



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

석사학위논문

적외선 멀티 블롭 트래킹을 이용한  
인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구  
(멀티미디어 음악작품 <Undergoing>을 중심으로)

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원  
멀티미디어학과 컴퓨터음악전공

김 지 혜

2014

석사학위논문

적외선 멀티 블록 트래킹을 이용한  
인터랙티브 멀티미디어 작품 제작 연구  
(멀티미디어 음악작품 <Undergoing>을 중심으로)

김지혜

지도교수 김준

이 논문을 석사학위논문으로 제출함.

2014년 1월 일

김지혜의 음악석사학위(컴퓨터음악전공) 논문을 인준함.

2014년 1월 일

위원장: 정진현

위원: 엄기현 (인)

위원: 김준



동국대학교 영상대학원

## 목 차

I. 연구의 배경과 목적 .....	1
1. 연구 배경 및 목적 .....	1
2. 선행 연구 .....	2
II. 적용 기술 연구 .....	5
1. 트래킹 연구 .....	5
1) 적외선 트래킹 .....	5
2) 멀티 블롭 트래킹 .....	6
2. 적외선 디바이스 제작 .....	10
1) 적외선 웹캠 제작 .....	10
2) 적외선 LED 조명과 반사체 제작 .....	14
III. 작품의 기술 적용 .....	18
1. 작품의 주제와 구성 .....	18
2. 시스템과 무대 구성 .....	19
3. 파트별 기술 적용 .....	23
1) Intro .....	23
2) Part 1 .....	24
3) Part 2 .....	26
4) Part 3 .....	29
5) Part 4 .....	31

6) Part 5 .....	34
7) Ending .....	37
 IV. 연구 성과 및 문제점 .....	 39
 참고문헌 .....	 41
Abstract .....	44
 부록 1 : Max/MSP 패치 .....	 46
부록 2 : Quartz Composer 패치 .....	51
부록 3 : 첨부 DVD 설명 .....	55

## 표 목 차

[표-1] 네거티브 필름의 과장별 빛 투과도 .....	15
[표-2] 작품 구성과 타임라인 .....	19

## 그 립 목 차

[그림-1] AdrienM의 Wii Remote와 적외선 펜을 사용한 eMotion 테스트 .....	3
[그림-2] 멀티 블롭 트래킹을 이용한 멀티 터치 MIDI 컨트롤러 .....	4
[그림-3] 가시광선 스펙트럼과 적외선 과장 범위 .....	6
[그림-4] 블롭 트래킹 기본 패치 .....	7
[그림-5] 인식된 순서에 따른 멀티 블롭 트래킹 패치 .....	8
[그림-6] 크기 순서에 따른 멀티 블롭 트래킹 패치 .....	9
[그림-7] 일반 웹캠의 구조 .....	10
[그림-8] 적외선 차단 필터 제거 전과 후 촬영 비교 .....	11
[그림-9] 텅스텐 전구에서 방출되는 빛의 과장 별 분포도 및 플로피의 과장 별 투과도 .....	12
[그림-10] 적외선 LED SFH485의 과장 분포도와 현상된 네거티브 필름의 과장 별 투과도 .....	13
[그림-11] 네거티브 필름 한 장, 두 장, 세 장 사용했을 때의 화면 비교 .....	14
[그림-12] Sharp GL528 적외선 LED .....	16
[그림-13] 적외선 LED 조명의 회로도와 완성된 기관 .....	16
[그림-14] 제작된 적외선 반사체 핸드 위머 .....	17
[그림-15] 적외선 반사체 핸드 위머를 착용 중인 퍼포머 .....	17
[그림-16] 시스템 구성도 .....	20

[그림-17] Max의 OSC 송신 패치와 Quartz Composer의 OSC 수신 패치 .....	21
[그림-18] 적외선 조명과 적외선 웹캠의 위치 .....	22
[그림-19] 무대 구성도 .....	23
[그림-20] Intro의 실연 장면 .....	24
[그림-21] Part 1의 Quartz Composer 패치 .....	25
[그림-22] 선형 파티클과 blur 효과가 들어간 선형 파티클 .....	25
[그림-23] Part 1의 실연 장면 .....	26
[그림-24] 밴드패스필터를 거치는 노이즈 사운드 패치 .....	27
[그림-25] Part 2의 Quartz Composer 패치 .....	28
[그림-26] Part 2의 영상 .....	28
[그림-27] Part 2의 실연 장면 .....	29
[그림-28] Part 3 피드백 영상의 Jitter 패치 .....	30
[그림-29] Part 3의 실연의 피드백 영상 .....	30
[그림-30] Part 4의 사운드 패치 .....	32
[그림-31] Part 4의 Quartz Composer 패치 .....	33
[그림-32] Part 4의 영상의 형태 변화와 색상 변화 .....	33
[그림-33] Part 4의 실연 장면 .....	34
[그림-34] Part 5의 그래놀러 합성 패치 .....	35
[그림-35] Part 5의 Quartz Composer 패치 .....	35
[그림-36] Part 5의 영상 .....	36
[그림-37] Part 5의 실연 장면 .....	36
[그림-38] Ending의 실연 장면 .....	37

# I. 연구의 배경 및 목적

## 1. 연구 배경 및 목적

현대 기술은 단순히 그것을 사용한 기기와 그 기기를 사용하는 인간의 일상적 삶에 그치지 않고 문화와 예술 분야까지 영향을 미치고 있으며 이는 예술과 기술의 결합을 촉진시키고 있다. 이러한 현상은 이전에 없던 새로운 표현을 가능하게 하여 새로운 형식의 작품을 창조할 수 있는 환경을 만들고 있으며, 특히 작품과 기술의 긴밀한 상호작용을 중요하게 만들었다. 특히, 퍼포머(performer)가 존재하는 작품은 단순히 퍼포머가 음악 또는 영상에 맞춰 춤을 추고 연기를 하는 것이 아닌 퍼포머의 움직임과 음악, 영상, 조명이 서로 유기적으로 연동되어 상호작용함으로써 완성된다.

이러한 퍼포머의 움직임을 트래킹(tracking)하기 위한 대표적인 방법은 특정 색상으로 위치를 잡아내는 컬러 트래킹(color tracking)과 적외선(infrared)<sup>1)</sup>으로 위치를 잡아내는 적외선 트래킹(infrared tracking)이다. 컬러 트래킹의 경우 조명과 각도에 따라 밝기와 RGB<sup>2)</sup> 값이 변하면 대상을 쉽게 놓치는 단점이 있다. 반면 적외선 트래킹은 가시광선<sup>3)</sup> 범위 밖에 있는 적외선을 추적하기 때문에 컬러 트래킹의 이러한 단점을 보완할 수 있다. 그러나 카메라를 이용한 적외선 트래킹은 카메라에 잡히는 여러 개의 적외선 블롭(blob)을 각각 서로 다른 것으로 인식하게 하는 것이 쉽지 않다. 이러한 이유에서 동시에 두 개 이상의 적외선을 트래킹하는 것이

---

1) 가시광선 중 적색(약 700nm)의 빛보다 파장이 긴 전자파로, 800nm에서 1,000  $\mu\text{m}$  정도의 파장범위의 전자파를 가리킨다.

2) RGB(적·녹·청)에 의해 색을 정의하는 색 모델, 또는 색 표시 방식

3) 눈으로 지각되는 파장 범위를 가진 빛. 물리적인 빛은 눈에 색채로서 지각되는 범위의 파장 한계 내에 있는 스펙트럼이며, 대략 380~780nm(nanometer) 범위의 파장을 가진 전자파이다.



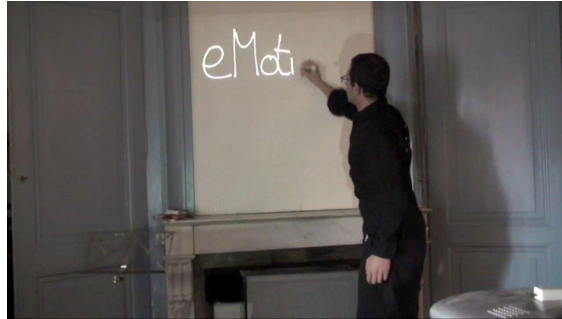
쉽지 않으며 그 결과 산출된 트래킹 값에 의한 컨트롤이 제한된다. 이를 극복하기 위해 카메라로 두 개 이상의 적외선 블롭을 트래킹하는 방법을 연구하고자 했다.

## 2. 선행 연구

블롭 트래킹은 비디오 트래킹(video tracking)의 한 방법이다. 비디오 트래킹은 순차적으로 비디오 프레임(frame)<sup>4)</sup>을 분석하고 프레임 간에 목표가 되는 대상의 움직임을 출력하는 알고리즘(algorithm)을 이용한다. 블롭 트래킹은 밝기나 컬러의 속성을 중심으로 이 값이 같거나 유사한 픽셀의 집합을 추적하고 그 움직임을 추출해낸다. 이러한 블롭 트래킹은 신체의 윤곽이 역동적으로 변화하는 인간의 움직임을 식별하는데 유용하기 때문에 카메라를 이용한 모션 트래킹(motion tracking)<sup>5)</sup>에 많이 사용된다.

[그림-1]은 AdrienM의 Wii Remote<sup>6)</sup>와 적외선 펜을 사용한 eMotion<sup>7)</sup> 테스트 장면이다.

- 
- 4) 영상을 구성하는 정지된 이미지 중 한 장. 잔상효과에 의해 프레임이 합쳐져 움직이는 것처럼 보이게 된다.
  - 5) 대상의 움직임에 대한 데이터를 추출하고 컴퓨터가 사용할 수 있는 형태의 정보로 기록하여 분석 및 응용하는 기술
  - 6) 닌텐도의 Wii 게임기를 위한 게임 컨트롤러이다. Wii 리모컨의 주된 기능은 모션 감지 기능으로 사용자가 화면 위의 물건과 상호 작용하며 물건을 이용할 수 있게 하며 광학 센서와 가속도계를 사용하여 포인트 할 수 있게 되어 있다.
  - 7) 개체와 정보 간의 상호 작용을 나타내기 위해 AdrienM에 의해 개발된 응용 프로그램



[그림-1] AdrienM의 Wii Remote와 적외선  
펜을 사용한 eMotion 테스트

AdrienM은 끝에 적외선 LED(Light Emitting Diode)<sup>8)</sup>가 달린 펜을 들고 있다. 펜의 움직임에 따라 스크린에는 ‘eMotion’이라는 문구가 나타난다. 스크린 뒤에는 Wii Remote가 놓여 있다. Wii Remote의 적외선 카메라는 적외선 펜의 LED에서 방출되는 적외선을 블롭으로 트래킹하여 중심 좌표를 추출한다. 이 데이터는 eMotion으로 송신되고 eMotion은 수신된 데이터를 바탕으로 해당 좌표에 이미지를 생성한다.

이러한 블롭 트래킹은 여러 개의 블롭을 인식하고 트래킹하는 것이 가능하다. [그림-2]는 Fashionbuddha에서 제작한 테이블-탑 디스플레이 (tabletop display)<sup>9)</sup> 형태의 MIDI<sup>10)</sup> 컨트롤러이다. 이 장비는 멀티 블롭 트래킹을 이용한 멀티 터치(multi-touch)<sup>11)</sup>가 가능하다.

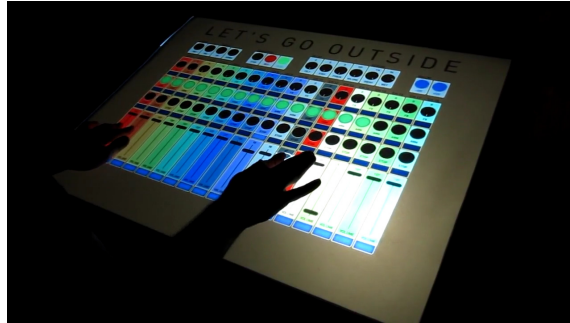
---

8) 다이오드(diode)의 한 종류로 전류를 흘리면 빛을 발한다.

9) 디스플레이 화면에 손을 움직여서 시스템을 작동시키는 디바이스 및 화면 기술

10) Musical Instrument Digital Interface, 신시사이저, 리듬 머신, 시퀀서, 컴퓨터 등의 연주 정보를 상호 전달하기 위해 정해진 데이터 전송 규격

11) 손 움직임을 동시에 여러 개 인식하는 기술



[그림-2] 멀티 블롭 트래킹을 이용한 멀티 터치 MIDI 컨트롤러

[그림-2]의 멀티 터치 MIDI 컨트롤러는 아크릴 스크린, 프로젝터, 780nm의 파장을 지닌 적외선 LED, 적외선 카메라로 개조한 PS3 카메라<sup>12)</sup>로 구성된다. 아크릴 스크린에 닿은 손가락은 적외선 LED에서 방출된 적외선을 반사한다. 반사된 적외선은 PS3 카메라에 촬영된다. 이 컨트롤러는 제작자가 개발한 C++<sup>13)</sup>와 openFrameworks<sup>14)</sup>를 기반으로 하는 Radial이란 시스템을 사용하고 있다. 이 시스템을 사용하여 PS3 카메라로 촬영된 영상에서 적외선 블롭을 추출하여 트래킹하고, 이 데이터가 동시에 스크린의 화면을 제어한다.

본 연구에서는 적외선 멀티 블롭으로 퍼포머의 움직임을 트래킹하여 퍼포머의 움직임에 따라 사운드와 영상이 인터랙티브하게 제어되는 작품을 제작하고자 하였다.

12) PlayStation3를 위해 개발된 웹캠과 비슷한 디지털 카메라 장치

13) C 언어의 확장판으로 만들어진 객체지향형 프로그래밍 언어이다. 대규모 응용프로그램을 만드는 데 최적의 프로그래밍 언어로 간주되고 있다.

14) C++를 기반으로 한 오픈 소스 라이브러리

## II. 적용 기술 연구

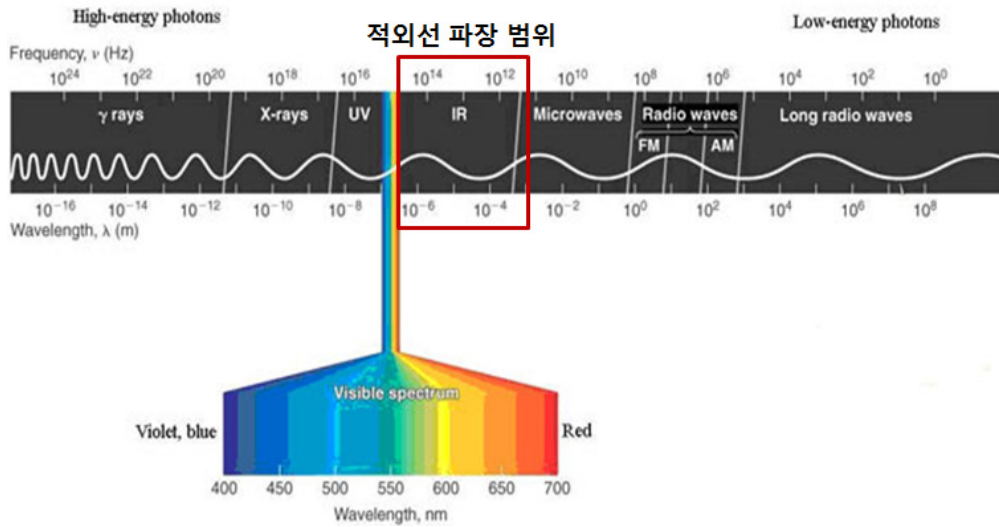
### 1. 트래킹 연구

#### 1) 적외선 트래킹

카메라를 이용해 피포머의 움직임을 트래킹하는 대표적인 방법은 특정 색깔을 추적하는 컬러 트래킹과 적외선을 추적하는 적외선 트래킹이 있다. 컬러 트래킹은 특정 색깔의 RGB 값을 설정하여 촬영된 이미지 안에 동일한 RGB 값을 지닌 픽셀을 추적하고 실시간으로 이 픽셀의 위치 정보를 추출해 내는 방법이다. 컬러 트래킹은 특정 컬러만 설정하면 되기 때문에 비교적 간편한 트래킹 방법에 속한다. 그러나 컬러는 조명에 영향을 받는다는 단점이 있다. 조명의 강도나 색상이 변하면 카메라에 입력되는 대상의 RGB 값은 끊임없이 변하고, 동일한 조명 아래서도 대상의 각도나 위치에 따라 카메라에 입력되는 RGB 값이 쉽게 변해 트래킹에 문제가 생기며 화면 안에 유사한 색상의 대상이 있을 경우 정확한 트래킹이 어렵다. 따라서 작품 진행에 따라 조명이 바뀌고 피포머가 설 새 없이 움직이는 작품에서는 적합하지 않다.

적외선 트래킹은 인간의 눈에 보이지 않는 적외선으로 대상을 인식하고 추적하는 방법이다. [그림-3]은 빛의 파장범위를 나타낸다. 인간의 눈으로 볼 수 있는 가시광선은 400~700nm의 파장을 가진다. 적외선은 가시광선의 적색(약 700nm)보다 파장이 긴 전자파로 800nm에서 1,000 $\mu$ m 정도의 파장범위를 가지고 있다. 보통 2.5 $\mu$ m 이하의 전자파를 근적외선(NIR), 2.5~25 $\mu$ m의 전자파를 중간적외선(MIR), 25 $\mu$ m 이상의 전자파를 원적외선이라고 한다.

대부분의 적외선 LED는 주로 850~950nm의 파장을 지녔기에 본 연구에서는 근적외선으로 트래킹하는 방식을 사용하였다.



[그림-3] 가시광선 스펙트럼과 적외선 파장 범위

적외선은 가시광선의 범위에 속하지 않아 사람의 눈에 보이지 않는다. 따라서 퍼포머가 적외선 LED 조명이나 적외선 반사체를 부착하고 퍼포먼스를 해도 관객은 적외선을 인지할 수 없기에 퍼포머의 동작과 작품에 집중할 수 있다.

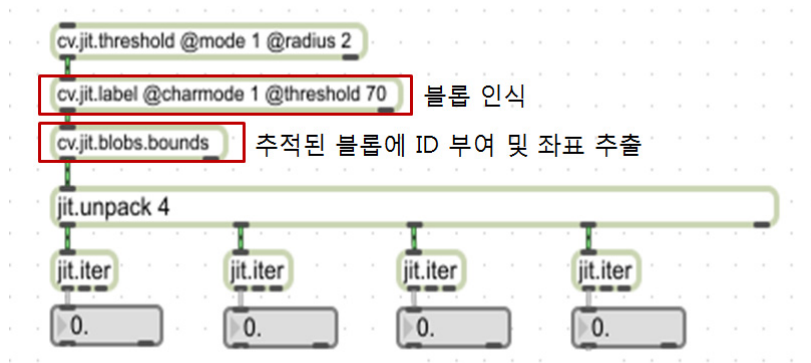
## 2) 멀티 블롭 트래킹

블롭 디텍션은 인접한 픽셀들이 서로 연결되어 있는지 아닌지를 결정하는 알고리즘이다. 이는 한 화면 안에서 개별 대상을 인식하거나 대상의 수를 계산하는데 유용하다. 하나의 이미지에서 블롭을 인식하는 것이 아니라 연속적인 이미지에서 실시간으로 블롭의 위치를 추적하는 것이 블롭 트래킹이다.

한 장면에 오직 하나의 블롭이 있다면, 블롭의 좌표는 항상 대상의 중심에 위치한다. 그러나 두 개 이상의 블롭이 존재할 경우, 좌표는 모든 블롭을 하나로 인식하며 전체 블롭들의 중앙에 위치한다. 이러한 문제를 해결

하기 위해서는 알고리즘에 각각의 블롭을 독립체로 구분하기 위한 라벨링 (labeling)이 필요하다. 이 알고리즘은 각각의 블롭을 숫자로 라벨링해 주는데, 새로운 블롭이 발견될 때마다 다른 숫자를 부여하며 중심 좌표는 각각의 블롭에 개별적으로 존재한다.

다음은 블롭 트래킹을 위한 Max<sup>15)</sup>의 기본적인 패치(patch)이다. 블롭 트래킹을 위해 OpenCV<sup>16)</sup> 라이브러리에 기반한 External Object<sup>17)</sup>인 cv.jit<sup>18)</sup>을 사용한다.



[그림-4] 블롭 트래킹 기본 패치

[그림-4]의 패치에서 블롭 트래킹을 위한 핵심이 되는 오브젝트(object)는 cv.jit.label과 cv.jit.blobs.bounds이다. cv.jit.label은 흑백 이미지에서 블롭을 인식하고, cv.jit.blobs.bounds는 추적된 블롭의 순서대로 아이디(ID)를 부여하고 좌표값을 추출한다.

[그림-5]는 블롭이 이미지 안으로 들어온 순서에 따라 블롭을 라벨링하기 위한 패치이다. 블롭 트래킹 기본 패치의 cv.jit.blobs.bounds는

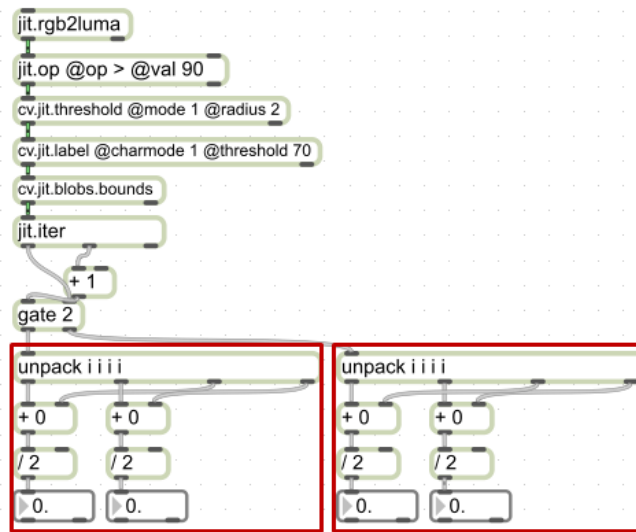
15) Cycling '74에서 개발한 음악과 멀티미디어를 위한 그래픽 기반의 프로그래밍 언어

16) Open Computer Vision, 오픈 소스 컴퓨터 비전 C 라이브러리로 Intel에서 개발한 실시간 이미지 프로세싱에 중점을 둔 라이브러리이다.

17) 응용 프로그램과 상호작용 관계에 있지만 응용 프로그램 제작사가 아닌 개인, 단체에서 만든 오브젝트

18) Jitter를 위한 컴퓨터 비전 라이브러리

블롭의 순서대로 블롭에 개별적인 아이디를 부여하고 각각의 좌푯값을 산출해 준다. 이러한 블롭의 좌표를 아이디별로 구분하기 위해 추적된 데이터가 `cv.jit.blobs.bounds`에서 `jit.iter`로 보내지고 `jit.iter`의 첫 번째 outlet에서 좌측상단(x1, y1), 우측하단(x2, y2) 네 개의 좌표 리스트가, 두 번째 outlet에선 각 블롭의 아이디가 출력된다. 이를 `gate` 오브젝트를 사용하여 각 아이디에 상응하는 좌푯값을 나눠주고 좌표의 평균값을 계산하여 각 블롭의 중심 좌표를 구한다.



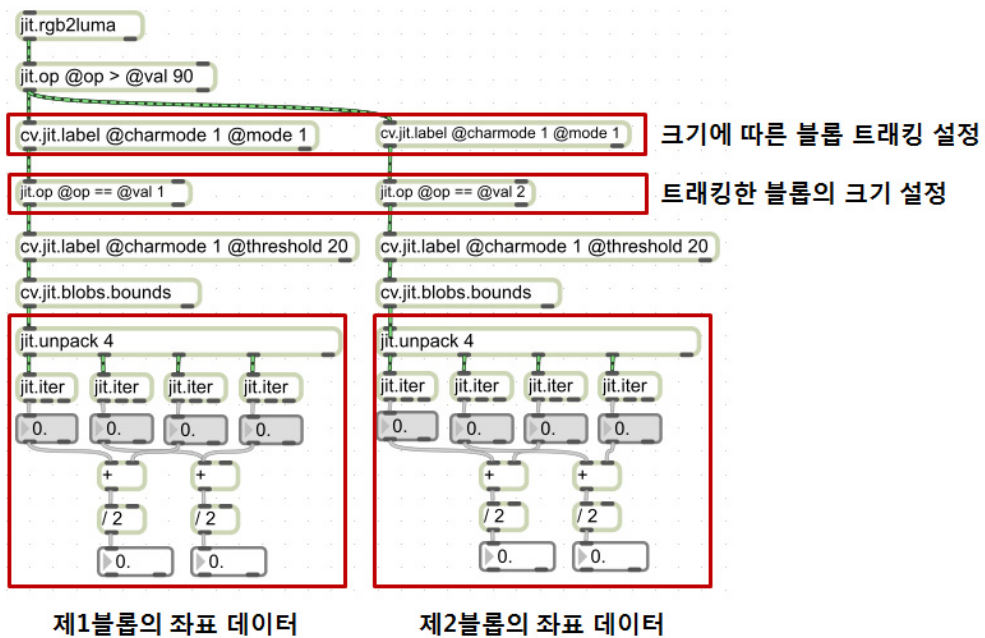
제1블롭의 좌표 데이터

제2블롭의 좌표 데이터

[그림-5] 인식된 순서에 따른 멀티 블롭 트래킹 패치

다음은 블롭을 크기 순서대로 라벨링하는 방법으로 이를 위해선 [그림-6]의 패치가 사용된다. `cv.jit.label` 오브젝트의 `mode`라는 attribute<sup>19)</sup>의 값이 0이면 이미지의 왼쪽 상단에서부터 차례대로 255개의 블롭을 잡는다. 그러나 `mode`가 1인 경우 가장 큰 블롭의 `matrix value`를 1로, 다음 크기의 블롭의 `matrix value`를 2로 설정하는 방식으로 크기의 순서에 따라 255개의 블롭을 추적한다.

19) Max 오브젝트의 속성



[그림-6] 크기 순서에 따른 멀티 블롭 트래킹 패치

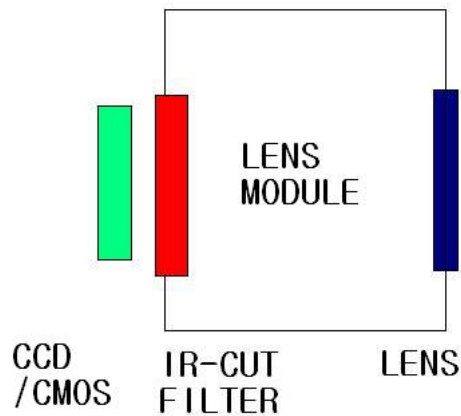
블롭의 크기에 따라 블롭을 라벨링하고 트래킹 할 때, 블롭의 크기가 일정하게 유지된다면 블롭의 아이디가 바뀌는 경우 없이 안정적으로 트래킹 하는 것이 가능하지만 이는 퍼포머의 움직임을 크게 제한하게 된다. 또한 블롭으로 잡는 오브젝트의 각도나 카메라로부터의 거리에 따라 블롭의 크기가 달라지면 이로 인해 아이디가 바뀔 수 있다. 따라서 본 작품 제작에는 화면에 블롭이 들어오는 순서대로 아이디를 부여하고 트래킹하는 전자의 방법을 택하였다.



## 2. 적외선 디바이스 제작

### 1) 적외선 웹캠 제작

[그림-7]은 일반 웹캠의 구조이다. 웹캠은 CCD<sup>20)</sup> 혹은 CMOS 이미지 센서<sup>21)</sup>와 렌즈모듈로 구성되는데 렌즈모듈은 빛을 모아주는 렌즈와 적외선 차단 필터로 이루어져 있으며 렌즈모듈을 통과한 빛은 CCD/CMOS에 의해 전기 신호로 변환된다.



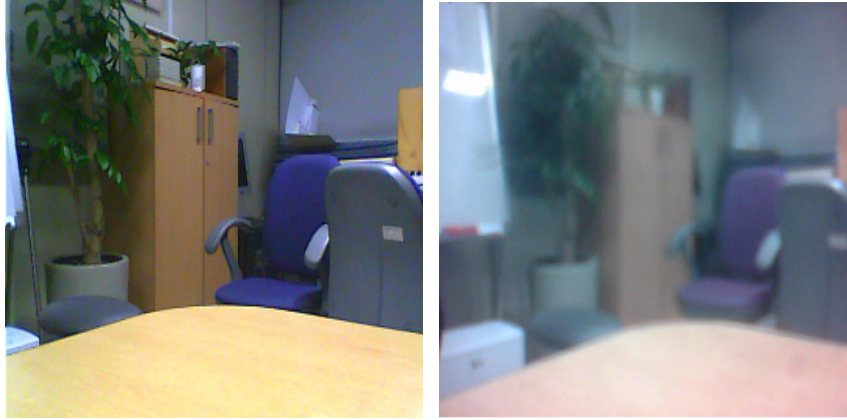
[그림-7] 일반 웹캠의 구조

적외선 차단 필터는 렌즈를 통해 들어온 빛 중 가시광선보다 파장이 긴 적외선을 차단하여 노이즈 발생이 억제된 선명한 화질을 얻을 수 있게 해주는데 이 적외선 필터를 제거하고 그 자리에 가시광선 차단 필터를 붙이면 가시광선을 걸러내고 적외선을 촬영할 수 있게 된다. [그림-8]는 적외

20) charge-coupled device, 메모리 소자의 일종. 다수의 미세한 콘덴서와 스위치의 연결로 이루어져 전하를 축적하여 차례로 전송하는 기능을 갖고 있다. 주로 비디오카메라 영상판에 이용된다.

21) Complementary Metal-Oxide Semiconductor image sensor, 상보성 금속 산화물 반도체(CMOS) 구조를 가진 저소비 전력형의 촬상 소자

선 차단 필터가 있는 경우와 제거한 후의 촬영 화면을 비교한 것이다. 색상은 물론 선명함에 있어 명확한 차이를 보인다.



[그림-8] 적외선 차단 필터 제거 전(좌)과 후(우) 촬영 비교

손쉽게 구할 수 있으며 가공이 쉬운 가시광선 차단 필터로는 플로피 (floppy)<sup>22)</sup>, 네거티브 필름(negative film)<sup>23)</sup> 등이 있다.

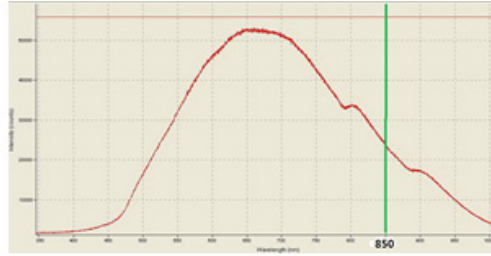
[그림-9]는 텅스텐 전구에서 방출되는 빛의 파장 별 분포도와 플로피 디스크의 파장별 투과도이다.<sup>24)</sup> (a)텅스텐 조명은 650~800nm 사이의 가시광선을 포함한 850nm 이상의 적외선을 방출하고 있음을 알 수 있다.

---

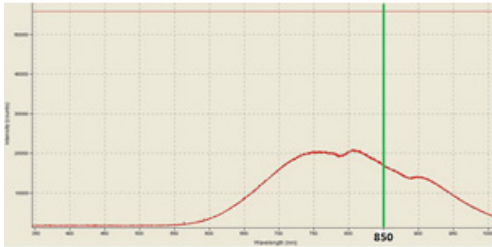
22) 플로피 디스켓(floppy diskette)을 이루는 가요성의 플라스틱 원판에 자기체를 코팅한 기록 매체

23) 촬영에 의해 카메라 속의 필름에 옮겨진 피사체의 상(像)을 현상했을 때 그 상이 본래의 피사체와 반대의 형태로 나타난 것. 간단히 ‘네거’ 또는 ‘네거 필름’이라고도 한다.

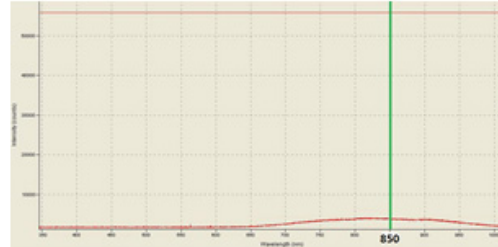
24) <http://nuigroup.com/forums/viewthread/6458>



(a) 텅스텐 전구에서 방출되는 빛의 파장 별 분포도



(b) 플로피 한 장



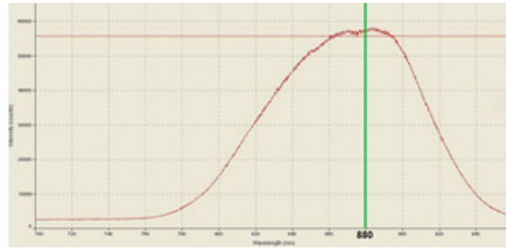
(c) 플로피 두 장

[그림-9] 텅스텐 전구에서 방출되는 빛의 파장 별 분포도(a) 및 플로피의 파장 별 투과도(b), (c)

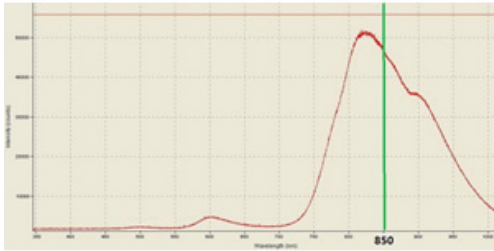
그래프(b)는 플로피 디스크 한 장을 사용했을 때 각 파장의 투과율을 나타내고 있다. 850nm이하 대역의 파장은 효과적으로 차단하고 있으며 850nm이상의 적외선 대역의 파장은 대부분 투과하고 있음을 알 수 있다. 그래프(c)는 플로피 디스크 2장을 사용했을 경우로 전 대역의 파장을 차단하여 빛의 투과율이 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다.

[그림-10]은 현상된 네거티브 필름을 가시광선 차단 필터로 사용했을 때의 가시광선 차단율과 적외선 투과율이다. 레퍼런스 조명으로는 OSRAM의 적외선 LED인 SFH485를 사용하였으며 그래프(a)에서 보이다시피 800~900nm 사이의 파장을 강하게 방출한다.<sup>25)</sup>

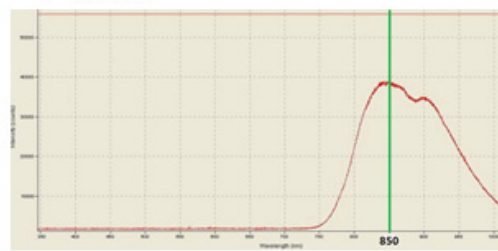
25) <http://nuigroup.com/forums/viewthread/6458>



(a)적외선 LED SFH485의 파장별 분포도



(b)네거티브 필름 한 장



(c)네거티브 필름 두 장

[그림-10] 적외선 LED SFH485의 파장 분포도(a)와 현상된 네거티브 필름의 파장 별 투과도(b), (c)

그래프(b)는 현상된 네거티브 필름을 한 장 사용했을 때의 파장 별 투과도를 보여준다. 800nm 이하 파장의 투과율이 급격하게 떨어지는 것으로 보아 800nm 이하 파장의 차단이 효과적으로 이루어지는 것을 알 수 있다. 그러나 적외선 대역 파장의 투과율은 높지만 가시광선 파장에 근접한 800nm 부근 파장에 대해서 비교적 높은 투과율을 보인다. 따라서 현상된 네거티브 필름 한 장을 사용했을 때 적외선 트래킹을 위한 가시광선 차단 필터의 역할은 다소 약하다.

그래프(c)는 두 장의 필름을 사용했을 때의 투과도를 보여주는데, 현상된 네거티브 필름을 1장 사용했을 때에 비해 파장 850nm 이하 파장의 투과율이 급감하는 것을 알 수 있다. 그러면서 적외선 범주에 속하는 850~950nm 파장에 대해서는 여전히 높은 투과율을 보인다. 이와 같이 현상된 네거티브 필름을 2장 사용하는 것이 1장을 사용했을 때보다 가시광선을

효과적으로 차단하고 있으며, 적외선 트래킹에 사용하기에 적합하다.

그러나 실제로 네거티브 필름을 한 장이나 두 장 사용할 때, 반사체에 반사된 적외선 외에도 스크린에 비친 영상이나 바닥에 비친 조명을 블롭으로 인식하는 문제가 발생하였다. 이를 억제하기 위해 필름을 한 겹 더 사용하여 총 세 장의 필름을 가시광선 차단 필터로 사용하였다. 그 결과 적외선 대역 파장이 투과되는 양은 두 장을 사용했을 때에 비해 급격히 줄었지만, 스크린과 바닥에 비친 빛을 블롭으로 인식하는 문제가 해결되어 반사체를 효과적으로 트래킹 할 수 있었다.



[그림-11] 네거티브 필름 한 장(좌), 두 장(가운데), 세 장(우) 사용했을 때의 화면 비교

## 2) 적외선 LED 조명과 반사체 제작

적외선을 이용해 퍼포머의 움직임을 트래킹하기 위해서는 퍼포머가 주변보다 현저히 강한 적외선을 방출해야 한다. 따라서 퍼포머가 신체에 적외선 조명을 지니고 있는 것이 유리하다. 그러나 이는 퍼포머의 움직임을 제약하는 단점이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 적외선 조명을 퍼포머에게 방사하고 움직임을 방해하지 않는 적외선 반사체를 퍼포머에게 부착하였다. 적외선 반사체가 주변에서 방출되는 적외선보다 더 강하게 적외선을 반사하려면 강한 적외선을 비추는 광원이 있어야 하기 때문에 적외선 LED 조명을 제작하였다.

2개의 적외선 LED 조명 기판을 제작했으며 하나의 기판 당 각 120개의 적외선 LED를 편성하여 총 240개의 적외선 LED가 사용되었다. 사용한

적외선 LED는 Sharp의 GL528로 직경 5mm의 크기이며, 940nm의 파장을 지닌다. 시중에서 판매하는 적외선 LED는 일반적으로 850nm부터 950nm까지의 파장을 가지고 있다. 파장이 850nm에 가까울수록 휘도<sup>26)</sup>는 높아지지만 가시광선의 파장에 근접해진다. 반면 파장이 길어질수록 휘도는 낮아지지만 가시광선의 파장과 멀어지기 때문에 적외선 트래킹에는 파장이 짧은 LED보다 파장이 긴 것이 적합하다. 또한 적외선 LED 파장 선택에는 사용하는 가시광선 차단 필터가 어느 대역의 파장을 투과시키고 어느 대역의 파장을 차단하는지도 중요한 기준이 된다.

[표-1]는 Kodak의 현상된 컬러 네거티브 필름의 빛의 파장별 투과율을 나타낸 표이다.<sup>27)</sup>

[표-1] 네거티브 필름의 파장별 빛 투과도

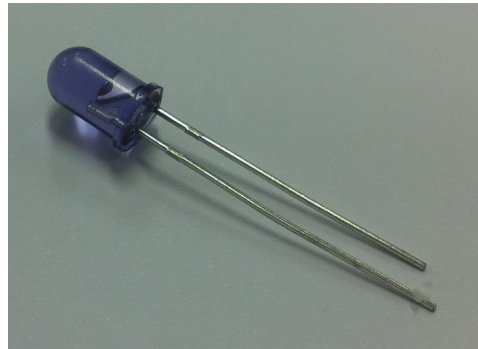
파장	투과도(%)
가시광선(<700nm)	~3
700nm	3
750nm	10
800nm	70
850nm	90
900nm	88
950nm	87
1,000nm	83
1,050nm	80
1,100nm	75

[표-1]에서 보듯이 Kodak 네거티브 필름은 파장이 700nm 미만인 가시광선 투과율은 3% 미만이며, 적외선 범위에 속하는 800~1,100nm의 파장을 높은 비율로 투과하고 있다. 특히 850nm와 900nm 파장을 각각 90%, 88%로 가장 많이 투과시키고 있음을 볼 수 있다. 따라서 적외선의 투과율이 높고 구입이 용이하며 파장이 가시광선의 범위와 멀리 떨어져 있는

26) 일정한 범위를 가진 광원(光源)의 광도(光度)를, 그 광원의 면적으로 나눈 양

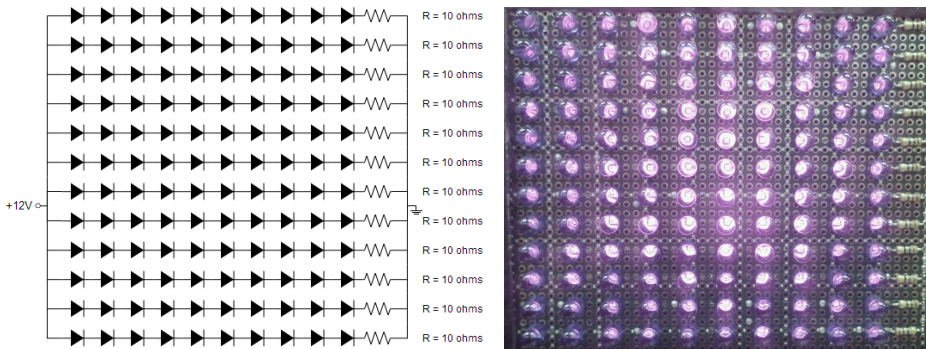
27) <http://www.northcountryradio.com/Articles/irfltr.htm>

940nm의 Sharp GL528을 선택했다. [그림-12]



[그림-12] Sharp GL528 적외선 LED

[그림-13]은 적외선 LED 조명의 회로도(좌)와 완성된 기판의 모습이다. 충분한 밝기를 위해 한 기판에 10개의 LED를 직렬로 연결하고 10Ω의 저항을 연결하였으며 이를 12개 병렬로 연결했다. 이렇게 제작한 두 개의 기판에 12V/5A의 AC어댑터로 동시에 전원을 공급했다.



[그림-13] 적외선 LED 조명의 회로도(좌)와 완성된 기판(우)

적외선 반사체는 천 재질의 고회도 재귀반사(再歸反射)<sup>28)</sup> 테이프인 3M의 Scotchlite를 사용하였다. 반사 테이프를 손목에 감으면 퍼포머가 손을 카메라 정면으로 뻗는 동작을 할 때 손목에 감긴 반사체를 가리기 때문에 적외선 블롭을 잡을 수 없게 된다. 그래서 [그림-14]처럼 적외선 반사체로

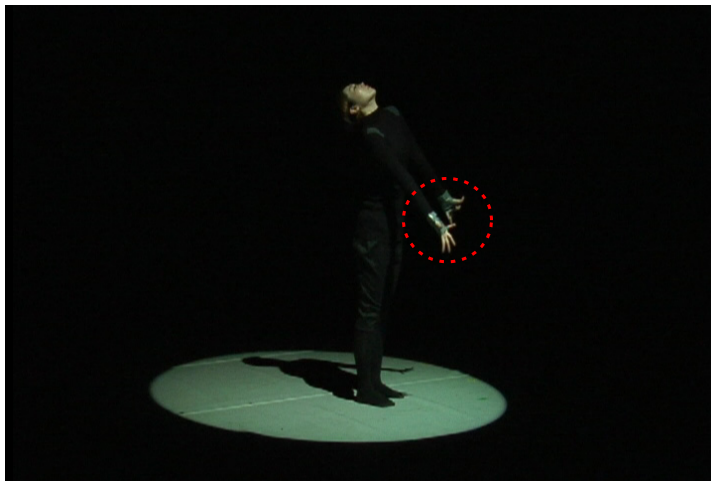
28) 입사한 광선을 광원으로 그대로 되돌려 보내는 반사

손 전체를 감싸는 형태의 핸드 워머를 제작하였다.



[그림-14] 제작된 적외선 반사체 핸드 워머

[그림-15]은 퍼포머가 적외선 반사체 핸드 워머를 착용하고 연기를 하고 있는 모습이다.



[그림-15] 적외선 반사체 핸드 워머를 착용 중인 퍼포머



### III. 작품의 기술 적용

#### 1. 작품의 주제와 구성

본 작품 <Undergoing>은 주인공의 성장과 이 과정에서 겪는 시련을 이야기 하고 있다. 누구나 큰 시련 앞에서 고통 받고 좌절하지만 시련에 맞서 견디고 겪어내면 내면적으로 성장을 하게 된다는 내용을 표현했다. 다음은 작품의 스토리라인이다.

주인공 '나'는 아무 물살도 바람도 느껴지지 않는 평온한 상태에 있다. 그러나 그러한 '나'에게 거센 폭풍이 몰려오려는 듯 시커먼 먹구름이 몰려든다. '나'는 이러한 상황에 초조함을 느끼며 눈앞에 다가온 상황을 두려워한다. 마침내 바로 '나'의 눈앞에 시련은 다가와 있고 피할 수 없게 되었다. '나'는 시련에 맞서 싸우려 하지만 생각 외로 거센 시련에 주저앉고 만다. '나'는 시련에 짓눌려 있다. 잔뜩 짓눌린 채로 시련이 지나가 주기를 바라지만, 더욱더 고통스럽게 '나'를 짓누를 뿐이다. 짓눌린 '나'는 생각하고 또 생각한다. 현 상황을 타개할 방법은 정면으로 맞서서 이겨내는 것 하나뿐이라는 생각에 다시 일어서서 시련에 맞선다. 시련에 정면으로 맞선 '나'는 괴롭지만 동시에 카타르시스를 느낀다. 시련을 이겨낸 '나'는 이전처럼 평온한 상태로 돌아가고, '나'의 성장이 느껴진다.

작품은 총 7개의 파트로 이루어져 있으며, 작품의 전체 구성은 [표-2]와 같다.

[표-2] 작품 구성과 타임라인

구성	Intro	Part 1	Part 2	part 3
시간	00:00 ~ 00:55	00:55 ~ 01:33	01:33 ~ 02:40	02:40 ~ 03:48
내용	시련의 감지, 불안함	시련의 시작, 시련에 맞서 발버둥 치	시련에 굴복, 무기력함	희망을 발견, 다시 일어서려는 몸부림
사운드	테이프음악 (tape music)	테이프음악	테이프음악, 적외선 트래킹에 의한 노이즈 사운드	테이프음악
영상	-	파티클(particle) 29) 영상	필터를 거친 이미지의 영상	피드백 영상
구성	Part 4	Part 5	Ending	
시간	03:48 ~ 06:09	06:09 ~ 06:53	06:53 ~ 07:08	
내용	고통에 맞서 싸움	시련에 의한 고통의 승화 및 극복	평온한 상태로 돌아옴	
사운드	테이프음악, 적외선 트랙킹에 의한 주파수변조 합성(FM synthesis) <sup>30)</sup> 사운드의 그레놀러(granular) 사운드	테이프음악, 적외선 트랙킹에 의한 노이즈 그레놀러 사운드	테이프음악, 적외선 트랙킹에 의한 노이즈 사운드	
영상	3D 그래픽 영상	파티클 영상	-	

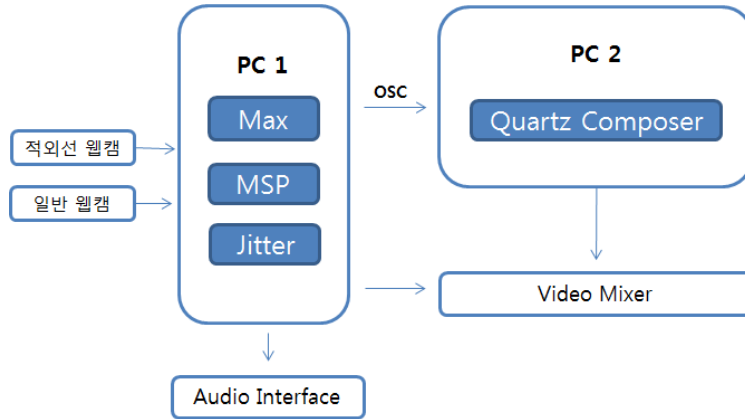
## 2. 시스템과 무대 구성

[그림-16]은 본 작품을 위한 시스템 구성도이다. 작품의 실연에는 두 대의 PC, 적외선 웹캠과 일반 웹캠, 오디오 인터페이스를 사용했다. PC-1은

29) 3차원 컴퓨터 그래픽스에서 많은 양의 미세한 입자를 중력이나 바람의 영향을 고려해서 움직이게 하는 3D 애니메이션 기법.

30) 소리 합성법 중의 하나. 피변조파를 사인(sine)파로 하고, 변조파도 그와 같은 영역을 가진 오디오 신호로 하면, 출력되는 변조파는 고차 배음을 많이 포함한 파형이 됨. 이 원리를 이용하여 새로운 형태의 파형을 얻어 음을 만들어 내는 방법.

Windows<sup>31)</sup>, PC-2는 Quartz Composer<sup>32)</sup> 사용을 위해 OS X<sup>33)</sup> 플랫폼을 탑재하였다.



[그림-16] 시스템 구성도

적외선 웹캠에서 촬영된 영상은 PC-1에 입력되어 적외선 반사체의 트래킹 데이터를 추출한다. 이 데이터를 바탕으로 PC-1에서 실시간으로 사운드를 합성한다. 동시에 트래킹 데이터는 OSC<sup>34)</sup> 규격으로 PC-2로 송신되며, PC-2는 수신된 데이터를 사용하여 Quartz Composer로 영상을 제어한다. 일반 웹캠으로 촬영된 영상은 PC-1의 Jitter 패치에서 프로세싱된다.

[그림-17]은 PC-1에서 PC-2로 OSC 데이터를 송신하기 위한 Max 패치와 이 데이터를 수신하기 위한 Quartz Composer 패치이다. PC-1에서 PC-2로 송신되는 데이터는 udpsend오브젝트와 prepend오브젝트를 이용하여 아이디를 할당했으며 PC-2에선 qcOSC 패치를 사용하여 데이터를 아이디 별로 수신했다. 송신되는 데이터는 제1블롭, 제2블롭의 트래킹 데이터와 Quartz Composer 영상의 on/off를 제어하는 데이터 두 가지이다.

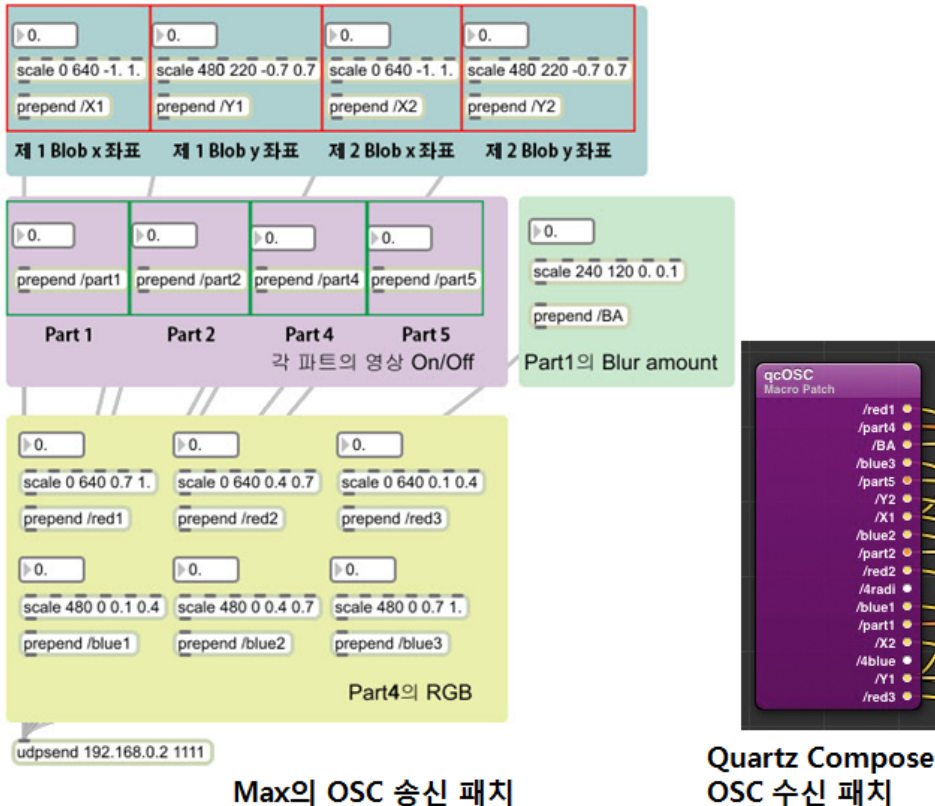
31) 미국 마이크로소프트사가 1983년에 발표한 운영 체제

32) 애플에서 만든 Visual Programming 환경

33) 애플이 개발한 운영 체제

34) Open Sound Control, 음악과 관련된 다양한 데이터를 프로토콜을 이용해 송수신 하는 방식

트래킹 데이터는 0에서 640의 값을 가지는 블롭의 x좌푯값을 -1에서 1로, 0에서 480의 데이터를 가지는 블롭의 y좌푯값 중에 220에서 480까지의 데이터만을 0.7에서 -0.7의 값으로 재설정하여 Quartz Composer 영상이 그려지는 좌푯값이나 로테이션을 제어할 수 있게 하였다. 제2블롭의 y좌푯값 중 120에서 240까지의 값은 0.1에서 0으로 설정하여 Part 1 영상의 blur의 강도를 컨트롤 할 수 있게 하였다. 또 제2블롭의 x, y좌푯값을 0.1~0.4, 0.4~0.7, 0.7~0으로 값을 정해주어 Part 4 영상의 RGB 중 red와 blue를 컨트롤 했다.



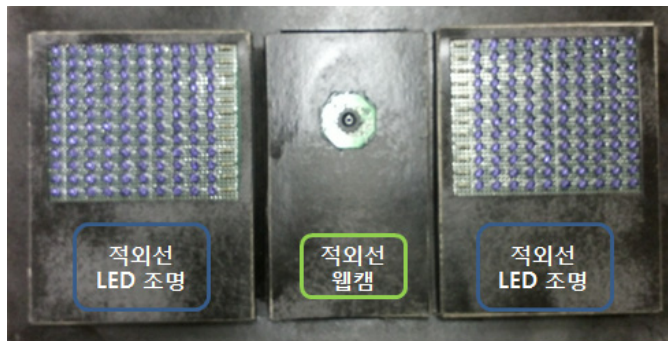
[그림-17] Max의 OSC 송신 패치(좌)와 Quartz Composer의 OSC 수신 패치(우)

두 대의 PC는 Ethernet 통신<sup>35)</sup>으로 OSC 데이터를 송수신 할 수 있게

35) LAN(Local Area Network)에 사용되는 네트워크의 모델로 IEEE(미국 전기

했다. 이때, Ethernet 통신을 위해 PC-1과 PC-2를 연결하는 LAN 케이블은 일반적인 Straight Through Cable이 아닌 양방향 통신이 가능한 Crossover Cable<sup>36)</sup>을 사용하였다.

적외선 LED 조명에서 방출된 적외선은 퍼포머의 양손에 부착된 반사체에 반사되어 적외선 웹캠으로 되 돌아온다. 퍼포머의 동선은 무대 전체에 걸쳐 있기 때문에 무대 전체를 비춰야 하는 적외선 LED 조명과 적외선 웹캠은 관객석의 두 번째 줄 측면에 위치하다. 반사된 빛이 입사각<sup>37)</sup>에 상관없이 광원으로 되돌아가는 재귀반사체를 사용하였으므로 적외선 웹캠은 LED 조명의 위치와 가능한 일치하도록 [그림-18]와 같이 두 개의 적외선 LED 조명 사이에 위치하였다.



[그림-18] 적외선 조명과 적외선 웹캠의 위치

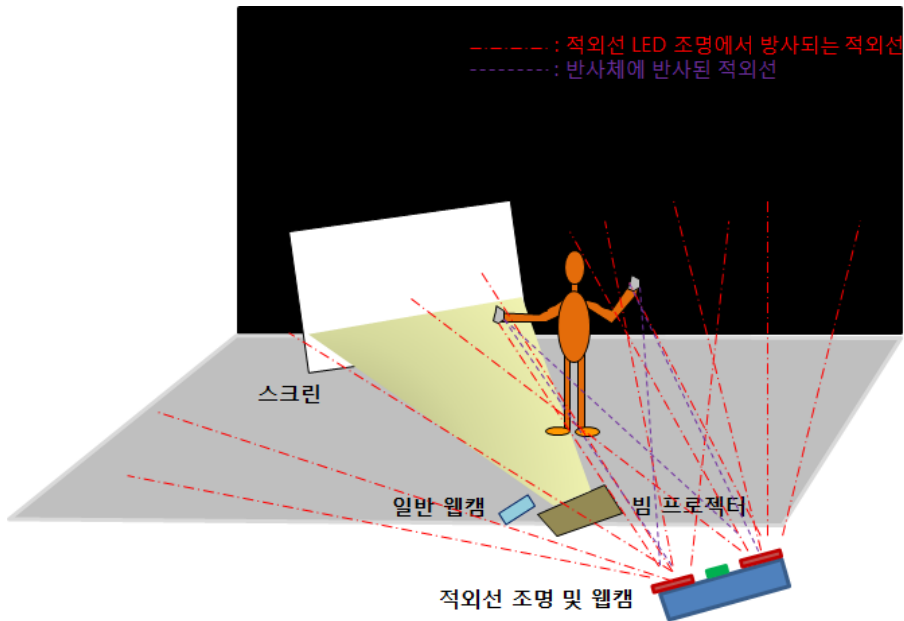
적외선을 트래킹할 때 가장 주의해야 할 것은 무대 조명에 의해 반사체 외의 다른 사물이 조명을 반사하여 퍼포머 양손의 반사체에 반사된 적외선 트래킹을 방해하는 것이다. 조명은 가시광선 뿐 아니라 적외선 파장도 포함하고 있기 때문에 모든 조명에 적외선 차단 필터를 장착하고, 작품에 방해가 되지 않는 선에서 조명을 가능한 어둡게 하여 이를 방지했다.

전자기술자협회가 표준사양으로 채택한 동축케이블 네트워크를 말한다.

36) 네트워크를 공유할 때 사용 되는 선으로 서버 쪽 랜에서 보내는 신호를 받는 클라이언트 컴퓨터 쪽의 랜과 교차 되는 송수신을 하며 양방향 통신을 가능케 한다.

37) 어떤 평면에 파동이 들어오는 것을 입사라 하고, 이때 그 평면의 법선과 입사하는 파동의 방향이 이루는 각도를 입사각이라 한다.

무대의 구성은 [그림-19]와 같다. 영상을 비추는 스크린은 무대의 좌측 측면에 위치한다. Part 3의 피드백 영상을 위한 일반 웹캠은 스크린을 촬영할 수 있도록 중앙에서 스크린을 바라보도록 설치했으며 퍼포머의 전체 동선과 동작을 잡는 적외선 웹캠은 무대 전체를 촬영할 수 있도록 관객석 앞에서 두 번째 줄에 설치하였다.



[그림-19] 무대 구성도

### 3. 파트별 기술 적용

#### 1) Intro

Intro는 시련을 겪어 본 적 없이 평온한 삶을 보냈던 ‘나’가 앞으로 닥쳐 올 시련을 느끼고 불안한 심리상태에 놓여있는 모습을 나타낸다. 도입부의 불안하지만 잔잔한 분위기를 위해 느린 템포의 테이프 음악(tape music)으로만 구성하고 영상은 사용하지 않는다.

[그림-20]은 Intro의 실연 모습이다. 퍼포머에게 어두운 편 조명을 사용하여 전체적으로 어둡고 조용한 분위기를 내었다.



[그림-20] Intro의 실연 장면

## 2) Part 1

Part 1은 테이프 음악과 적외선 블롭 트래킹으로 프로세싱한 선형의 파티클 영상을 사용하여 갑자기 닥쳐온 시련에 처음 맞서는 ‘나’의 모습을 나타냈다.

선형 파티클은 처음 맞서는 시련에 어지러운 ‘나’의 마음상태를 표현한다. 파티클은 ‘나’의 움직임에 따라 그려지고 랜덤으로 움직이는 파티클 꼬리 부분은 어떻게 진행될지 모르는 시련과 동시에 그 시련에 흔들리는 ‘나’의 불안한 정서를 나타낸다. 파티클 색상은 아직 괴로운 경험이 없는 ‘나’의 순수함과 무지함을 동시에 표현하기 위해 흰색을 사용하며, 고통의 강도가 높아질 때마다 blur<sup>38)</sup> 효과로 약해지는 마음을 표현하였다.

---

38) 이미지 초점을 탈초점 상태로 만드는 표현 기법.



[그림-21] Part 1의 Quartz Composer 패치

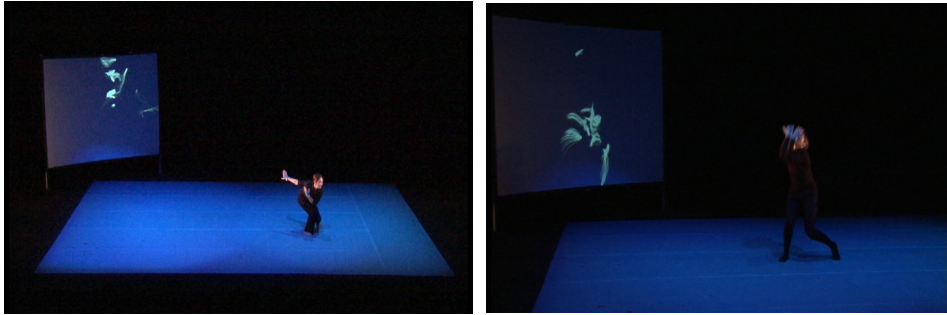
[그림-24]는 Part 1의 영상 패치이다. Part 1의 영상에서 라인 형태의 파티클은 Max로부터 수신된 OSC 데이터의 제1블롭의 x, y 좌표에 따라 그려지며, 제2블롭의 y좌표의 값에 의해 blur의 강도를 제어한다. Motion Blur 패치를 사용하여 파티클에 blur 효과를 주었으며, y좌표가 120에서 240 사이의 값을 가질 때 파티클에 blur 효과가 나타난다.



[그림-22] 선형 파티클(좌)과 blur 효과가 들어간 선형 파티클(우)

[그림-22]의 좌측의 그림은 x좌표에 따라 그려진 선형 파티클의 모습이고, 우측의 그림은 이 파티클에 blur 효과가 적용되었을 때의 영상이다.





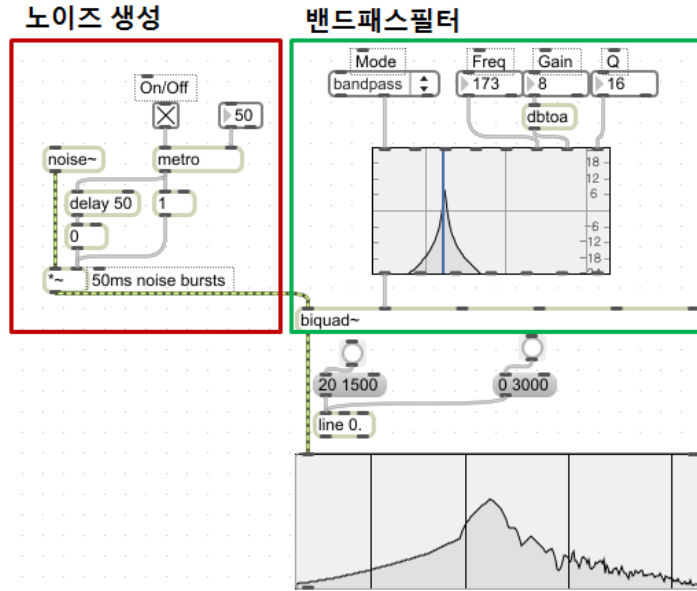
[그림-23] Part 1의 실연 장면

[그림-26]은 Part 1의 실연 장면이다. 선형 파티클은 제1블롭, 즉 오른손의 움직임에 따라 그려지며, 왼손인 제2블롭의 y좌표의 값에 따라 blur 효과가 적용된다. [그림-26]의 좌측 그림에서 선형 파티클이 오른손의 움직임에 따라 그려지는 것을 볼 수 있으며, blur 효과는 지속적이지 않고 짧은 시간 동안 적용되었다.

### 3) Part 2

Part 2의 ‘나’는 시련에 굴복해서 무기력하다. 느린 템포의 테이프 음악을 사용하고, 적외선 블롭 트래킹에 의해 실시간으로 필터링 되는 노이즈 사운드와 blur 효과의 영상을 사용한다.

피아노 선율의 테이프 음악은 무기력하게 축 늘어진 ‘나’를, 노이즈 사운드는 ‘나’를 억압하는 시련을 의미한다. ‘나’는 일어나기 위해 손을 위로 뻗지만 손을 위로 향하면 시련은 더 크게 다가와 ‘나’를 굴복시킨다. 느린 속도로 겹겹이 쌓이는 흐린 이미지의 영상에서 쓰러진 ‘나’는 원래의 ‘나’가 아닌 흐리멍덩하고 무기력한 ‘나’를 의미한다.



[그림-24] 밴드패스필터를 거치는 노이즈 사운드 패치

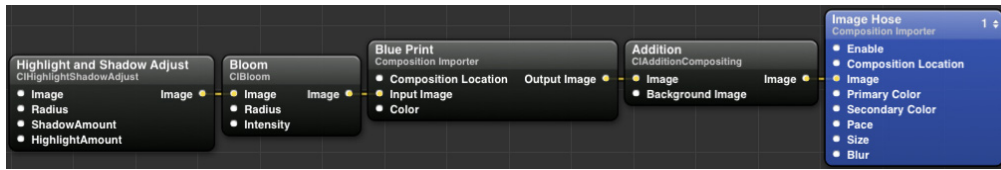
[그림-24]는 Part 2의 사운드 패치이다. Part 2에선 실시간으로 컨트롤되는 밴드패스필터(band-pass filter)<sup>39)</sup>를 거치는 노이즈 사운드가 사용된다. 제1블롭의 x좌표는 필터의 중심주파수(center frequency)<sup>40)</sup>를 300~1,000Hz로 제어하고 y좌표는 게인(gain)<sup>41)</sup>을 -5~13dB으로 조절한다. 제2블롭의 y좌표는 밴드패스필터의 Q<sup>42)</sup>를 조절한다.

39) 주어진 두 주파수 사이의 에너지를 통과시키고, 그 이외 주파수의 에너지를 감쇠시키는 필터

40) 필터 등에서 통과 대역과 저지 대역과의 경계 주파수

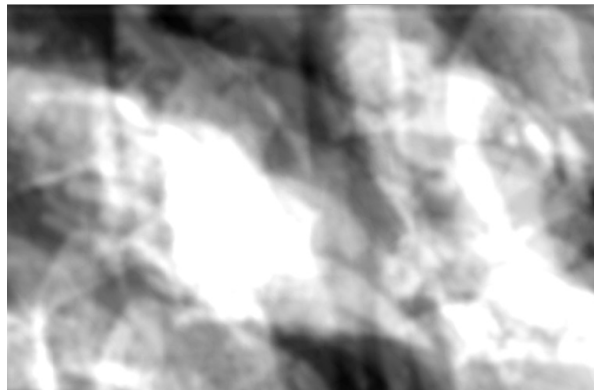
41) 증폭기 또는 필터 등에서의 증폭비율을 로그단위로 나타낸 것으로 단위는 dB

42) 필터를 하고자 하는 주파수의 필터 대역폭에 대한 비. Q값이 크다는 것은 통과 대역이 좁다는 것을 뜻한다.



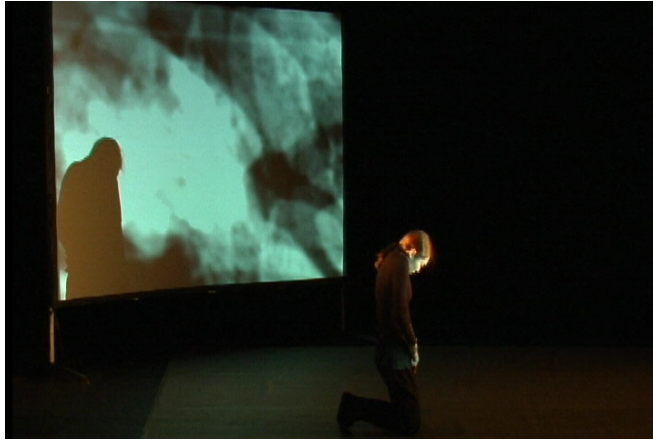
[그림-25] Part 2의 Quartz Composer 패치

[그림-25]는 Part 2의 영상 패치인데, 입력된 이미지를 필터의 일종인 Bloom 패치를 통해 부드럽고 밝게 만들고 Blue Print 패치를 통해 흑백 이미지로 변화한 후에 Addition 패치로 반짝이는 효과를 준다. 마지막으로 Image Hose 패치를 통해 이미지가 임의적으로 오버랩 되도록 하였다. 최종적으로 출력되는 영상은 [그림-26]과 같다.



[그림-26] Part 2의 영상

Part 2에서는 필터를 거치는 노이즈 사운드가 실시간으로 제어된다. 작품의 내용과 비교적 정적인 퍼포머의 동작의 특성상 급변하는 사운드보다는 퍼포머의 손동작이 큰 부분에서만 사운드의 변화를 느낄 수 있도록 하였다.

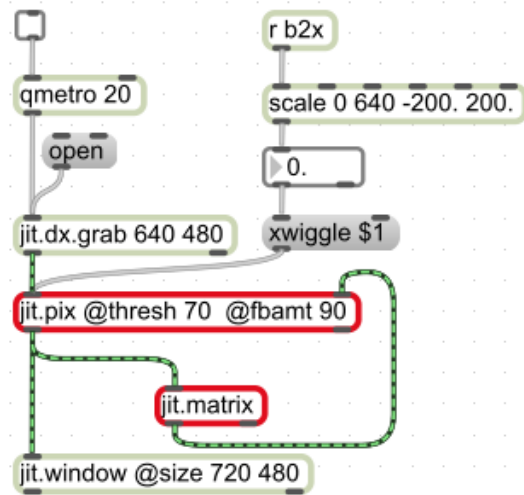


[그림-27] Part 2의 실연 장면

실연에서는 [그림-27]에서 보는 것처럼 퍼포머의 그림자가 스크린에 비쳐 ‘나’가 스크린 속에 존재하는 듯한 효과를 추가로 얻어낼 수 있었다.

#### 4) Part 3

Part 3는 외부의 억압에 굴복하고 쓰러져 무기력해진 ‘나’가 다시 일어서기 위해 몸부림치고 갈등하는 내용이다. 풍부한 텐션이 사용된 빠른 템포의 테이프 음악과 퍼포머의 움직임에 비추는 피드백 영상이 사용된다. 좌우로 흔들리는 영상을 통해 다시 시련에 맞설 것인가 말 것인가를 끊임없이 고민하고 이리저리 흔들리는 ‘나’의 심정을 표현하였다.



[그림-28] Part 3 피드백 영상의 Jitter 패치

일반 웹캠으로 촬영된 영상은 [그림-28]의 패치에서 피드백 영상으로 프로세싱된다. `r b2x`로 수신된 제2블롭의 x좌표값으로 `jit.pix`의 attribute인 `xwiggle`을 컨트롤하여 영상이 좌우로 흔들리는 효과를 주었다. 단, 영상의 흔들림은 제2블롭의 x좌표와는 반대로 움직임여서 ‘나’의 심리와 반대가 되는 외부적인 요소를 의미한다.



[그림-29] Part 3의 실연의 피드백 영상

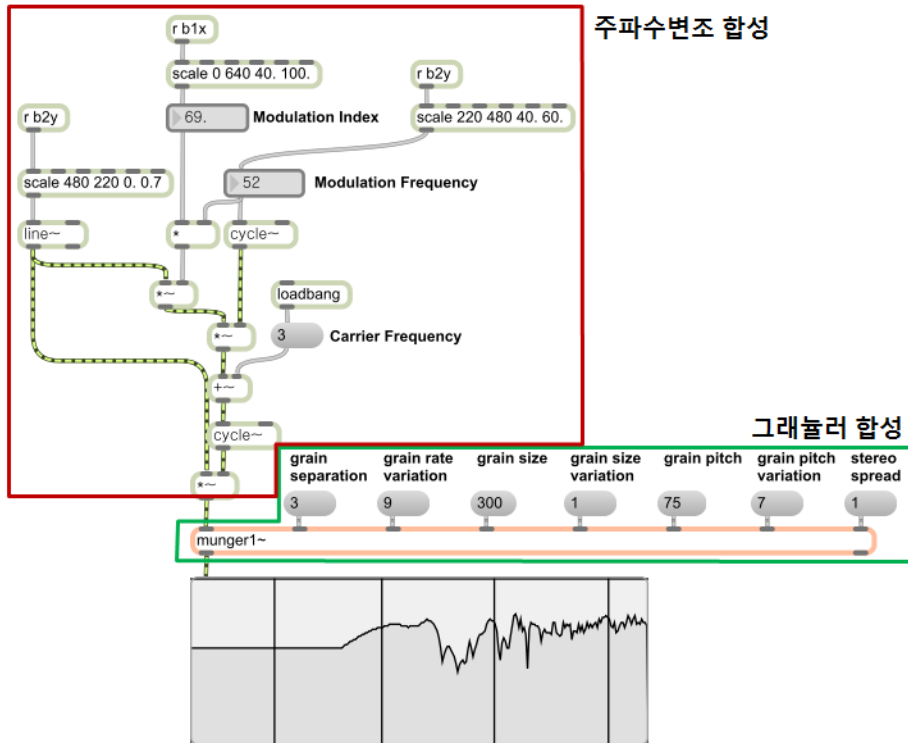
Part 3의 실연에서는 웹캠이 스크린에 비친 영상을 다시 촬영하여 이로 인한 피드백 현상도 함께 일어났다. [그림-29]처럼 시간차를 두고 퍼포머

의 움직임은 반대로 하고 있는 영상에서 또 다른 ‘나’가 시련의 맞서려는 ‘나’를 막으려는 듯 보이기도 하는 효과를 얻을 수 있었다.

## 5) Part 4

Part 4는 다시 한 번 일어난 ‘나’가 시련에 맞서는 내용이다. 시련은 전보다 더 커져있지만 ‘나’는 전처럼 쉽게 주저앉지 않는다. 시련에 의해 고통 받고 아픔도 겪으며 다시 쓰러질 듯 위태위태해 보이지만, 결코 쓰러지지 않는다. 결국 ‘나’는 이 시련을 이겨낸다. Part 4에서의 시련은 이전의 연장선이지만 이전보다는 높은 강도의 시련이며, 이러한 시련을 겪는 ‘나’ 역시도 이전과는 다른 태도로 시련과 마주한다.

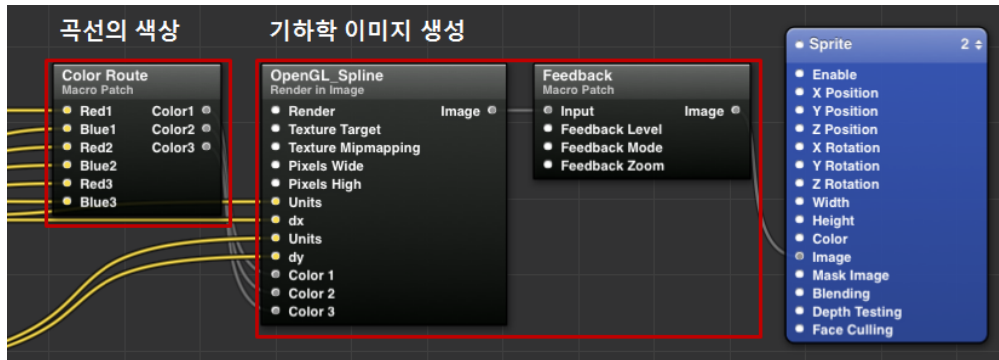
이러한 차이를 두기 위해 Part 4는 노이즈 사운드가 아닌 주파수변조 사운드를 그래놀러로 재합성하였고, 영상 역시 파티클로 이루어진 기하학적 문양을 사용하였다.



[그림-30] Part 4의 사운드 패치

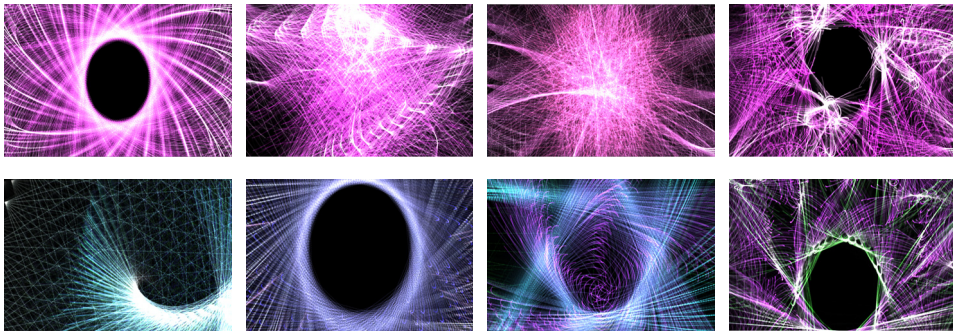
[그림-30]은 Part 4의 사운드 패치이다. 제1블록의 x좌표는 주파수변조 합성의 modulation index를 제어하고, 제2블록의 y좌표는 modulation frequency와 주파수변조 사운드의 엔벨로프(envelope)를 조절한다. 실시간으로 컨트롤되는 주파수변조 사운드는 munger1~오브젝트를 거쳐 그레놀러 사운드로 재합성된다. 그레놀러 합성 사운드의 음량은 제2블록의 x좌푯값을 이용하여 제어한다.

그레놀러 합성을 거친 주파수변조 합성 사운드는 퍼포머의 동작에 따라 배음과 음량의 변화를 효과적으로 느낄 수 있게 하였다.



[그림-31] Part 4의 Quartz Composer 패치

[그림-31]는 Part 4의 영상 패치이다. OpenGL<sup>43)</sup> 기반의 OpenGL\_Spline 패치와 Feedback을 이용하여 기하학적 3D 이미지를 그려냈다. 제1블롭의 x, y 좌푯값으로 영상의 회전축을 제어하여 이미지의 전체적인 형태를 변화시키고, 제2블롭의 x, y 좌푯값은 Color Route 패치를 통해 이미지의 색상을 제어하였다. [그림-32]는 Part 4의 출력되는 이미지 형태 변화와 색상의 변화이다.

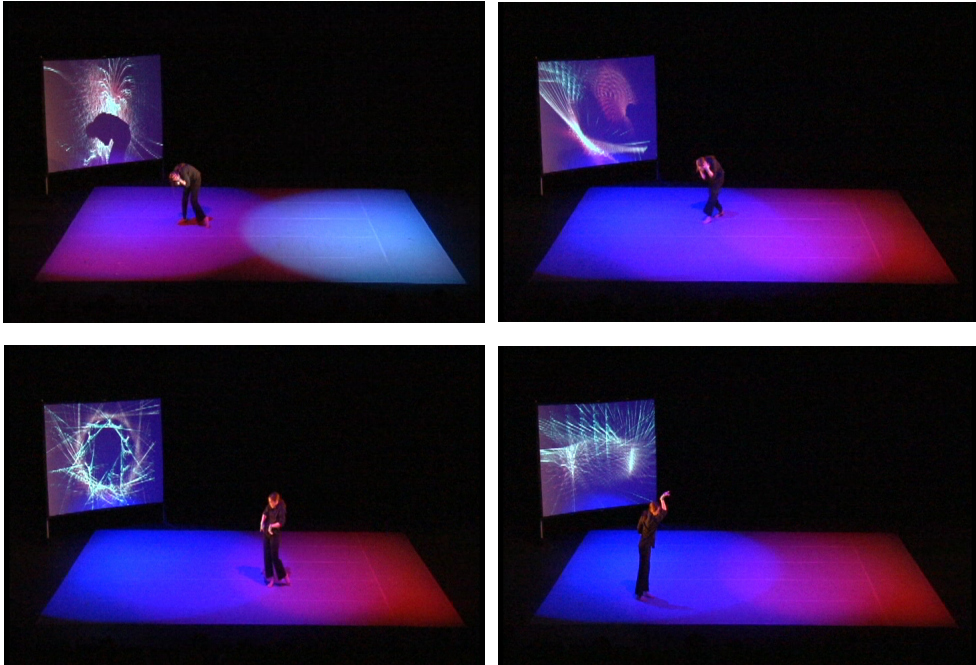


[그림-32] Part 4의 영상의 형태 변화(위)와 색상 변화(아래)

다음의 [그림-33]은 Part 4의 실연에서의 영상의 변화이다.

43) Open Graphics Library, 1992년 실리콘 그래픽스에서 만든 2차원 및 3차원 그래픽스 표준 API 규격으로, 프로그래밍 언어 간 플랫폼 간의 교차 응용 프로그래밍을 지원한다.



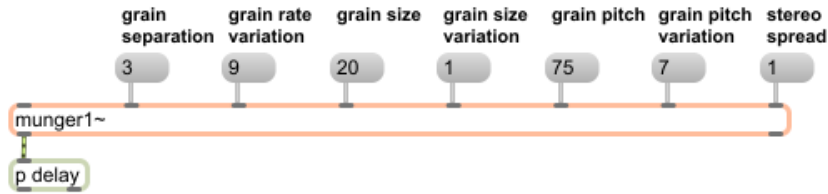


[그림-33] Part 4의 실연 장면

퍼포머의 위치, 즉 퍼포머의 손의 위치가 변함에 따라 이미지의 형태와 이를 이루는 색상이 확연하게 달라지는 것을 볼 수 있다. 퍼포머의 동작이 느린 곳에서는 느리게 반응하고 퍼포머의 움직임이 격렬할 때는 영상 역시 급격히 변한다. 이로 인해 관객들은 퍼포머의 동작이 나타내는 감정의 변화에 따른 영상의 변화를 직접적으로 감지할 수 있었다.

## 6) Part 5

Part 5는 ‘나’가 시련을 이겨내고 그 과정에서 받은 고통을 승화시키며 아픔을 극복하는 내용이다. Part 2와 마찬가지로 시련을 겪은 후의 이야기라는 점에서 Part 2에서 사용된 노이즈 사운드를 사용하였으나 시련을 대하는 태도와 그 결과가 전혀 다른 양상을 보이기에 노이즈 사운드를 그 래놀러로 재합성하여 사용하였다. [그림-34]



[그림-34] Part 5의 그레놀러 합성 패치

영상은 두 개의 파티클을 사용했는데, Part 1에서 사용한 파티클을 점 형태로 변형하였으며 고통을 이겨내고 성장하는 ‘나’를 표현하기 위해 각 파티클의 개수를 늘렸다. 꼬리가 없는 점 형태의 파티클은 외부의 억압이 사라지고 온전한 나로 존재함을 의미한다. 또한 Part 5의 파티클은 흰색이 아닌 다른 색상을 부여하여 ‘나’라고 하는 존재를 확고히 하였음을 표현한다.

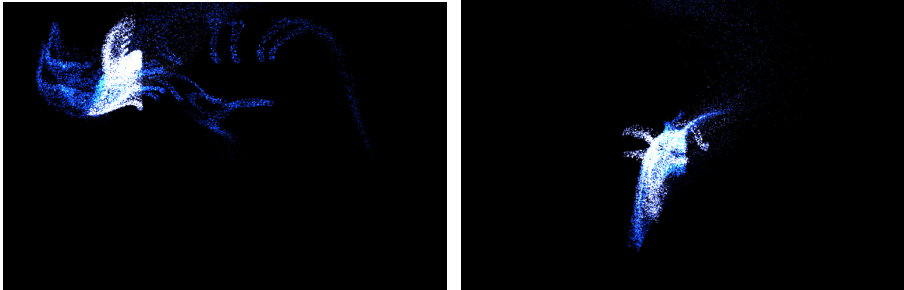
[그림-35]와 같이 Quartz Composer의 1024 Particle Warfare 패치를 사용하여 파티클을 생성하였고 JavaScript로 x, y 좌표를 Mesh<sup>44)</sup>의 꼭짓점의 위치로 변환하여 그물망 형태의 파티클을 구현하였다.



[그림-35] Part 5의 Quartz Composer 패치

44) 꼭짓점을 설정하고 그 점들을 지나는 도형들의 집합으로 이루어진 3D 객체

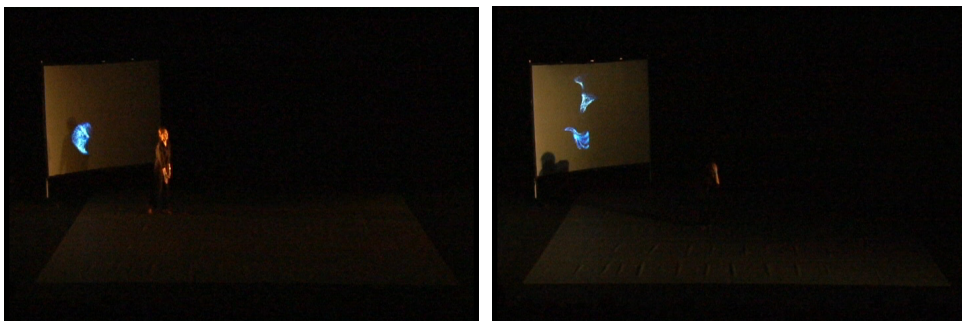
[그림-35]의 패치를 동시에 두 번 사용하여 [그림-36]과 같은 두 개의 그물망 형태의 파티클을 그려냈다.



[그림-36] Part 5의 영상

두 개의 파티클 중 제2블롭의  $x, y$  좌표로 그려지는 제2파티클은 거의 정적인 상태를 유지한다. 이는 본연의 ‘나’를 표현한다. 제1블롭의  $x, y$  좌표로 그려지는 제1파티클은 동적인 움직임을 보인다. 이는 시련에 의해 쌓인 ‘나’의 경험이 쌓이고 성숙하였음을 의미한다.

Part 5에서 퍼포머의 동작은 비교적 정적이며 이에 따라 손의 움직임도 적다. 이는 퍼포머의 손의 위치가 급격하게 바뀌는 부분에서 관객들이 사운드의 변화를 크게 느낄 수 있도록 하였다.



[그림-37] Part 5의 실연 장면

[그림-37]에서 보여지는 것처럼 영상 역시 퍼포머의 움직임에 따라 정적으로 천천히 움직이다가 퍼포머의 손동작이 큰 부분에서 파티클이 크게 위쪽으로 그려져 퍼포머의 움직임과 영상의 상호작용을 직관적으로 느낄

수 있었다.

## 7) Ending

Ending은 '나' 스스로 내면의 성장을 느끼는 단계이다. 따라서 '나'가 큰 빛을 향해 다가가는 것으로 극을 마무리한다. 조명의 효과를 최대화하기 위해 영상은 사용하지 않으며, 테이프 음악이 끝난 뒤에도 노이즈 사운드가 이어지도록 했다. 이 노이즈 사운드는 조명과 함께 차츰 페이드아웃(fade out) 된다.

Ending의 노이즈 사운드는 Part 2, Part 5와 마찬가지로 [그림-27]의 밴드패스필터를 거치며, 제1블롭의 x좌푯값으로 필터의 중심주파수를, y좌푯값으로 게인을 조절하고 제2블롭의 y좌푯값으로 Q를 조절한다. 스토리 전개상 Ending은 이전의 파트보다 밝고 희망찬 분위기를 가져야 한다. 따라서 중심주파수를 300~4,500Hz로 설정하여 Part 2보다 높은 음역대의 사운드를 낼 수 있도록 했다.



[그림-38] Ending의 실연 장면

[그림-38]처럼 정면의 빛을 향해 나아가는 퍼포머의 움직임은 매우 느리

며 정적이다. 퍼포머의 움직임에 따라 필터링 되는 노이즈 사운드 역시 매우 느린 속도로 변화한다. Part 2보다 비교적 높은 음역대의 노이즈 사운드는 ‘나’의 발걸음이 무겁지 않음을, 앞에 희망이 있음을 관객들에게 보여주었다.

## IV. 연구 성과 및 문제점

본 작품 <Undergoing>은 적외선 멀티 블롭 트래킹을 이용하여 퍼포머의 움직임에 사운드와 영상을 접목시킨 멀티미디어 음악 작품이다.

퍼포머의 움직임을 트래킹하기 위해 적외선 블롭을 사용하였다. 하나의 블롭을 트래킹하는 경우에는 산출되는 데이터가 한정적이므로 이에 의한 컨트롤이 제한된다. 이를 보완하기 위해 두 개 이상의 적외선 블롭을 트래킹을 통한 멀티미디어 음악 공연을 연구 및 제작하였다.

이를 구현하기 위해 Max와 Quartz Composer라는 응용 프로그램을 사용했으며, 적외선 LED 조명과 적외선 웹캠을 제작하여 퍼포머 양손에 부착된 두 개의 반사체 위치 값을 산출하고 실시간으로 사운드와 영상을 제어하였다. 적외선 멀티 블롭 트래킹을 이용한 작품 제작 연구를 통해 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었다.

첫째, 하나의 블롭을 트래킹하는 경우 하나의 좌푯값만 추출되기 때문에 컨트롤 할 수 있는 범위가 좁다. 두 개의 블롭을 트래킹하는 경우 두 개의 좌푯값을 얻을 수 있기 때문에 보다 자유롭게 사운드와 영상의 제어가 가능하다.

둘째, 웹캠을 적외선 웹캠으로 개조하여 사용할 때 필터의 매수를 자유롭게 설정하여 하드웨어적으로 밝기와 대비를 조절할 수 있다. 따라서 소프트웨어적으로 영상의 밝기와 대비를 조절하는 것에 비해 조명과 영상의 간섭을 적게 받아 원하는 데이터의 추출이 용이하다. 또한 카메라와 퍼포머 사이의 거리에 제한이 없어 무대 전체를 트래킹하는 것이 가능하며 이는 퍼포머의 동선과 동작의 제한을 최소화 한다.

그러나 두 개 이상의 블롭을 동시에 트래킹 할 때 각 블롭을 라벨링하는 것에 큰 문제가 발생하였다.

퍼포머의 동작에 따라 두 블롭이 겹치거나 인접하는 경우 이를 각각의 독립된 블롭으로 인식하지 못하고 하나의 블롭으로 간주하여 하나의 트래

킹 데이터만 추출되었으며, 겹쳐지거나 인접한 두 개의 블롭이 다시 거리를 두고 두 개의 블롭으로 나뉘질 때 각 블롭의 아이디가 바뀌어 트래킹 데이터가 서로 다른 것을 제어하기도 한다. 이러한 문제를 최소화하기 위해 필터의 중심주파수, 영상의 형태와 위치처럼 관객이 인지하기 쉬운 부분은 주로 제1블롭의 트래킹 데이터로 제어하고, 제2블롭의 트래킹 데이터는 사운드의 음량, 영상의 색상 등 부수적인 것을 제어해야 하는 제약이 생겼다.

또한 양손의 움직임을 트래킹하기에 원하는 블롭을 원하는 손으로 태그하는 것이 쉽지 않았다. 오른손을 제1블롭으로 태그하여 트래킹 할 때, 오른손보다 먼저 카메라에 촬영되어야 하며 동작도 오른손이 먼저 카메라에 제1블롭으로 인식되어야 한다. 양손 모두 신체의 다른 부위에 가려서 블롭이 화면에서 사라진 경우 이전에 태그된 것은 초기화 된다. 이를 방지하기 위해 양손 모두 화면에서 사라지는 것을 막아야 하고, 최소한 한쪽 손은 팔이나 몸통 등 신체에 가리지 않도록 안무에 주의해야 했다.

현재 적외선 블롭 트래킹을 통한 모션 트래킹을 할 수 있는 하드웨어는 끊임없이 나오고 있지만 정교한 만큼 하드웨어와 퍼포머 사이의 거리나 트래킹 할 수 있는 범위에 제한이 많은 것이 실정이다. 앞으로 이러한 문제점을 보완하고 카메라와 블롭 사이의 거릿값 등 조금 더 다양한 데이터를 추출하는 방법을 고안해 낸다면 퍼포머의 동작과 어우러지는 다양한 표현의 예술작품을 만들 수 있을 것으로 기대된다.

Keyword (검색어) : 컴퓨터 음악(computer music), 멀티미디어 음악(multimedia music), 인터랙티브 아트(interactive art) 적외선 트래킹(IR tracking), 블롭 트래킹(blob tracking), Max/MSP, 퀴츠 컴포저(Quartz Composer)

E-mail : velvettears87@gmail.com

# 참고문헌

## 1. 단행본

- 이석원 「음악음향학」 (심설당, 2003)
- 이 에스더 「음향예술의 세계」 (야스미디어, 2005)
- 정동암 「미디어 아트, 디지털의 유혹」 (커뮤니케이션북스, 2007)
- 정성환, 이문호 「오픈소스 OpenCV를 이용한 컴퓨터 비전 실무 프로그래밍」 (홍릉과학출판사, 2007)
- 황성호 「전자음악의 이해」 (현대음악출판사, 1993)
- Curtis Roads 「The Computer Music Tutorial」 (Massachusetts Institute of Technology, 1996)
- David Cope 「The Algorithmic Composer」 (A-R Editions, 2007)
- Randi J. Rost, Bill Licea-Kane 「OpenGL Shading Language Third Edition」 (Addison Wesley, 2010)
- Randall Packer, Ken Jordan 「Multimedia: From Wagner to Virtual Reality」 (Norton, 2002)
- Scott Thompson 「Quartz 2D Graphics for Mac OS X Developers」



(Addison Wesley, 2006)

## 2. 참고논문

- 김민경, “비보잉 동작에 의한 오디오-비주얼 작품 제작 연구”  
「동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과」, (2010)
- 김영민, “적외선LED의 트래킹을 이용한 멀티미디어 음악작품 연구”  
「동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과」, (2009)
- 윤민철, “멀티미디어 기술을 이용한 인터랙티브 미디어 제작 연구”  
「동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과」, (2010)
- 이동빈, “실시간 동작 추적을 이용한 멀티미디어음악 제작 연구”  
「동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과」, (2009)
- 하승연, “Particle System을 이용한 인터랙티브 멀티미디어음악 제작 연구”  
「동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과」, (2006)
- 황민구, “디지털 적외선 사진의 색 표현법에 대한 연구” 「상명대학교  
문화예술대학원 디지털이미지학과 비주얼아트전공」, (2009)

## 3. 인터넷

- Spectral Analysis of IR LEDs and Filters  
<http://nuigroup.com/forums/viewthread/6458>

- Low Cost IR Filter Material  
<http://www.northcountryradio.com/Articles/irfltr.htm>
  
- Middle Mass and Blob Detection  
[http://www.societyofrobots.com/programming\\_computer\\_vision\\_tutorial\\_pt3.shtml](http://www.societyofrobots.com/programming_computer_vision_tutorial_pt3.shtml)
  
- Radial  
<http://www.bantherewind.com/radial>
  
- Max  
<http://cycling74.com/>
  
- Quartz Composer  
<http://kineme.net/>
  
- Wikipedia  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Video\\_tracking](http://en.wikipedia.org/wiki/Video_tracking)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Blob\\_detection](http://en.wikipedia.org/wiki/Blob_detection)

# Abstract

## A Study on Multimedia Music Using Infrared Multi-Blobs Tracking (Focus on multimedia music - <Undergoing>)

Kim, Jihye

The media technology has been developed rapidly, that brought a fusion of different media, called multimedia. It also affects area of art and culture. The technology gives artists the opportunity for new expression techniques and they take new media technology actively for their work. Their interest leant towards interaction between other media, especially between motion and sound or visual art.

Infrared tracking are most general way to track object on video tracking. Infrared light is invisible to human eyes, so audiences can't notice infrared sensors, or LEDs attached on performer's body. It makes audiences can immerse themselves in performance.

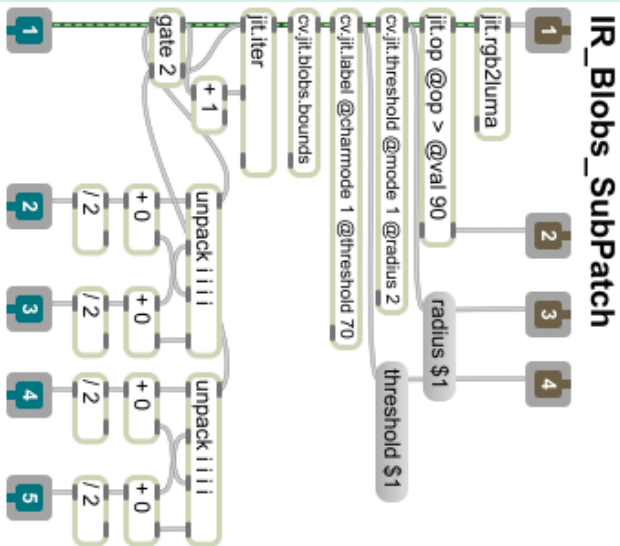
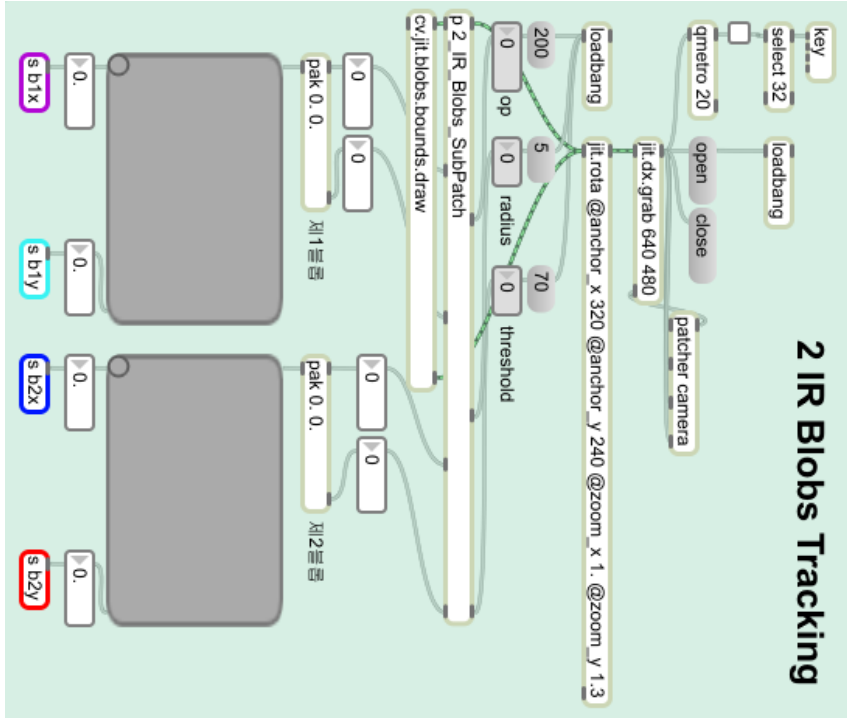
To track infrared light, blobs detection according to theory of computer vision is needed. Blob is region of same brightness or color. Blob detection algorithm extracts the position data of blob and track the position real-time.

For the work <Undergoing>, infrared multi-blobs tracking is used to

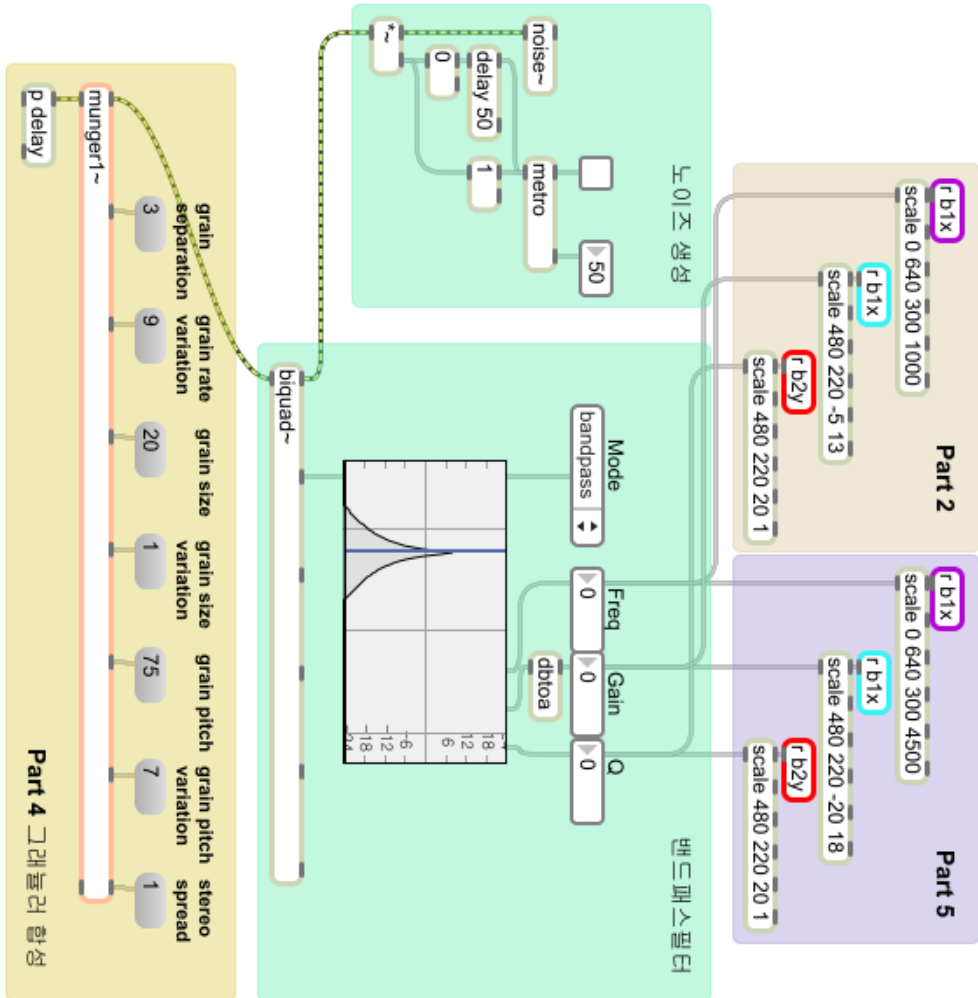
track position of 2 infrared blobs, performer's hands. When 2 infrared LED lights emit infrared light, retro-reflective arm warmers on performer's 2 hands reflect the infrared light back to LED lights. Then the 2 reflected infrared light are taken by infrared webcam located between the 2 LED lights, blob tracking algorithm in Max extracts the position data of 2 infrared blobs. Max send these data to MSP to generating and processing the sound, and send to Jitter and Quartz Composer to processing the visual image. 2 position data of 2 blobs control other parameters for sound and visual image. This is more effective to control sound or visual image than to track and extract the position data for just 1 blob.

# 부록 1 : Max/MSP 패치

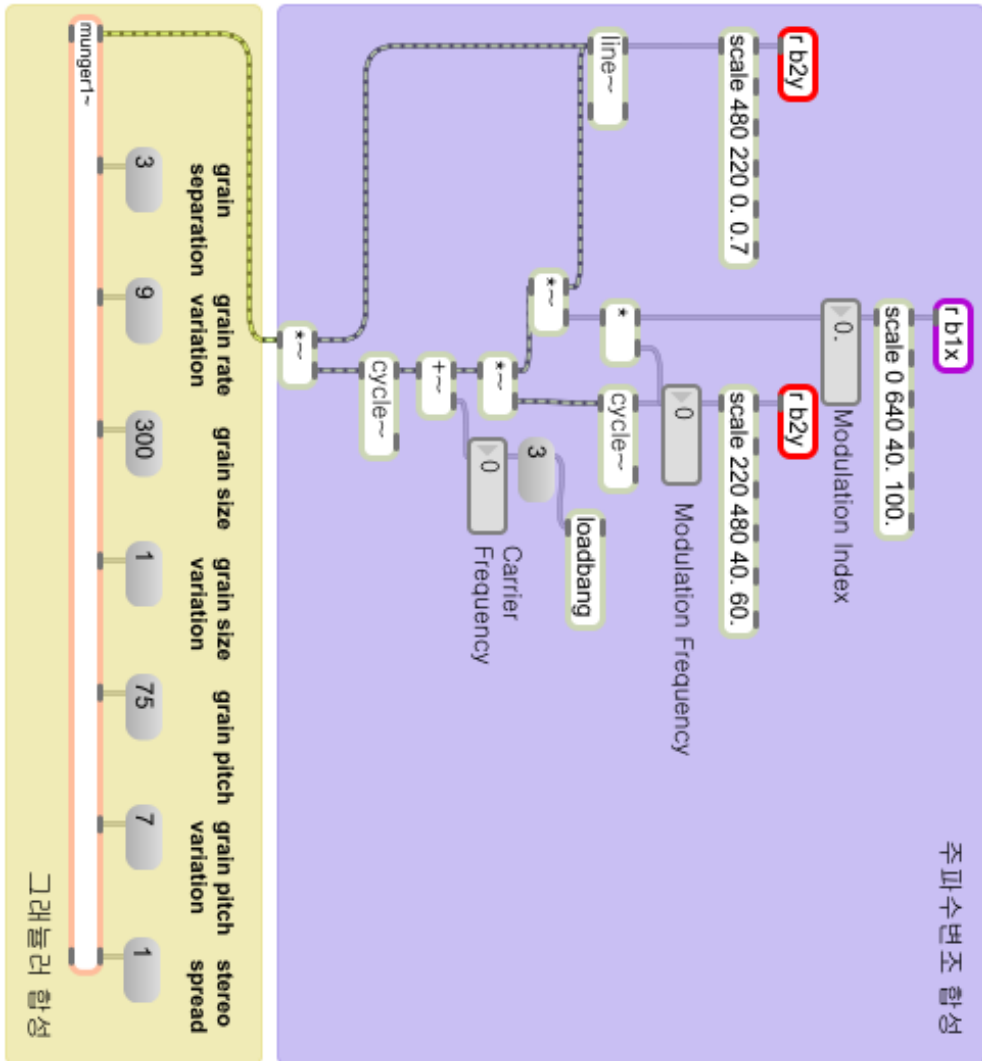
1. 2개의 적외선 블롭 트래킹 패치



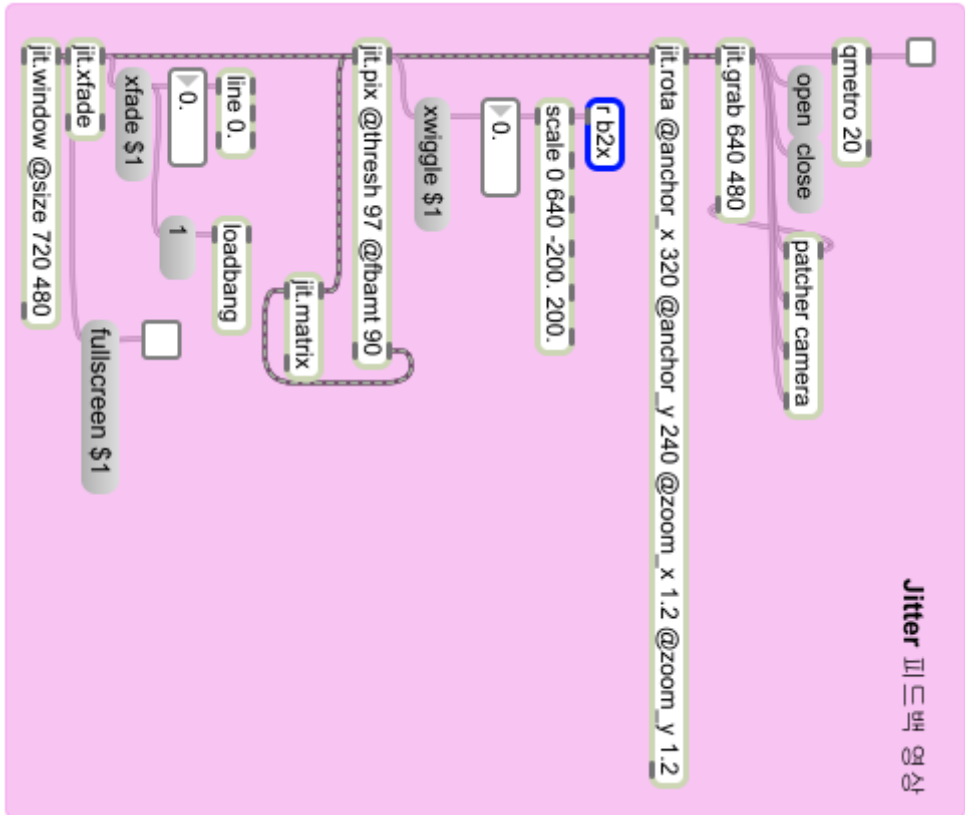
## 2. 노이즈 생성 및 밴드패스필터, 그래놀러 합성 패치



### 3. 주파수변조 합성 및 그레놀러 합성 패치

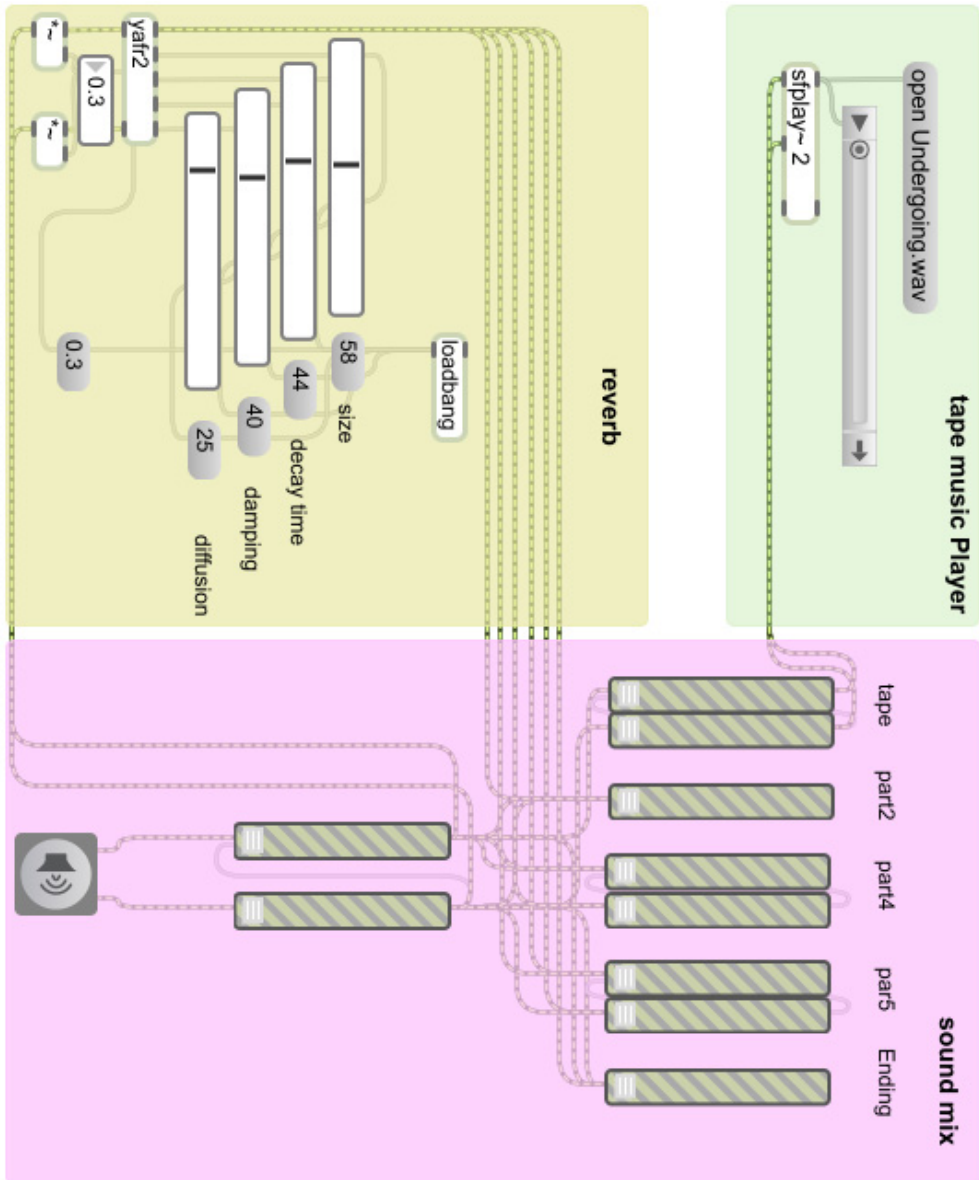


#### 4. 피드백 영상 Jitter 패치



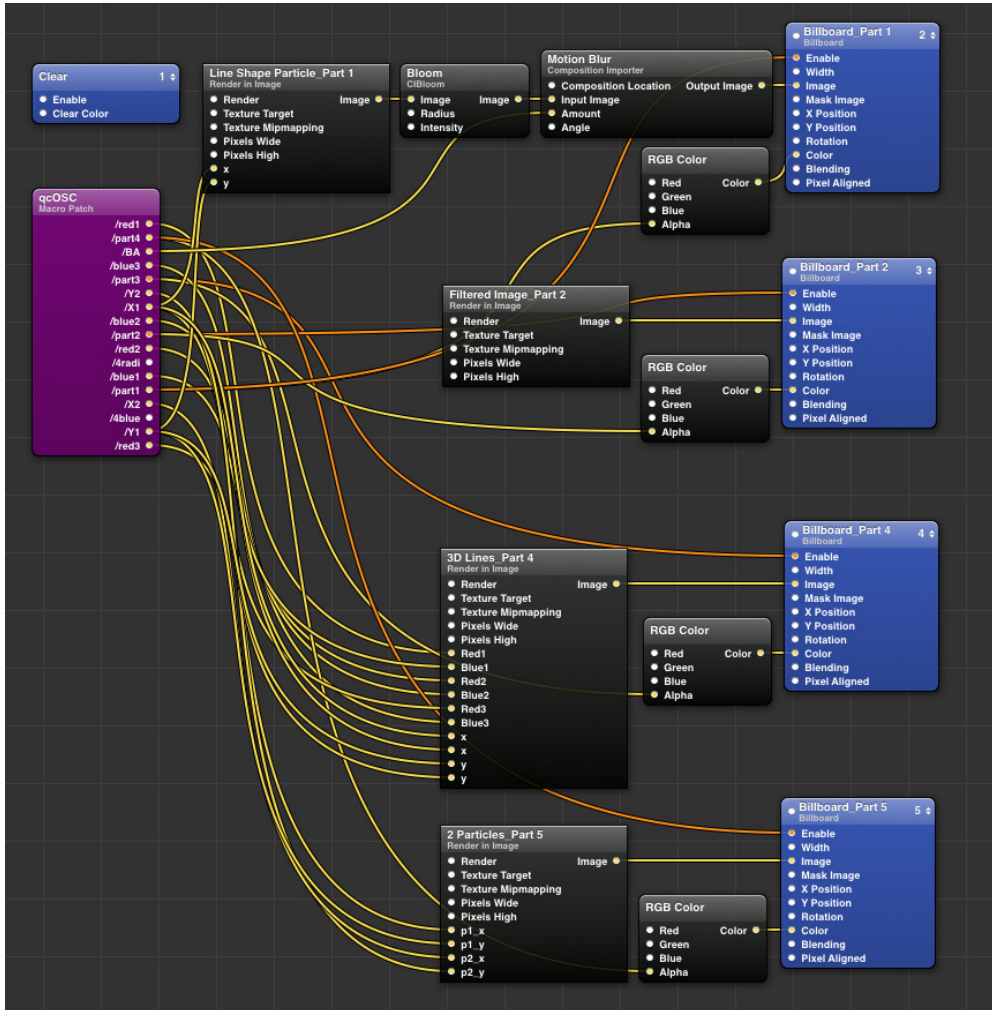


5. 테이프음악 재생, 합성사운드 리버브 및 전체 사운드 믹싱 패치

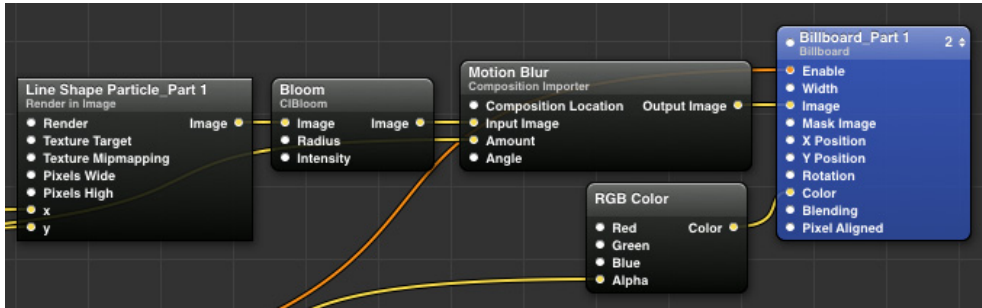


## 부록 2 : Quartz Composer 패치

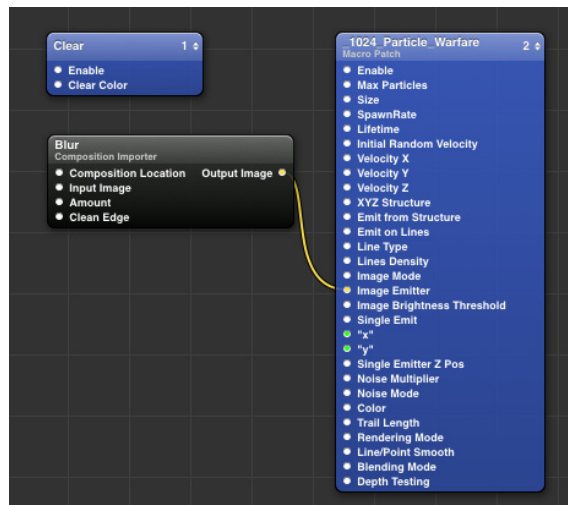
### 1. OSC 데이터 수신 및 각 파트 별 영상 패치



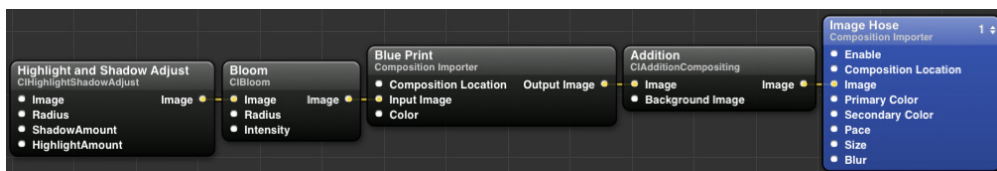
## 2. 선형 파티클과 blur 효과의 영상 패치



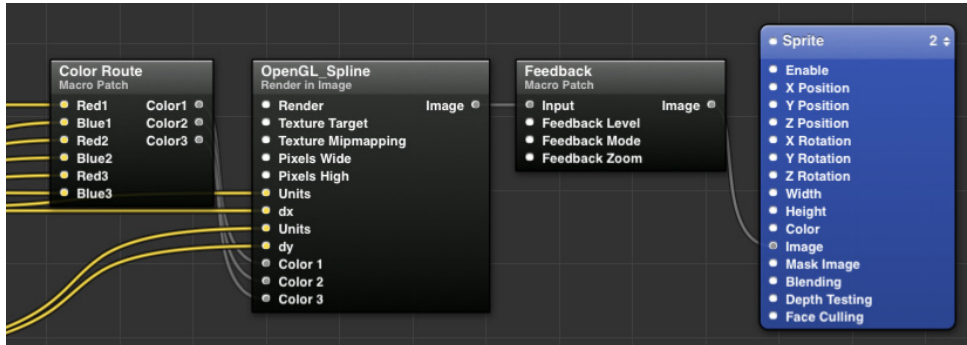
## 3. Line\_Shape\_Particle\_Part 1 패치의 루트 매크로 패치



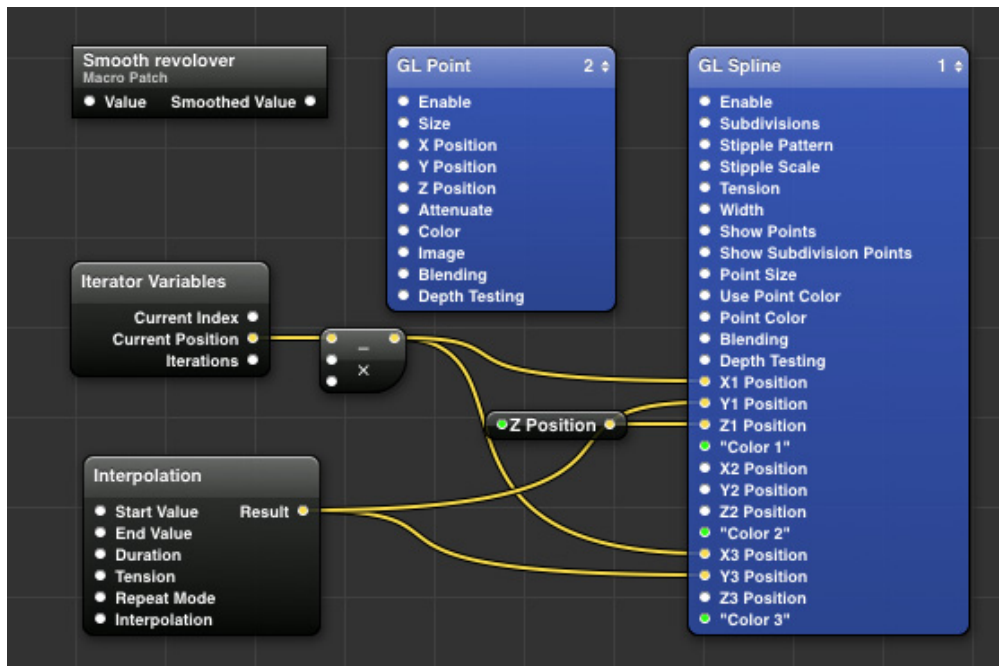
## 4. 필터를 거친 이미지의 영상 패치



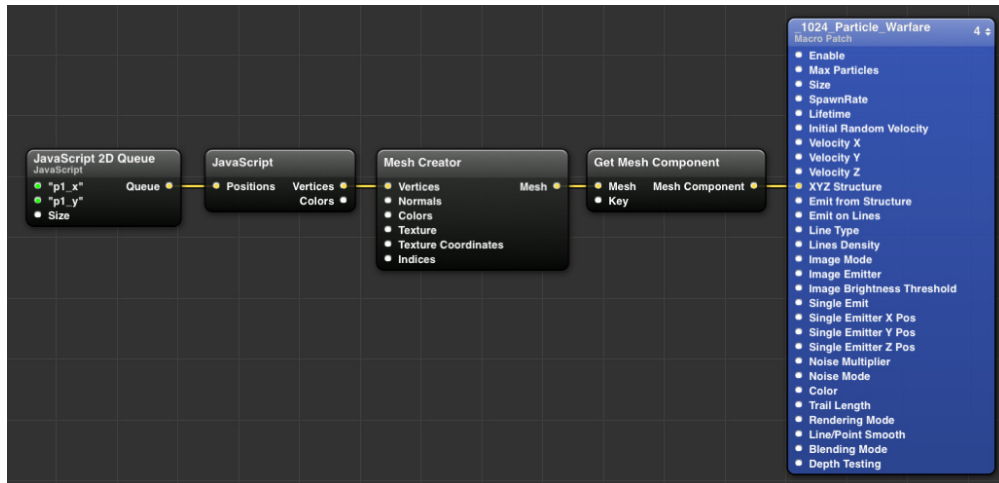
## 5. OpenGL을 이용한 기하학 이미지의 영상 패치



## 6. OpenGL\_Spline의 루트 매크로 패치



## 7. 그물망 형태의 파티클 영상 패치



### 부록 3 : 첨부 DVD 설명

1. Undergoing : 공연실황  
(2013년 11월 16일 이해랑 예술극장)
2. Undergoing : Max/MSP 패치
3. Undergoing : Quartz Composer 패치