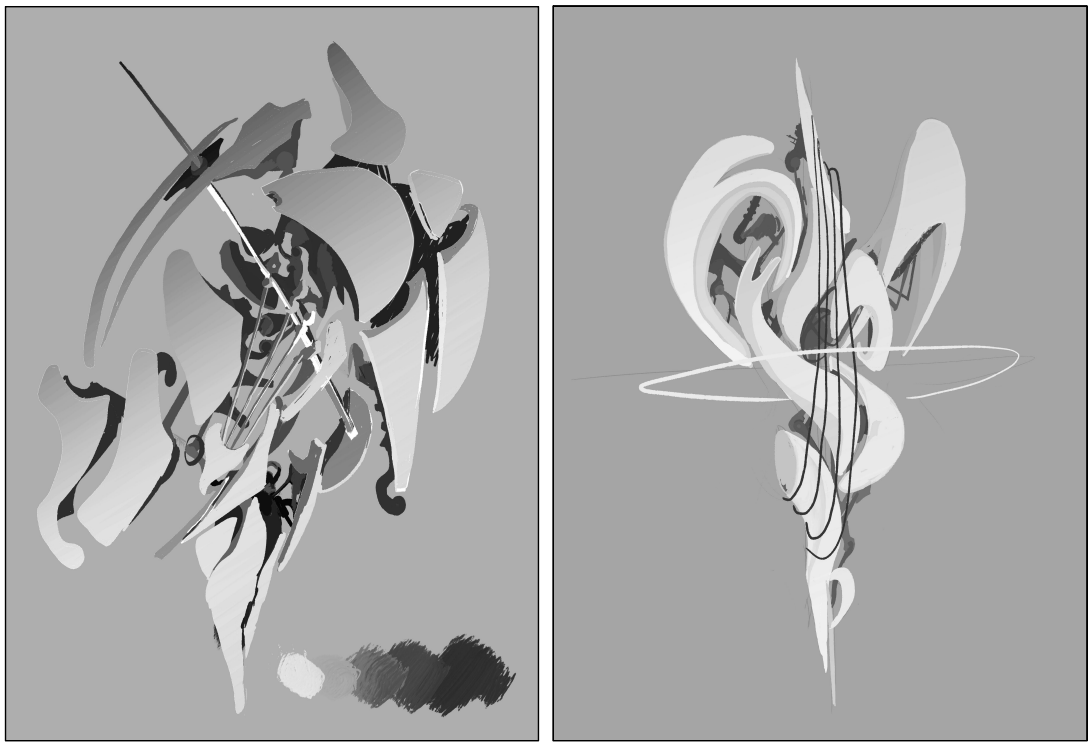

그림 45 가상 어쿠스틱 악기 시각화 컨셉화 2

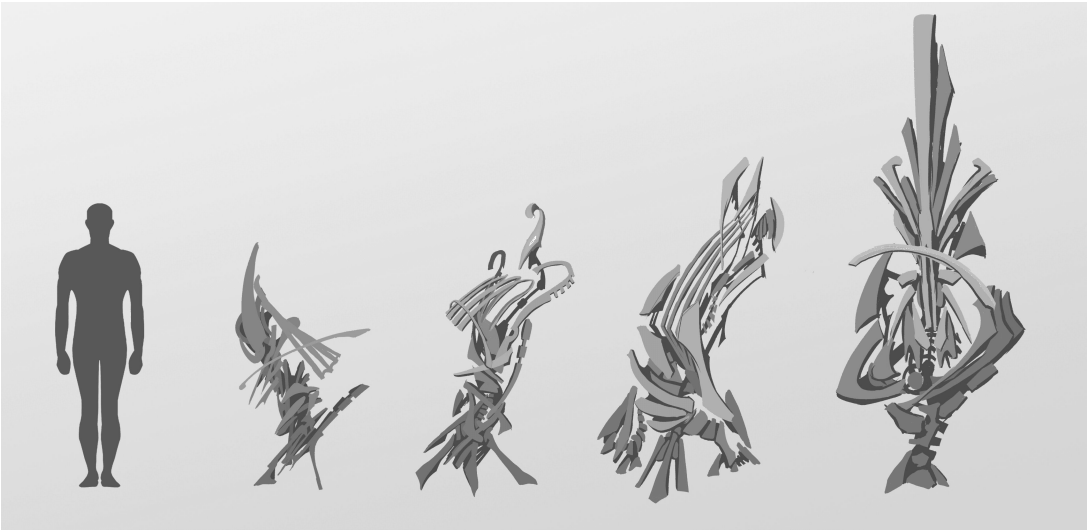

그림 46 가상 어쿠스틱 악기 시각화 컨셉화 3

그림 47 가상 어쿠스틱 악기 시각화 컨셉화 4

위의 컨셉화들[그림 44~47]들 중 4번째 컨셉화가 최종적으로 결정된 구상화이다. 해당 그림에서 보이는 추상적인 선적 요소들을 이용하여 실제감 있는 구상적 3D 요소를 구현한다는 반어적 맥락을 이루고자 하였다.

그림 48 바이올린족 악기의 곡선 요소의 2D 에셋

바이올린족 악기는 다양한 운궁법에 따라 리듬감 있는 몸짓에서 비롯한 수많은 동선이 동반되는 악기이다. 이러한 동적 성질을 시각적으로 가장 잘 나타낼 수 있는 것이 바로 앞서 연구한 악기와 구조와 연주자의 형상을 묘사한 스케치[그림 42]와 실험적 컨셉화[그림 47]에서도 나타나는 바이올린족 악기의 곡선적 요소이다. 따라서, 가상 공간에서 연주될 바이올린 솔로는 현실의 바이올린과 바이올리니스트가 움직일 때 보이는 시각적 특성에 따라 율동감 있는 선적인 요소들이 모여서 구성하도록 계획하였다. 이를 위하여 바이올린의 외형과 연주 장면에서 영감을 받아 제작한 곡선들을 벡터 데이터로 그려내어 벡터 파일로 변환한 다음, 기초적인 3D 에셋으로 사용할 수 있도록 했다.

6.1.3. 3D 프로토타입

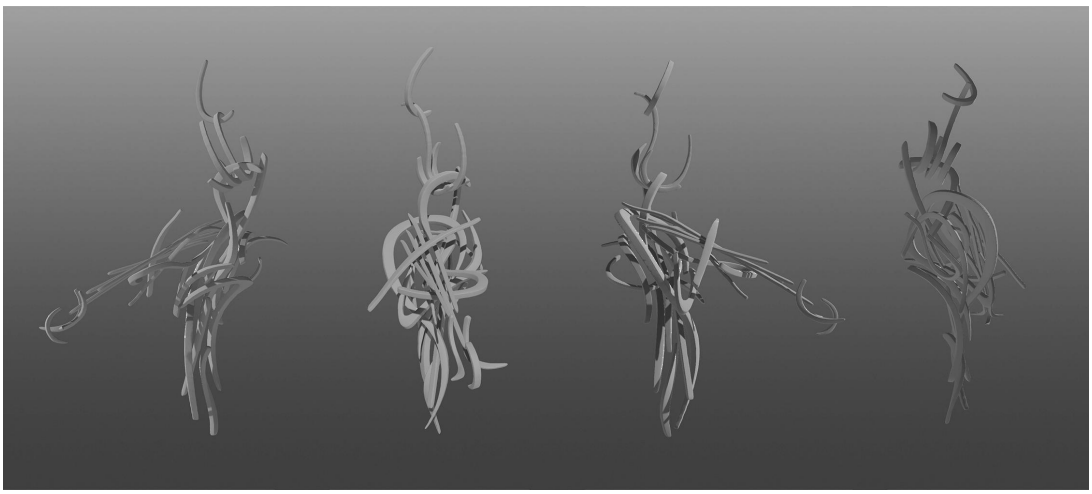

그림 49 가상 현명악기의 프로토타입 모델링

컨셉 아트를 실제 3D 요소로 제작하는 과정의 첫 번째 악기로 네 종의 바이올린족 악기 가운데 바이올린 솔로를 선택했다. 바이올린 3D 오브젝트 제작에서는 앞선 컨셉화에서 제시한 형상[그림 44~47]을 참고하여, 모델링에 사용할 에셋을 제작하였다.

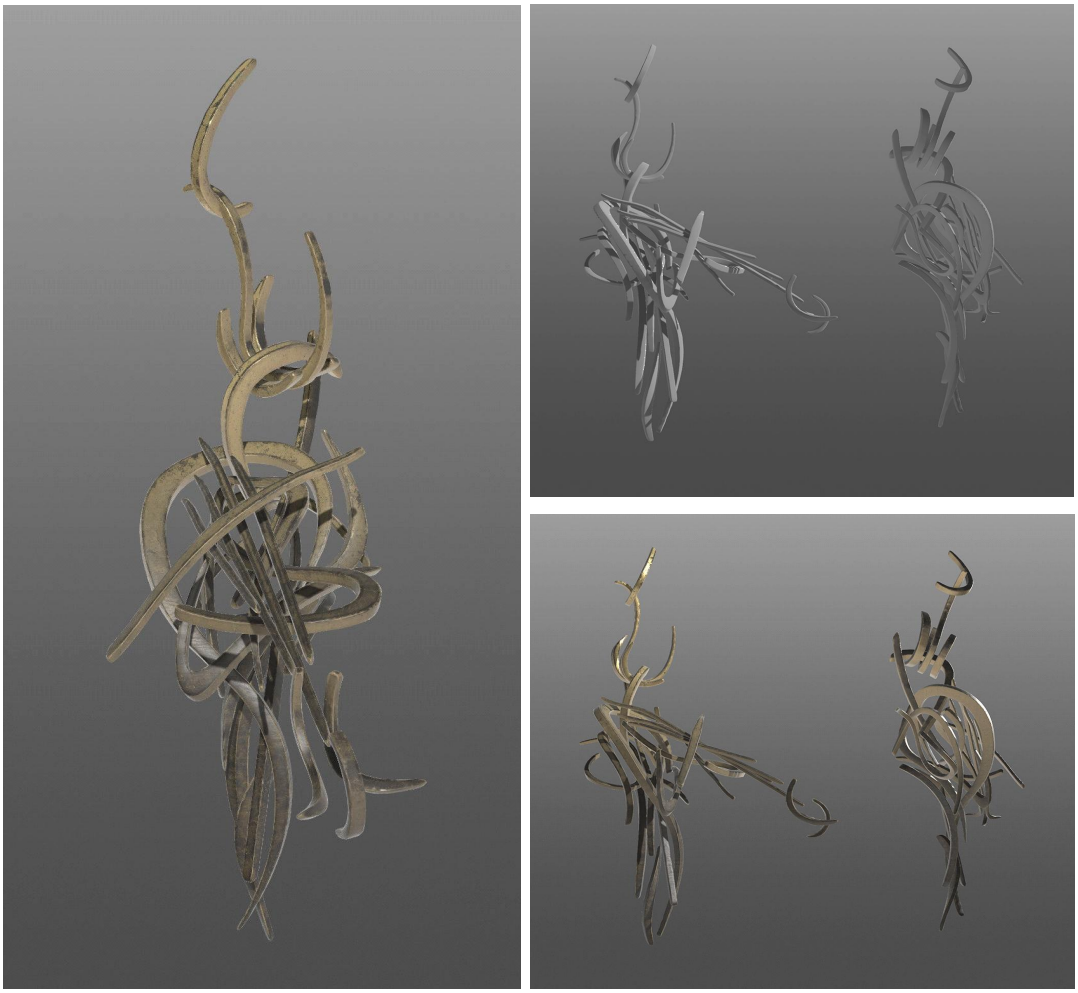

그림 50 바이올린 솔로의 모델링과 텍스처링 전(上)과 후(下)

가상 바이올린 솔로는 앞서 제작한 곡선적 2D 에셋[그림 48] 다수를 입체 면으로 사용하여 구성하였다. 본 작품의 가상 현명악기 오브젝트는 정적인 조형물이 아니라, 체험자와 상호작용하며 실시간으로 연주를 해내는 가상의 악기의 역할을 한다는 점에서 착안하여, 악기 자체의 외형적 측면만이 아닌, 연주자가 움직이며 만들어내는 전체적 실루엣 또한 반영하였다.

그림 51 포토 리얼리스틱(Photo-realistic) 환경에 배치된 바이올린 솔로

이러한 소량의 금속 재질은 수많은 폴리곤과 고해상도 텍스처로 구성되어 실사와 같이 표현된 가상 환경에서도, 특유의 거칠기(Roughness)를 조절하여 복합적인 선적 요소로 구성된 바이올린 솔로 오브젝트가 배경과 구분되게 해주고, 광원의 빛이 표면에서 매끄럽게 반사되게 하여 주요 오브젝트를 강조해준다. 상술한 재질과 오브젝트의 효과적인 호환성을 확인하기 위하여, 앞선 렌더링[그림40]은 현실적인 표현 방법으로 제작된 시험 환경에서 다양한 각도로 촬영했다.

6.2. 가상 현명악기 디자인

[그림 47]의 선적인 요소들과 [그림 51]에서 나타난 제작 방향성을 기준으로 삼아서 바이올린족에 속한 네 종의 현명악기를 3D 공간의 오브젝트로 실체화할 수 있었다. 가상 현명악기 오브젝트들의 전체적인 실루엣은 연주 시의 모습을 바탕으로 구성하였으며, 악기를 연주하는 연주자의 동선과 악기 자체의 외형에서 영감을 받아 [그림 51]의 프로토타입과 같이, 구상화된 곡선을 여럿 이어 붙여서 구성하였다.

이렇게 서로 엮여서 현명악기를 구성하는 모든 3D 요소들은 서로서로 지탱하는 구조로 되어있으며, 어딘가 부딪혔을 때 물리적으로 반응하게 해주는 컨벡스(Convex) 형식의 충돌 메시(Collision Mesh)를 통하여 악기의 작고 큰 부품들은 관성과 중력의 물리적 작용의 영향을 받는다. 이로써 악기의 부품들은 살아있는 생명체처럼 자연스럽게 서로 얽히고설키며 동작한다.

그림 52 (상단 좌측부터 우측으로) 바이올린, 비올라, 첼로, 더블 베이스

그림 53 공용 텍스처가 적용된 셰이더 볼과 UV 맵

실제 3D 모델링을 새롭게 제작하기에 앞서, 3D 텍스처링 단계에서 여러 레이어의 텍스처를 적용해보았다. 결과물을 구상할 때 쓰는 셰이더 볼(Shader Ball)을 이용하여, 모델링에 적용하며 3D 모델에게 가장 적합한 재질을 찾는 과정을 거쳤다. 현명악기 특유의 바니시 된 목재 질감을 기반으로 두고, 실제 바이올린의 줄 감개와 현에서 찾아볼 수 있는 금속 재질을 악기 상단의 표면에 일부 적용하였다.

3D 모델의 Normal 벡터와 Displacement Height 데이터를 이용하여 모델의 가장자리와 파인 곳을 구별하고, 각진 모서리일수록 나무가 벗겨지며 좁은 틀일수록 금속 표면이 나무 표면에서 덜 벗겨진 듯한 시각적 차이를 주었다. 이를 통하여 예상 3D 모델의 현장감과 사실성을 높여서 가상 현명악기의 구상적 실체화를 추구하는 본 작품 연구의 맥락과 일치할 수 있게 하였다.

6.2.1. 바이올린 솔로 오브젝트

가상 현명악기 실체화의 첫 번째 오브젝트로 바이올린(Violin)의 솔로 오브젝트를 제작하였다. 모델이 되는 악기인 바이올린은 이번 연구에서 제작된 네 종의 현명악기 가운데 가장 크기가 작고, 가장 높은 음을 낼 수 있다. 바이올린은 크기가 작으므로 손가락 움직임을 바꾸는 데 걸리는 시간이 적게 들어서 다양한 음을 빠르게 연주할 수 있고, 활을 다른 현명악기보다도 자유자재로 빠르게 움직일 수 있어서 단시간 내에 수많은 아티큘레이션을 구사할 수 있다. 따라서 가상 바이올린 솔로는 악기에 해당하는 부분의 크기가 작지만 움직일 때 돋보이도록 활의 길이가 길고, 전반적으로 날렵한 실루엣을 가지도록 구성하였다.

바이올린을 구성하는 현은 총 4개로, 낮은음을 표현하는 현부터 높은음을 표현하는 현의 순서대로 완전 5도씩 G, D, A, E 현으로 구성되어 있다.

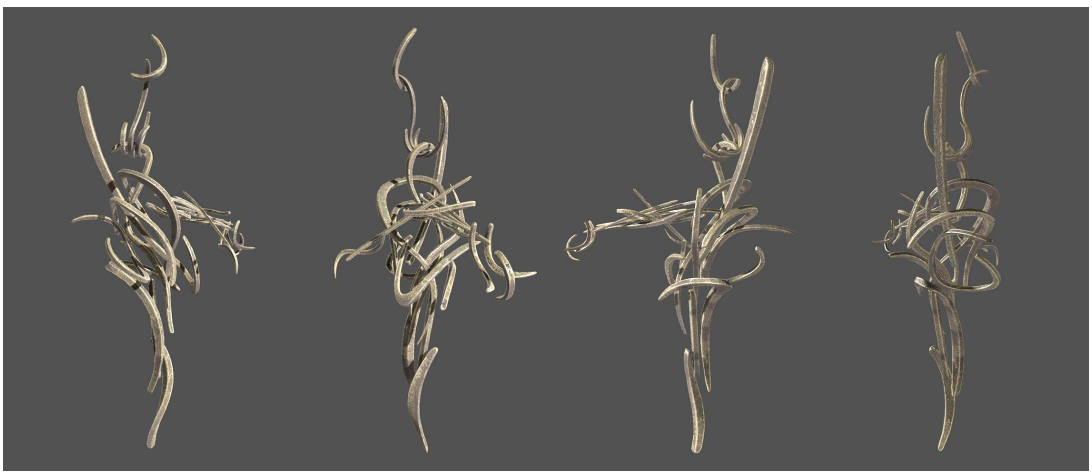

그림 54 텍스처링 된 바이올린 솔로 3D 모델

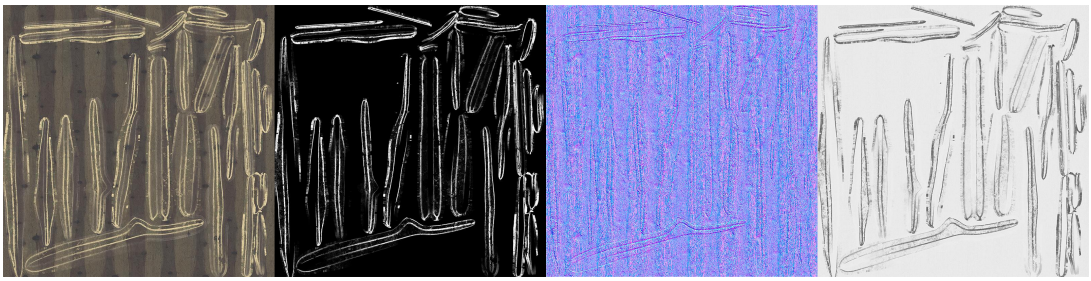

그림 55 바이올린 솔로 PBR 텍스처 (Albedo, Metalness, Normal, Roughness)

6.2.2. 비올라 솔로 오브젝트

비올라(Viola)는 바이올린보다 다소 큰 15인치에서 18인치까지 크기로 되어있는 현명악기로, 바이올린과 마찬가지로 악기를 턱 사이에 끼우는 자세로 연주한다. 비올라 솔로 오브젝트는 바이올린보다 악기 부분의 크기가 더 크지만, 빠른 아티큘레이션 전환이 가능하다는 신속함을 표현할 수 있도록 바이올린 솔로 오브젝트와 마찬가지로 길고 날렵한 실루엣을 형성하도록 하였다.

비올라를 구성하는 현은 총 4개로, 낮은음을 표현하는 현부터 높은음을 표현하는 현의 순서대로 완전 5도씩 C, G, D, A 현으로 구성되어 있다. 이는 바이올린의 각 현에서 완전 5도가 낮아진 값과 같다.

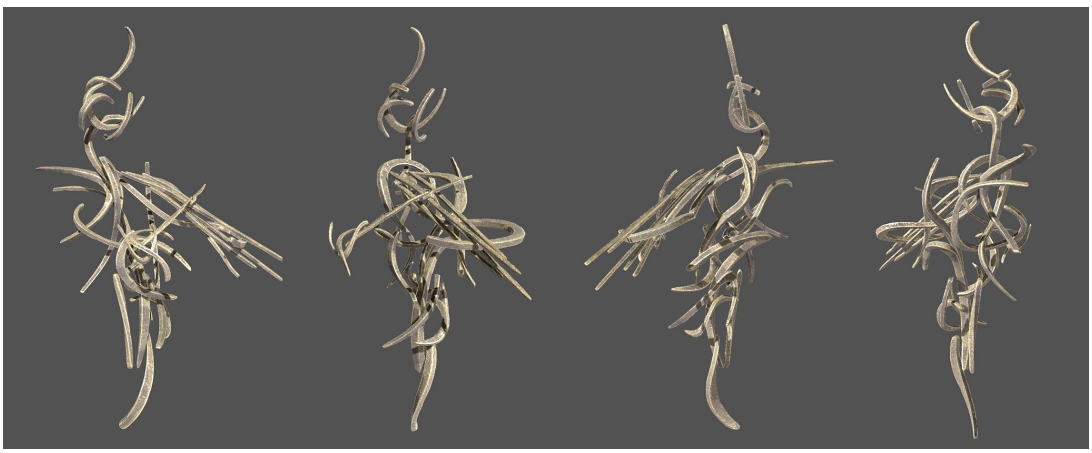

그림 56 텍스처링 된 비올라 솔로 3D 모델

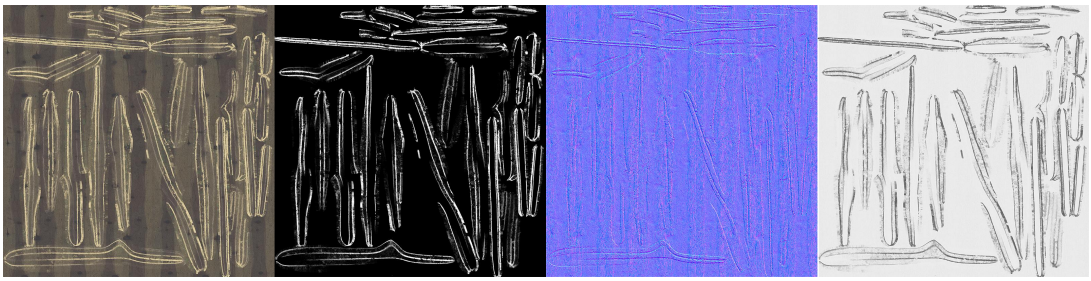

그림 57 비올라 솔로 PBR 텍스처 (Albedo, Metalness, Normal, Roughness)

6.2.3. 첼로 솔로 오브젝트

첼로(Cello)라는 명칭은 '크기가 작은 비올린'을 의미하는 이탈리아어인 비올론첼로(Violoncello)의 축약 명칭이다.[10] 첼로는 저음역과 중음역을 담당하는 현명악기이다. 비록 첼로의 역할은 저음역에 주로 치우쳐져 있지만, 실제로는 바이올린보다도 넓은 음역을 자유롭게 표현할 수 있다는 점에서 첼로의 시각화된 오브젝트는 크기에서 나오는 육중함과 연주의 역동성을 동시에 담을 수 있도록 구성하였다. 첼로는 네 종의 현명악기 가운데 유일하게 앉아서 연주해야만 하는 악기이기에, 다리를 형상화한 큰 하단부를 가지고 있게 제작하였다. 첼로를 연주할 땐 악기를 연주자의 가슴 쪽으로 기울인다는 점에서 무게 중심을 조절하여 악기의 스크롤이 뒤로 기울도록 적용하였다.

첼로를 구성하는 현은 총 4개로, 비올라와 마찬가지로 낮은음을 표현하는 현부터 높은음을 표현하는 현의 순서대로 완전 5도씩 C, G, D, A 현으로 구성되어 있다.

10) Merriam-Webster. accessed Nov 19, 2021. https://www.merriam-webster.com/dictionary/violoncello/.

그림 58 텍스처링 된 첼로 솔로 3D 모델

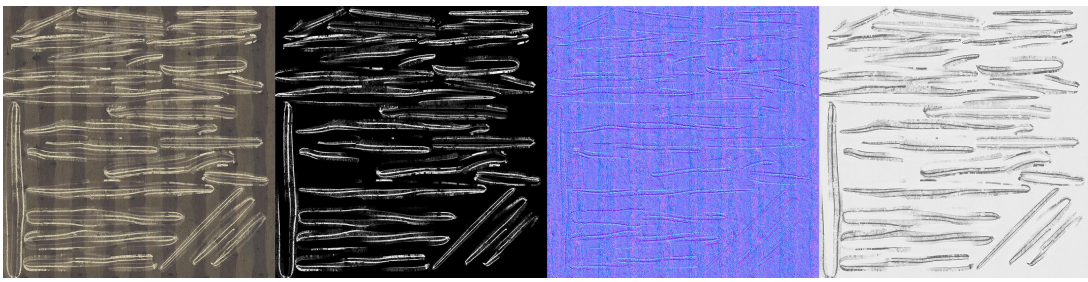

그림 59 첼로 솔로 PBR 텍스처 (Albedo, Metalness, Normal, Roughness)

6.2.4. 더블 베이스 솔로 오브젝트

콘트라베이스(Contrabass) 혹은 더블 베이스(Double Bass)는 네 종의 현명악기 가운데 가장 거대한 악기로, 가장 저음역을 담당하며 전반적인 연주를 뒷받침해준다. 더블 베이스가 낼 수 있는 최저 음역은 인간의 가청 주파수에서 상당히 낮은 영역에 있으며, 더블 베이스라는 이름에서 알 수 있듯이 본 악기의 연주는 명확한 음률보다는 진동 그 자체로 들리는 경우가 많다. 더블 베이스는 거대한 악기를 선 채로 연주를 한다는 점에서 가장 큰 키를 가지도록 크기를 설정하였고, 첼로와 다르게 악기가 약간의 기울기만 가진 채 반듯하게 서 있다는 점을 디자인에 반영하여 형상화했다.

5현 콘트라베이스를 구성하는 현은 낮은음을 표현하는 현부터 높은 음을 표현하는 현까지 완전 5도씩 B, C, A, D, G 순으로 구성되어 있다.

그림 60 텍스처링 된 더블 베이스 솔로 3D 모델

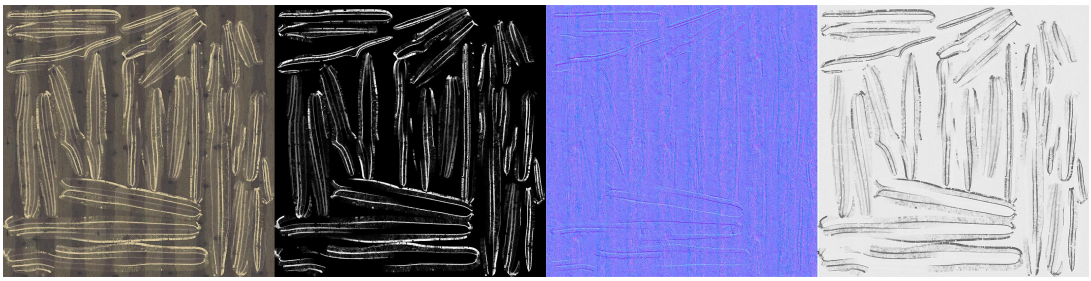

그림 61 더블 베이스 솔로 PBR텍스처 (Albedo, Metalness, Normal, Roughness)

본 작품에서 재구축한 더블 베이스는 4현이 아닌 5현 콘트라베이스를 기준으로 하여 E보다 아래에 있는 C 음이 제일 낮은 음이 되도록 설정하였다. 이로써 더블 베이스 재현 소프트웨어에서 재현할 수 있는 최저 음높이를 연주할 수 있게 하였다. 현실에서 5현 더블 베이스는 오스트리아식 오케스트라 연주에서 주로 사용하며,[11][12] 기존 악기에서 하나

11) “5 String Basses“. *Billbentgen.com*. accessed 21 July 2012. http://www.billbentgen.com/bass/5_string-basses.htm.

12) “Fingering of the Viennese Double Bass.” *KC Research Portal*. last modified Mar, 2016, accessed Nov 20, 2021, https://www.researchcatalogue.net/view/226826/226827/0/0.

의 현을 추가하기 때문에, 동일한 자판에서 현 간의 간격이 좁아져서 정확한 운지에 어려움이 따르고, 기존의 4현 더블 베이스 연주자들에게 새로운 파지법을 배우기를 요구하기 때문에 필요한 상황이 아니면 널리 사용되지 않는다. 그러나 가상 음향 재현 프로그램을 이용한 연주는 오직 음의 재현에 집중하여 물리적 한계에 구애받지 않으므로, 가상 더블 베이스 연주의 동작에서 그러한 자유로운 음의 변화를 반영하기 위하여 5현 구성을 채택하였다. 5현 더블 베이스의 현들은 앞선 세 종류의 현명악기와 마찬가지로 장 5도 간격으로 분할되어있기에 프로그램 설계의 통일성 또한 확보할 수 있었다.

6.3. 악기 동작 설계

이번 연구에서 제작한 현명악기 오브젝트들은 모두 실제 연주자와 같은 자연스러운 운동을 자체적으로 연산해내도록 설계하였다. 일부 독특한 아티큘레이션이 이루어질 때, 3D 공간상의 가상 악기 오브젝트는 현실에서의 경우와 마찬가지로 두드러지는 움직임을 보이기도 한다. 본 항목에서는 사용자가 쉽게 인지할 만큼 충분히 가시적인 오브젝트 움직임 변화를 동반하는 일부 현명악기 아티큘레이션을 선정하여 분석하고자 한다. 단, 여기서 말하는 아티큘레이션은 소프트웨어 인터페이스에서 사용하는 명칭을 그대로 적용하여 음향과 움직임 간의 관계를 명확하게 연결하고자 한다.

메시들이 Physical Constraint로 연결된 3가지 Pivot은 PhysX 물리 엔진 환경에서 자연스럽게 동작한다. 각자의 악기들은 MIDI 입력값을 받은 뒤, 내부 변수를 통해 적절한 물리 운동 값을 연산하여 움직임으로써 현실의 악기 연주자의 동선을 흡사하게 모방하도록 설계했다.

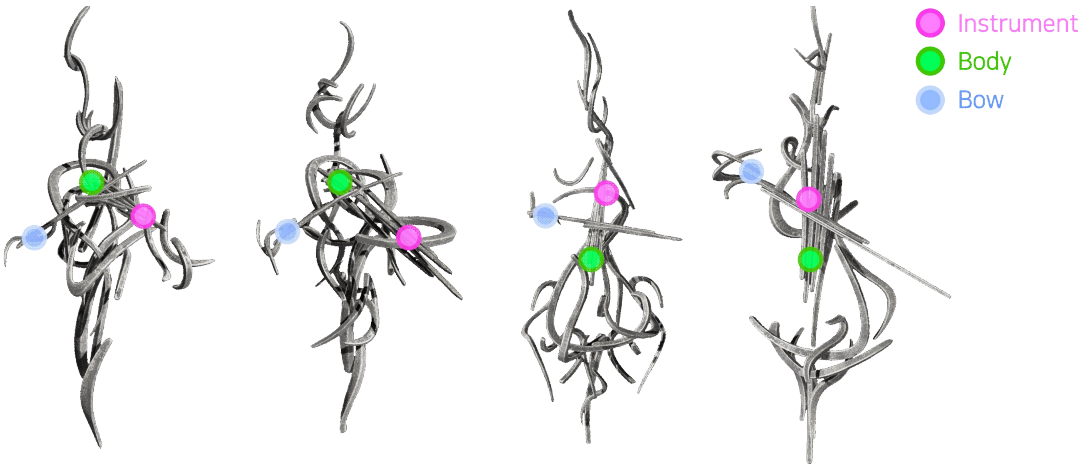

그림 62 현명악기 오브젝트들에서의 Pivot 위치

본 연구에서 사용하는 모든 악기 오브젝트들은 String 클래스의 상

속자들이며, Bow, Instrument, Body에 해당하는 부분의 Pivot 지점을 가지고 있다는 공통점이 있다. 마치 보이지 않는 실에 매달려 있듯이, 각각의 Pivot들에 악기를 구성하는 메시들 또한 느슨하게 물리적으로 연결되어있다.

악기 종류	총 메시	Body Pivot 연결 메시	Instrument Pivot 연결 메시	Bow Pivot 연결 메시
바이올린	25개	14개	9개	2개
비올라	26개	16개	6개	4개
첼로	26개	13개	10개	3개
더블 베이스	26개	8개	13개	5개

표 7 악기 오브젝트의 각 Pivot에 연결된 물리 메시 숫자

[표5]는 악기 오브젝트의 세 Pivot 지점들에 연결된 물리적 메시들의 개수를 나타낸다. 메시 하나당 Physic Constraint가 하나씩 부착되어 할당된 Pivot과의 유연한 물리적 연결을 이룬다. 각각의 메시들과 Physcial Constraint 컴포넌트들은 물리적 변수들은 최대한 효과적인 연주 동작으로 이어지기 위하여 적절한 관성 및 충돌 값을 설정했다.

효과적으로 악기의 동작을 표현하기 위해서, 네 종의 현명악기 캡처본을 모두 삽입하기보다는, 바이올린을 연속 이미지 예시의 주된 악기로 선정하고, 바이올린 오브젝트가 아티큘레이션에 의해서 운동하는 모습을 연속된 이미지로 표현하였다. 각 악기의 이미지의 오른쪽 아래에 있는 붉은 화살표의 방향은 현재 활의 이동 방향이며 중심을 기준으로 화살표가 원을 따라 회전한다는 것은 연주 중인 현이 바뀐다는 것이다. 화살표의 길이가 길수록 활의 속도, 즉 셈여림의 정도가 높다는 것을 뜻한다.

6.3.1. 레가토(Legato) 동작

레가토는 현명악기에서 연결된 음률을 연주하는 가장 기본이 되는 주법으로서, 현재 마찰 중인 현의 음이 아닌 다른 현의 음을 연주하기 위하여 활의 위치를 바꿀 때 부드럽게 두 현을 잇는 기법을 뜻한다.

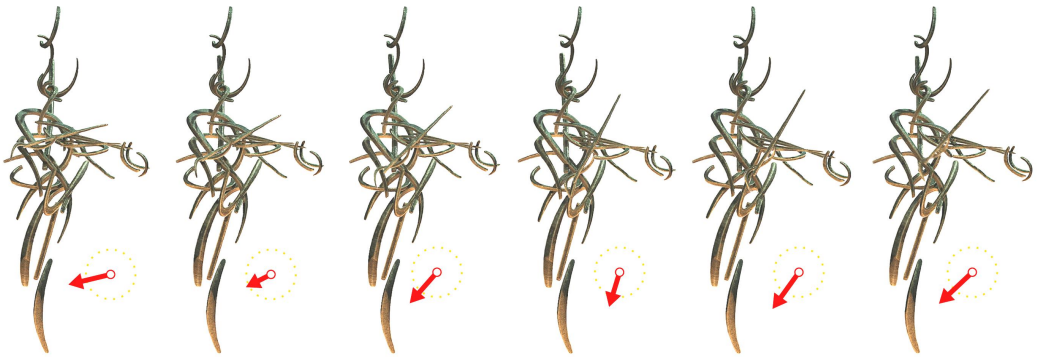

그림 63 레가토 연주에 따른 바이올린 연속 이미지

본 작품 연구의 현명악기들은 현실의 현명악기처럼 현재 현을 기준으로 약 완전 5도의 간격 안에서 새롭게 연주할 음을 낼 수 있는 가장 근접한 현을 탐색한다. 이어서 악기는 새로운 현을 찾아서 미끄러지듯이 활을 회전하여 활성화된 현을 바꾸게 된다. 결과적으로 [그림 63]에서 볼 수 있듯이, 레가토가 활성화된 중에는 활의 방향을 바꾸지 않은 채로 서로 다른 현을 이어나간다. 레가토 시 다른 현으로 이동하는 속도는 소프트웨어 인터페이스의 Attack Time(CC26), Attack(CC38) 변수의 수치가 적을수록 빨라지고, 높을수록 느려진다.

6.3.2. 어택(Attack) 동작

현명악기 음 재현에서 어택이란 스피카토, 스타카토 아티큘레이션처럼 순식간에 빠른 속도로 활을 마찰시키는 행위를 뜻한다. 어택과 관련된 아티큘레이션들은 실제 바이올린 연주 시에도 매우 눈에 띄는 움직임

을 보여준다.

어택의 발동 정도는 건반을 누르는 세기가 강하고, 건반을 누르고 뗄 때의 시간적 간격이 짧을수록 높아진다. 소프트웨어 인터페이스의 Attack Time(CC26), Release Time(CC27)을 실시간으로 움직임으로써 활이 현에 닿고 현과 분리되는 시간 간격을 조절할 수 있으며, 이로써 현재 발동되는 어택이 스피카토에 가까운 소리가 될 것인지, 스타카토에 가까운 소리를 낼 것인지 결정할 수 있다. 또한, 건반의 시간적 간격과 Time 변수를 최저로 조절한다면 살타토 주법을 구현할 수 있다.

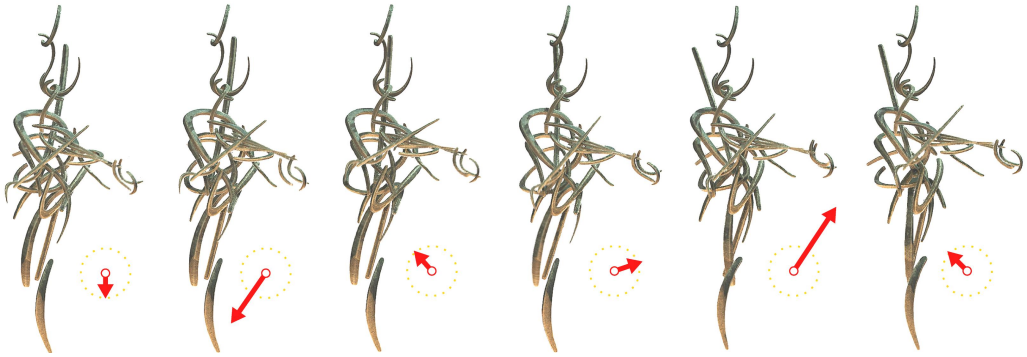

그림 64 어택에 따른 바이올린 연속 이미지

현명악기의 Attack 동작은 활을 현에 강하게 마찰시키고 다시 해제하는 동작으로 되어있다. Velocity가 높고 건반을 누르고 때는 시간 간격이 짧을수록 실제 현명악기가 그러하듯이 더 눈에 띄는 강렬한 움직임을 보여준다.

6.3.3. 활 방향 변환 동작

소프트웨어 인터페이스의 제어 방식으로 인하여, 가상 현명악기는 CC64가 활성화된 상태에서 새로 입력되는 음들은 활의 방향을 현재 방향과는 반대로 전환하여 연주한다. 활을 현에서 분리하지 않고 방향을 반전하여 연주하는 데타셰와, 활을 현에서 때지 않고 하나의 음을 빠른

속도로 반복하여 연주하는 트레몰로 기법은 흡사한 방법론에 따라서 제어된다.

그림 65 데타셰에 따른 바이올린 연속 이미지

[그림65]는 동일한 셈여림에 활의 방향만을 연속으로 반전해가며 진행하는 연주 동작이다. 관성의 법칙과 마찰력에 의한 물리적 한계에 영향을 받는 현실의 연주처럼, 데타셰나 트레몰로 시에는 연주자의 팔과 활의 관성을 극복하기 위한 물리적 지연시간이 존재하기 때문에, 활의 방향을 빠르게 반전시킬수록 실제 주어진 Expression(CC11)보다 낮은 셈여림으로 연주하게 된다.

6.3.4. 런(Runs) 동작

본 연구에서 의미하는 런은 슬러(Slurred) 런을 뜻하며, 일반적으로 런이란 현명악기의 특정 아티큘레이션을 일컫는 말이 아닌 빠르게 활을 이어서 연주하는 동작 자체를 의미한다.

런은 빠른 레가토와 별반 다르지 않다고 볼 수 있지만, 소프트웨어 인터페이스와 본 작품 연구의 물리 작용 연산에 따라, 다수의 재빠른 건반의 전환이 입력되면 활의 마찰과 속도 값을 자체적으로 조절하여 런의 동작 효과가 나타나게 하였다.

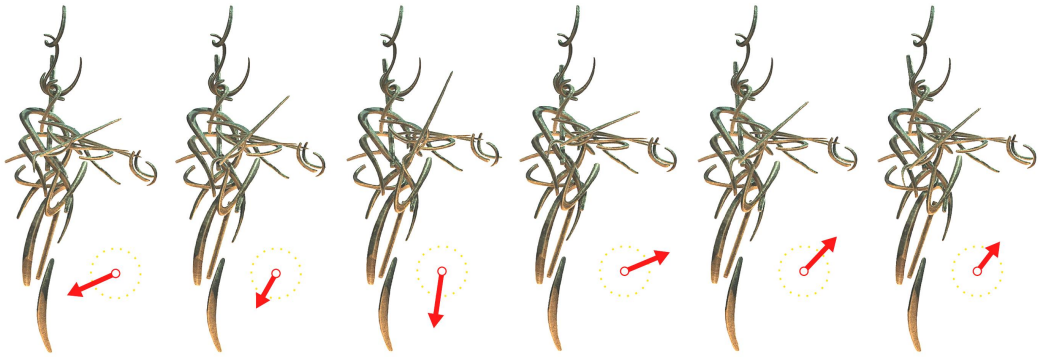

그림 66 런에 따른 바이올린 연속 이미지

[그림66]은 런 동작을 수행중인 바이올린의 모습이며, 레가토처럼 음에 따라서 활성화된 현을 바꿀 때 활의 방향이 반전되지 않는다. 단, 활이 더 이상 전진할 곳이 없으면 자동으로 방향은 반전한다.

6.3.5. 크레센도(Crescendo) 동작

크레센도(Crescendo)와 데크레센도(Decrescendo) 동작은 초기 활의 셈여림을 천천히 올리거나 내리는 아티큘레이션을 뜻한다.

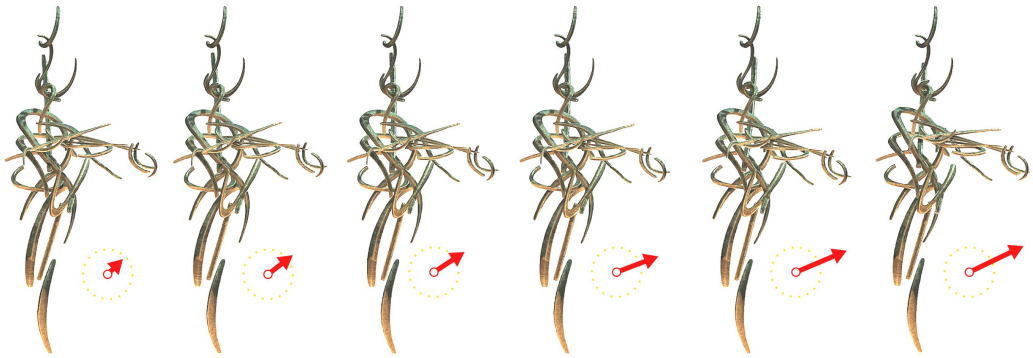

그림 67 크레센도에 따른 바이올린 연속 이미지

소프트웨어 인터페이스에 CC11 값을 원하는 만큼 낮추거나 올리면 [그림67]에 제시된 동작 효과를 만들어낼 수 있다.

6.4 가상 무대 디자인

6.4.1. 무대 공간의 시각 요소 분석

연주에서는 악기 자체를 다루는 방법 이외에도, 어떠한 환경에서 악기가 배치되었는지 또한 중요하게 고려한다. 바이올린족 현명악기들은 활과 현의 동작에 따라서 유연한 연주를 할 수 있으며, 공간의 물리적 특성에 따라 확연히 소리의 성질이 달라지기에, 악기 자체를 재해석하여 표현하는 것만큼이나 공간의 성격을 본 연구의 악기 구현에 반영하는 것이 필수적이라고 판단하였다.

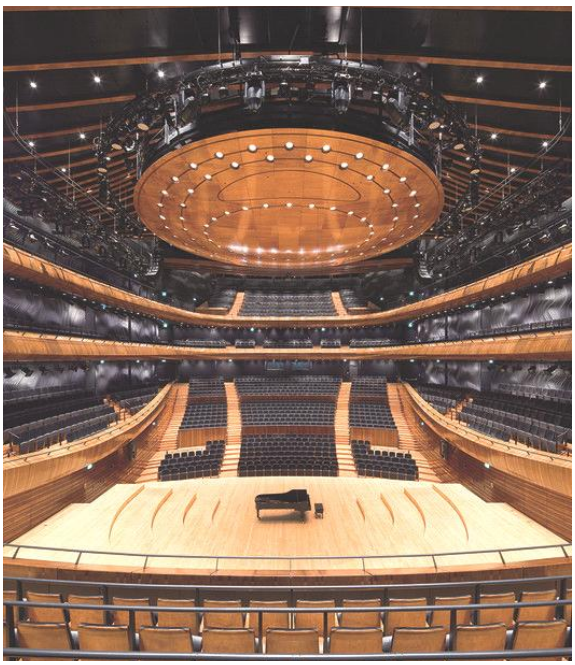

그림 68 National Polish Radio Symphony

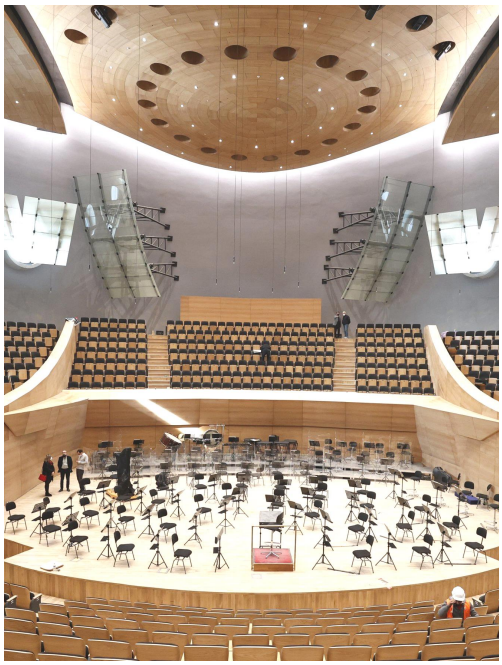

그림 69 Sidney Concert Hall

그림 70 Stern Auditorium

[그림 68], [그림 69], [그림 70]은 유럽 음악에서 르네상스 시대 이후로 가장 널리 쓰이는 프로시니엄(proscenium) 형식의 관현악 연주 공간의 사진이다. 프로시니엄 연주 공간은 관객의 시야를 무대 공간으로 집중시키고, 주 무대 공간 이외의 부분들을 시각적으로 배제하기에 사실적인 무대 환경을 효과적으로 구성할 수 있는 장점이 있다.[13] 따라서 무대 위의 악기 오브젝트들을 최대한 부각하기 위한 연주 공간을 구상하기 위하여, 프로시니엄 구조의 무대 형식을 토대로 시각적 표현을 확장하기로 하였다.

본 연구자는 해당 사진들을 보며 음악 무대 공간 구성에서 주 무대의 수평 길이는 무대에 배치된 악기들의 규모에 비례하고, 주 무대를 제외한 객석 공간과 뒷무대의 수직 거리는 공간의 크기에 정비례하는 성질

13) 최윤경, 전용석. "극장 무대공간의 구성과 무대장치의 변천 및 상응에 대한 고찰." *한국문화공간건축학회 논문집 no.*54 (2016)

이 있다는 것을 발견하였다.

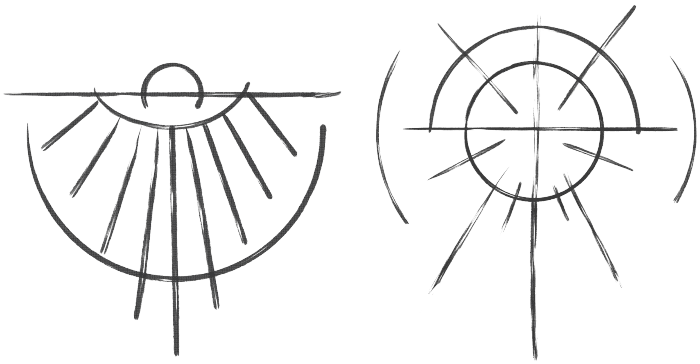

그림 71 무대 바닥과 천장 컨셉화

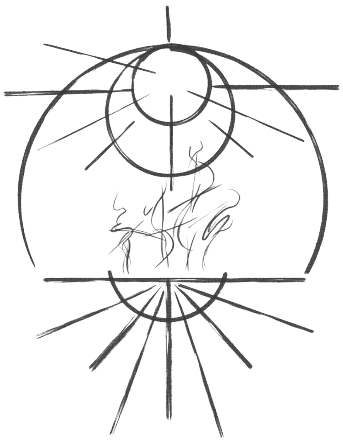

그림 72 가상 무대 컨셉

[그림71]와 [그림 72]은 가상 무대의 추상적 컨셉화로서, 본 작품에서 제작할 무대 공간의 성격과 구성을 표현적으로 나타내어 맵 제작 시에 시각적 지침으로 삼고자 하였다. 가상 무대 공간은 악기들의 곡선적 성격과는 다르게, 홀에서 보이는 현실 건축 공간에서 주로 보이는 직선과 단순 도형들의 집합을 시각 표현의 영감으로 삼았다. 현실의 연주 공간을 이루는 건축 요소들은 직교 투영 방식의 도면을 통해서 본다면 대부분 수직과 수평 방향을 따라서 배치되어 있지만, 거대한 구조물에 들어간 인간의 제한된 시야각으로 주변을 관찰하게 되면, 실내의 요소들이 극적인 투시에 따라 휘어지며 소실점으로 모이는 듯한 착시를 경험할 수 있다. 이러한 현상을 적극적으로 표방하여 연주장의 원형 바닥을 이루는 나무판자들과 관객석을 구성하는 수직의 선들, 천장을 향하여 배치되는 다양한 직선 요소로 재해석하여 컨셉화에 반영하였다.

6.4.2. 가상 무대 시각화

앞서 가상 현명악기 오브젝트와 마찬가지로, 가상 무대 또한 앞선 컨셉화를 반영하여 3D 공간으로 제작하였다. 그러나 가상 무대를 제작할

때는 단일한 메시 집합의 형상과 동작을 고려하는 가상 현명악기 제작 과정과는 다르게, 하나의 공간을 이루는 많은 상호작용 요소들이 복합적으로 존재한다는 점을 유의해야 했다. 가상 무대를 이루는 여러 요소 중 가장 중요한 것은 바로 연주되는 악기가 존재할 주 무대 공간으로서, 본격적인 무대 공간의 구성에 앞서 완성된 악기 오브젝트를 배치하고 디스플레이에서 영사될 화면의 구도를 먼저 결정하고자 했다.

그림 73 배경 요소를 적용하지 않은 악기 배치

전통적으로 현명악기들로만 구성된 사중주는 2개의 바이올린, 하나의 비올라와 첼로를 사용하여 구성하는 것이 일반적이지만, 본 작품 연구에서는 콘트라베이스를 추가하기 위하여 네 종의 현명악기들이 각각 하나씩만 무대 공간에 배치되도록 재구성하였다.

본 연구에서 다루는 악기는 총 4가지이며, 무대 위에 놓을 악기의 수는 최소 4개 이상이다. 따라서 수평 거리를 줄이고 수직 거리를 늘린, 넓은 공간의 좁은 무대 형식으로 가상 공간과 다수의 악기들이 배치된 수평거리가 긴 무대 두 가지를 구성했다. 이에 따라서 가장 널리 쓰이는

디스플레이 규격인 16:9의 가로 비율 화면과 9:16 비율의 세로 비율 화면을 주 디스플레이로 선택했다.

그림 74 가상 무대 프로토타입

본 작품에서는 실제 악기와 연주자의 외형적 곡선과 동선을 재구성하여 새로운 형태로 빗어내되, 본래 악기의 물리적 나무 질감을 가져와서 가상 현명악기를 시각화했다. 마찬가지로, 나무판자와 콘크리트 구조물이 있는 현실의 연주장 바닥과 벽의 직선적, 공간적 형태를 시각적으로 변형하고, 나무, 콘크리트 및 돌의 재질을 적절하게 응용하는 방법을 이용하여 가상 현명악기들이 존재할 3D 상의 무대 프로토타입 제작 과정을 거쳤다.

해당 프로토타입들은 완전한 자연환경부터 인위적 구조물이 존재하는 환경까지, 다양하게 시도되었다. [그림 74]에서 볼 수 있듯이 다수의 프로토타입 제작이 거듭될수록 직선과 도형적 요소들의 결합으로 구성된 초기 컨셉화의 특징을 가장 효과적으로 반영하는 방향으로 발전하는 것을 확인할 수 있다.

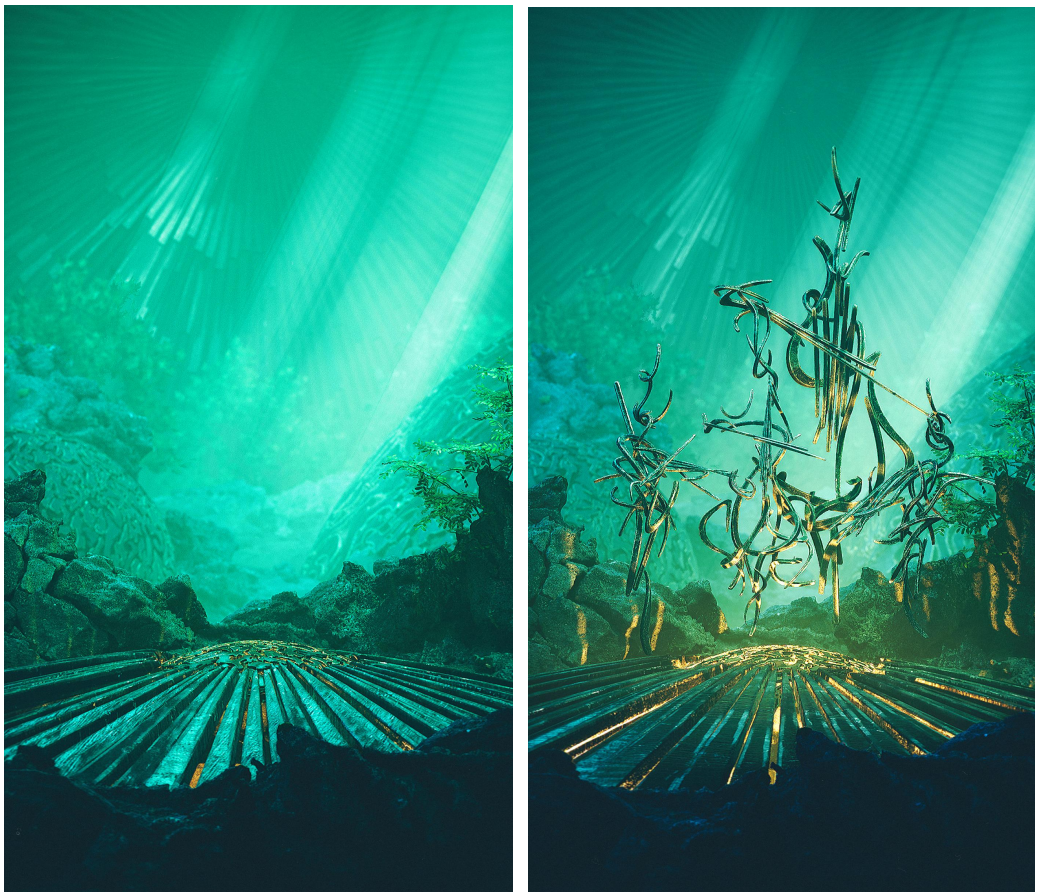

그림 75 가상 무대: 세로 화면

그림 76 가상 무대: 가로 화면

최종적으로 완성본은 [그림 75]과 [그림 76]과 같다. 화면을 구성하는 빛은 위에서 아래로 내려올수록 어두워지며, 무대의 요소들과 배경의 대비를 이루어 악기의 실루엣이 주목받게 해준다. 카메라의 시야각을 좁게 설정하고 가까운 영역과 먼 영역의 거리 차를 크게 둠으로써 피사계 심도 값을 높여서, 악기와 배경 간의 선명도에 차이를 주었다.

악기 오브젝트들이 모두 나무의 질감을 바탕으로 텍스처링 되었듯이, 배경의 요소들 또한 목재와 관련된 질감과 요소들로 되어있다. 가장 가까이 있는 무대의 바닥을 이루는 회전판과 먼 거리에 있는 배경 회전판 모두 목재로 되어있고, 전반적인 배경에는 나무와 풀과 관련된 자연적 요소들이 전체 배경에 녹아들게 하였다. 이로써 해당 작품의 시각적 초현실성과 현실적인 측면을 동시에 구현하며, 추상적인 음향과 그 기원을 구상적 표현 방식을 통하여 구현한다는 본 작품 연구의 방향성에 일치하게 하였다.

6.4.3. 가상 무대 구성: 세로 화면

세로 화면에 맞게 제작한 가상 무대는 3D 공간에 놓인 요소들이 카메라와의 거리에 따라서 크게 3가지 영역으로 나뉘는데, 가장 가까이 있는 영역이자 악기들인 존재하는 무대 영역, 가장 멀리 있는 배경 영역, 그리고 무대 영역과 배경 영역 사이의 거리에 존재하는 중간 영역이다.

	무대 영역	중간 영역	배경 영역
카메라와의 거리	1,300~1,600cm	4,000cm~	6,700cm~
정적 요소	무대 외곽 환경	자연 요소	빌보드 광원
상호작용 요소	악기 오브젝트, 무대 회전판. 상/하단 조명,	부가 상호작용 요소	3중 회전판, 배경 조명, HDRI 조명

표 8 거리에 따른 영역별 특성: 세로 화면

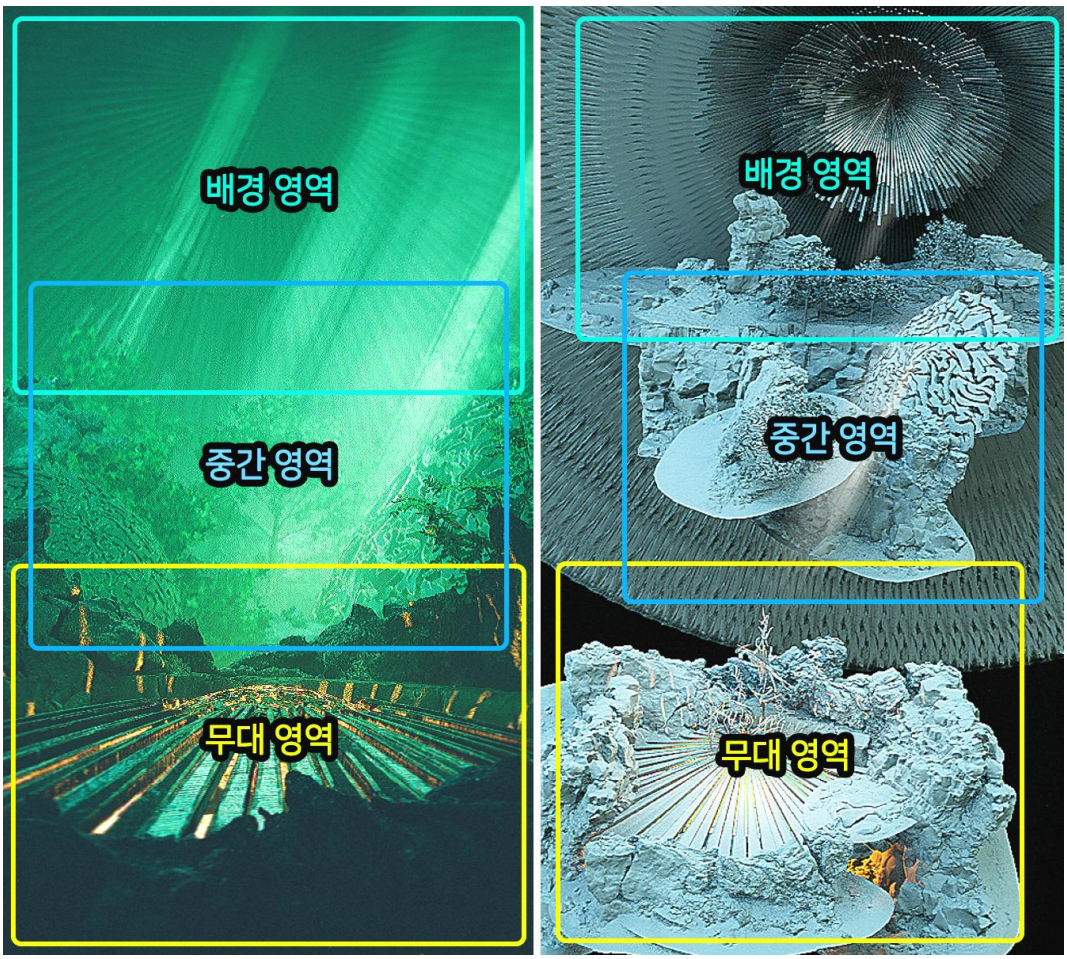

그림 77 3D 공간에서의 거리에 따른 무대의 영역 구분

[표8]는 거리에 따라서 가상 무대 공간의 영역을 세 부분으로 나누어 분석한 자료이고, [그림 77]은 실제 3D 공간상에서 세 영역이 어떻게 나뉘는지를 표시한 것이다. 각각의 영역은 다른 인접 영역과 구별되는 시각적 표현 요소들을 포함하고 있다. 정적 요소는 프로그램이 시작되고 나서 최초 지정된 수치 그대로 변화하지 않는 요소를 뜻한다. 반면에 상호작용 요소는 악기 요소들과 마찬가지로, 프로그램에 입력되는 MIDI 데이터에 영향을 받는 여러 종류의 광원과 물리적 오브젝트를 말한다. 능동적인 상호작용이 가능한 무대들의 요소들은 앞서 프로그래밍한 Music Actor 클래스의 상속 클래스들을 통하여 MIDI 입력에 따라 제어될 수 있

도록 설정하였다.

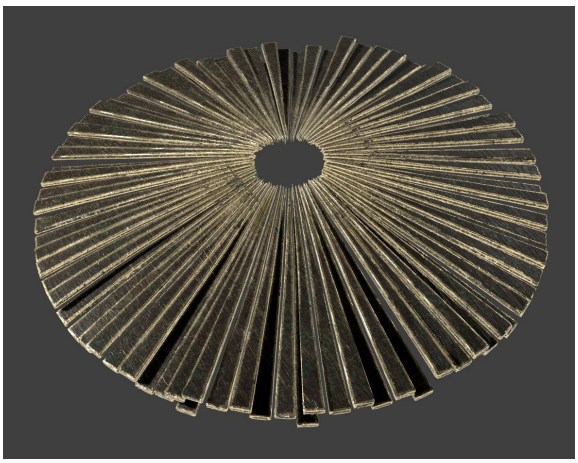

그림 78 무대 영역의 3D 모델

그림 79 실제 연주 무대

현실의 연주 공간에서 연주자들이 위치한 주 무대에 해당하는 부분이 소리의 효율적인 확장과 지휘자를 향한 시선 처리를 위하여 가운데로 향하는 구조를 가진 것에 착안하여, [그림 78]에서 보이듯이 주 무대에 해당하는 오브젝트를 원형 회전 모델로 제작하였다.

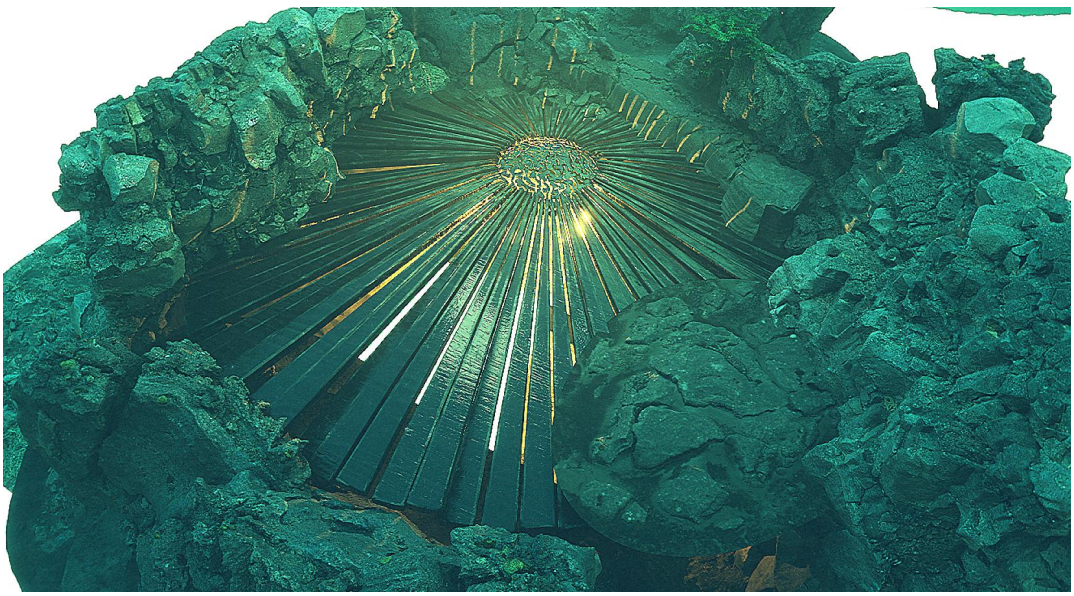

그림 80 무대 영역의 오브젝트 전경

그림 81 Expression(CC11)에 따른 무대의 광원 변화

앞서 제작한 주 무대 회전판을 실제 무대에 배치하여 MIDI CC11에 따라서 회전하도록 구성하였다. 또한, 회전판의 틈새로 새어 나오는 하단의 광원들을 배치하여, 낮은 색온도의 빛이 무대를 비추는 현실의 무

대 조명 표현 방식을 3D 공간상에서 새롭게 재해석하였다. 하단의 저온도 빛과 무대의 회전은 현명악기의 역동적인 활 움직임과 셈여림의 세기에 감응하여 더욱 강렬해지며 악기를 빛으로 부각함으로써 시각적 주목성을 강화한다.

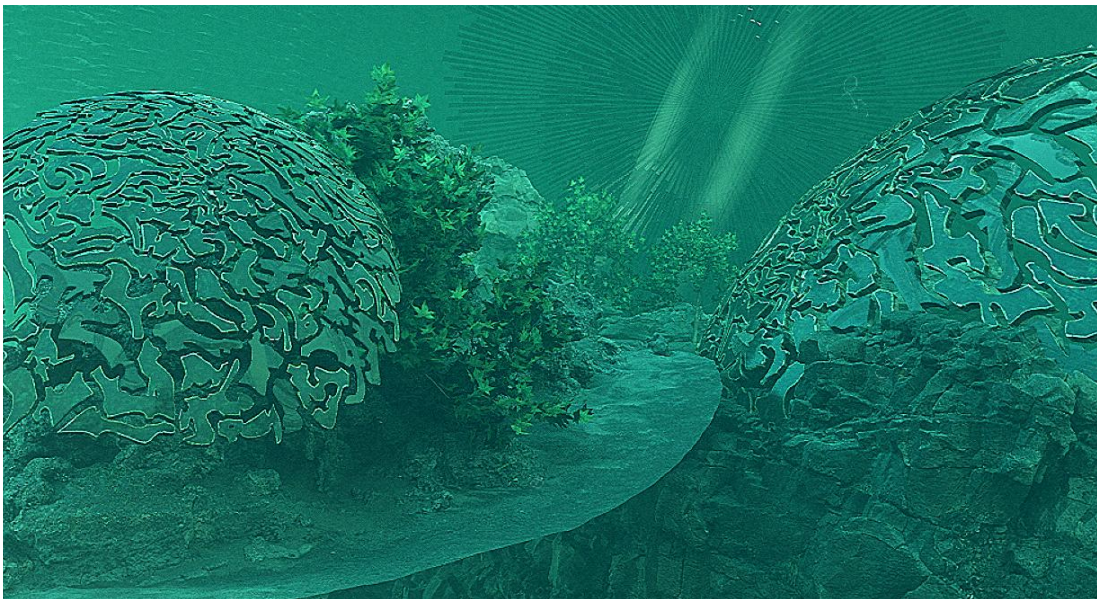

그림 82 중간 영역의 오브젝트 구성

화면의 전면부에 있는 주 무대만이 바이올린족 현명악기의 움직임에 감응하는 것은 아니다. 악기와 무대에서 사용된 목재와 금속의 혼합 질감 텍스처를 변형한 머티리얼이 적용된 중간 영역의 상호작용 요소들 또한 CC11 값이 반응하여 회전한다. 곡선의 목재 구조물이 엮인 악기 오브젝트의 구성 메시의 형상에서 파생한 조각들로 구성된 원형 오브젝트들은 주변에 배치되어 흔들리는 나뭇잎들과 흡사한 시각적 복잡성을 가지며, 자연적 요소와 인공적 요소를 동일한 차원에서 결합하는 역할을 한다. 중간 영역의 해당 요소들이 입력에 따라 화면의 측면에서 운동하면서, 무대 영역과 악기에서 보이는 역동적 변화가 아래쪽 전면부에 한정된 것이 아닌 3D 공간 전체와 유기적으로 연결되어있다는 것을 부각하게 했다.

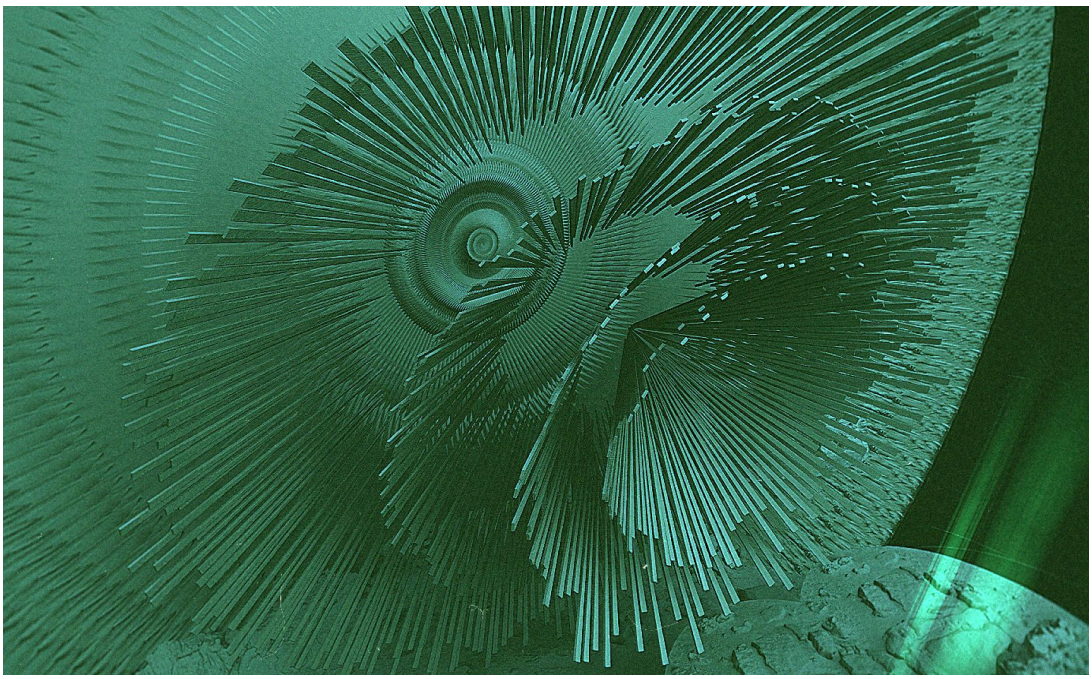

그림 83 배경 영역의 3중 회전판

[그림 77]의 배경 영역에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 원형 요소는 [그림 70]의 컨셉화에서 보이는 실제 연주 장소의 원형 천장 조명을 형상화한 것이다. 프로토타입에서는 강렬한 조명을 가진 원형 요소로 시도되었지만, 제한된 화면에 존재하는 주 무대의 악기들을 부각하기 위하여 색감과 명암, 형상을 재조정하여 초기 프로토타입과 다르게 은은하게 배경 속에 녹아들어서 멀리서 사용자와 상호작용하는 방향의 배경 요소가 되도록 제작했다. 본 회전판은 세 개로 움직이는 메시 집합으로 되어있으며 각각의 메시 집합은 CC 값이 입력되면 그 수치의 크기에 맞추어 서로 다른 방향으로 회전한다.

배경 영역에는 빌보드(Billboard) 형식의 광원 텍스처가 다수 존재하는데, 이는 본 작품에서 가상 공간에서 실질적인 빛의 연산을 하지 않고, 적은 연산 자원으로 하늘의 틈새에서 빛이 새어 나오는 표현을 하기 위하여 쓰인다.

배경 영역에서 상호작용이 가능한 광원으로써, 작품 전체를 어우르는 빛을 담당하는 HDRI 광원과 거대한 3중 회전판의 특정 부위에 명암 효과를 강조하기 위한 직접광 형식의 배경 조명이 존재한다.

HDRI(High dynamic range imaging)는 보통 컴퓨터에서 사용하는 이미지 파일의 제한된 밝기 최댓값을 넘어서 그 이상의 밝기를 담을 수 있는 이미지 파일 형식을 뜻한다. HDRI는 단순한 사진이 아닌 3D 공간에서 자연스러운 빛의 근원의 역할을 하도록 쓰일 수도 있다. 360도로 촬영한 파노라마 형식의 HDRI 이미지를 이용하면 여러 광원을 배치하는 자원적 소모를 할 필요가 없이, 효율적인 방법으로 심미적으로 비치는 빛을 조절할 수 있다.

그림 84 Expression(CC11)에 따른 배경 회전과 전체 광원의 변화

HDRI 광원과 배경 직접 광원 역시 MIDI CC 데이터를 직접 입력받아서 빛의 세기와 색을 실시간으로 조절한다. 본 작품에서는 비활성화된 Expression CC 데이터가 입력되는 상태에서는 밝은 낮의 푸른 빛이 작품 전체 요소에 영향을 주게 되어있지만, CC 값이 커지면서 악기의 움직임

이 격렬해지고 무대의 붉은 광원이 강하게 새어 나오기 시작하면 밤의 어두운 파란 빛을 조성하게 설정하였다. 이로써 비활성화 상태에서는 녹색 빛을 통하여 시각적으로 편안한 효과를 만들어내고, 악기의 활성화 상태가 강해질수록 무대와 주변 배경의 명암과 색의 대비를 점점 강하게 조절하여 시각적 대비를 주게 하였다. 무대 요소들이 시각적으로 강조되며 자연스럽게 무대 위에 움직이는 악기들의 실루엣과 빛 반사 또한 이전보다 명확하고 강렬해지는데, 이로써 결과적으로 셈여림과 음향의 강도가 높아짐에 따라 움직임과 주목성이 높아지게 된다.

6.4.4. 가상 무대 구성: 가로 화면

가로 화면에 맞게 제작한 가상 무대는 세로 화면과 다르게 6개의 악기로 구성되며, 서로 다른 영역의 요소들이 카메라로부터 거의 흡사한 거리에 위치한다. 악기가 존재하는 무대 영역, 무대 이외 보조 기둥들이 있는 측면 영역, 회전판이 있는 배경 영역으로 구성된다.

	무대 영역	측면 영역	배경 영역
정적 요소	악기 플랫폼	보조 기둥 조명	HDRI 조명
상호작용 요소	악기 오브젝트, 플랫폼 하단 조명	측면 보조 기둥	회전 구조물 배경 조명

표 9 거리에 따른 영역별 특성: 가로 화면

[표9]는 앞서 세로 화면 항목에서도 설명했듯이, 거리에 따라서 가상 무대 공간의 영역을 세 부분으로 나누어 분석한 자료이다. 앞선 환경과 마찬가지로 정적 요소는 인터랙션에 따라서 바뀌지 않는 요소를 뜻하고 상호작용 요소는 MIDI 데이터에 영향을 받는 요소를 말한다.

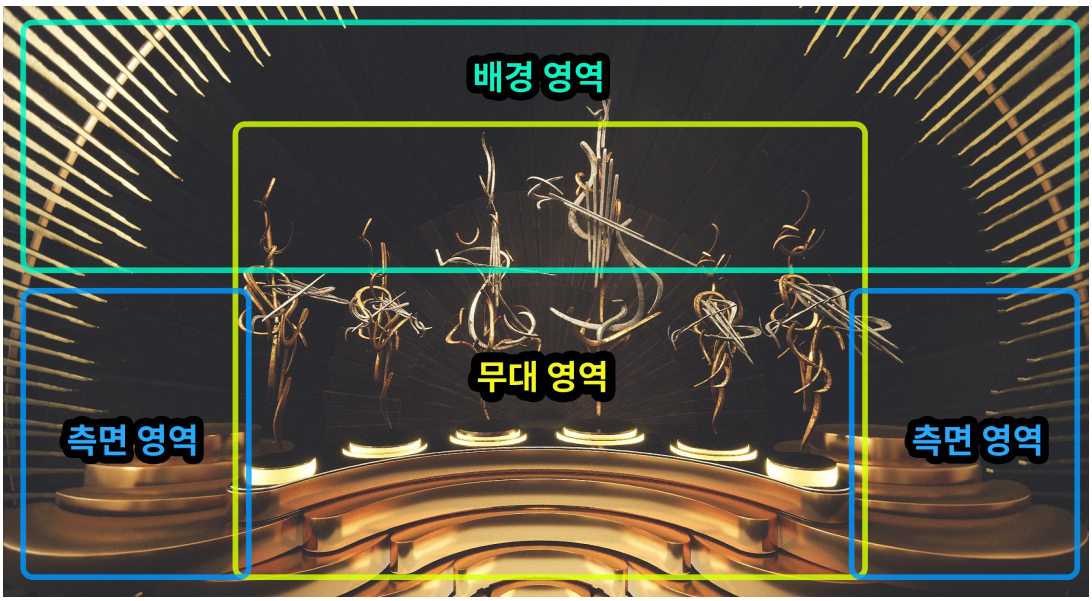

그림 85 3D 공간에서의 화면 위치에 따른 영역 구분

[그림85]는 가로 비율 화면 상에서 오브젝트들의 위치에 따라서 가상 환경의 영역을 구분한 것이다. 각 영역에 존재하는 모든 요소는 고전적 오케스트라 무대에서 주로 보이는 청동 및 가공 목재들의 재질로 되어있다. 이전의 세로 환경에서와 차이점은 해당 환경의 모든 구조물들이 자연이 아닌 금속으로 되어있으며, 이로 인한 반사광과 인위적 조형이 두드러진다는 점이다. 조명의 색온도 또한 현실의 무대에서 사용하는 적색과 노란색의 색감이 되도록 조절하여 관현악적 분위기를 가상 환경에서 재구성하였다.

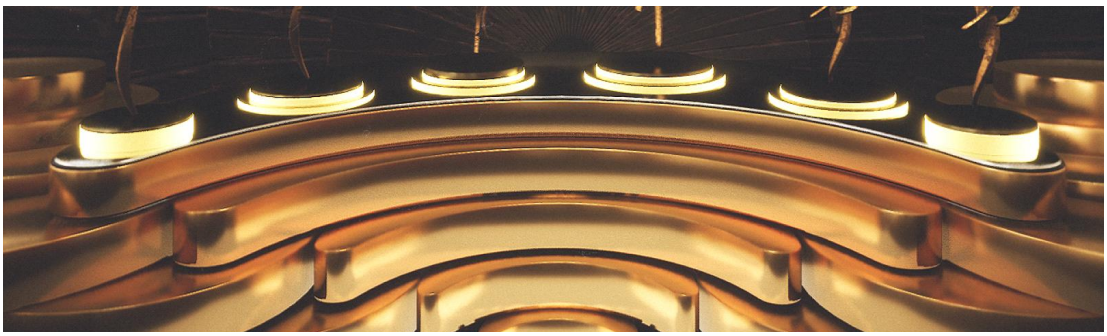
그림 86 무대 영역의 하단 조명 및 악기 플랫폼

세로 비율 환경과는 달리 인위적인 미감을 부각하기 위하여 무대의 영역에서 하단에서부터 상단을 비추는 역광을 배치하고, 금속들의 빛 산란이 잘 보이도록 구성하였다. 또한 6개의 둥근 플랫폼들이 그 위에 놓인 악기에 낮은 색온도의 빛을 비추는데, 이는 현실의 관현악적인 무대에서 연주자를 향하는 광원의 역할을 가상 공간 안에서 표현한 것이다. 주 무대의 조명들과 악기들은 사용자가 입력하는 MIDI 값에 따라 변화한다.

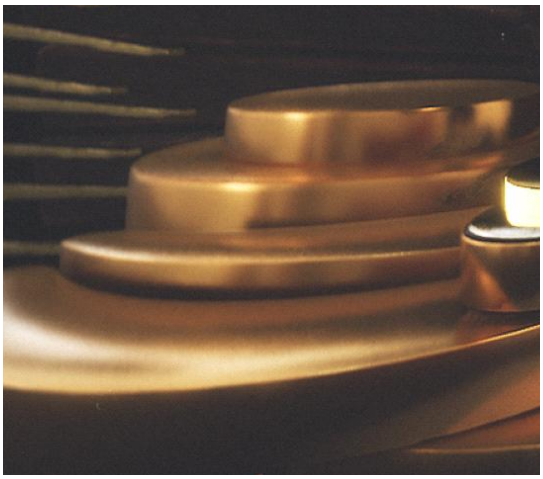

그림 87 측면 영역의 보조 기둥

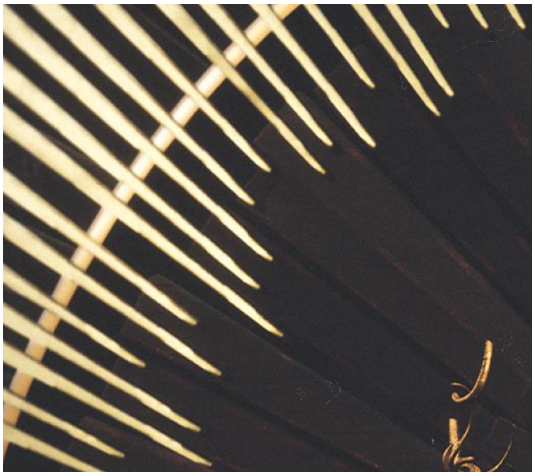

그림 88 배경 영역의 회전판

측면 영역과 배경 영역의 요소들은 무대 환경을 보조하는 역할을 하며, CC11과 CC1에 따라서 회전한다. 측면 영역에는 여러 겹의 청동 기둥들이 배치되었는데, 비브라토를 조절하는 CC1에 의하여 움직인다. 배경의 청동 가시판은 악기와 마찬가지로 CC11에 따라서 회전한다.

6.5. 최종 작품 이미지

그림 89 MIDI 하드웨어를 이용한 인터랙션 작품 전시, 2021.12.12., 서울대학교 미술관 MOA

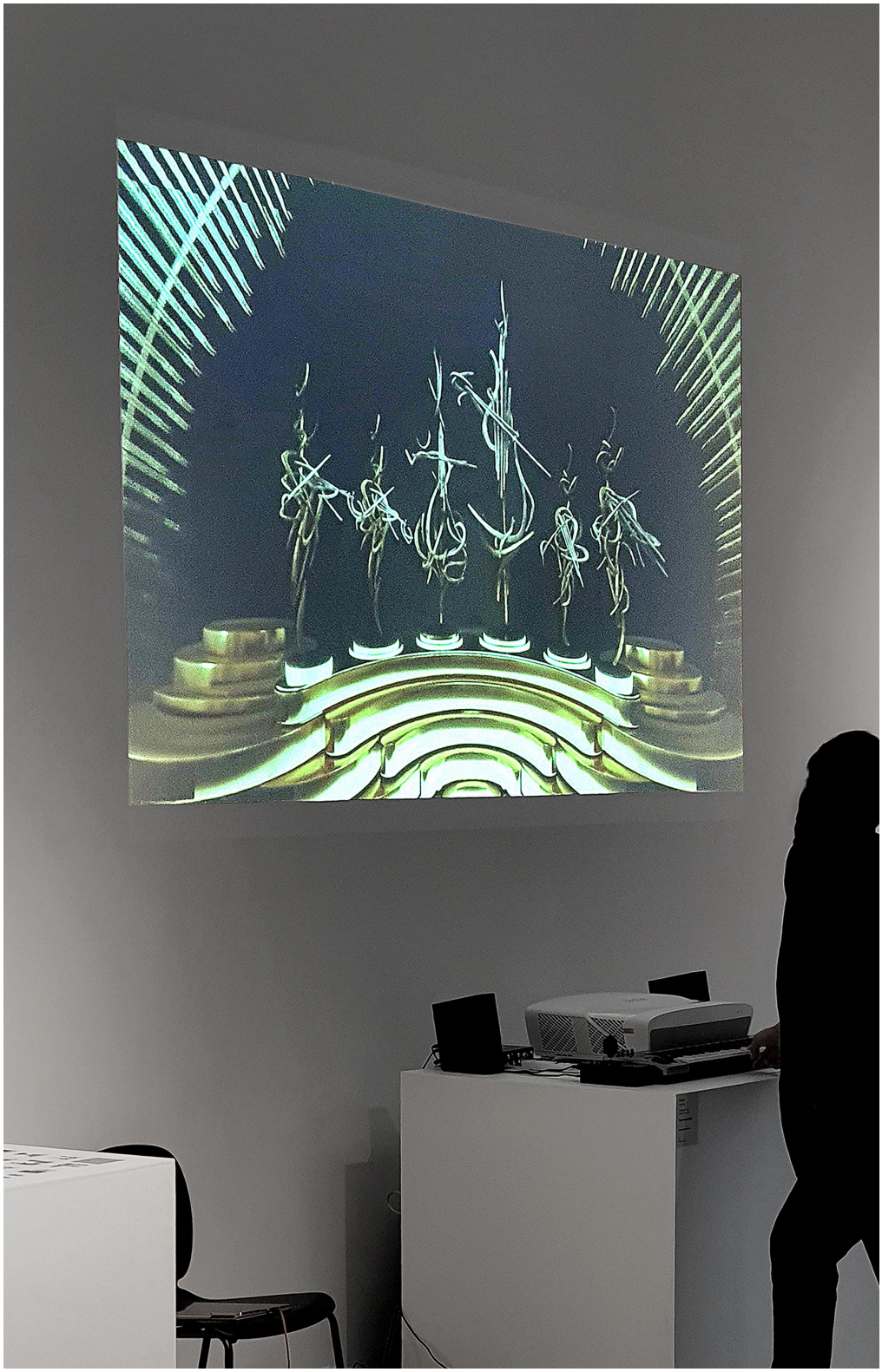

그림 90 프로젝터와 MIDI 하드웨어를 이용한 인터랙션 작품 전시, 2021.12.15., 서울대학교 미술관 MOA

그림 91 세로 화면에 최적화된 가상 환경의 변화

그림 92 가로 화면에 최적화된 가상 환경

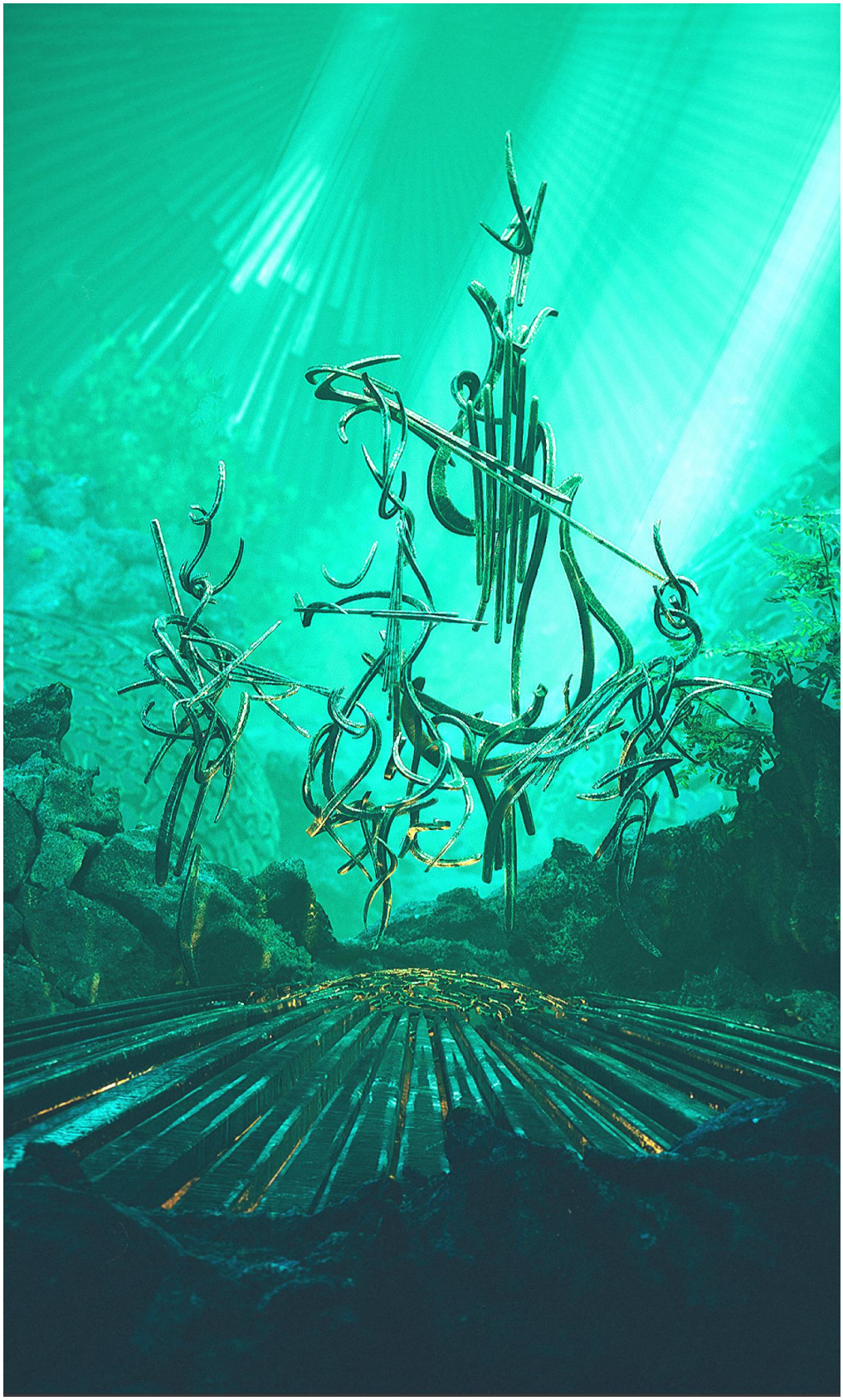

그림 93 세로 화면 환경 : 최소 셈여림 값

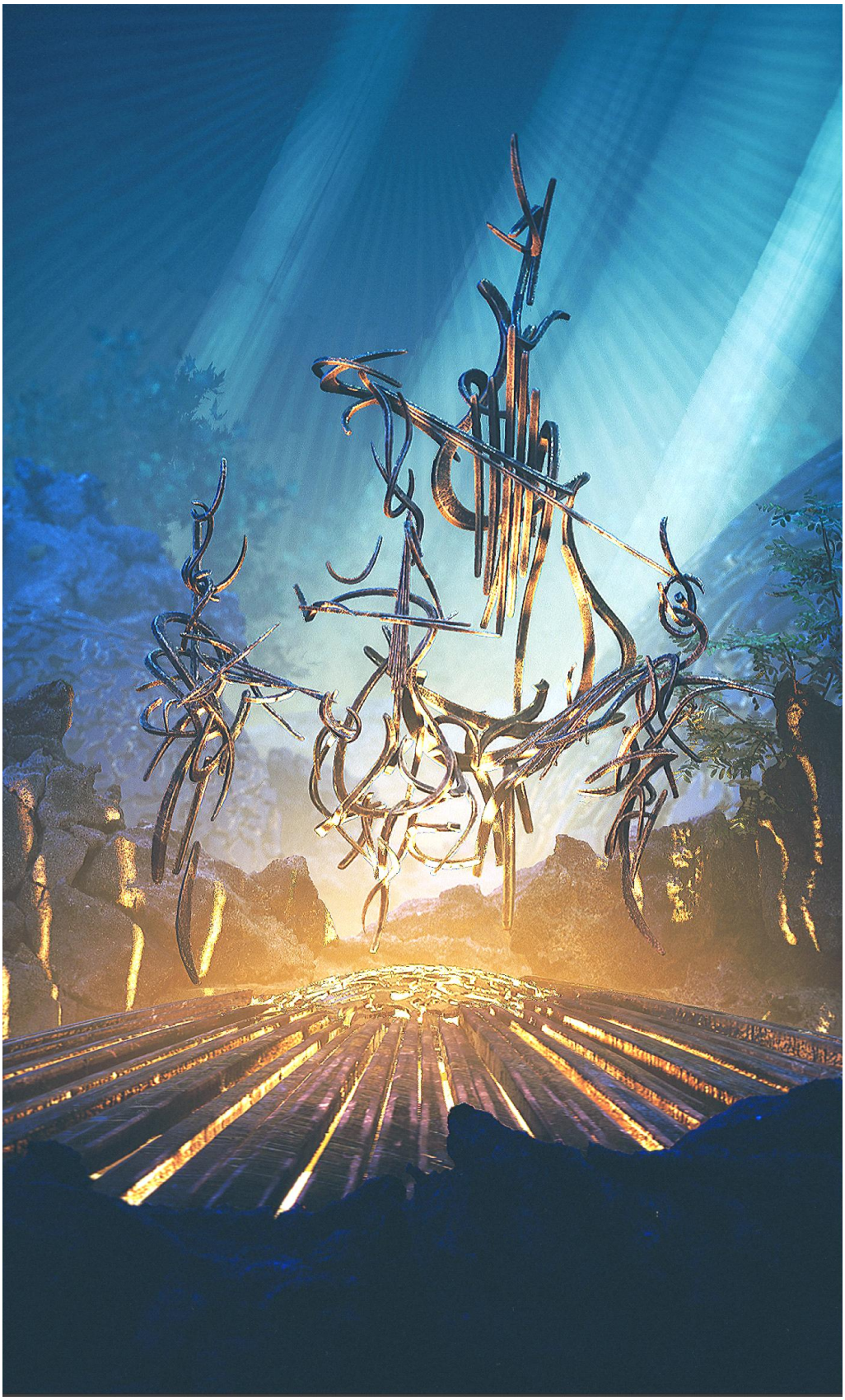

그림 94 세로 화면 환경 : 최대 셈여림 값

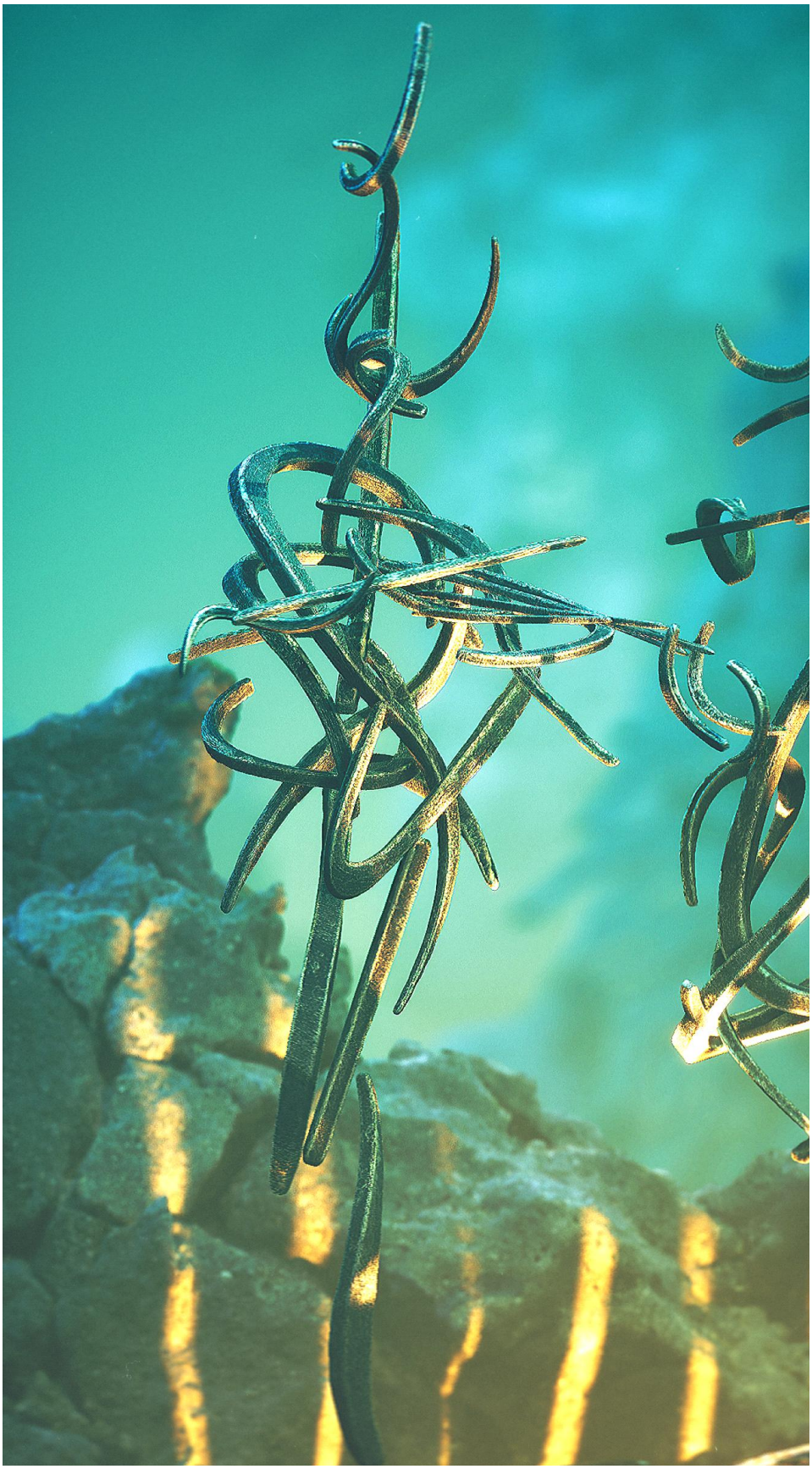

그림 95 바이올린 솔로 확대

그림 96 비올라 솔로 확대

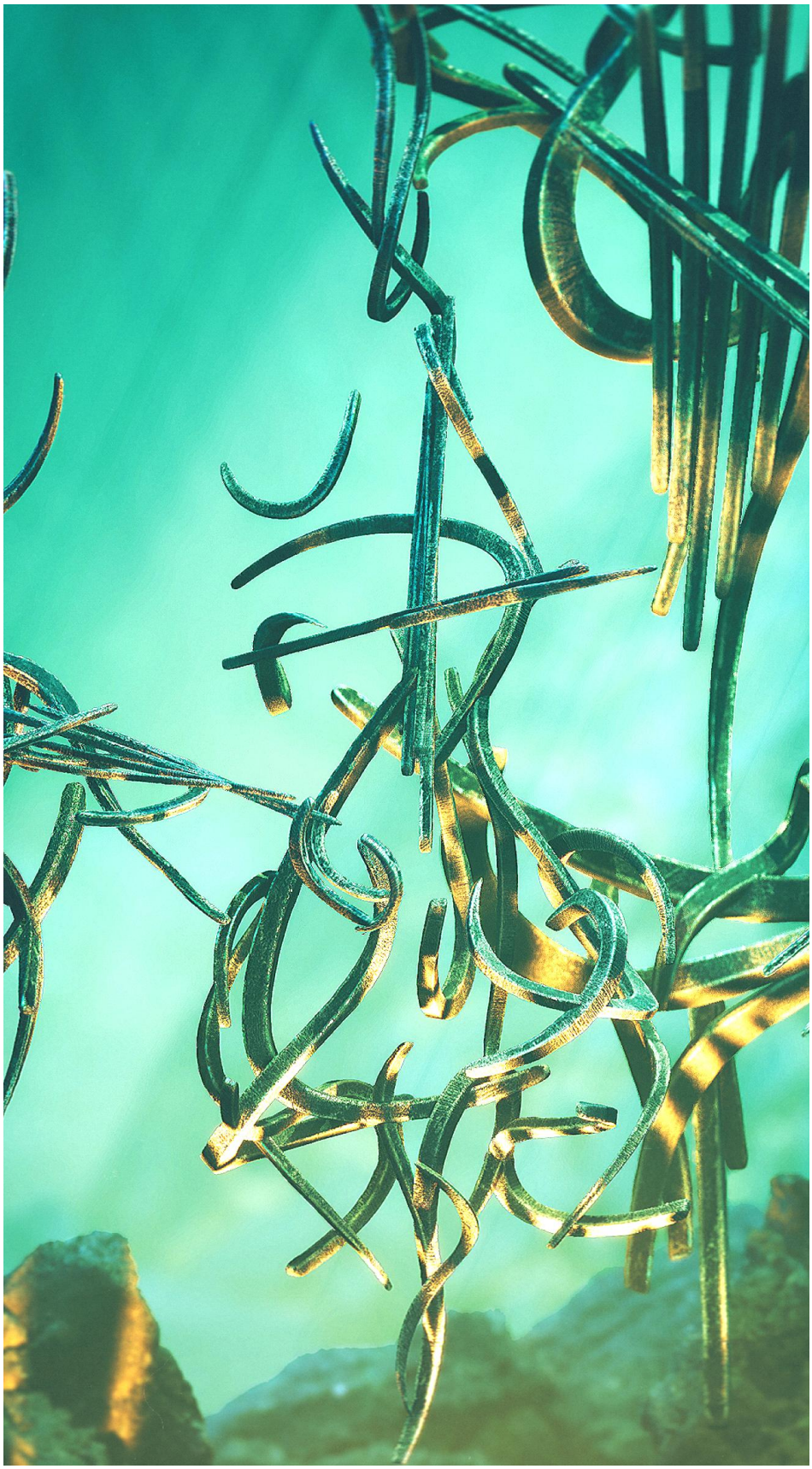

그림 97 첼로 솔로 확대

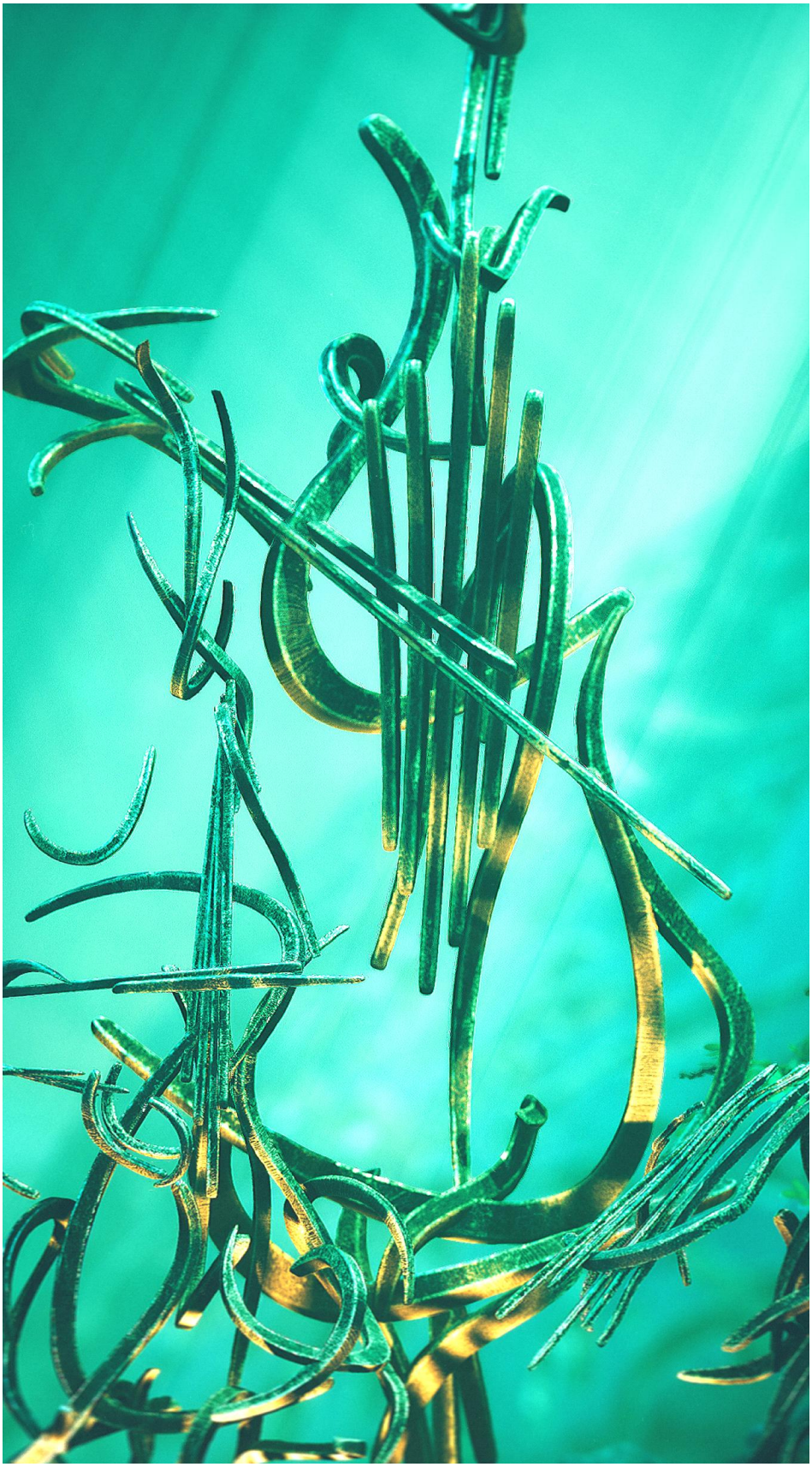

그림 98 더블 베이스 솔로 확대

7. 결 론

본 연구자는 작품 제작 과정을 통하여 음악의 수학적 측정치와 데이터 자체만을 다루는 편향성에서 벗어나서, 소리의 실제적 기원 자체를 다루는 소리의 시각화(Audio Visualization) 연구를 진행하였다. 이를 위하여 실제 악기를 재현하는 차세대 가상 어쿠스틱 악기 응용 기술과 실시간으로 이루어지는 현실적인 그래픽 표현 기술을 결합하는 총체적인 시청각적 표현 방법론을 탐구하고 인터랙티브 미디어 작품에 적용하였다.

본 연구에서 소재로 삼은 가상 어쿠스틱 악기는 현실에 있는 원형 모델 악기의 음향적 특성을 사실적으로 재현하는 것을 지향하지만. 정작 가상 어쿠스틱 악기 자체는 무형의 소프트웨어로서, 실재적 성질을 내재하지 않는다. 이번 연구에서 선정한 가상 어쿠스틱 악기 소프트웨어들의 현실적 기원이자 재현 목표인 바이올린족 현명악기 본연의 물리적 특성과 연주자의 운동 방식을 분석하였다. 그리고 바탕으로 3D 그래픽 공간에서 동작하는 시각적인 악기 오브젝트로 재해석하고, 이를 청각적 요소를 담당하는 소프트웨어 악기와 결합하여 순수한 소프트웨어의 형태에서는 결핍되었던 물성과 실재성을 부여하였다. 다음과 같은 과정을 통하여, 사용자와 실시간으로 상호작용하는 새로운 디지털 악기 자체를 디자인한다는 의의로써 음악을 구성하는 다방면의 요소에 대한 시각화를 사례를 성공적으로 구현할 수 있었다.

음악 시각화에서 보이는 극단적인 추상성과 데이터 중심적 기능성은 디지털 기술의 발전으로 등장한 음향 측정 및 생성 도구들의 가능성과 한계에 따라서 만들어진 경향이라고 언급했다. 그렇다면 오늘날의 차세대 시청각적 재현 기술 또한 나날이 높은 수준으로 발전하고 있는 만큼, 본 연구에서 시도된 바와 같이, 20세기와는 비교할 수 없을 만큼 진보된 오늘날의 재현 도구를 적절하게 이용한다면 음악 시각화의 새로운 지평을 열 가능성 또한 엿볼 수 있다. 따라서 본 연구자는 이번 연구를 통하여 추상적 표현 양식과 객관적 데이터를 기반으로 하는 오늘날의 소리

시각화 디자인 방법론을 벗어나서, 재현의 사실성과 구상적 예술 표현을 이용한 청각의 시각적 표현에 대한 새로운 인식을 자아내고, 음악을 주제로 하는 인터랙티브 예술의 다양한 표현 방식과 개념의 유효성을 인정받을 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1) “Tonalism and the Nocturne.” Detroit Institute of Arts. last modified Jan 16, 2012, accessed Oct 3, 2021. https://web.archive.org/web/20120616104611/http://www.dia.org/exhibitions/whistlersite/8.htm.

2) Whitney, John H. “Digital Harmony: on the Complementarity of Music and Visual Art.” published May 10, 1980. ISBN 0-07-070D15-X

3) “MIDI History:Chapter 6-MIDI Is Born 1980-1983.“ www.midi.org. accessed Nov 11, 2021. https://www.midi.org/midi/midi/midi-articles/midi-history-chapter-6-midi-is-born-1980-1983.

4) “MIT News: Power efficiency in the violin.” MIT News. last modified Feb 01, 2017, accessed Nov 12, 2021. https://news.mit.edu/2015/violin-acoustic-power-0210.

5) 최이레, “피지컬 모델링을 통해 디지털 재현된 어쿠스틱 악기 음의 응용 연구: 현악기를 중심으로,“ 한국HCI학회, HCI2020 학술대회 (2021): 492-497.

6) Huber, David M. The MIDI Manual. Carmel, Indiana: SAMS, 1991.

7) Tommasini, Giorgio. “Time alignment of the phase of a set of musical sounds to be used with samplers“. Patent filed September 23th 2004, issued December 16th, 2008.

8) “Unreal Engine 4 - First Look“. About.com. last modified December 29, 2017, accessed Oct 2, 2021. https://web.archive.org/web/20120524062935/http://gameindustry.about.com/od/trends/a/Unreal-Engine-4-First-Look.htm

9) Mortenson, Michael E. Mathematics for Computer Graphics Applications, 263. Industrial Press Inc. 1999. ISBN 9780831131111.

10) Merriam-Webster. accessed Nov 19, 2021. https://www.merriam-webster.com/dictionary/violoncello/.

11) “5 String Basses“. Billbentgen.com. accessed 21 July 2012. http://www.billbentgen.com/bass/5_string-basses.htm.

12) “Fingering of the Viennese Double Bass.” KC Research Portal. last modified Mar, 2016, accessed Nov 20, 2021, https://www.researchcatalogue.net/view/226826/226827/0/0.

13) 최윤경, 전용석. “극장 무대공간의 구성과 무대장치의 변천 및 상응에 대한 고찰.” 한국문화공간건축학회 논문집 no.54 (2016)

Abstract

A Visualization of Virtual Acoustic Instruments Through Interactive Media : Focusing On The Simulation Model Of Chordophones In The Violin Family

Ireh Choe

Visual Communication Design Major,

Department of Design

The Graduate School

Seoul National University

An artistic expression method called audio visualization or the music visualization, which is created to visually express music and sounds, has been showing historical continuity. Among various styles of arts, it has been the style of abstract art that has paved the path for audio visualization by utilizing geometrical forms to visualize music. In the middle and second half of 20th century, the animated imagery technology which enabled a breakaway from the static characteristic of painting and sculpture was invented, inviting an unprecedented scientific advancement that had analyzing the physical nature of sound by mathematical graphs and numeric figures possible. The past advancements affected a grand influence on an adoption of abstract art

to be established as a dominant visualization form of audio visualization, along with the reason that the artistic style was effective on reforming measurable objective data of musics and sounds into the set of easily implementable visual images.

However, such method of visualizing sounds led the extent of the musical application to be no more than a series of scientific phenomena, consequently inviting the exclusion of subsidiary elements of music and physical traits of sound's sources in favor of theoretical and numeric data such as pitch, volume, frequency, and chord. Therefore, to depart from the biased inclination of current audio visualization applications, the present study focuses on method to audiovisually reflect various root components of music like instruments, players, and existing space on audio visualization.

Prior to producing an artistic audio visualization work that inheres virtually sensible tangibility and materiality, I selected four types of chordophones: a violin, a viola, a cello, and a double bass. Those instruments are noted for highly delicate and complicated sounding method and particularly dynamic movement paths during performance. The specific selection is set to demonstrate the best possible result by implementing the new type of material audio visualization method. As a first step to accomplish the result, virtual acoustic instrument simulation programs of which the reference models are string instruments of the violin family were chosen.

For the planning stage, I analyzed conditions of activating possible articulations and variables for simulating physical aspects of chordophones in the violin family for which virtual acoustic instruments programs have opted as sounding models. Based on the prior research, suitable hardware devices for operating the software are developed or selected.

As commencing visualization in earnest, the present study executed

thorough analysis on the operation principles of real instruments, movements of string players, and related physical interplays. It was possible to conduct designing virtually reinterpreted string instruments and the spatial stage, embodying them in the animatable third-dimensional objects.

For the last procedure, recreated instrument objects and elements of the stage were refined to be responsive to intuitive inputs from users and to perform proper articulation movements. By implementing previous developments all together into the next generation graphical rendering engine, the interactive media art that supports audiovisual communication between any user and digitally simulated instruments and stage elements in the photo-realistic virtual environment through MIDI input hardware could be created.

The purpose of the research procedure is to pioneer the comprehensive extension for audio visualization by merging both realistic simulation of instrument's sound and realistic 3D graphic rendering technology. The present study is meant to prove that the abstractive artistic form of conventional objective data-oriented sound visualization is not the only effective way of visualizing music, suggesting that it is possible for the music visualization to embrace the much more wider range of expression method and concept by adapting currently advancing audiovisual simulation technology and presenting new perspective on various elements of music.

keywords : Interactive, Media Art, Visual Music, String, Chordophones, Virtual Instrument

Student Number : 2020-23944