

석 사 학 위 논 문

물 파장의 트래킹을 이용한
멀티미디어음악 제작 연구

(멀티미디어 음악 작품 <Water Wave>를 중심으로)

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원
멀티미디어학과 컴퓨터음악전공
신 동 민

2 0 1 0

석 사 학 위 논 문

물 파장의 트래킹을 이용한
멀티미디어음악 제작 연구

(멀티미디어 음악 작품 <Water Wave>를 중심으로)

신 동 민

지도교수 김 준

이 논문을 석사학위논문으로 제출함.

2010년 1월 일

신동민의 음악석사학위(컴퓨터음악전공) 논문을 인준함.

2010년 1월 일

위원장 : 윤 승 현 (인)

위 원 : 박 상 훈 (인)

위 원 : 김 준 (인)

동국대학교 영상대학원

목 차

I. 서론	1
1. 연구 배경과 목적	1
1) 연구 의도	1
2) 선행 연구	2
3) 연구 목적	3
2. 작품 배경과 무대 구성	5
1) 작품 배경	5
2) 무대 구성	6
II. 작품 내용	7
1. 작품의 내용	7
2. 작품 구성	8
3. 음악 제작	8
1) 소스 사운드 제작 편집	8
2) Plugin을 이용한 Part별 Effect의 적용	10
III. 작품의 기술적 연구	11
1. 진동 우퍼스피커를 이용한 파장의 생성	11
1) 진동 우퍼스피커를 이용한 진동 생성 방법 연구	11
2) 파장의 생성을 위한 스피커의 구성과 적용	12

2. Motion Tracking	13
1) Camera Motion Tracking	13
2) 카메라 위치적용과 방법	15
3) HSflow를 이용한 물의 움직임 검출 방법 연구 ·	17
4) 물의 움직임에서 검출한 수치의 음악적 적용 ····	19
5) 물의 파장의 개수 검출 방법 연구	20
3. 음악에 반응하는 Visualization 적용	21
1) Sound에 반응하는 Visualization	21
2) Sound에 반응하는 영상	22
4. Sound Synthesis	24
1) Granular Synthesis를 이용한 노이즈의 제어 ····	24
2) Additive Synthesis를 이용한 배음의 제어 ·····	26
IV. 작품 제작 결과	28
1. 작품에 적용된 Visualization 효과	28
1) 영상 효과	28
① Part1의 영상 효과와 퍼포먼스	28
② Part2의 영상 효과와 퍼포먼스	29
③ Part3의 영상 효과와 퍼포먼스	30
④ Part4의 영상 효과와 퍼포먼스	32
⑤ Part5의 영상 효과와 퍼포먼스	33

2) 조명 효과	34
2. 작품에 적용된 음향 효과	35
3. 작품의 신호 흐름	36
V. 결론 및 문제점	38
참고문헌	39
Abstract	40
부록 1 (첨부 DVD설명)	41

표 목 차

[표-1] 작품 구성	8
[표-2] 물의 요소와 음악적 요소의 상관관계 설문 조사 내용	23
[표-3] part별 적용된 음향 효과	26

그 립 목 차

[그림-1] Interference Wave	2
[그림-2] Water Piano	3
[그림-3] 무대 구성도	5
[그림-4] 사운드 제작과정	6
[그림-5] 진동 우퍼스피커	9
[그림-6] 생성된 진동	10
[그림-7] 사운드의 filter적용 방법	11
[그림-8] 빛의 난반사	12
[그림-9] 카메라의 위치	13
[그림-10] 촬영위치와 Tracking Line	14
[그림-11] 바이너리 이미지 전환	17
[그림-12] 동작 방향별 색상 부여	18
[그림-13] 움직임의 방향 추적	19
[그림-14] 카메라 데이터 처리 방법	20
[그림-15] label을 이용한 개수 검출	21
[그림-16] l.j.Belmont 색채연구	21

[그림-17] 사운드의 시각화 흐름	22
[그림-18] sound의 영상처리 과정	23
[그림-19] 영상의 처리	24
[그림-20] Granular synthesis를 이용한 파형의 변화	25
[그림-21] Additive Synthesis를 사용한 배음증가 방법	26
[그림-22] part1의 퍼포먼스	27
[그림-23] part1의 영상	28
[그림-24] part2의 퍼포먼스	29
[그림-25] part2의 영상	30
[그림-26] part3의 퍼포먼스	32
[그림-27] part3의 영상	33
[그림-28] part4의 퍼포먼스	34
[그림-29] part4의 영상	35
[그림-30] part5의 퍼포먼스	35
[그림-31] part5의 영상	36
[그림-32] 신호의 흐름도	37

I. 서론

1. 연구 배경과 목적

1) 연구 의도

최근 camera motion tracking¹⁾을 통한 기술의 발전에 따라 특별한 장치 없이 간단한 컴퓨터 프로그램만으로 움직임을 포착해내는 기술들이 개발되었다. 따라서 센서를 몸에 장착하여 만들었던 과거의 멀티미디어(multimedia) 작품²⁾에 비해 더욱 생동감 있고 자유도가 높은 새로운 멀티미디어 예술 작품이 가능해 졌다.

이러한 움직임을 포착해 내는 기술은 다양한 시도에 의해 움직임, 색상의 변화를 수치화 하여 음악과 연동되는 작품으로 이어졌다. 이에 음악으로 사물을 표현하는 것이 아닌 물의 움직임으로 음악적인 요소를 조절하여 고정되어있는 악보상의 음표들이 아닌 물을 매체로 생성되는 특정한 알고리즘을 가진 음악 표현이다.

2) 선행 연구

최근 작품에는 물을 소재로 한 멀티미디어 작품들이 많이 제작되고 있다. 물을 이용한 작품 중에는 프로젝션을 사용하여 가상의 물을 바닥이나 벽에 투사하는 것으로부터 실제 물의 움직임을 빛의 반사에 의하여 벽으로 투영하는 것에 이르기까지 다양한 작품들이

1) camera를 사용하여 움직임을 포착해내는 기술을 말한다.

2) 두 가지 이상의 매체를 조화시켜 새로운 시도를 추구하는 예술 작품

나타나고 있다. 2007년 일본인인 So SAKAI (酒井 聰)가 만든 <Interference Wave>라는 설치 작품은 물에는 고유한 진동 주파수에 공진을 일으켜 파장을 일으키는 것을 보여주기 위한 작품이다. 이 작품은 2채널 진동 스피커를 통해 다양한 주파수를 출력하여 물위에 생기는 무작위 적인 문양을 보여준다.

이 작품에서 사용한 음파는 Phase sound이며 수조 아래에 형광등을 설치하여 사용하였다. 이 작품에서는 음악적인 요소와는 거리가 있으며, 단순히 물을 진동시키는 요소로서 소리가 사용되었다.



[그림-1] Interference Wave

이후 음악과 물을 접목하는 시도가 있었는데 국내 2008년 Lighting Art Production에서 만든 <Water Piano>라는 작품이다. 이 작품은 물과 빛을 사용하여 물에 생기는 파장의 무늬를 스크린으로 투사하여 물을 통과해서 생기는 파장에 집중하고 있는 작품이다.



[그림-2] Water Piano

이 작품의 음악은 기존의 클래식 곡을 편집하여 사용하고 있으며, 그 음악에 맞추어 물에 사람이 직접 진동을 가하는 방식을 사용하고 있다. 수조 아래에 조명을 설치하고 스크린과 천정으로 투사하여 생성되는 물의 파장을 시각적으로 활용하고 있다.

이러한 작품들의 특징은 물에 생기는 파장의 형태에 집중한다는 데 있다. 물의 음악적 요소의 사용이라기보다는 물이 가진 모양을 시각적인 효과로 사용하고 있다.

3) 연구 목적

본 연구는 테이프 음악(tape music)³⁾과 실시간 Max/MSP⁴⁾사운드, Jitter⁵⁾의 영상, 조명, 물이 합쳐진 멀티미디어 음악작품으로

3) 미리 녹음되어진 음악을 말한다.

4) 음악, 소리, 멀티미디어 등을 그래픽 환경에서 실시간으로 제어할 수 있는 오브젝트(object) 기반의 컴퓨터 프로그램이다.

5) Max/MSP내에서 영상을 실시간으로 제어 할 수 있는 오브젝트(object) 기반의 컴퓨터 프로그램이다.

본 연구의 가장 큰 목적은 실시간으로 물의 움직임을 포착하고 물에서 추출한 파라미터들을 이상적인 방법으로 음악과 연동하는 것이다.

이전 멀티미디어 작품 공연에서 선보였던 기술과 표현에는 일정한 공간이나, 공연자의 몸에 부착하는 센서들에 의하여 공연에 필요한 요소들을 컨트롤 하는 역할을 하였다. 따라서 배우의 감정이나 행동에 상당한 제약사항이 있었고, 이러한 제약사항은 공연자의 자연스러운 표현에 방해가 되어온 것이 사실이다. 이러한 기존 멀티미디어 작품과는 다르게 물이라는 매체를 사용함으로써 음악과 공연자, 멀티미디어가 상호간의 작용을 방해하지 않고 공연자와 멀티미디어가 선보이는 표현에 자유로움을 주고자 하였다.

이에 본 연구를 통하여 움직임을 포착하는 기술로서 카메라 트래킹을 이용하고, 물의 움직임을 음악적인 요소와 연동하여 새로운 형태의 멀티미디어 작품제작에 적용해보고자 한다.

2. 작품 배경과 무대 구성

1) 작품 배경

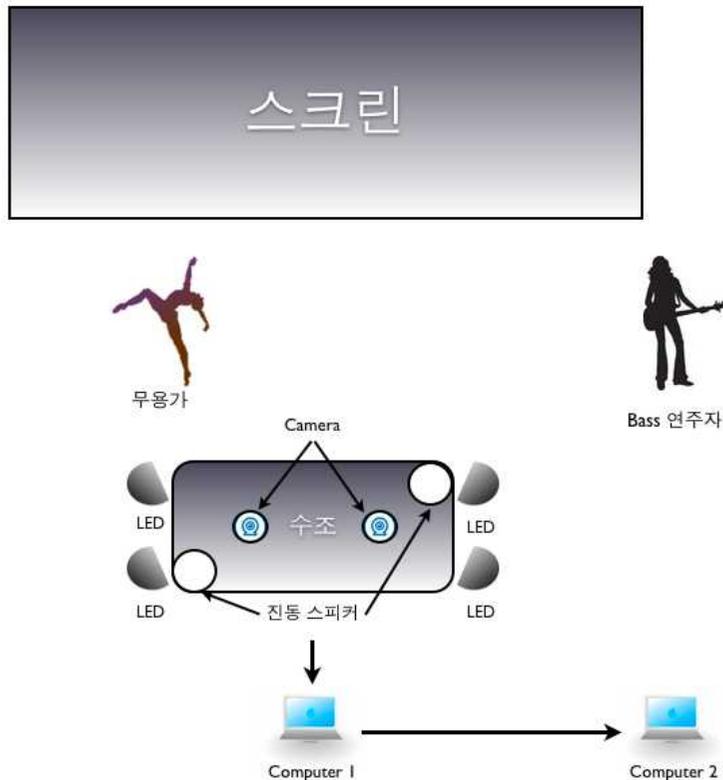
인간은 누구나 생각이 있고 그에 따른 고민이 있다. 사람들 중 일부는 고민 때문에 여행이나 일탈과 같은 탈출구를 찾기도 하고 심지어는 자살에 이르는 사람들도 있다. 이러한 인간의 고민은 숨을 거두는 순간에 이르기 전까지 항상 따라다닌다.

인간에게 생기는 모든 고민은 내적인 요소와 현실적인 요소로서 구분할 수 있다. 내적인 요소들은 끊임없이 반복되는 질문, ‘왜 살아야 하는가?’, ‘내 인생의 목표는 무엇인가?’와 같은 도무지 답을 내릴 수 없는 것으로부터 ‘어느 학교에 갈까?’, ‘이 분쟁은 언제 끝이 날까?’에 이르기 까지 현실적인 요소에 의하여 생성되는 것들이 있다. 이와 같은 내적인 요소와 현실적인 요소는 이따금 매우 큰 충동을 일으키기도 하며, 삶에 큰 영향을 주기도 한다. 이러한 고민과 갈등을 본 작품에서 인간의 내면을 ‘수조’로 표현하며, 인간 내면의 갈등을 ‘바이브레이션 우퍼스피커⁶⁾’로 표현하였다. 또한 삶의 고민들과 외적인 갈등을 ‘무용수’로 표현하여 외적인 갈등사이에서 고민하는 인간의 내면의 모습을 직관적으로 투영하고, 시간의 흐름에 따른 인간의 내면의 변화를 멀티미디어와 통합된 작품으로 만들고자 하였다.

6) 진동을 강화한 스피커를 말한다.

2) 무대 구성

무대 구성은 화면, 베이스 기타 연주자, 수조, 안무가로 구성된다. 관객들은 스크린을 통해 출력되는 영상과 안무, 그리고 수조를 통한 진동과 LED 조명을 보게 되며, 베이스연주를 통한 영상의 제어와 수조를 통한 진동의 발생을 보게 된다. 진동으로부터 생성되는 파장을 잘 보이게 하기 위하여 수조 아래에 LED를 설치하였다.



[그림-3] 무대 구성도

II. 작품 내용

1. 작품의 내용

한 사람의 내면에 고민과 생각들이 수없이 작은 물결을 만들며, 마음속을 어지럽힌다. 이러한 고민들은 어디에서 온 것인지 무엇에서 비롯된 것인지 알 수 없다. 하지만 자신의 존재가치에 대한 질문은 멈추지 않고 계속 그에게 질문을 던진다.

마음에서 시작된 고민은 그의 삶을 흔들고 그 파장이 점점 커져만 간다. 이제 그의 마음속에 있던 질문들은 더 이상 내면이 아닌 현실의 그에게 큰 파장으로 다가온다.

다시 그에게 현실이라는 곳에 산재해있는 불안한 그의 삶을 질타하는 타인의 시선과 사회가 질문을 한다. 현실의 문제는 그에게 내면의 고민과 함께 더욱 커다란 파장을 그에게 전달한다.

그의 마음속에서 갈등이 고조되고, 그는 더 이상 현실과 자신의 삶의 문제에 포화된 마음을 주체하지 못하고 정신분열 상태에 이르고 만다. 정신을 놓아버린 그는 현실과 자신의 문제 모든 것을 부정하기 시작하고 그는 머리속에서 모든 고민과 갈등을 밀어내어 버린다. 그는 현실과 내면에 산재해 있는 수많은 문제들은 계속해서 자신을 두드리고 있음을 느끼고 고통에 몸부림치고 있는 자신을 발견한다. 다만 시간만이 지나가기를 바라면서 그는 자신의 자리로 서서히 돌아간다.

2. 작품 구성

본 작품은 총 5개의 파트로 되어있다. 각각의 파트가 다른 의미를 내포하고 있어 인간 내면의 변화를 점층적인 방법으로 표현하고 있다. 각 파트들에 사용되는 요소와 내용은 다음 [표-1]과 같다.

[표-1] 작품 구성

	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4	Part 5
Bass Guitar	○	×	○	×	○
진동 스피커	○	×	×	○	○
무용	×	○	○	○	○
영상	○	○	○	○	○
Tape Sound	○	○	○	○	○
내용	일상의 고민	현실의 고민	대립과 고통	분열	좌절

○ = 실행한다.

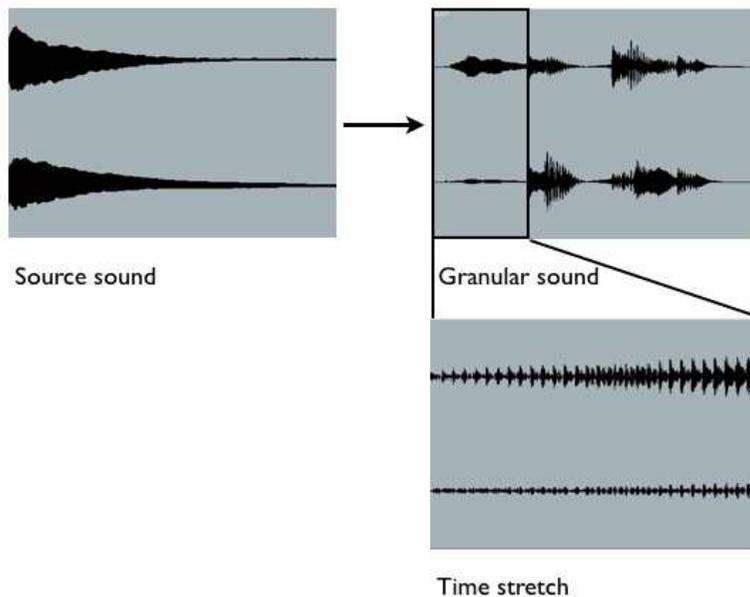
× = 실행하지 않는다.

3. 음악 제작

1) 소스 사운드 제작과 편집

본 작품의 테이프 사운드는 본론 ‘1) Granular Synthesis를 이용

한 노이즈의 제어(p24)에서 소개될 그레놀러 합성방식(granular synthesis)을 사용하여 제작한 음원들을 사용하고 있다. 그레놀러 합성방식을 사용해 제작한 음원의 소스들은 피아노, 마림바, 노이즈가 사용되었다. 소스사운드를 그레놀러 합성방식으로 제작한 다음 누엔도(Nuendo)⁷⁾의 time stretch⁸⁾를 사용하여 늘이다보면, 작은 단위로 끊어지는 듯한 소리를 만들 수 있다. 이러한 특성을 사용하여 작품에서의 수없이 많은 고민과 갈등을 표현하고자 하였다. 또한 pitch shift를 사용하여 작품의 주요 음인 E와 A의 배음이 되도록 설정하였다. 이렇게 제작된 음원의 고음이 말하는 것은 인간의 마음속에 생겨난 고민의 수를 이야기하고 있으며, 저음은 심장박동과 내면에 울려 퍼지는 충격을 표현 하고 있다.



[그림-4] 사운드 제작과정

7) 독일의 Steinberg가 개발한 가상스튜디오기술(virtual studio technology) 기반의 디지털 오디오 워크스테이션

8) 오디오시그널을 시간 축을 기준으로 늘이는 기술

2) Plugin을 이용한 Part별 Effect의 적용

본 작품의 사운드들은 누엔도의 plugin들을 이용하여 변형, 가공하였다. 플러그인으로는 Waves사의 플러그인을 사용하였다.

part1에서 사용한 가장 주요한 사운드로는 피아노 사운드를 그레놀러 합성방식으로 변형한 소리이다. 이 소리에 공간감을 주기 위하여 reverb를 사용하였다.

part2에서부터 나오는 주요한 소리인 저음의 가공방법은 그레놀러 합성방법으로 처리된 저음 소리에 강한 어택(attack)을 주기 위하여 컴프레서(Compressor)의 한 종류인 RComp와 L1-Ultramaximizer를 사용하여 압축하였고, 배음을 더하기 위하여 저음역의 배음을 추가하거나 증폭시키는 플러그인인 RBass를 사용하였다. 또한 part3의 좌우로 돌아다니는 듯한 노이즈의 효과와 플랜저(flanger)효과를 주기위하여 MetaFlanger를 사용하였다. MetaFlanger는 정확한 음정이 없는 소리를 배음이 있는 것처럼 느끼게 하는 기능이 있다. 이러한 기능을 이용해 강한 어택을 가지고 있는 저음과 대비되는 고음을 제작하였다.

part4에서 노이즈 사운드로 만들어진 소리를 투명하면서 강한소리로 만들기 위하여 TBK3 Stereo플러그인을 사용하였는데, 이 플러그인은 가지고 있는 음을 기준으로 다른 노이즈를 억제하는 특징이 있으며, 소리의 변형과 압축을 동시에 하는 플러그인이다. 이 플러그인을 사용하여 part4에서 사용하는 통통 튀는 듯한 소리를 제작하였다. 이러한 소리로 인간의 내면의 분열이 일어나면서 모든 근심을 잊어버리고 현실의 고민과 괴로움을 잠시 잊고 즐거운 상태를 표현하고자 하였다.

Ⅲ. 작품에 사용한 기술 연구

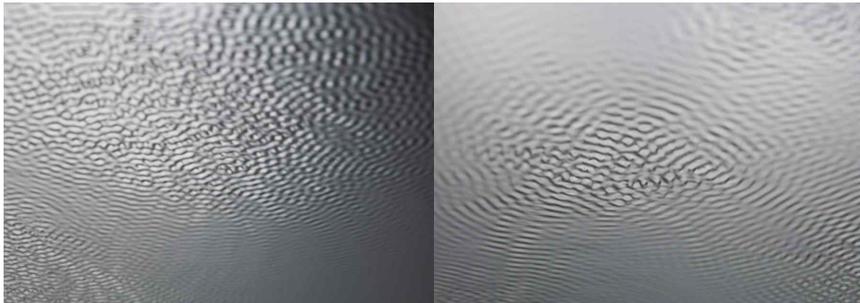
1. 진동 우퍼스피커를 이용한 파장의 생성

1) 진동 우퍼스피커를 이용한 진동 생성 방법 연구

물의 파장을 일정하게 제어하는 방법은 모터를 이용하는 방법과 스피커를 이용하는 방법이 있다. 모터를 사용했을 때에는 장치가 외부로 노출되기 때문에 연주자의 감전 위험이 있다. 따라서 감전 위험이 적으면서 효율적으로 진동을 생성하기 위하여 스피커를 사용하기로 하였다. 하지만 실험결과 일반스피커의 출력으로는 충분히 보일만큼의 파장을 만들어내기에 어려움이 있었고, 그 결과 진동 우퍼스피커를 사용하게 되었다. 진동 우퍼스피커는 20Hz~100Hz만을 재생하는 저음출력을 위한 스피커이면서 안정적으로 저음을 진동으로 만들어주기 때문에 물위에 파장을 만들고 그 파장의 간섭을 관찰하기에 적당하다. 스피커 유닛자체가 소형이면서 외부로 노출되어있지 않기 때문에 감전의 위험도 적다는 장점이 있다. 또한 일정한 파장을 만들기 위해서 두 스피커의 파장을 동일하게 내보내어 동일하지 않았을 경우 생기는 물결이 상쇄되는 효과를 막을 수 있었다.



[그림-5] 진동 우퍼스피커

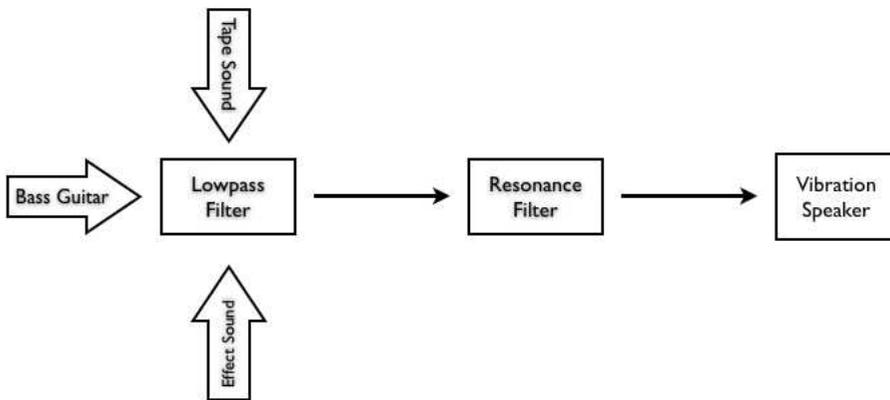


[그림-6] 생성된 진동

2) 파장의 생성을 위한 스피커의 구성과 적용

물의 파장이 소리를 만들고 파장이 배음의 개수와 음의 강세의 수치를 산출하기 위한 방법으로 진동 우퍼스피커를 사용하였다. 그러나 진동 우퍼스피커를 사용했다하여도 물을 진동시켜 일정한 파장을 만들고 그 진동을 두 스피커 사이에 보이게 하기에는 부족함이 있었다. 따라서 진동을 증폭하기 위한 방법으로 진동 우퍼스피커에 아크릴 플레이트를 장착하였다. 또한 스피커 사이의 거리를 일정하게 유지시켜 파장의 생성을 높였다. 또한 두 스피커에서 나오는 음파의 증폭 효과를 높이기 위해 필터(filter)⁹⁾를 사용

하였다. 두 가지 필터를 동시에 사용하는데, lowpass filter¹⁰⁾를 사용하여 불필요한 고음을 없애고, resonance filter¹¹⁾로 스피커의 resonance frequency¹²⁾인 45Hz를 증폭하여 파장의 생성을 더욱 크게 만들었다. 우퍼스피커의 특징은 100Hz를 기준으로 고음역이 깎여있고 저음역이 증폭이 되어있다는 것이다. 하지만 진동의 경우 음역에 상관없이 발생이 되기 때문에 불필요한 고음을 차단하여 작품의 핵심인 저음에 집중 하도록 하여 진동을 발생 시켰다.



[그림-7] 사운드의 filter적용 방법

2. Motion Tracking

1) Camera Motion Tracking

-
- 9) 소리를 변화시키기 위한 장치
 - 10) 저음역의 주파수만 통과시키는 필터
 - 11) 특정 주파수만을 정해 증폭 가감할수 있는 필터
 - 12) 공진 주파수

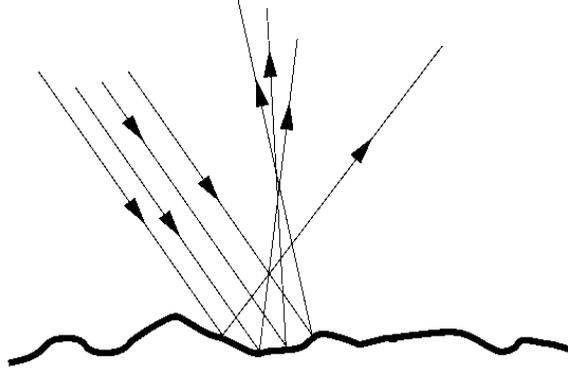
트래킹(tracking)이란 어떠한 사물의 움직임을 추적하고 관측하여 그 움직임이나 위치를 파악하고 수치를 산출하는 것을 말한다. 본 작품에서 사용한 방법은 카메라 모션 트래킹으로 물의 움직임이나 파장의 개수를 파악하는데 사용한다.

트래킹을 위해서는 일반적으로 센서나 카메라를 이용하는데, 본 작품에서 이용할 수 있는 센서로는 레이저 센서가 있다. 레이저 센서는 물체의 이동을 감지하는데 유용한 센서이다. 하지만 레이저 센서는 물체를 감지하는 신호를 on, off로 출력되기 때문에 본 작품에서 이용하는 다양한 값들의 출력이 불가능하다는 점과 레이저 센서를 사용할 경우 레이저 커튼 센서 이외에는 레이저 포인터가 굴절되는 부분만 트래킹 할 수 있고 수조 전체를 모두 트래킹 할 수 없다는 단점이 있기 때문에 카메라를 사용하였다. 하지만 카메라를 사용할 경우 다음과 같은 문제점들이 있다.

첫째, 트래킹을 하기 위해서는 카메라에 물체의 이동이 보일만큼의 빛이 필요하다. 그 이유는 충분한 빛이 없다면 정확한 움직임이나 물체의 이동을 파악할 수 없기 때문이다.

둘째, 여러 대의 카메라를 사용할 경우 카메라의 거리와 물체와의 거리가 멀어지거나 혹은 카메라와 카메라사이의 거리가 멀수록 물의 이동을 감지하여 수치화하는데 시간 차이가 커진다. 따라서 정확한 트래킹을 하기위한 장치들의 위치설정이 중요하다.

물은 물결이 생기기 시작했을 때 빛이 굴절되면서 산란하는 현상이 일어난다. 물에서 일어나는 현상은 물의 굴절 효과 때문인데 [그림-8]과 같이 빛이 굴절되어 산란 할 때 난반사가 일어나는 곳에 빛이 중점적으로 반사 된다는 것에 착안하여 본 작품에서 물의 움직임을 트래킹 하는데 사용하였다.

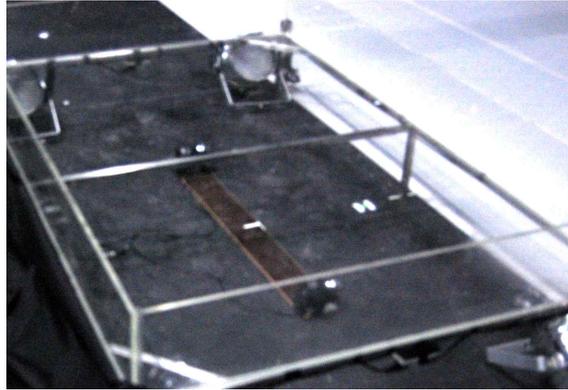


[그림-8] 빛의 난반사

2) 카메라 위치적용과 방법

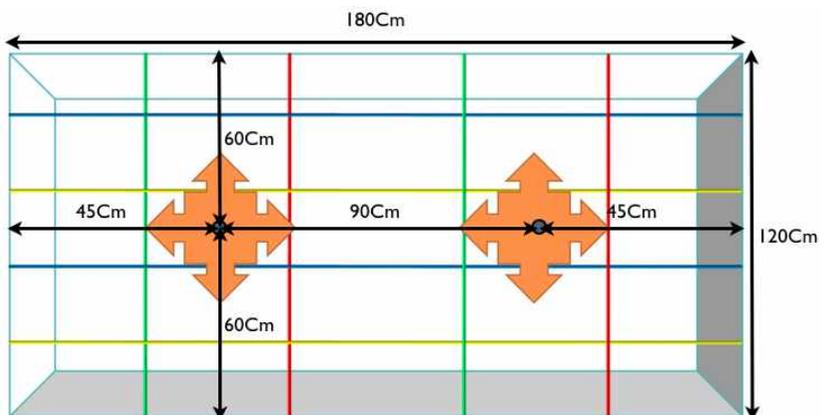
카메라 모션 트래킹을 위하여 총 두 대의 카메라를 사용한다. 두 대의 카메라는 동시에 화상을 받아들이게 되고, 두 대의 카메라에 입력된 영상은 Jitter에 보내어져 각기 다른 포인트에서 들어온 물의 움직임을 파악하게 된다. 카메라의 위치는 수조안 어느 지점에서 시작된 파장의 발생을 빠르게 감지하기 위하여 각각 다른 포인트에서 수조를 촬영하여 시차를 줄였으며, 수조와 카메라의 거리를 30cm로 고정하여 카메라에서 물에 파장이 발생한 시점을 감지하는 반응 속도를 빠르게 하였다. 30cm로 거리를 고정한 이유는 실험결과 물의 파장이 시작되는 지점보다 시작된 이후 물이 움직이기 시작하면서 파장의 크기가 커지기 때문이다. 파장의 시작되는 지점의 물의 움직임까지 검출을 하기 위해서는 빛의 산란이 적게

일어나는 곳에서도 검출할 수 있을 만큼 가까운 거리가 필요했다. 또한 카메라와 카메라 사이의 거리를 [그림-10]과 같이 수조 전체 길이의 절반인 90cm로 고정하여 수조 벽에서 반사되어 나오는 파장을 검출할 수 있도록 하였다.



[그림-9] 카메라의 위치

카메라는 [그림-10]과 같이 각각 가로 4개, 세로 4개의 총 8개의 tracking line을 가지며, 각각의 line에서 추출된 데이터들은 실시간으로 무선 OSC 통신을 사용하여 전송된다.

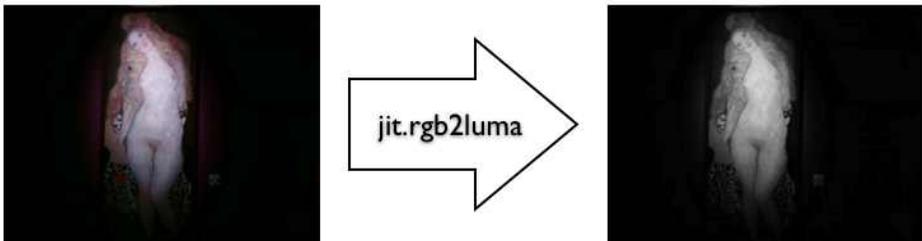


[그림-10] 촬영위치와 Tracking Line

3) HSflow를 이용한 물의 움직임 검출 방법 연구

HSflow는 Berthold K.P. Horn 과 Brian G. Schunck가 만들어낸 optical flow의 한 종류이다. optical flow는 눈이나 카메라로 입력된 이미지를 분석하여 움직임이 있는 대상의 속도를 시간대별 분포로 나타내는 것을 말하며, HSflow의 방법은 높은 밀도의 벡터(vector)¹³⁾를 만들어내는 장점이 있다. 이러한 알고리즘을 기반으로 만들어진 오브젝트인 `cv.jit.HSflow`오브젝트를 작품 제작에 사용하였다. `cv.jit`오브젝트는 일본의 IAMAS대학에서 개발한 오브젝트로서 Open CV¹⁴⁾를 응용하여 개발하였다. 이 오브젝트를 사용한 이유는 정지해 있는 물체에 반응하지 않고 움직이는 물체의 이동에만 반응 한다는 특징 때문이다.

먼저 `jit.rgb2luma`오브젝트를 이용하여 [그림-11]과 같이 화면을 흑백의 바이너리 이미지(binary image)¹⁵⁾로 전환시킨다.



[그림-11] 바이너리 이미지 전환

전환된 화면은 `cv.jit.HSflow`오브젝트에 들어가게 되고, HSflow는 움직임을 명도로 변환한 흑백영상으로 출력한다. 이렇게

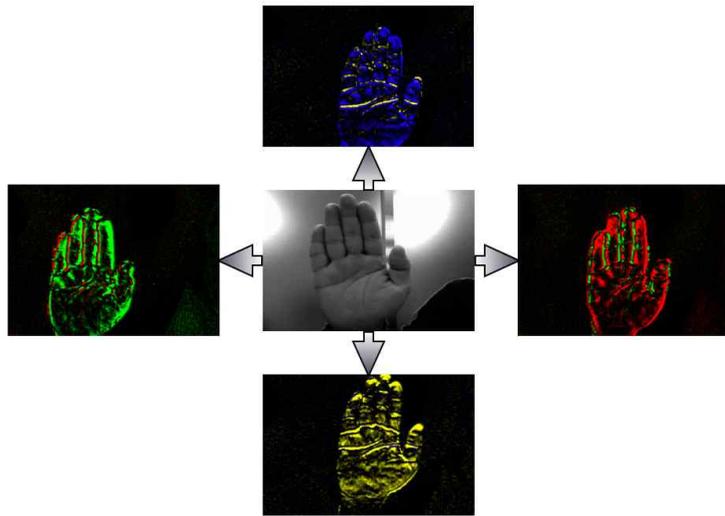
13) 크기와 방향으로 정하여지는 양. 힘, 속도, 가속도 등의 표현에 사용되며, 화살표로 표시한다.

14) Intel에서 제작하여 사람의 얼굴, 행동, 움직임등의 변화를 실시간으로 분석 할 수 있도록 하는 오픈 소스 라이브러리.

15) 2진 영상, 흑과 백으로만 이루어진 영상을 말하며 흑을 0에 백을 1에 대응시킬 수 있다

처리된 영상은 상하 움직임을 가진 벡터와 좌우 움직임을 가진 벡터의 정보를 가지고 있다.

HSflow에서 상하의 움직임과 좌우의 움직임 2가지로 나누어서 영상을 출력하고, [그림-12]와 같이 좌우로 움직이는 영상에는 녹색과 빨간색을 상하로 움직이는 영상에는 파란색과 빨간색을 배치시켜 구분을 한다.

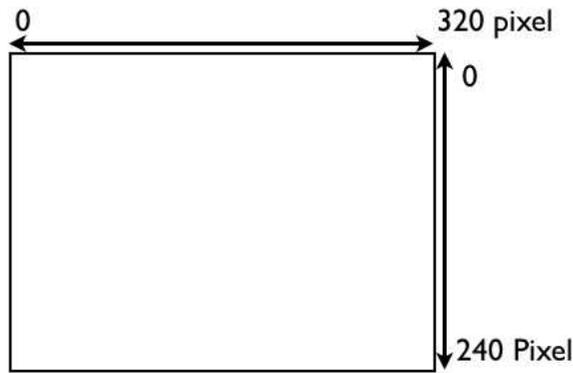


[그림-12] 동작 방향별 색상 부여

방향을 알아내기 위한 방법으로 `jit.clip` 오브젝트와 `jit.op` 오브젝트를 사용하였다. `jit.clip`¹⁶⁾ 오브젝트로 들어온 영상의 움직임을 -1과 1로 바꾸어주고 1일 경우 오른쪽과 아래쪽으로 움직일 때 그리고 -1로 움직일 때는 위쪽이나 왼쪽으로 움직일 때로 본다. 이렇게 하는 이유는 [그림-13]에서 보는 것과 같이 전체의 범위가 320*240의 픽셀을 가진 화면이라면 왼쪽을 0으로 하여 오른쪽 끝을 320픽셀로, 위쪽을 0으로 하여 아래쪽 끝을 240픽셀로

16) 입력된 영상을 1과 -1로 출력하는 기능을 한다.

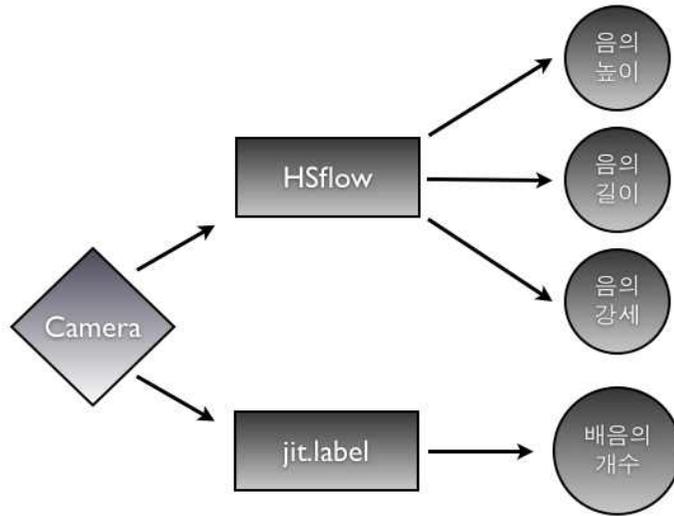
정해져있기 때문이다. 따라서 증가 하는 방향이 1, 즉 오른쪽과 아래쪽이 되고, 감소하는 방향이 -1, 즉 왼쪽과 위쪽 방향이 되는 것이다.



[그림-13] 움직임의 방향 추적

4) 물의 움직임에서 검출한 수치의 음악적 적용

각 트래킹 라인은 320*240의 픽셀(Pixel)중 HSflow로부터 들어온 색상의 변화를 감지하여 평균값을 출력한다. 변화를 평균값으로 사용한 이유는 단위 시간 안에 발생하는 수면위의 모든 파장의 변화를 반영하기 위함이다. 이렇게 구한 평균값은 트래킹 라인을 통과한 시간 차이를 계산하여 음의 길이로 사용하였고, jit.label오브젝트로부터 들어온 파장의 개수를 배음의 개수와 연동하였다. 상하로 움직이는 파장의 움직임으로부터 출력한 값은 음의 높이에 연동하였고, 수면위에 생성된 파장의 크기를 픽셀단위로 측정하여 음의 강세에 연동하였다.



[그림-14] 카메라 데이터 처리 방법

각각의 파라미터들의 수치들은 물의 요소와 음악적 요소의 상관 관계를 설문조사한 결과에 근거 하였다.

[표-2] 물의 요소와 음악적 요소의 상관관계 설문 조사 내용

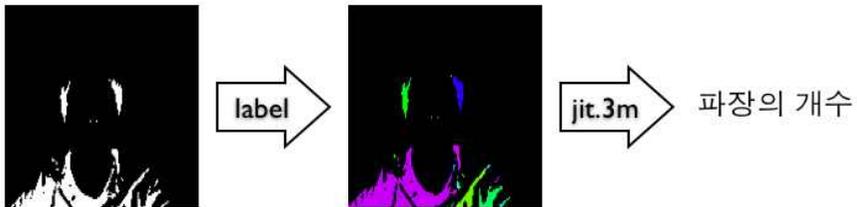
내 용	인 원(명)	요 소
물의 강세	20 / 30	음의 강세
파장의 개수	13 / 30	배음의 숫자
진동의 시간차	20 / 30	음의 길이

5) 물의 파장의 개수 검출 방법 연구

물의 파장의 개수 또한 빛의 난반사를 이용하여 파악한다. 카메라 에서 들어오는 영상 중 빛의 산란이 큰 곳에서 추출하며, 물의

움직임이 아닌 순수하게 빛의 산란이 일어나는 모든 곳의 개수를 파악하기 위하여 `cv.jit.label` 오브젝트를 사용하였다.

`cv.jit.label`은 [그림-15]과 같이 바이너리 이미지를 분석하여 각각의 부분에 순차적으로 우선순위를 정해 이미지의 개수를 파악하거나 픽셀의 개수를 파악하여 영상으로 출력하는 오브젝트이다. 이 오브젝트에서 나온 구분된 영상의 개수의 최대 수치를 출력하기 위해서 `jit.3m` 오브젝트를 사용하였다. `jit.3m`은 이미지를 분석하여 개수의 최소, 최대값을 숫자로 출력한다.



[그림-15] label을 이용한 개수 검출

3. 음악에 반응하는 Visualization 적용

1) Sound에 반응하는 Visualization

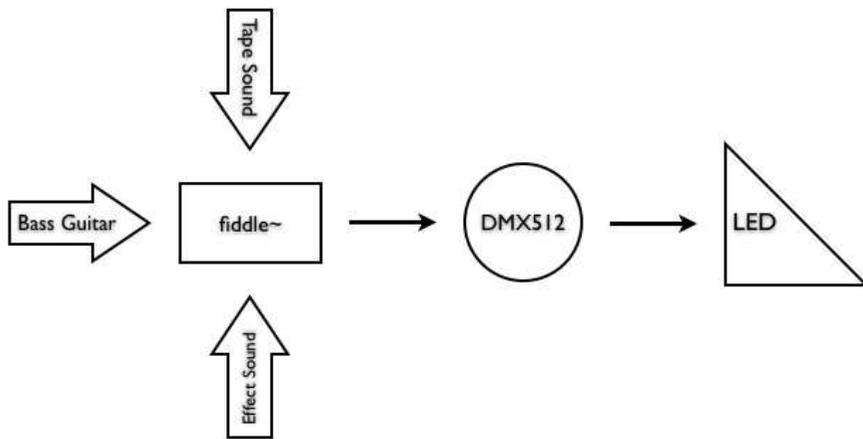
본 작품에서 사용하는 카메라 모션 트래킹은 빛의 양에 따라 물의 움직임을 포착하는 양이 틀려지기 때문에 빛과 매우 밀접한 관계가 있다. 또한 작품의 내용상 인간의 내면의 변화와 갈등을 표현하는데 빛의 색상 변화가 필요했다. 본 작품에서 이용한 조명 장치는 DMX512와 LED 조명이다.

LED 조명의 위치는 수조 바닥의 높이에서 위쪽을 향하게 되어 있고, 또한 객석과 무대 사이에 무형의 벽을 형성하기 위하여 무

대 좌우로만 설치하였다. 또한 출력되는 모든 사운드의 음높이에 반응할 수 있도록 fiddle~ 오브젝트가 사용되었다. fiddle~ 오브젝트는 음의 높이를 산출하는 오브젝트로서 사운드를 분석해 음의 변화가 있을 때만 반응 하도록 조절했다. 노트로 변환된 소리는 MIDI Port와 DMX512를 통해 LED의 색상을 변화시키게 된다. 색상의 변화는 l.j. Belmont¹⁷⁾의 색청연구를 적용하였다.



[그림-16] l.j.Belmont 색청연구



[그림-17] 사운드의 시각화 흐름

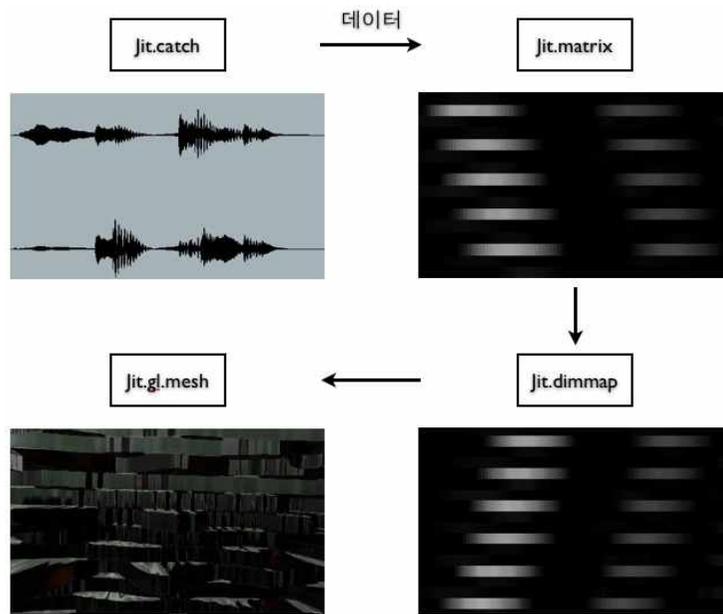
2) Sound에 반응하는 영상

본 작품은 총 4가지의 영상을 사용하고 있다. 그 중 3가지 영상은 재생되는 음악에 반응하도록 제작되어 있으며, 1가지 영상은

17) 출처 RhythmicLight.com

베이스 기타의 사운드에 반응한다. sound에 반응하는 영상을 만들기 위해 총 4가지 Jitter의 오브젝트를 사용하였다. jit.catch~오브젝트는 프레임단위로 분석하여 음파의 형태를 영상 데이터의 형태로 변환해주는 오브젝트이다. jit.matrix오브젝트는 각각의 이름을 가지고 작동하게 되는데 데이터를 저장하거나 재생, 혹은 resampling하는 기능을 가지고 있다. jit.dimmap오브젝트는 영상의 방향을 반전시키는 오브젝트이다. jit.gl.mesh오브젝트는 3차원 도형을 만들어내는 오브젝트로서 도형의 표면에 다른 모양의 색상이나 문양을 그릴 수 있다. 이 오브젝트들을 이용하여 사운드를 영상으로 변환한 순서는 다음과 같다.

먼저 음파의 형태를 가져오기 위하여 jit.catch~오브젝트를 사용하였다. jit.catch~오브젝트에서 변환한 영상은 jit.matrix오브젝트에 데이터 형태로 저장되게 된다. 이렇게 저장된 영상데이터는 jit.dimmap오브젝트에서 영상이 좌우 혹은 상하로 뒤집히게 된다. 영상이 상하 좌우로 뒤집히면 jit.catch~오브젝트에서 들어온 영상을 기준으로 영상이 순차적으로 지워지는 효과를 보이게 된다. 이 영상을 jit.gl.mesh 오브젝트에서 1차원 평면 영상에서 3차원 영상으로 변환하게 된다. 이러한 처리 과정 도식화 하면 [그림-18]과 같다.



[그림-18] sound의 영상처리 과정

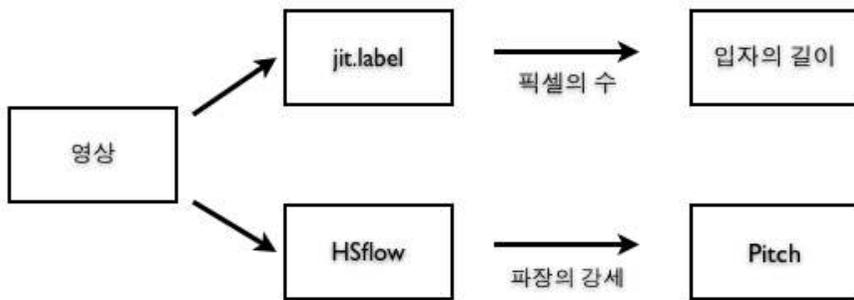
4. Sound Synthesis

1) Granular Synthesis를 이용한 노이즈의 제어

소리는 그 특성으로 나뉘는 음고, 음량, 음색이 어택과 릴리즈에 이르는 시간 변화 속에서 무수히 많은 소리입자로 파악될 수 있으며 소리의 해체농도가 더욱 미세해지면 마치 분말과도 같은 입자로 파악할 수 있다. 이러한 수천, 수만의 입자를 다시금 운집하고 조합해서 새로운 소리로 만들어갈 수 있는데 이것을 그래놀러 합성법(Granular Synthesis)라고 한다.¹⁸⁾ granular synthesis에서 조

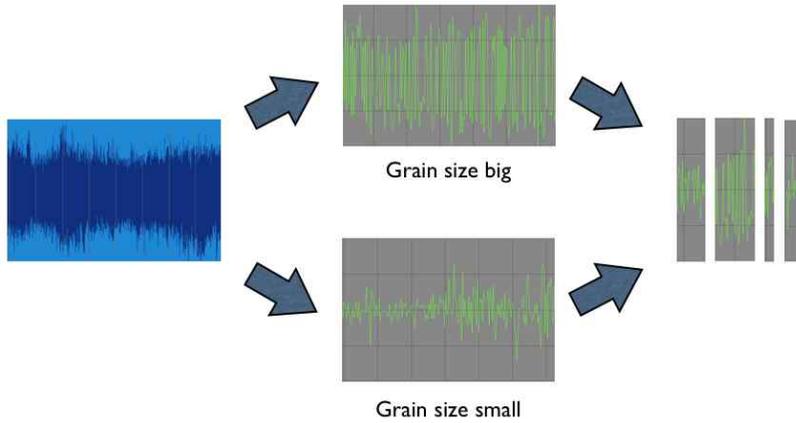
18) Jeff Pressing "Synthesizer Performance and Real-Time Techniques", p70

절 할 수 있는 파라미터로는 grain duration, pitch, pitch randomize 등이 있다. 이러한 파라미터들은 jit.3m으로 들어온 영상을 수치화 하여 픽셀의 많고 적음에 따라 수치가 결정이 된다.



[그림-19] 영상의 처리

이렇게 적용된 그래놀러 신디시스는 파장의 움직임에 적용하여 파장의 개수가 많아 졌을 때 작동하게 되며, 변형을 하기위하여 사용한 사운드는 노이즈(noise)이다. 노이즈를 사용한 이유는 모든 배음을 가지고 있어 다양한 소리로 변형하기가 쉽고, 작은 단위로 잘라도 음질의 열화가 잘 느껴지지 않는다는 장점이 있기 때문이다. 또한 granular synthesis를 통과 한 소리들은 [그림-20]과 같이 순차적으로 재생하는 것이 아니라 순서도 바뀌게 된다. 이렇게 재 분해, 재배열된 소리는 기존의 사운드와 비슷한 느낌을 가지고 있지만 동일한 사운드가 아닌 새로운 사운드로 변화하게 된다.

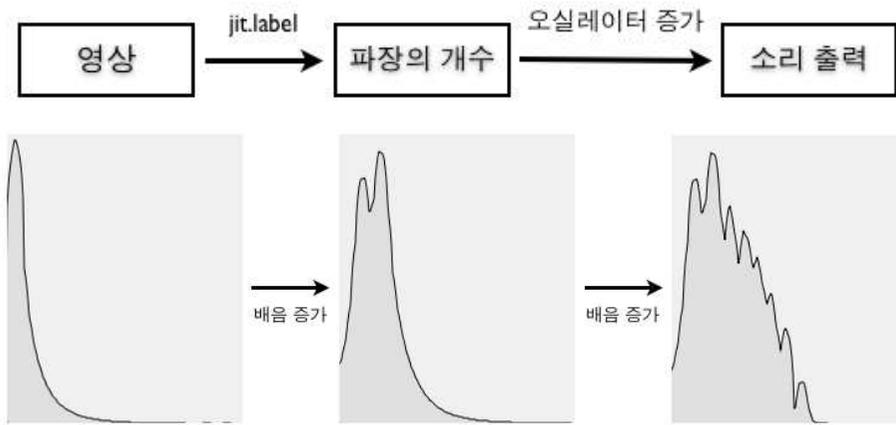


[그림-20] Granular synthesis를 이용한 파형의 변화

2) Additive Synthesis를 이용한 배음의 제어

가산합성(Additive Synthesis)방식은 정현파의 합성으로 새로운 소리를 만드는 방식이다. 이 방법은 일반적으로 파이프 오르간이나 관악기들의 소리 합성에 적합한 방법이라고 알려져 있다. 가산합성방식은 간단히 몇 개의 오실레이터와 파라미터들의 적용으로도 상당히 효과적인 소리를 생성 할 수 있다는 점과 원하는 배음을 직접 입력할 수 있다는 장점이 있다.

본 작품에서 이용한 오실레이터의 개수는 총 100여개이다. 이렇게 많은 수의 오실레이터를 사용할 수 있는 것은 컴퓨터 시스템의 발전과 과거에는 상상도 못할 램(RAM)용량의 증가로 이루어 낼 수 있었다. 본 작품에서 가산합성방식을 사용한 방법은 음고, 길이, 강세 등을 적용한 오실레이터를 만들고 `cv.jit.label~` 오브젝트로부터 추출해낸 파장의 개수와 연동하여 오실레이터를 늘려가는 방식을 택하였다.



[그림-21] Additive Synthesis를 사용한 배음증가 방법

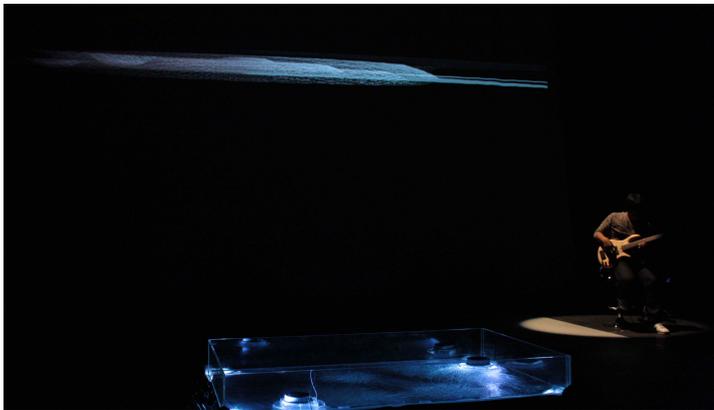
IV. 작품 제작 결과

1. 작품에 적용된 Visualization 효과

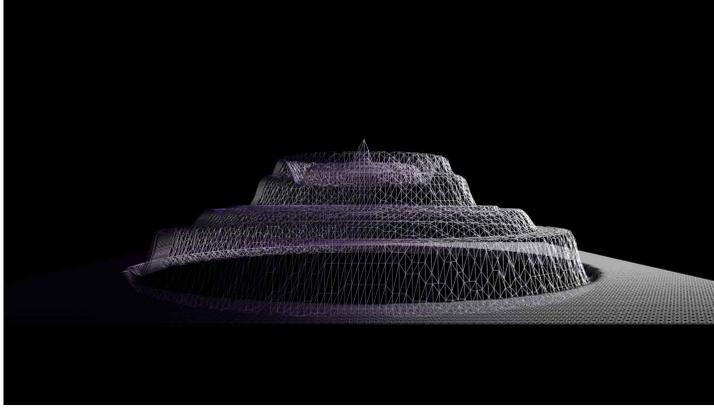
1) 영상 효과

① Part1의 영상 효과와 퍼포먼스

part1에서는 인간의 내적 고민과 갈등을 영상으로 표현하고 있다. 출력되는 도형의 영상은 인간의 마음을 의미하고, 변형되는 도형의 영상은 마음의 갈등을 의미하고 있다. part1은 이야기의 발단이 되는 부분이며, 인간의 일상적인 내면의 갈등을 표현하고 있는 part이다. 베이스 기타의 저음으로 시작되는 도입부에서 던져진 질문들의 대답은 소리와 함께 마음을 표현한 화면에 나타난다. 질문 하나가 인간에게 던져질 때마다 마음이 흔들리는 것을 영상으로 표현하였다.



[그림-22] part1의 퍼포먼스



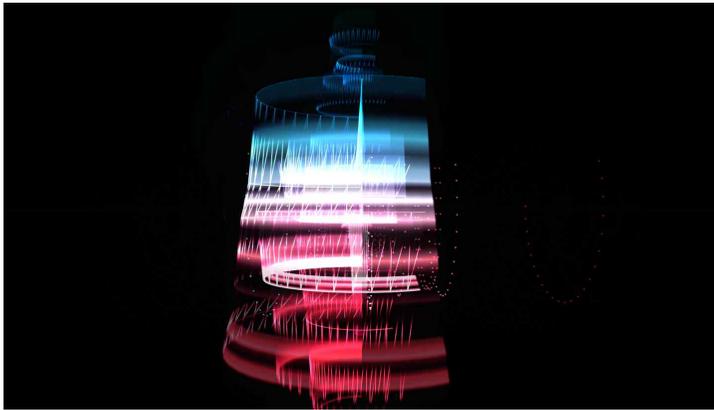
[그림-23] part1의 영상

② Part2의 영상 효과와 퍼포먼스

part2는 현실적인 갈등이 시작되는 부분이다. 무용수가 천천히 어둠속에서 꿈틀거리며 무대 안으로 기어 들어온다. 무용수는 괴로운 몸짓을 하면서 자신의 내면을 투영한 수조를 발견하고 놀라는 표정으로 서서히 수조에 다가선다. 수조를 천천히 휘저으며 자신의 생각을 주장하기 시작하는 무용수의 모습은 자신과 현실의 갈등사이에서 절망하며 느끼는 감정을 그대로 표현하고 있다. 불안하기만한 현실에 두려워하는 무용수의 모습을 관객에게 직관적으로 전달할 수 있도록 수조 아래로부터 나오는 빛에 의해 희미하고, 괴기하게 보이도록 의도하였다. 무용수의 등장으로 시작되는 part2의 영상은 두 도형의 회전으로 이루어진다. 이 영상은 시간의 경과에 따른 현실과 자아 사이의 갈등을 표현하고 있다.



[그림-24] part2의 퍼포먼스

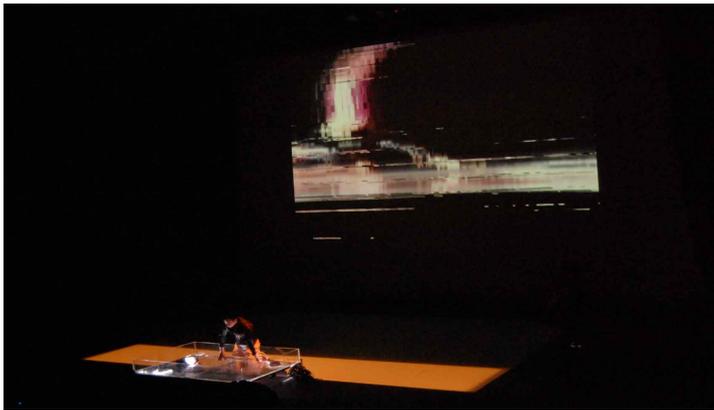


[그림-25] part2의 영상

③ Part3의 영상 효과와 퍼포먼스

part3은 현실과의 갈등으로 서서히 자신의 본모습을 잃어가는 인간의 마음을 표현하는 부분이다. 무용수는 수조안에서 자신의 상황에서 몸부림치며 벗어나려하지만 뜻대로 되지 않고 숨 막히

는 자신의 현실을 부정하려 몸부림친다. 점점 자아를 잃어가고 붕괴하는 자아가 현실을 뿌리치려 노력하는 모습을 안무가가 물을 사방으로 뿌리는 행동으로 표현 하고 있다. 베이스 기타의 사운드가 변형하는 안무가의 모습으로 말하고자 하는 것은 현실의 갈등에 저항하지만 어쩔 수 없이 자신이 가진 생각과 주장을 굽히는 인간의 모습을 말한다.



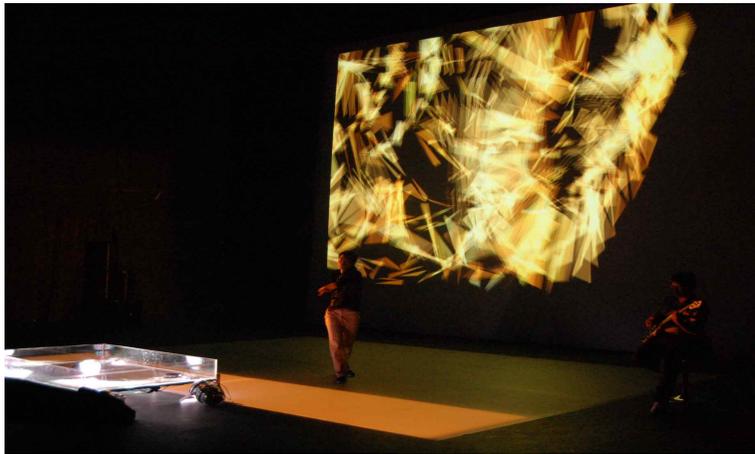
[그림-26] part3의 퍼포먼스



[그림-27] part3의 영상

④ Part4의 영상 효과와 퍼포먼스

part4는 더 이상 고통을 참을 수 없는 자아가 현실을 부정하고 자신의 내면에서 고통을 밀어내려하는 파트이다. 마음속에 자신의 생각도 주장도 더 이상 존재하지 않고 자아를 잃어버린 인간은 어디로 갈지 모르고 사방을 헤맨다. 무용가는 무대를 돌아다니며 자신의 존재가치를 찾지 못한 인간이 방황하고 있는 모습을 표현하고 있다. part4의 영상이 말하고자 하는 것은 인간의 내면이 완전히 분열하는 모습으로 분산하는 도형의 모습으로 표현하고 있다. 영상은 끊임없이 원래 형태로 돌아가려고 하며, 이러한 영상을 통해 자신의 상황이 끝나고 자신의 자리로 되돌아가고 싶은 인간의 마음을 표현하였다.



[그림-28] part4의 퍼포먼스



[그림-29] part4의 영상

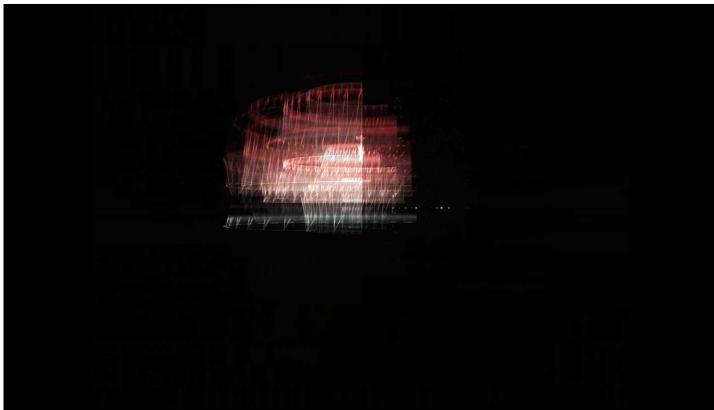
⑤ Part5의 영상 효과와 퍼포먼스

part5는 인간의 내면에서 생성과 소멸을 반복하며 인간이 느끼는 절망에 대하여 이야기하고 있다. bass guitar의 일정하게 반복되는 멜로디의 연주는 인간에게 반복적으로 가해지는 현실의 고통을 의미하고 있다. 무용수는 반복되는 고통을 멈추었다 움직이는 동작으로 표현하고 있으며, 좌절하고 쓰러지는 동작으로 고통 이외에 아무것도 남지 않은 인간의 모습을 표현한다.

이렇게 마무리 되고 있으나 이 작품의 결말은 절망을 이야기 하는 것이 아니다. 이 작품이 이야기하는 것은 자신의 존재 가치와 나아갈 방향에 대한 질문이다. 절망 끝에선 인간의 모습을 보면서 자신은 어떤 선택을 할 것인가에 대해 관객에게 질문하고 있다. 삶을 다시 돌아보면서 절망 후에 찾아올 기회가 있음을 관객에게 전달하고 싶었다.



[그림-30] part5의 퍼포먼스



[그림-31] part5의 영상

2) 조명효과

작품에서의 조명효과는 수조에 집중되어 나타난다. 소리가 들리는 것에 그치지 않고 소리를 시각화하고 있으며, 관객과 소통하는 하나의 소재로서 색상을 통해 무용가가 느끼는 감정이나 내적 진실을 관객과 소통하기 위한 통로로서 작용한다. 예술작품이나 문

학작품에서 말하는 인간의 내면을 의미하는 비유적 표현처럼 인간의 고민에도 색깔이 있다면 무슨 색깔까 하는 생각에서 출발한 조명효과를 사용하였다. 작품에서 인간의 내면을 들여다보는 창으로의 역할을 담당하고 있다. 관객은 빛으로 색상이 변화하는 수조를 공연자와 사이에 두고 인간의 마음의 변화를 볼 수 있는 기회를 가지게 된다. 조명효과로 관객에게 전달하고자 하는 것은 시간에 흐름에 따라 바뀌는 인간의 마음의 흔들림과 변화이다.

2. 작품에 적용된 음향 효과

작품에서 수조의 역할은 두 가지로 분류 할 수 있다. 한 가지는 인간의 마음을 투영한 그릇이고, 다른 한 가지는 무용수의 행동을 음악적인 상호 작용이 일어날 수 있도록 한 소리의 표현도구이다.

수조안에서 일어나는 모든 파장으로부터 의미가 부여된 음들이 생성된다. 이렇게 생성된 음으로 말하고자하는 음악적 요소로서의 사용은 인간의 생각을 표현하기 위한 도구이다. 작품 전반에 걸쳐 나타나는 음들의 나열은 생각의 시작과 그 생각이 발전되어가는 모습을 들을 수 있게 하기위한 요소로 사용하였다.

작품에서 사용되는 소리는 일정한 배음열¹⁹⁾을 가지고 있다. 곡에서 사용한 베이스 음은 주요음인 ‘라’(A)와 ‘미’(E)를 기준으로 하여 생성이 되도록 하였다. 이유는 베이스 기타의 근음이기도 하면서 베이스의 연주의 한 기법인 slap²⁰⁾을 효과적으로 사용하기 위함이다. 베이스 기타의 ‘라’음과 ‘미’음은 개방현²¹⁾에서 연주되는

19) 임의의 음의 배음을 나열한 것

20) 베이스의 현을 엄지손가락으로 때리는 연주 기법으로 베이스 기타의 현과 플렛의 충돌하는 효과를 사용한 기법이다.

음으로 slap주법의 연주효과가 크게 나타낼 수 있기 때문이다. 각 part 에서 사용되는 음향 효과는 [표-3]과 같다.

[표-3] part별 적용된 음향 효과

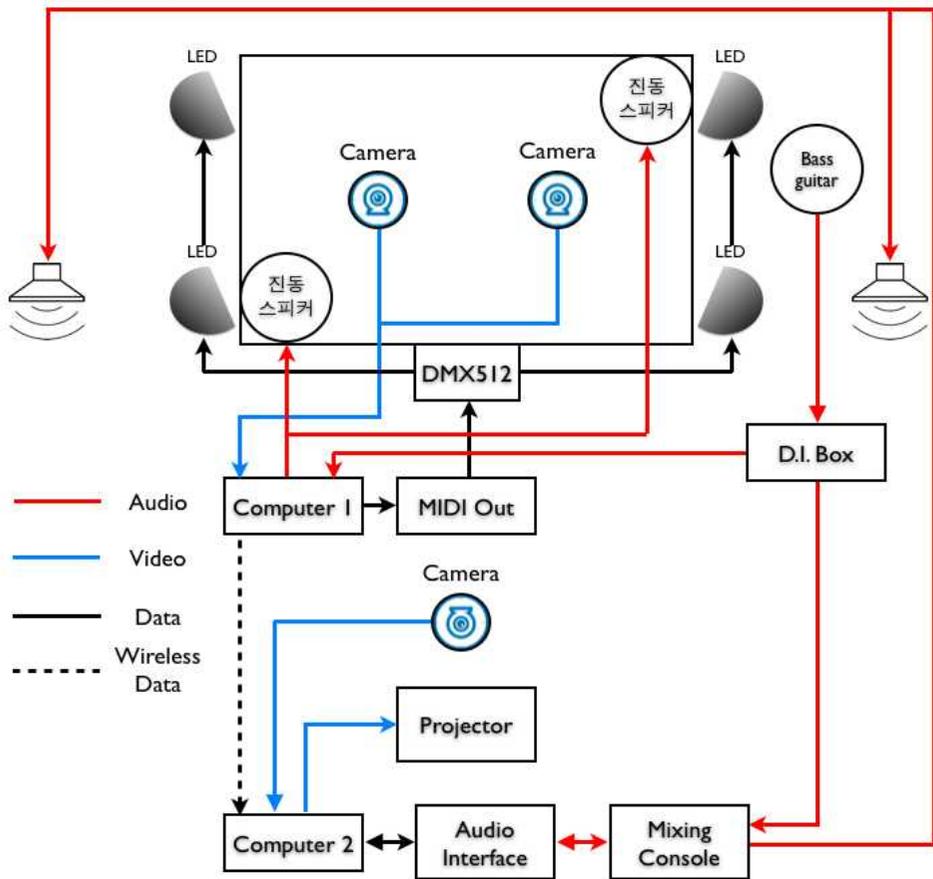
	part1	part2	part3	part4	part5
의미	일 상 의 고민과 대답	현 실 과 의 충 돌	갈 등 과 고 통	분 열 하 는 자 아	끝나지 않는 고 민
사용 효과	additive	additive granular	additive granular	additive granular	additive
발 생 요 소	진동스피커 bass guitar	무용수	무용수	진동스피커 bass guitar	진동 스피커 bass guitar

3. 작품의 신호 흐름

작품의 신호는 2대의 컴퓨터를 기준으로 구성되었으며, 2대의 컴퓨터에 연결된 3대의 카메라의 입력 신호의 딜레이를 최소화하기 위하여 최단거리로 구성되었다. 컴퓨터 1은 무대 앞쪽에 설치하고 컴퓨터 2는 컨트롤 룸에 설치하였고 두 컴퓨터 사이의 데이터 통신은 무선 랜을 이용한 OSC²²⁾를 이용하였다.

21) 현에서 손을 모두 땀 상태를 말한다.

22) CNMAT에서 개발한 Open Sound Control의 약자로 멀티미디어 장치 간의 네트워크 통신을 위한 규격이다.



[그림-32] 신호의 흐름도

V. 결론 및 문제점

멀티미디어 콘텐츠가 발전을 하면서 적외선 카메라나 디지털 타이저 같은 디지털 장비들이 많은 작품에서 사용되고 있다. 또한 각각의 장비들을 작품에서 여러 가지 형태로 융합하려는 노력과 시도들이 있다.

본 작품을 통하여 시도한 물과 디지털 장비들을 이용한 작품을 제작 하고자 하였으며, 특히 물의 파장만을 사용하지 않고 물의 요소와 영상, 음악, 무용 등 인터랙티브한 요소간의 결합을 유도함으로써 새로운 형태의 멀티미디어 음악 작품을 제시하고자 하였다.

연구를 진행하면서 카메라를 이용한 모션트래킹과 HSflow기술을 이용하여 물의 움직임을 감지하는 기술 연구해보았다. 이 방법은 정지했다 움직이는 물체의 움직임을 거리와 속도를 파악하는 것에는 적당하나 물과 같이 연속적으로 움직이는 물체의 이동을 파악하기가 어렵고, 물의 성질 중 운동량, 높이, 빠르기를 정확하게 산출하기 힘들다는 점이다. 따라서 물이나 바람과 같은 액체나 공기의 흐름과 같은 형태의 움직임을 가진 소재의 운동량을 산출하기 위해서는 보완이 필요하다.

다른 문제점은 카메라를 이용한 모션트래킹은 빛에 매우 민감하다는 점이다. 카메라를 사용한 모션트래킹의 경우 빛이 없다면 물의 움직임을 감지할 수 없다는 단점이 있어 조명이 어둡거나 너무 밝을 경우에도 물의 움직임을 감지하는데 문제가 생길 수 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 카메라와 함께 다른 센서와의 조합을 고려하여 움직임을 감지하기 위한 방법을 다양화해야 할 필요가 있다.

Keyword (검색어) : 컴퓨터음악(computer music), Water Wave,
트래킹(tracking), Max./MSP, Jitter, 진동 우퍼 스피커

E-mail : dongmin2002@hotmail.com

참고 문헌

Jeff Pressing "Synthesizer Performance and Real-Time Techniques"

Charles L. Mader, "Numerical modeling of water waves" 2004

Dixon, Steve "Digital Performance" (The MIT Press, 2007)

성예진 "첼로연주를 이용한 인터랙티브 멀티미디어 음악 제작 연구"

<http://www.wikipedia.org/>

<http://www.sakaiso.com/>

<http://www.cycling74.com/>

<http://www.RhythmicLight.com>

<http://www.google.com>

<http://www.lightingart.co.kr/>

Abstract

Multimedia music research using water wave tracking (Focus on multimedia music <Water Wave>)

Dong-Min Shin

This article describes methods of expressing movements of waves based on analysis of water waves and applying it to actual works.

The size and density of water waves is detected by using a camera and the results were charted in HSflow so that they can be used as elements for musical expression by interconnecting the size and number of waves and time differences of vibration with accent of syllable, number of harmonics and length of note.

In order to understand movements of water, this study applied HSflow, which is a method of Optical flow, and the captured movements changed into sounds through Max/MSP/jitter. For the materials to make movement in water, dancers and vibration speakers are used and for the method to receive vibration camera motion tracking. The image is produced to be responsive to the music and realizes visualization responding to the music.

부록 1 : 첨부 DVD의 내용

1. Water Wave : 2009년 11월 25일 이해랑 예술극장
SIMM 2009_Performance <Water Wave>의 공연실황
2. Max/MSP/Jitter Patches
<Water Wave> 공연을 위한 Max/MSP/Jitter 패치들
3. Tape Music : <Water Wave> 공연을 위한 테이프 음악