

논문접수일 : 2012.03.20    심사일 : 2012.04.05    게재확정일 : 2012.04.26

## 미디어아트 작품 "TRAP"의 기술적 구현

The technical realization of a media art piece "TRAP"

### 목    진    요

연세대학교 인문예술대학 디자인예술학부 교수

**Mok, Jin-Yo**

Yonsei University. College of Humanities and Arts. Dept. of Design & Art

## 1. 서론

- 1.1. 연구의 배경 및 목적
- 1.2. 연구의 방법 및 범위

## 2. TRAP의 형태와 기능

- 2.1. TRAP의 형태
- 2.2. TRAP의 기능 소개

## 3. TRAP의 구현

- 3.1. TRAP 구현의 문제점
- 3.2. 자석과 자기장 실험
  - 3.2.1. 영구자석의 종류
  - 3.2.2. 영구자석의 온도특성
  - 3.2.3. 영구자석의 동작점 변화
  - 3.2.4. 영구자석의 장착방법
- 3.3. 모터의 선택과 모터구동부 설계
- 3.4. 센서 설계
- 3.5. 컨트롤러 설계
  - 3.5.1. 컨트롤러 보드 구성
  - 3.5.2. 컨트롤러 프로그래밍
- 3.6. 배터리 설계
- 3.7. 삼각형 프레임 설계

## 4. 결론 및 개선방향

### 논문요약

INTEL과 VICE의 국제적인 예술가 지원 프로그램인 The Creators Project 2011에 소개되고 전시되었던 대형 키네틱 인터랙티브 설치 작품인 TRAP의 기술적 부분에 대해 망라하였다. 작품의 핵심에 해당하는 자석과 자기장 변화를 비롯하여 자석을 바퀴로 사용하는 자체적인 인력(引力)을 통해 수직으로 세워진 벽에 전선 없이 붙어있는 채로 움직이는 새로운 형태를 제작하기 위해 학습하고 실험해왔던 모든 기술적인 자료와 체득의 결과를 정리하였다. 서보모터, 적외선 포토센서, 리튬폴리머 배터리, 앵글루트 엔코더, 컨트롤러와 프로그래밍 방법, 그리고 프레임의 재질까지 지면이 허락하는 한 상세하게 밝혔다. 이 논문이 한 작품을 수행하는 동안의 무수한 실험 및 성과를 정리하는 실험보고서로 끝나지 않고, 이로부터 자석과 모터를 기반으로 하여, 중력을 거슬러 존재하는, 다른 신선한 작품을 생산하는 기술적 토대가 되기를 바란다.

### 주제어

미디어아트, 자석, 모터, 엔코더

### Abstract

This thesis covers all the technological facets of TRAP, a large scaled kinetic interactive installation, exhibited in Seoul venue in 2011 for The Creators Project supported by INTEL & Vice for the international artists in the area of new media. It also covers the core principle of the magnet and the magnetic field changes, including using a magnet as a wheel through its own workforce without wires while attached to a big wall. About servo motors, IR photo sensors, batteries, rotary encoders, controllers and programming methods, and materials of the frame are all sorted out here. I hope this paper which has all documented the entire process of a media artwork does not end in a mere experimental report, rather hope the newer pieces come arouse from this small technical base.

### Keyword

Media art, Magnet, Motor, Encoder

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

TRAP(함정)은 INTEL과 VICE의 국제적인 예술가 지원 프로그램인 The Creators Project에 소개되고 전시되었던 대형 키네틱 인터랙티브 설치 작품이다. 이 논문은 본인이 제작한 미디어아트 작품 TRAP을 구현하기 위한 여러 차례의 실험 과정을 기록하고 그 시행착오와 성과들을 공개하여, 관련 선행 연구로서의 역할을 목적으로 한다. 이 논문은 <디자인포럼 34호>에 이미 발표된 논문 <미디어아트 작품 TRAP의 개념적 입장>에 이은 제작 기술 및 실험 보고서에 해당한다. TRAP은 많은 미디어아티스트들이 한 번쯤은 생각해보았을 직한 자석을 적극적으로 활용하는 작품으로, 다른 여타의 피지컬컴퓨팅 기반 작품이나 키네틱아트 작품들과 마찬가지로 작품에 사용되는 물질과 기초 소자에 대한 근본적인 이해가 전제되어야 했다. 이를 위해 가장 먼저, 자석과 자기장에 대한 학습과 실험이 선행되었고, 자석을 바퀴로 사용하는 모터 구동부, 구동모터를 원하는 대로 조정하는 컨트롤러부, 전원을 공급하는 전원부, 삼각형의 움직임을 결정하는 센서부, 이 모든 것들이 조립되어있는 뼈대 역할을 하는 삼각형 본체의 재질을 중심으로 연구하고 실험하였다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 TRAP을 제작하면서 실험해야 했던 자석과 자기장의 동작점 변화를 비롯하여 모터의 선택과 구동부 설계, 센서의 선택과 설치방법, 엔코더의 설치, 컨트롤러의 구조와 프로그래밍, 배터리의 효율성, 삼각형 프레임의 재질 문제 등이 작품을 제작하며 수행해야 했던 많은 실험과 학습의 결과를 가감없이 기술한다. 최초의 실험에서부터 전시 발표에 이르기까지 취득해왔던 기술적 성과들을 요연하게 기록하는 연구 방법을 가지고 있으며, 그러므로 작품 제작을 처음부터 복기하여 세세하게 각 소자들의 선택 요인과 설치방법, 프로그래밍의 핵심을 정리한다. 사용했던 거의 모든 부품들에 대한 기술 사양을 모두 밝히는 것은 지면 관계상 어렵지만, 최소 부품 명과 간단한 사양만은 표를 통해 밝혀두었다. 유사한 작품 사례가 없이 처음 시도되는 방식인 관계로 사례분석을 할 수 없었으며, 자력과 자기장 관련한 내용을 제외한 논문의 모든 내용은, 작가가 실험하고, 취득하여 얻어진 결과이므로 온라인에 공개된 기술서 이외에 다른 문헌은 참고하지 않았다.

## 2. TRAP의 형태와 기능

### 2.1 TRAP의 형태

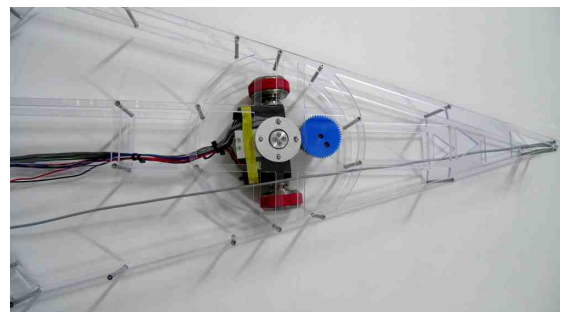


[그림 1] TRAP 갤러리에 설치된 모습

TRAP은 [그림 1]과 같이 가로 5미터 세로 2.4미터의 흰색 시트지로 마감한 철판을 수직으로 세운 벽에, 가장 긴 변의 길이가 2미터이고 짧은 변의 길이가 1미터인, 두께가 6센티미터인 흰 삼각형이 붙어있는 채로 미끄러지듯 움직이는 키네틱 인터랙티브 인스톨레이션이다.

### 2.2 TRAP의 기능 소개

TRAP의 삼각형은 끊임없이 움직인다. 삼각형의 한 꼭짓점이 프레임 바깥으로 나가면 센서의 감지에 따라 멈추고 센서를 인지한 컨트롤러의 지시에 따라 모터 구동부가 방향을 바꾸어 자체를 움직인다. 이러한 방식으로 삼각형은 프레임 내부에서는 자유롭게 움직일 수 있으나 프레임 바깥으로는 나가지 못하게 설계되어 있다. 삼각형의 각 꼭짓점 가까이 [그림 2]에서 보듯 회전축을 가지고 있다. 각 회전축을 중심으로 두 개의 특수 제작된 자석 바퀴의 구동장치가 설치되어 있어 총 6개로 구동하는 자석 바퀴로 움직이는 6륜 자동차와 같은 시스템이다.



[그림 2] 삼각형의 한 꼭짓점 내부모습

## 3. TRAP의 구현

### 3.1 TRAP 구현의 문제점

모든 구현은 문제점 도출과 이에 따른 연구 및 실험의 반복적인 릴레이 과정을 통해 이루어진다. 그러므로 이 논문은 작품 구현의 시작 단계에서부터 지속되어온 문제점을 다양한 실험과 연구를 통하여 해결해 나가는 방식을 취한다. 작품을 구현하기 위한 첫 번째 문제는 자석의 선택과 자기장 변환이다. 두 번째로 모터의 선택과 구동부 설계이다. 이어 센서와 콘트롤러 설계, 그리고 매우 중요한 전원부 설계와 삼각형 프레임 소재의 선택과 가공방법이다.

### 3.2 자석과 자기장 실험

#### 3.2.1. 영구자석의 종류

TRAP은 벽에 수직으로 세워진 철판 위에서 바퀴 역할을 하고 철판 위에 일정한 무게를 지탱하며 붙어 있을 수 있는 강력한 영구자석이 필요하다. 그러므로 원형의 영구자석들에 대한 종류 분석과 실험을 먼저 진행하였다. 실험에 사용된 7종은 [표 1]과 같다.

페라이트(Ferrite) 영구자석	바리움 페라이트 $BaO \times 6Fe_2O_3$
	스트론튬 페라이트 $SrO \times 6Fe_2O_3$
희토류(Rare-earth) 영구자석	사마리움-코발트 SmCo
	네오디움 NdFeB
알리코(Alico) 영구자석	
응용자석	고무자석
	플라스틱 자석

[표 1] 실험에 사용된 7종의 자석

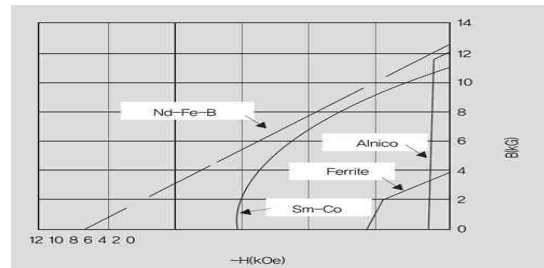
위 7종의 영구자석 중 고무 자석과 플라스틱 자석은 자력이 매우 약한 종류이므로 1차 실험 후 분석대상에서 제외하였다. 분석한 영구자석은 크게 3종류로 나누어 지는데, [표 2]에서 보듯이 페라이트, 희토류, 알리코 자석이다.

페라이트 영구자석	알리코 영구자석에 비해 높은 보자력을 가지고 있지만 잔류자속밀도가 낮다. 온도계수는 비교적 높은 편이며, 다른 영구자석에 비해 가격이 저렴하며 높은 전기저항을 갖고 있기 때문에 영구자석 내에서의 와전류손이 적다는 장점을 갖고 있다.
희토류 영구자석	희토류 영구자석 중 SmCo는 잔류자속밀도, 보자력 및 에너지적이 높고 선형적인 감자곡선과 낮은 온도계수를 가진다는 장점이 있다. NdFeB는 SmCo보다 높은 잔류자속밀도와 보자력 특성을 가지는 장점이 있는 반면 온도 조건에 취약하다는 단점을 가진다.
	알리코 영구자석의 주요 장점은 잔류자속밀도가 높

알리코 영구자석

고 온도계수가 낮다는 것이다. 따라서, 높은 공극자속 밀도의 확보가 가능하고 높은 운전 온도를 가질 수 있다. 그러나, 보자력이 매우 낮고 감자 곡선은 비선형성을 나타내어 착자 및 감자가 쉽게 일어나게 된다. 각 영구자석의 대표적인 감자 특성을 [그림 3]에 나타내었다.

[표 2] 3종의 영구자석 분석(홍정표, 허진, 2002)

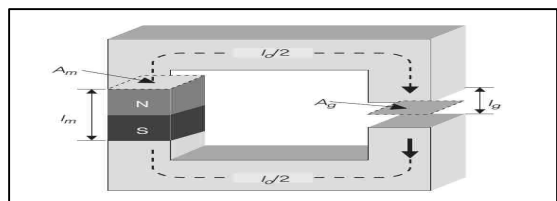


[그림 3] 각 영구자석의 감자특성

위와 같은 장단점 분석 및 실험을 통하여 가장 강력한 자력을 가지고 있으며, 온도조건에 취약하긴 하나, 일률적인 감자특성을 가지고 있는 네오디움(NdFeB) 자석을 선택하였다.

#### 3.2.2. 영구자석의 동작점 변화

영구자석을 포함하는 자기회로가 구성되면 영구자석을 고려한 퍼미언스(permeance), 자속의 통과하기 쉬움을 나타내는 양, 은 0과 무한대 사이의 값을 가지며(Jacek F. Gieras, 1999), 영구자석의 자기회로 구성이 [그림 4]와 같다고 할 때 자기회로는 외부의 영향으로 인하여 영구자석의 동작점 변화로 자기회로의 동작특성이 바뀌게 된다(David K. Cheng, 2001).



[그림 4] 자기회로



[그림 5] 원형 네오디움 자석과 자력 동작점 변화를 위한 보철 장치

이러한 원리를 이용하면, [그림 5]의 오른쪽과 같이 원형 자석과 같은 크기의 보철을 양옆에 붙였을 때, 동작점의 변화로 인하여 원형 네오디움 자석의 앞, 뒷면에 집중되어있던 자기장이 자석의 구름 면으로 유도되고, 구름 면의 자력은 이로 인해 왼쪽의 상태보다 약 4.3배 증가하여 충분한 자력을 얻어낼 수 있었다.

### 3.2.3. 영구자석의 장착방법

자석의 구름 면에 충분한 자력을 확보한 상태에서 다음 해결해야 할 것은 장착 방법이다. 먼저 자석의 구름 면이 그대로 철판에 붙는다면 자력은 충분하나 자석이 약한 충격에도 깨질 수 있다. 또한, 매끄러운 구름 면과 철판끼리는 아무리 자력이 강력하다 해도 미끄러지게 되어있다. 이를 방지하기 위해서 자석의 구름 면에 밀착되고, 자석을 스크래치로부터 보호하면서도, 자력을 보존할 수 있도록, 얇고도 탄력성 있으며 내구성 있는 물질을 탐구해야 했다.

일반 생고무, 실리콘, 우레탄 등 여러 소재를 실험하여, 경도65의 실리콘으로 선택하였다. 이후 자석에 딱 맞는 형태의 금형을 제작, 금형을 통해 다량 사출해내는 방식으로 [그림 6]과 같은 자석바퀴 전용 실리콘 프로텍션을 제작하였다.



[그림 6] 네오디움 자석과 경도65 실리콘 프로텍션

[그림 6]을 조립하여 보철을 대면 [그림 7]와 같이 되는 데, 이로서 작품 TRAP의 가장 기본이 되는 자석바퀴가 완료되었다.



[그림 7] 자석바퀴의 완료

완료된 바퀴를 모터 구동부와 연결하기 위하여 자성을 직결시키지 않는 금속으로 알루미늄을 먼저 실험하였으나, 볼트를 위해 탭공을 한 구멍들이 금방 헐거워지는 문제로, 자력이 통하지 않는 SUS 316급의

스테인레스로 가공한 컨넥터[그림 8]를 제작하여 한 세트를 완성하였다.



[그림 8] 자석바퀴세트

### 3.3 모터의 선택과 모터 구동부 설계

모터의 선택은 자석의 선택만큼이나 신중해야만 한다. 작품의 내구성을 결정하는 가장 큰 요소가 모터이기 때문이다. TRAP의 삼각형의 두께는 6센티미터이다. 외형 케이스의 두께가 5mm이므로 모터의 두께는 55mm보다 작은 것이어야 한다. 작으면 작을수록 좋으나 모터의 크기는 특별한 이유가 없는 한 모터의 힘(토크)과 직결된다. 그러므로 다양한 모터 중에서 가장 작으면서도 가장 큰 토크를 내는 서보모터류를 탐색한 결과, 국내 기술로 개발된 로보티즈([www.robotis.com](http://www.robotis.com))의 Dynamixel EX-106[그림 9]이 월등한 성능을 보였다.



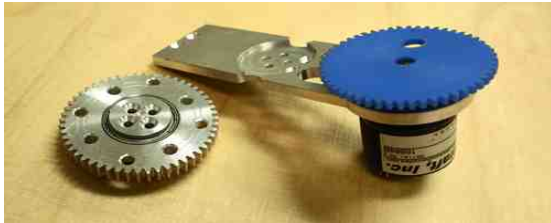
[그림 9] 로보티즈 Dynamixel EX-106

크기는 40mm x 65mm x 46mm에 불과하나 알루미늄 하우징을 사용하고, 서보의 가장 취약한 부분인 기어들도 모두 메탈 기어를 사용하여 내구성이 좋으며, 정교한 움직임을 만들어낼 수 있도록 최소 제어 각이 0.06°이다. 토크는 유사한 크기의 어떠한 서보모터보다 강력한 106kgf이므로 모터의 힘은 넘치는 수준이다. 모터는 [그림10]에서 보듯이, 두 개가 한 조로 체결된다.



[그림 10] 모터 2개 저속바퀴 두 개 1차 조립

한 조의 모터의 중앙 체결부에 회전축이 있어야만 두 모터의 속도 조절을 통해 방향 전환이 가능하고, 한 조의 모터가 어느 방향으로 회전하고 있는지를 알 수 있는 엔코더를 부착해야 한다. 엔코더를 읽는 방식은 회전부와 엔코더 조립부에 기어를 제작하여 기어가 맞물려 돌아가는 것을 역으로 읽는다. [그림 11]은 회전부와 엔코더가 장착되는 연결부의 모습이다.



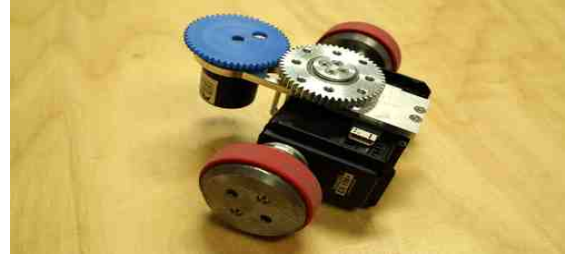
[그림 11] 엔코더가 장착된 회전부

회전 장치의 각도를 알 수 있는 로터리 엔코더는 두 종류가 있는데, 인크리멘탈 엔코더와 앵솔루트 엔코더이다. 인크리멘탈 타입은 상대적인 회전값을 읽어내고, 앵솔루트 타입은 절대값을 읽어낸다. [표 4]는 두 가지 엔코더의 차이를 설명해준다.

인크리멘탈 엔코더	
출력형식	회전축의 회전각에 따라 구형파로 출력
절대위치	기준위치로부터 계수됨
측정범위	분해능에 의해 결정
정전시	전원 복구 후 기준점을 다시 찾아야 함
앵솔루트 엔코더	
출력형식	회전축의 회전각에 따라 Parallel Code 로 출력
절대위치	상시 판별 가능함
측정범위	0° ~ 360°
정전시	전원 복구 후에도 절대위치 유지 계수가 불필요함으로 에러 발생 없음

[표 4] 엔코더 형식의 차이

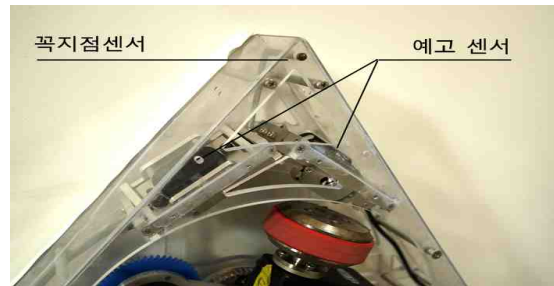
인크리멘탈 타입이 값이 저렴하고 많이 쓰이나, 이 작품의 경우 전원이 꺼져도 현재 위치를 절대값으로 알고 있는 앵솔루트 타입이어야 한다. 앵솔루트 엔코더는 Photocraft 사의 SR-12, 5V, 256 Binary 형으로, 신호 전송의 오류와 속도를 위해 Parallel Code 방식의 소형 엔코더를 사용하였다. [그림 12]는 엔코더가 장착된 회전부와 모터 세트가 조립된 모습이다.



[그림 12] 모터, 회전부, 엔코더가 체결된 모습

### 3.4 센서 설계

센서는 두 종류가 필요하다. [그림 13]에 나타나 있듯이, 삼각형의 각 꼭짓점에 설치되어 꼭짓점이 프레임 바깥으로 나갔는지를 감지하는 포토 센서, 또 하나는 각 꼭짓점 주변의 두 변에 설치되어 삼각형이 곧 프레임의 경계에 다다른다는 것을 알려주는 예고 센서이다.



[그림 13] 각 센서의 위치

예고 센서의 기능은 의외로 매우 중요하다. 논리적으로는 필요 없는 것이었으나 실험의 결과, 예고 없이 꼭짓점이 바깥으로 나갔을 경우 준비 없이 움직이던 삼각형의 바퀴 부분이 간혹 프레임 바깥에 빠져서 움직이지 못하는 문제를 해결해 주기 때문이다. [표 5]가 각각의 기능을 위해 선택된 센서를 보여준다.

꼭짓점용 포토센서	
제품명	Contrinex, LTK-1040-301-505
검출거리	직접 반사형, 20mm
특징	가장 작은 앵프내장형 포토센서



예고용 포토센서	
	
제품명	Autonics, BA2M-DDT
검출거리	직접 반사형, 2M
특징	크기대비 가장 큰 검출거리

[표 5] 사용된 센서

꼭짓점용 포토센서는 최대한 삼각형의 꼭짓점에 위치해야 하기 때문에 가장 작은 앰프 내장형을 선택하였으며, 예고용은 경사면에 비스듬히 각도를 조절하여 신호를 읽어야 하기 때문에 검출 거리가 큰 센서를 선택했다. [그림 14]는 예고 센서를 자유로이 각도 조절하여 삼각형 프레임에 설치할 수 있도록 고안된 프레임 안에 센서를 장착한 모습이다.

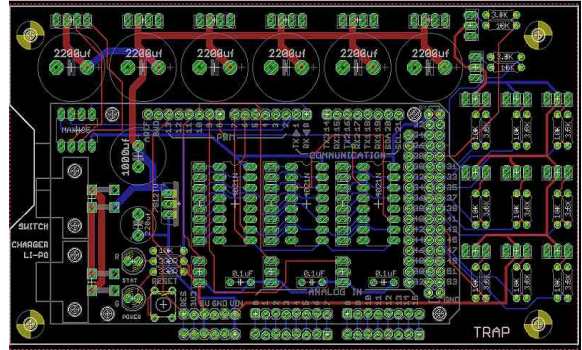
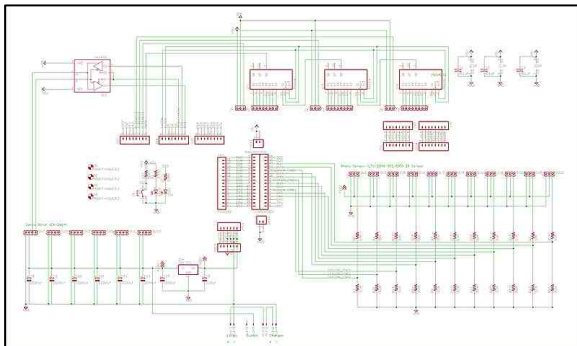


[그림 14] 각도조절용 예고 센서 프레임

### 3.5. 컨트롤러 설계

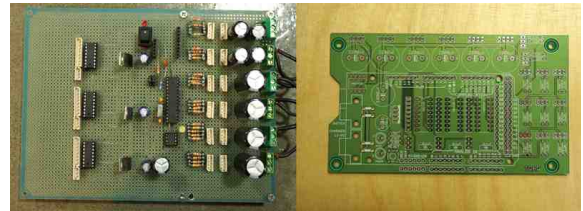
#### 3.5.1. 컨트롤러 보드 구성

컨트롤러는 모터, 엔코더, 센서 등 모든 하드웨어 장치들을 관장하고 현재 상태를 감지하며 명령을 내린다. 다수의 인풋/아웃풋 장치가 있기 때문에 I/O 핀이 많은 Arduino Mega를 사용하였다. [그림 15]는 컨트롤러의 회로도도와 PCB 보드 디자인이다.

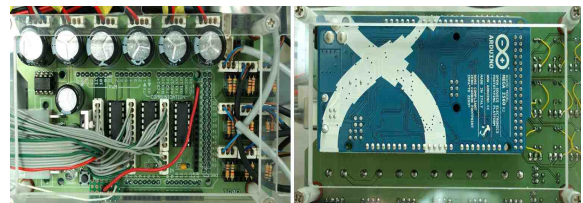


[그림 15] 컨트롤러 회로도도와 보드 디자인

위의 회로도를 기반으로 먼저 기판[그림 16] 작업을 하여 실험을 하고, 수차례의 수정을 거친 후, PCB를 제작한 후, 프레임에 배치[그림 17]하였다. 작은 공간 내에서 복잡한 회로를 구성해야 하므로 메인 컨트롤러인 Arduino Mega는 뒷면에, 전면에는 그 외 모든 부품이 배치되게 하여, 수정 및 디버깅시 편리하게 디자인하였다.



[그림 16] 실험 기판과 최종 제작된 PCB



[그림 17] 최종 배치된 컨트롤러 앞, 뒤

#### 3.5.2 컨트롤러 프로그래밍

[표 6]은 Variable 모음 코드이다.

```

int HoldTime = 0;
int DirCase = 0;
int HoldCase = 0;
int PassTime = 0;
/// [VARIABLES]
int pinLED = 13; // Power LED
int pinReset = 24;
// [Sensor]
int pinSensorEnd[3] = {31,37,43}; // Sensors (END)
int pinSensorEnd2[3] = {33,39,45}; // Sensors (END2)
int pinSensorEnd3[3] = {35,41,47}; // Sensors (END3)

// [Encoder]
int latchPin = 7;
int dataPin = 8;
int clockPin = 6;
int dataIn[3] = {0,0,0};
int dataready[3] = {9,10,11};
// [Servo]
int pinMODE = 2; // Communication Mode for RS-485

```

```

// [Encoder]_____
byte Enc_Range[3] = {0, 127,255};
int Enc_Zero[3] = {10, 84,117}; //139, 16,120};
int Angle[3] = {150,100,110};
int Enc_Angle[3] = {106, 70 ,78};
int Enc_Angle_Center[3] = { 54, 35, 39};
int Enc_Hys = 2;
int Angle_Straight[3] = { 70, 30, 80};
int Enc_Angle_Straight[3] = { 49, 20, 56};
// [Servo]_____
byte spd_MAX = 0xFF;
byte spd_CCW[2] = {0xFF,0x00}; // CCW : 0~3FF ( 0~1023)
byte spd_CW[2] = {0xFF,0x04}; // CW : 400~7FF (1024~2047)
byte spd_HysCCW[2] = {0x4F,0x00};
byte spd_HysCW[2] = {0x4F,0x04};
byte spd_Hold[2] = {0x2F,0x2F};
byte spd_Circle[6] = {0xFF,0xE6, 0xF2,0xDB, 0x86,0x70}; //0x86,0x6E+2
byte spd_Straight = 0xDF;
int dirRunArr[5] = {2,0,1,2,0};
byte servID[6] = {0x02,0x01, 0x04,0x03, 0x06,0x05};
// Dynamic Variables_____
byte Encoder[3] = {0,0,0};

```

[표 6] TRAP Code for Variables

```

// [Encoder]_____
// [fn] Shift In (8bit, 0-255)
byte shiftIn(int myDataPin, int myClockPin) {
    int temp = 0;
    int pinState;
    byte myDataIn = 0;
    pinMode(myClockPin, OUTPUT);
    pinMode(myDataPin, INPUT);
    for (int i=0; i<=7; i++) {
        digitalWrite(myClockPin, 0);
        delayMicroseconds(2);
        temp = digitalRead(myDataPin);
        if (temp) {
            pinState = 1;
            myDataIn = myDataIn | (1 << i);
        } else { pinState = 0; }
        digitalWrite(myClockPin, 1);
    } return myDataIn; };
// [fn] read Values from 3 Encoders
void fn_readEncoder3 () {
    for (int i=0; i<3; i++) {
        dataIn[i] = digitalRead(dataread[i]); }
    if (dataIn[0] == HIGH || dataIn[1] == HIGH || dataIn[2] == HIGH) {
        digitalWrite(latchPin,1);
        delayMicroseconds(20);
        digitalWrite(latchPin,0);
        for (int i=0; i<3; i++) {
            Encoder[i] = shiftIn(dataPin, clockPin);
            Encoder[i] -= Enc_Zero[i];
            if (Encoder[i] < 0) Encoder[i] = 255 + Encoder[i]; } };
// [fn] evaluate Value with Hysteresis
int fn_hysEncoder (int Val, int tVal) {
    int Val_case = 0;
    int Hys_min = tVal - Enc_Hys;
    int Hys_max = tVal + Enc_Hys;
    // evaluate with Hysteresis
    if (Hys_min < 0) {
        Hys_min = 255 + Hys_min;
        Val_case = 1;
    } else if (Hys_max > 255) {
        Hys_max = Hys_max - 255;
        Val_case = 2; }
    if (Val == tVal) {
        return 1;
    } else {
        switch (Val_case) {
            case 0: // ex) 0-10-20 [if (Hys==10)]
                if (Val>=Hys_min && Val<=Hys_max) return 1; //else return 0;
                break;
            case 1: // ex) 245-0-10
            case 2: // ex) 244-255-9
                if (Val>=Hys_min || Val<=Hys_max) return 1; //else return 0;
                break; } }
    // evaluate with Hysteresis*4

```

```

Val_case = 0;
Hys_min = tVal - (Enc_Hys *3);
Hys_max = tVal + (Enc_Hys *3);
if (Hys_min < 0) {
    Hys_min = 255 + Hys_min;
    Val_case = 1;
} else if (Hys_max > 255) {
    Hys_max = Hys_max - 255;
    Val_case = 2; }
if (Val == tVal) {
    return 1;
} else {
    switch (Val_case) {
        case 0: // ex) 0-10-20 [if (Hys==10)]
            if (Val>=Hys_min && Val<=Hys_max) return 2;
            else return 0;
        break;
        case 1: // ex) 245-0-10
        case 2: // ex) 244-255-9
            if (Val>=Hys_min || Val<=Hys_max) return 2;
            else return 0;
        break;
    } } ;

```

[표 7] TRAP Code for Encoders

[표 7]은 3개의 엔코더로부터 읽어 들인 데이터를 처리하는과정이다. [표 8]은 [표 7]로부터 처리되어진 데이터를 서보모터로 보내 서보모터를 움직이는 코드이다.

```

// [Servo]_____
// [fn] write Packet to Servo (N=1)
void fn_writePacket_1 (byte servID, byte Address, byte Value1) {
    int checksum_ACK;
    byte notchecksum;
    checksum_ACK = servID + 0x04 + 0x03 + Address + Value1;
    notchecksum = -checksum_ACK;

    digitalWrite(pinMODE,HIGH); // Notify max485 transceiver to accept tx
    delay(5); // Allow this to take effect

    Serial.print(0xFF,BYTE); // 1. These 2 bytes are 'start message'
    Serial.print(0xFF,BYTE); // 2. These 2 bytes are 'start message'
    Serial.print(servID,BYTE); // 3. Address 1 is target servo or 0xfe
    Serial.print(0x04,BYTE); // 4. Length of string
    Serial.print(0x03,BYTE); // 5. Ping read write or syncwrite 0x01,2,3,83
    Serial.print(Address,BYTE); // 6. Start address for data to be written
    Serial.print(Value1,BYTE); // 7. Data Value
    Serial.print(notchecksum,BYTE); // 8. the notchecksum
    delay(3); // allow last byte to go through
    digitalWrite(pinMODE,LOW);
    delay(10); };

// [fn] write Packet to Servo (N=2)
void fn_writePacket_2 (byte servID, byte Address, byte Value1, byte Value2) {
    int checksum_ACK;
    byte notchecksum;
    checksum_ACK = servID + 0x05 + 0x03 + Address + Value1 + Value2;
    notchecksum = -checksum_ACK;
    digitalWrite(pinMODE, HIGH);
    delay(5);
    Serial.print(0xFF,BYTE);
    Serial.print(0xFF,BYTE);
    Serial.print(servID,BYTE);
    Serial.print(0x05,BYTE);
    Serial.print(0x03,BYTE);
    Serial.print(Address,BYTE);
    Serial.print(Value1,BYTE);
    Serial.print(Value2,BYTE);
    Serial.print(notchecksum,BYTE);
    delay(3);
    digitalWrite(pinMODE,LOW);
    delay(10); };

// [fn] write Packet to Servo (N=4)

```



```

void fn_writePacket_4 (byte servoID, byte Address, byte Value1, byte Value2, byte
Value3, byte Value4) {
int checksum_ACK;
byte notchecksum;
checksum_ACK = servoID + 0x07 + 0x03 + Address + Value1 + Value2 + Value3
+ Value4;
notchecksum = ~checksum_ACK;
digitalWrite(pinMODE,HIGH);
delay(5);
Serial.print(0xFF,BYTE);
Serial.print(0xFF,BYTE);
Serial.print(servoID,BYTE);
Serial.print(0x07,BYTE);
Serial.print(0x03,BYTE);
Serial.print(Address,BYTE);
Serial.print(Value1,BYTE);
Serial.print(Value2,BYTE);
Serial.print(Value3,BYTE);
Serial.print(Value4,BYTE);
Serial.print(notchecksum,BYTE);
delay(3);
digitalWrite(pinMODE,LOW);
delay(10); };

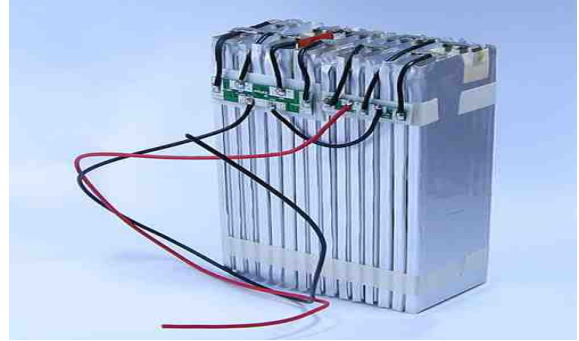
```

[표 8] TRAP Code for Servos

위 세 코드는 전체코드 중 엔코더와 서보모터를 움직이는 핵심에 해당하는 부분으로 코드는, C언어 기반의 Arduino 프레임틀을 사용하였다.

### 3.6. 배터리

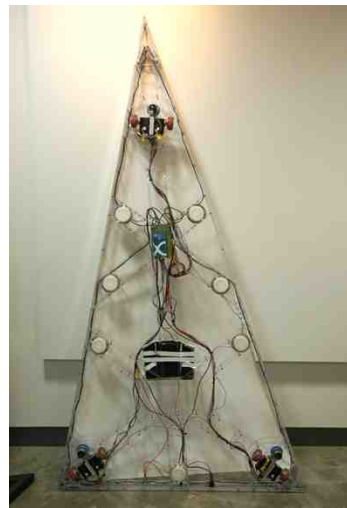
TRAP의 배터리는 가장 고민하고 결정했어야 하는 문제이다. 중요한 선택의 요인은 첫째 무게가 가벼울 것, 둘째 방전 용량이 클 것, 셋째 급속 충전이 가능할 것 등 현실적으로 아직 유통되고 있는 유형에서는 이를 완전히 충족하는 배터리는 없었다. 이러한 이유로, 이와 가장 근사치의 기능을 가지고 있는 리튬폴리머 배터리를 선택하였다. 배터리를 사용하기 전에 유선 전원으로 시험 가동했을 때 소요되는 전력량은 대략 18.5V/2A였으므로, 18.5V 리튬폴리머 배터리를 사용하고 완충되었을 때, 20A는 되어야 이론적으로 10시간 가동할 수 있는 것이었다. 그러나 실제 가동 시간은 여러 예외적 상황을 고려할 때, 3/5 정도이므로, 적어도 24암페어 용량을 준비해야 8시간을 작동시킬 수 있다. [그림 18]에 보이는, 액사 리튬폴리머 충전지 AL5548135C(3.7V 4000mAh) 30개를 5개 직렬, 6개 병렬로 작업한 후, 보호회로(PCM3S, 2S) 2개와 전선(+적색, -흑색)을 연결하였다. 리튬폴리머 배터리는 현존하는 배터리 중에서 부피 대비 효율이 가장 좋은 형태이다. 그러나 여전히 과열과 충격에 약해서 잘못 다루었을 때 폭발할 수도 있는 위험성을 갖고 있기도 하다. 이를 완화하기 위해서 배터리는 충격완화 수지 고무로 이중 마감하여 삼각형의 무게 중심부에 배치하였다. 배터리 자체의 무게가 4kg을 넘는 점이 못내 아쉬운 점이나, 이는 작가가 독자적으로 개선할 수 있는 한계 밖의 것이므로 새로운 가볍고 효율적인 배터리의 지속적인 연구와 출현을 고대한다.



[그림 18] 리튬폴리머 배터리

### 3.7. 삼각형 프레임 설계

TRAP의 본체 설계는 여러 차례의 시행착오가 있었다. 자력과 모터의 힘이 계산했던 사양대비 충분했다고 생각하고, 프레임 자체의 무게에 대해서 크게 고려하지 않았던 것이 문제였다. 계속된 설계 변경과 실험을 통해, 본체 프레임의 무게는 최소화해야 한다는 결론을 얻었다.



[그림 19] 삼각형의안쪽면

생각보다 훨씬 더 큰 중력이 작용하는 것을 확인했기 때문이다. 프레임 자체의 무게는 5kg 미만이어야 했고, 삼각형은 한 변의 길이가 2미터에 이를 만큼 컸기 때문에 자체 강도와 평활도, 동시에 경량성을 갖춘 소재를 찾아야 했다. 실험 결과, 가볍고 내구성이 좋아 방탄용으로도 사용되는 폴리카보네이트(PC)소재가 가장 적합하여 최종적으로 선택하였다. 또한, 삼각형 프레임은 모터와 배터리, 센서, 컨트롤러 등 모든 장치를 수반해야 하기 때문에 정교한 설계가 필요하였다. [그림 19]는 모든 부품이 장착된 삼각형 프레임의 안쪽 면 모습이다.

### 4. 결론 및 개선 방향

미디어아트 작품 TRAP[그림 20]은 8개월에 걸친 실험의 결과물로 2011년 The Creators Project 서울 전시에서 성공적으로 발표되었다. 미디어아트 작품은 대부분 한 번의 전시로 완성되지 않는다. 전시를 통



[그림 20] 완성된 작품 TRAP

해 여러 가지 예외 상황을 겪으며 작품은 필요와 요구에 따라 진화된다. 이 작품 역시 오랜 시간 실험을 해왔음에도 불구하고 여전히 문제점을 보였는데, 세 가지로 정리하자면, 모터의 과열, 로터리 슬립링의 부재, 마지막으로 삼각형의 보다 자연스러운 유기체적인 움직임이 없는 것이 아쉬운 점이었다.

먼저 예상했던 문제는 리튬폴리머 배터리가 실제 하루 8시간 정도를 유지할 것인가였는데, 실제 배터리는 큰 문제 없었으나 운행 중 모터가 과열하여 모터의 자체 온도가 80도가 넘어가면 안전을 위해 스스로 정지하는 일이 종종 발생하였다. 이러한 문제로 약 한 시간을 운행한 후, 열을 식히기 위해 20분간을 멈춰두어야만 했다. 작품 감상 시간대를 정해두어 전시 운영에는 차질 없었으나, 이는 반드시 개선되어야만 하는 사항이다. 이 문제를 개선하기 위해서는 모터를 분해하여 방열부에 방열판 구조를 만들고 팬을 달아주어 열을 식히는 방법밖에는 없다. 모터의 자체 기능을 손상하지 않는 상태로 모터의 열을 식힐 수 있는 정교한 설계가 우선 되어야 한다.

두 번째 문제로 모터 구동부 설계시 구동부가 360도 회전하지 못하게 한 본질적인 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 구동부 두 모터의 중심부에, 회전하는 물체에 전선의 꼬임 없이 전원을 공급할 수 있는 로터리 슬립링을 추가하여 이를 통하여 전원을 공급하게끔 해야 한다.

첫 번째와 두 번째 문제가 개선되면, 세 번째로 삼각형의 움직임을 보다 자유로이 움직일 수 있게 된다. 현재 삼각형의 간혹 부자연스러운 운동을 보이는데 이 역시 위 두 문제의 기술적인 한계로부터 발생한 문제이다.

이 세 가지 문제를 개선하였다 하더라도 이 작품이 완성되었다고 볼 수는 없을 것이다. 지금까지의 실험 과정이 그러했듯이, 지난 모든 실험 과정과 성과를 모두 뒤엎어야만 하는 구조적인 변화가 뒤따를 수도 있다. 이러한 실험 과정의 부침은 일회일비할 성격의 것이 아니고, 미디어아티스트라면 숙명적으로

받아들여야 하는 문제로, 이러한 과정을 통하여 보다 완전한 미디어를 만들어가는 프로페셔널리즘의 관점으로 해석되어야 옳다고 본다.

이 논문이 한 작품을 수행하는 동안의 무수한 실험 및 성과를 정리하는 실험보고서로 끝나지 않고, 이로부터 자석과 모터를 기반으로 하는 다른 신선한 아이디어를 보다 나은 결과물로 이끌어내는 작은 기술적 토대가 되었으면 하는 바람이 있다. 이 작품은 <http://vimeo.com/32580429> 에서 동영상으로 확인할 수 있다.

#### 참고문헌

- 목진요(2012). 미디어아트 작품 TRAP의 개념적 입장. 디자인트렌드학회.
- 홍정표, 허진(2002). 테크니컬 시리즈: 소형모터 기술(2). 창원대학교출판부.
- David K. Cheng(2001), Fundamentals of Engineering Electromagnetics, Addison Wesley.
- Mulukutla S. Sarma(1998), Electric Machines, PWS Publishing Company.
- Jacek F. Gieras(1999), Mitchell Wing(2004), Permanent Magnet Motor Technology, Marcel Dekker, Inc..

#### 웹사이트

- <http://www.thecreatorsproject.com>
- <http://vimeo.com/32580429>
- [http://support.robotis.com/ko/product/dynamixel/ex\\_series/ex-106+.htm](http://support.robotis.com/ko/product/dynamixel/ex_series/ex-106+.htm)