

# **ME400: 창의적 시스템 구현 - 최종 보고서**

2018-spring

**Team: 걷지 말고 기어**

**작성자: 20150121 김민경**

**역할: 솔리드웍스 설계 및 제작**

**팀원: 20150760 최 원**

**20150094 김덕영**

**20150388 사공철**

**20150510 윤상원**

**20150579 이예찬**

**20150813 홍성웅**

## **§목차**

### **1. Project Schedule**

#### **1.1 Monthly Plan**

#### **1.2 Progress Report**

### **2. Hardware Design**

#### **2.1 Overview**

#### **2.2 Pick up System**

#### **2.3 Gear System**

#### **2.4 Vibration Analysis**

#### **2.5 Heat Transfer Analysis**

# 1. Project Schedule

## 1.1 Monthly Plan

### ● 3월

3월은 대부분의 시간을 아이디어 회의와 각 파트별 프로그램 학습에 쏟았습니다. 특히, 초창기에는 최대한 아이디어의 양을 많이 늘리는 데에 집중했습니다. 초창기에 아이디어가 결정된다 하더라도 이는 추후 하드웨어 제작하면서 얼마든지 변경될 수 있는 부분이기때문에, 아이디어는 초기에 질보단 양에 중점을 두는 것이 좋습니다. 여기에는 공학설계에서 배운 tool들이 사용되었습니다.

집기, 열전달, 진동 등 각 부분별로 아이디어 회의를 진행하였습니다. 그리고 브레인스토밍 등의 아이디어 생산 과정을 거쳐 선택된 몇가지의 후보군은 공학설계에서 배운 프로세스를 통해 가장 적합한 선택지를 골랐습니다. 아래는 집기 방식 선택의 예시입니다.

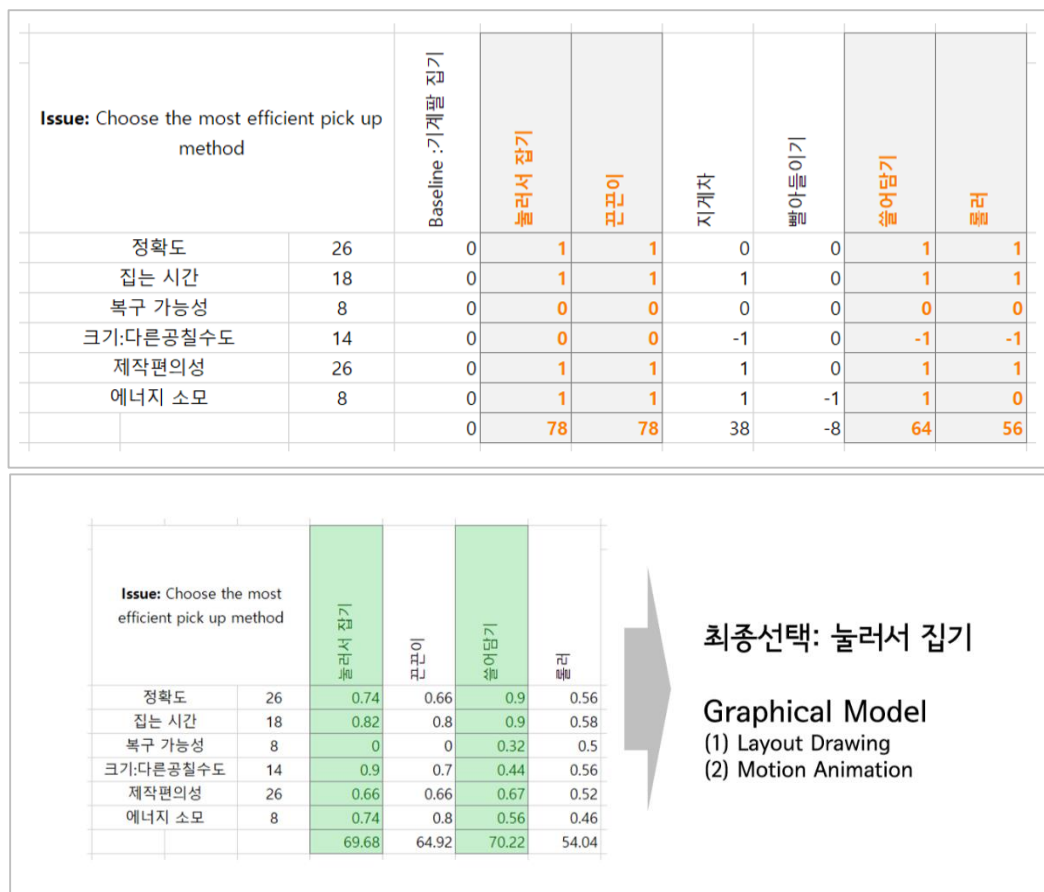
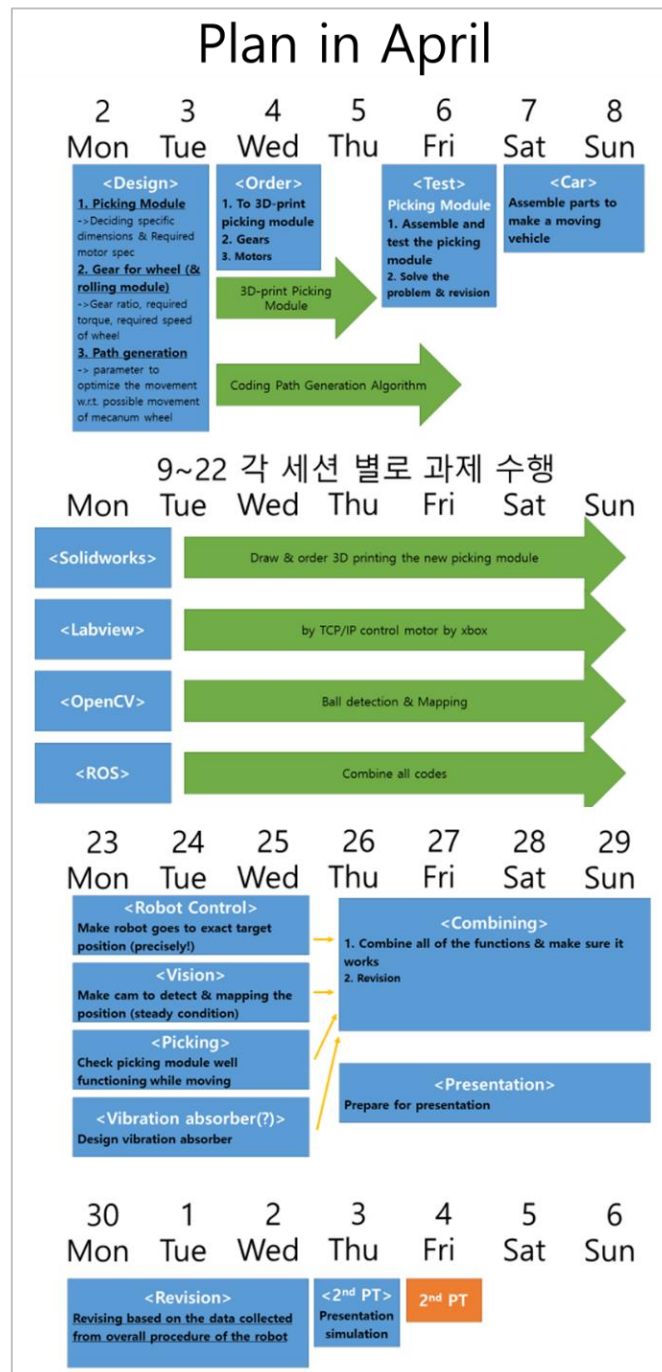


Figure 1 Apply decision matrix

## ● 4월

4월은 첫번째 발표의 피드백을 바탕으로 설계 제작을 시작했습니다. 솔리드웍스 파트는 사실 3,4,5 월 전체적으로 꾸준히 작업량이 있는데, 특히 이 시기가 초기 설계의 오류를 접하게 되는 시기라 많은 시간을 제작에 할애하게 되었습니다. 전체 프로세스 진행 과정은 아래 스케줄러를 참고하면 될 것 같습니다.



## ● 5월

5월은 두번째 발표의 피드백을 바탕으로 최종 플랫폼 설계가 완료되어야 하는 시기입니다. 특히 하드웨어가 빠르게 설계 되어야 인테그레이션 과정에서 나타나는 오류나 고장을 미리 대처할 수 있기 때문에, 최대한 빨리 하드웨어가 완성되는 것이 중요합니다. 마찬가지로, 전체 프로세스 진행 과정은 아래 스케줄러를 참고하면 될 것 같습니다.



## 1.2 Progress Report

### 1. 3월 19일 ~ 3월25일

#### ① 팀미팅 내용

-월요일에는 교수님과 미팅을 가지면서 지난주 진행사항을 보고하였습니다. 지난 주에 Ideation에서 도출한 아이디어들을 decision matrix를 통해 press 형식으로 결정을 내렸으며, 이것을 교수님께 보고하였습니다. 이에 대해 교수님께서 빠르게 무언가를 만들어보며 아이디어를 발전시켜 나갈 것을 조언해 주셨습니다.

-화요일, 수요일에 팀 미팅을 통해 아이디어를 발전시켰고, 교수님께서 말씀하셨던 바와 같이 눌러서 잡는 아이디어를 패트병과 고무줄로 간단히 만들어보았습니다.

-금요일(3/23) 1시부터 교수님과 다시 한번 미팅을 가졌습니다. 조교님들께 사전 검토 받은 내용을 보고하였습니다. 이에 대해 아이디어의 메커니즘이나 진동, 열 등에 대해서 창의적인 아이디어가 필요함을 조언해 주셨습니다.

-토요일 동안 그동안 진행되었던 press 형식을 구체화하기 위해 토의를 진행했다. 그러나 내려놓은 방법이나 정확성을 향상시킬 방안을 찾지 못했고, 롤러 형식으로 아이디어를 다시 바꾸었습니다. 1차 발표 개요에 대해서도 논의하였습니다.

#### ② 솔리드웍스 및 개인 진행사항

-수요일, 목요일 솔리드웍스 오피스 아워에 참여하면서 고무줄과 같은 재질의 힘 해석에 대해 조언을 구하였습니다. 다만 정확한 해석을 위해서는 공의 무게를 직접 재서 시뮬레이션 할 것을 조언해 주셨습니다.

-금요일 11시 반에 솔리드웍스 담당 조교님들과 발표 전 필수 사전 검사를 약 15분간 받았습니다. 그동안 아이디어 회의를 통해 나왔던 아이디어들에 대해 조교님들께 피드백을 받았습니다. 차체 프레임 두가지 아이디어를 컨펌받았으며, 진동 방식에 대해서 고려한 부분은 좋지만, 집기 방식이 더 구체화될 필요가 있음을 조언해 주셨습니다.

-토요일부터는 롤러 방식으로 새롭게 바꾼 아이디어에 대해 솔리드웍스 설계를 시작하였습니다.

#### ③ ICL 진행사항

-각 조별로 발표 내용이 확정되지 않아 그 다음주인 3/28일에 연장 수업을 하는 것으로 결정하였습니다.

## 2. 3월 26일 ~ 4월 1일

### ① 팀미팅 내용

-월요일 교수님과의 미팅에서 아이디어가 롤러로 변경된 부분과 발표 플롯에 대해 전달하였습니다. 발표 플롯에 대해서는 화요일과 수요일에 추가적으로 미팅을 잡아 조언해 주셨습니다.

-롤러로 변경된 부분에 대해서는 교수님께서 아이디어를 더 보완할 것을 조언해 주셨습니다. 화요일 팀미팅에서는 교수님 조언에 따라 롤러 방식의 가장 큰 문제점인 공을 치는 부분에 대해 역학적으로 해석을 진행하였습니다.

-금요일 발표가 끝난 뒤에는 짧게 팀 미팅을 가져 앞으로의 계획에 대해 논의하였습니다. 중간고사기간을 고려하면 첫 프로토타입 제작이 빠르게 진행되어야 하기 때문에 다음주 화요일까지 솔리드웍스 팀이 우선적으로 기어를 설계해 도면을 넘기기로 결정이 되었습니다.

### ② 솔리드웍스 및 개인 진행사항

-지난주 메카넘휠과 기어, 다이내미셀, 차체의 어셈블리를 제작하여 같은 팀의 예찬씨에게 전달하였습니다. 기타 부품들을 쌓는 몸통과 공을 줍는 부분에 대해서는 예찬씨께서 추가적으로 제작해 주셨습니다.

-1<sup>st</sup> Idea Proposal의 자료와 발표를 담당하였습니다.

### ③ ICL 진행사항

-수업에 참여한 모든 조가 발표자료를 들고 예행 연습을 진행하였습니다. 발표가 끝난 뒤에는 교수님께서 한 팀씩 개별로 피드백을 주었습니다. 내용은 다음과 같습니다.

-강점: Introduction이 탄탄하며, 발표 구성이나 적절한 어휘가 사용되었다. Eye contact이 자연스럽다.

-발전시킬 부분: 집기방식이나 그에 대한 해석은 다소 취약하다. 목소리 크기도 키울 필요가 있다.

## 3. 4월 2일 ~ 4월 8일

### ① 팀미팅 내용

-월요일에 (4/2) 첫 발표에 대해서 교수님께 피드백을 받았습니다. 전체적으로 모든 조들의 아이디어나 진행 상황이 비슷했다는 평가를 받았고, 어떻게 우리 조의 product를 차별화 할 수 있을지에 대해 의논하였습니다.

-다이나미셀, 누크, 마이리오, 추가 모터 등에 들어갈 컨버터 스펙을 의논하였습니다. 또한 다음 발표때까지의 progress plan을 계획하고 프로토타입 제작에 대해 논의하였습니다. 당장의 차체는 플라스틱 박스로, 슬라이딩과 롤러 파트는 3d 프린터로 제작하기로 결정하였습니다.

-다이나미셀의 rpm이 작은 것을 고려하여 기어를 설계하기로 결정하였습니다. 기어 종류나 체결 방식에 대해서는 여상은 선생님과 추후에 의논하는 것으로 결정하였습니다.

## ② 솔리드웍스 및 개인 진행사항

-같은 파트의 이예찬 학생과 역할을 분담하여 진행하였습니다. 팀미팅에서 정한 dimension을 바탕으로 이예찬 학생은 롤러부분을, 저의 경우는 공이 넘어와 저장소로 넘어가는 받침대 부분을 제작하였습니다. 여상은 선생님께 stl파일을 전달하였습니다.

## ③ ICL 진행사항: 휴강

# 4. 4월 8일 ~ 4월 15일

## ① 팀미팅 내용

- 대화동 부품상가로 출장을 다녀왔습니다. 대화동에서 바퀴의 축으로 사용될 연마봉과 베어링 등을 구매하였으며, 납땜에 필요한 스위치에 커넥터 등을 구입하였습니다. 차체를 위한 박스 또한 추가로 다이소에서 3개를 구입하였습니다.

-컨버터는 원하는 스펙의 제품을 구할 수 없어 인터넷으로 주문하기로 결정하였습니다. 기어 또한 원하는 크기가 없어 주문제작이나 여상은 선생님을 통해 구입하는 것으로 결정하였습니다. 베어링을 고정하는 부분도 여분을 구하기 어려워 솔리드웍스 팀에서 3d프린터로 뽑는 것으로 결정하였습니다.

- 금요일에 추가로 미팅을 가져 컨버터를 최종 결정하고 주문을 진행하였습니다. 3d 프린터로 뽑은 롤러와 바닥부분을 전달받았으며 몇 가지 수정사항이 발생하여, 프로토타입 제작에 대한 팀 내 의논을 진행하였습니다.

차체에 사용될 기어 모델명을 선정하여 여상은 선생님께 전달하였습니다.



② 솔리드웍스 및 개인 진행사항

-1차적으로 제작한 받침대 부분을 접착하여 프로토타입을 제작하였습니다.

-팀 내 의논을 바탕으로 수정된 받침대와 롤러부분을 다시 제작하여 stl파일을 여상은 선생님께 전달하였습니다. 시험이 끝나는 대로 롤러, 받침대, 과학상자를 이용해 만든 storage부분을 연결, 고정할 계획입니다.

③ ICL 진행사항

-지난번 1차 발표에 대한 피드백을 바탕으로 수업이 진행되었습니다. 특히, 모든 조가 공통적으로 지적 받았던 시선처리와 스토리텔링에 대해 조언을 받았습니다.

5. 4월 16일~22일

① 팀미팅 내용

-시험 주간에는 팀 미팅을 진행하지 못하였고, 일요일(22일)에 모여 미팅을 진행하였습니다. 다음주 교수님과의 미팅 전까지 최대한 움직이는 부분에 대한 프로토타입은 완성하는 것을 목표로 계획을 수립하였습니다. 그리고 그 첫번째 단계로 금요일에 기계공학동 로비에서 메카넘 휠을 구동하는 것을 목표로 잡았습니다.

-여상은 선생님을 통해 메카넘 휠에 사용될 기어 (기어비 2.61:1)을 주문했습니다.

-도착한 컨버터를 바탕으로 회로를 만들고, 납땜을 완료하였습니다.

② 솔리드웍스 및 개인 진행사항

-슬라이딩 부분과 롤러 부분에 대한 3d 프린팅 결과물을 전달받았으며, 이를 과학상자로 만든 부품들과 결합하였습니다.

-금요일(20일)에 솔리드웍스 조교님들과 미팅을 가졌으며, 소프트웨어의 빠른 인테그레이션을 위해 하드웨어 부분을 빠르게 구축할 것이라 피드백을 전달받았습니다.

③ ICL 진행사항

없음

## 6. 4월 23일~29일

### ① 팀미팅 내용

-월요일에 주문한 기어가 도착하여 여상은 선생님께서 전달받았습니다.

-롤러용으로 주문한 로보티스 모터 제어에 문제가 있어서 다른 모터로 주문을 다시 진행하였습니다.

-교수님의 출장으로 교수님과의 미팅을 진행하지 못하였습니다. 대신에, 김수용 조교님께서 진행상황을 검토해주셨습니다.

-목요일(26일)에 팀미팅을 진행하여 현재 진행상황을 검토하고 다음주 금요일 발표때까지를 위한 업무 분담을 진행하였습니다.

### ② 솔리드웍스 및 개인 진행 상황

-플라스틱 상자를 차체로 하여 1차적으로 프로토타입을 제작하였습니다. 하지만 플라스틱 상자가 하중에 대한 변형이 생각보다 크다는 점, 납땜한 부분에 문제가 발생한 점 등으로 인해 설계와 납땜을 재진행 하였습니다.

-기어 dimension 을 고려한 차체 설계를 진행하였고, 2차적으로는 단단한 아크릴 판을 이용하여 밑판을 제작하였습니다. 하지만 현재 차체는 크기가 커진다는 단점이 있어서, 크기를 줄일 방안을 모색하고 있습니다.

### ③ ICL 진행상황

-지난 발표 영상을 보고 자신의 발표를 피드백하고, 다음 발표 때까지 improve 해야할 부분들에 대한 계획을 수립하였습니다.

## 7. 4월 30일~5월 6일

### ① 팀미팅 내용

-화요일, 수요일, 목요일 연속적으로 미팅을 가지면서 두번째 발표까지 지속적으로 플랫폼을 발전시켰습니다.

-롤러용 모터로 롤러 부분을 회전시키는 것에 성공했으나, 모터의 토크가 약해 2차 발표가 끝난 뒤에 적절한 스펙의 모터를 추가 구매할 예정입니다.

-목요일에 추가적으로 발표 구성에 대해 교수님과 미팅을 가졌고, 긍정적인 피드

백을 받았습니다.

-최종 진행상황은 다음과 같습니다.

- 1) 실제 미션 상황에서 자율주행 모드로 공 3개를 수집하는 것에 성공, 약 30초 정도 소요
- 2) 열, 진동에 대해 분석을 진행. 컨버터의 온도를 낮추기 위한 방열판과 팬모터 스펙 fix. 차체 진동에 의한 진동은 1Hz미만으로 캠에 영향을 크게 미치지 않는 것으로 증명,

## ② 솔리드웍스 및 개인 진행 상황

-화요일에 기어 진동에 문제가 생겨 수요일에 재가공 및 재조립을 진행하였습니다.

-롤러 모터와 롤러 축을 연결할 커플링을 추가적으로 3d 프린팅하여 롤러를 연결하였습니다.

-2차 발표 담당하게 되어, 발표 자료 및 대본을 준비하였습니다.

## ③ ICL 진행상황

없음

## 8. 5월 6일~13일

### ① 팀미팅 내용

-화요일(8일)에 2차 발표 후 첫 조모임을 가졌습니다. 앞으로 한달 동안 진행되어야 할 사항들을 정리하고, 각 파트별 담당을 지정하였습니다. 가장 우선적으로는 솔리드웍스 팀에서 다음주 화요일까지는 소프트웨어 팀의 integration이 가능할 수 있도록 차체를 다시 견고하게 재가공하기로 하였습니다.

-목요일에 차체 조립이 완료되어 소프트웨어 팀에서 개별적으로 미팅을 가져 차체 integration을 진행하였습니다.

-일요일(13일)은 뒷문 개방 구조에 대해 아이디어를 의논하고 최종 사용할 모터나 제품에 대해 구매를 진행하였습니다.

## ② 솔리드웍스 및 개인 진행 상황

-목요일(10일)에는 차체를 다시 분해하여 다음과 같은 부분을 보완하였습니다.

- 1) 기어 축에 슬립을 방지하기 위한 탭을 내어 슬립링을 끼우고 축의 이동으로 인한 뒤틀림을 보완하였습니다.
- 2) 바닥면의 네개의 프로파일 사이에도 추가로 축길이 만큼의 프로파일을 끼워 축에 외력이 작용하여 기어가 뒤틀리는 것을 보완하였습니다.
- 3) 기어에 의한 모터의 회전을 방지하기 위해 외부에 L자형 고정단을 추가로 부착하였습니다.

## ③ ICL 진행상황

-박선민 교수님으로부터 두번째 발표에 대한 피드백을 받았습니다.

장점: 발표의 구성/ 설명에 쓰이는 자료들이 직관적이고 명료

단점: 마이크의 에코/ 대본을 단순히 외우지만 말고 fluency를 향상시킬

필요가 있음

## 9. 5월 14일~5월 20일

### ① 팀미팅 내용

-월요일(14일): 교수님 미팅

-두번째 발표에서 지적을 받았었던 진동 분석에 대해 교수님께 조언을 구함.

-목요일(17일): 공동강의실 첫 데모 시행

연결 문제로 인해 ball detect 만 확인.

실제 환경에 맞춘 공 detect 조건 수정

### ② 솔리드웍스 및 개인 진행 상황

-뒷문 파트를 제작하고 MX-12W 모터에 결합하여 납땜에 연결, 구동 확인

-Storage에서 기존의 경사가 완만하여 공이 바구니로 잘 내려가지 않는다는 문

제가 발생. 3d 프린터에서 큰 파트를 한번에 뽑아 발생하는 문제로, 좌우는 나누어 다시 제작.

-롤러 부분 모터 커플링 다시 제작하여 부착함

### ③ ICL 진행상황

-두번째 발표 영상 자료를 통해 발전시킬 사항을 정리

## 10. 5월 21일~27일

### ① 팀미팅 내용

-월요일(21일): 방열판 및 팬모터 주문

-화요일(22일): 공동강의실 2차 데모

-차체가 rigid하기 때문에 약간 휘어진 공동강의실 바닥에서 오히려 단점으로 작용. 대각선 방향으로 차체가 나가지 못하는 문제가 발생. 코드로 해결하거나 차체 재 조립 등 해결책 논의.

-수요일(23일): 교수님 미팅

-2차 데모에서 발생한 문제에 대해 교수님께 논의. 3축으로 연결된 밀 바닥 프로파일에 하나의 자유도를 추가하는 것을 솔루션으로 제시

-금요일(25일): 공동강의실 3차 데모

-차체 네 축을 다풀고, 대각선 방향 회전 속도를 높이자 문제 어느정도 해결되었다. 하지만 차체가 진동에 약해져 연결부위가 풀리게 되는 단점이 작용하여 다른 방법 모색.

-토요일(26일): 공동강의실 4차 데모

-밀 부분 프로파일을 반으로 나누어 자유도 추가하고 다른 축 고정 부분을 다시 조였다. 진동 및 대각선 방향 문제 해결.

### ② 솔리드웍스 및 개인 진행 상황

-롤러 부분 길이 재조정

- 대각선 진행 문제에 대해 조교님들과 논의한 것을 바탕으로 차체 재조립
- 방열판 및 팬 모터 부착 & 열해석 진행
- 공이 튀어 나가는 것을 방지하기 위한 가림막 제작

### ③ ICL 진행상황

- 두 광고 영상 자료를 통해 청중의 시선을 잡아 끌 수 있는 자료를 공부
- 다른 조와 차별화를 둘 수 있는 점에 대해 논의

## 11. 5월 28일~6월 1일

### ① 팀미팅 내용

- 월요일(28일): 공동강의실 데모

금, 토, 일 모터가 연속적으로 고장나 월요일 공동강의실 데모에서는 바퀴의 구동만을 살펴보았다.

이후 추가로 모터와 컨버터를 구하여 기존의 구조를 대체하였고, 창시구실에서 동일한 조건으로 데모를 실행하였다.

- 목요일(31일): 공동강의실 데모

추가로 구매한 팬 모터와 방열판을 모두 부착하여 열 방출 시스템이 제대로 구동되는지 살펴보고, 최종적으로 코드를 점검하였다.

### ② 솔리드웍스 및 개인 진행 상황

- 열해석 및 진동 해석 완료하였으며, 하드웨어를 계속 보완
- 발표 자료 제작

### ③ ICL 진행상황

- 최종 발표 리허설

## 2. Hardware Design

### 2.1 Overview

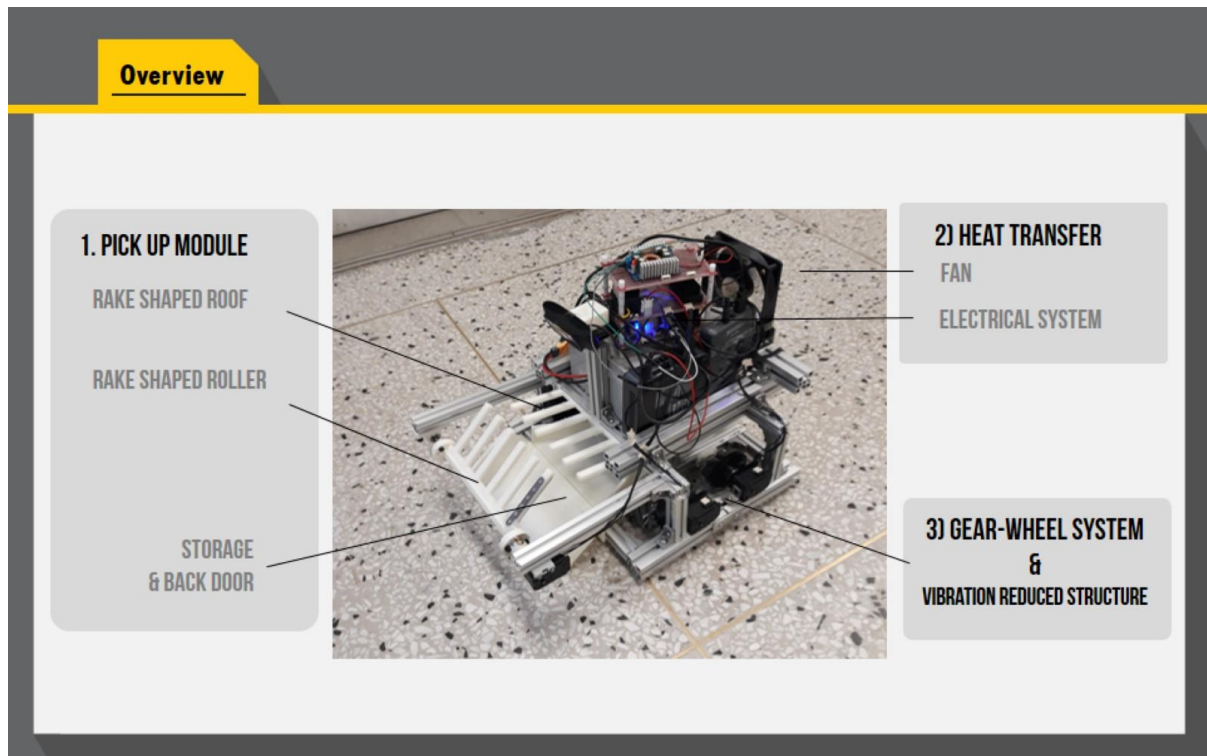


Figure 2 Overview of hardware

Mobile platform의 구조는 위와 같다. 특징적인 구조는 pick-up module, 열 전달 설계(fin & fan), 그리고 기어 시스템이 있다. 카메라 위치, 차체의 크기 또한 최적으로 설계하였다.

### 2.2 Pick up System

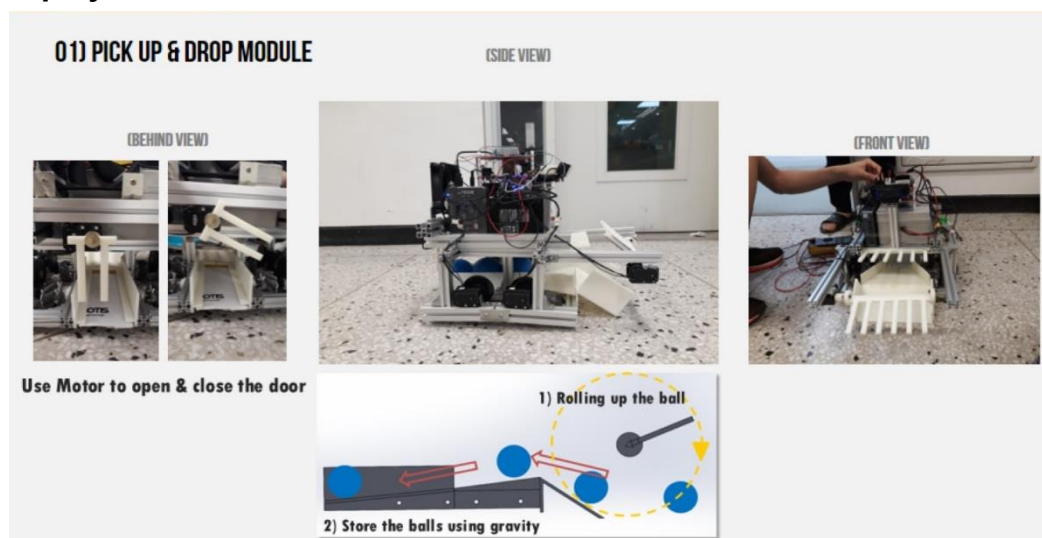


Figure 3 pick up & drop module

다음은 공을 주워 담고, 내려놓는 모듈의 앞, 옆, 뒤에서 본 모습이다. 공은 차가 앞으로 이동하면서 앞 쪽에 있는 롤러에 의해서 앞쪽 경사면을 타고 들어올려진다. 경사면을 지나고 난 이후에는 중력에 의해 뒤쪽으로 굴러갈 수 있도록 경사로 형태로 저장소를 설계하였다.

## 1) Roller design

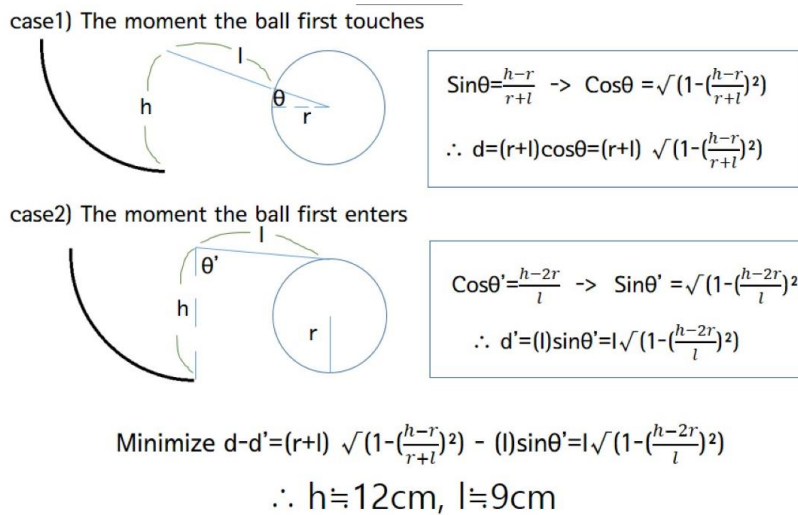


Figure 4 optimal dimension for roller

Figure 4 은 공을 잡을 확률이 가장 높은 roller 의 길이와 roller 중심 높이의 위치를 계산한 것이다. 그러기 위해서는 공을 놓치는 공의 위치 범위를 최소로 만들어야 한다. 그 결과 roller 의 길이는 9cm, 중심의 높이는 12cm 로 설정되었다. 또한 roller 에 의해 공이 다시 빠져나갈 수 없도록 위쪽에 가림 막을 설치하였다.

## 2) drop module

저장고가 뒤쪽으로 경사져 있기 때문에 뒤에 아무런 장애물이 없다면 공이 자연스럽게 떨어지도록 되어있다. 따라서 공을 주울 때는 저장소의 뒤쪽을 막아 두었다가 공을 떨어뜨릴 때에만 막아둔 것을 치우도록 했다. 다른 전원을 쓰지 않는 방법도 존재했지만 설계의 복잡도가 올라간다. 따라서 모터를 이용해 뒤의 장애물을 회전시켜 떨어뜨리도록 했다.



### 3) Rake shape roof

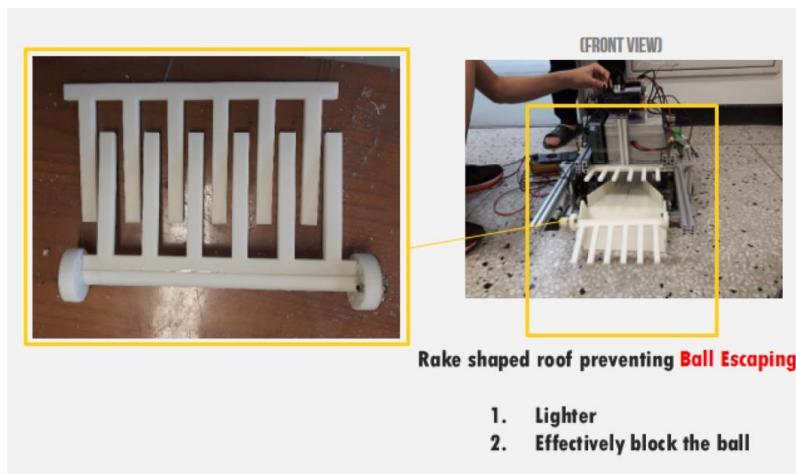


Figure 5 rake shaped

가림 막의 설치가 용이하고, 무게를 줄여 에너지 효율을 높이기 위해서 TRIZ 공간의 분리를 이용해 위와 같은 빗 모양의 구조를 사용하였다.

## 2.3 Gear System

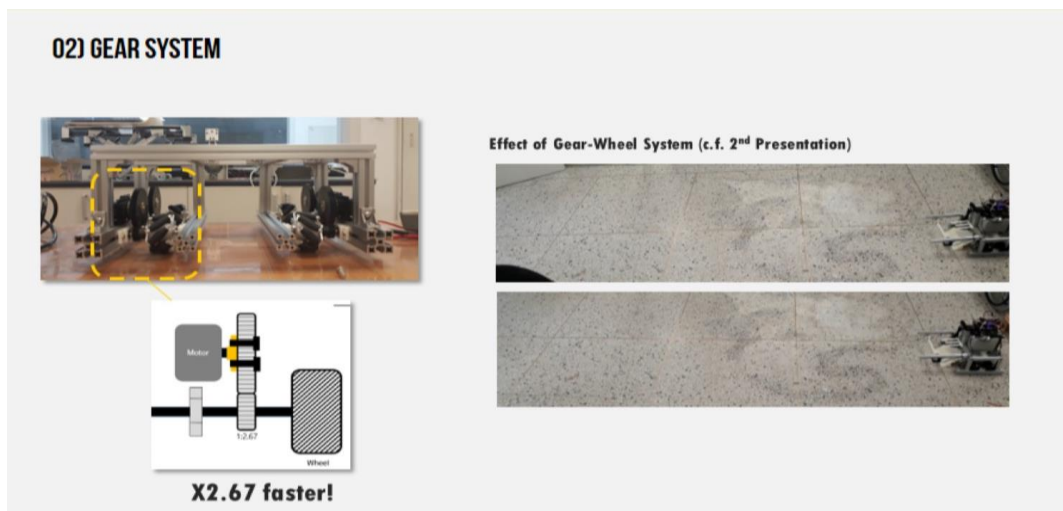


Figure 6 Gear-Wheel system

기준에 주어진 모터 MX-28AT 는 최대 55rpm 으로 매우 느렸다. 따라서 기어를 사용하여 속도를 높였다. 기어는 바퀴의 크기 등을 고려하여 20:80 즉 기어 비 약 1:2.67 로 설정했다. 결과적으로 약 2.6 배 정도 속도가 빨라진 것을 확인할 수 있었다. 또한 기어를 설계하면서 바퀴를 두 축으로 고정하면서 바퀴의 진동으로 인해 생기는 문제를 줄였다.

## 1) rigid body problem

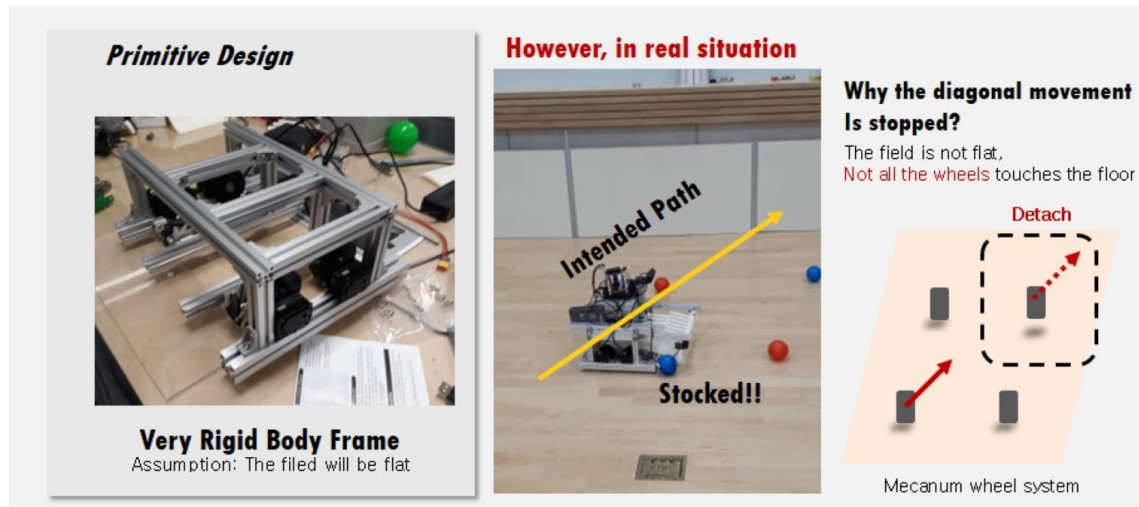


Figure 7 rigid body problem

차체를 알루미늄 프로파일로 제작하고 바퀴를 두 축 고정하는 설계는 차체를 rigid 하게 만들었다. 따라서 지면의 형태라는 noise 로 인해 모든 바퀴가 땅에 고정되어 있지 않는 상황이 발생하였고, 이는 대각선 방향 진행에 큰 문제점으로 작용되었다. 따라서 차체에 자유도를 줄 수 있는 방법을 생각했었고, TRIZ 기법을 이용하여 차체를 분리하여 회전 자유도를 부여할 수 있었다.

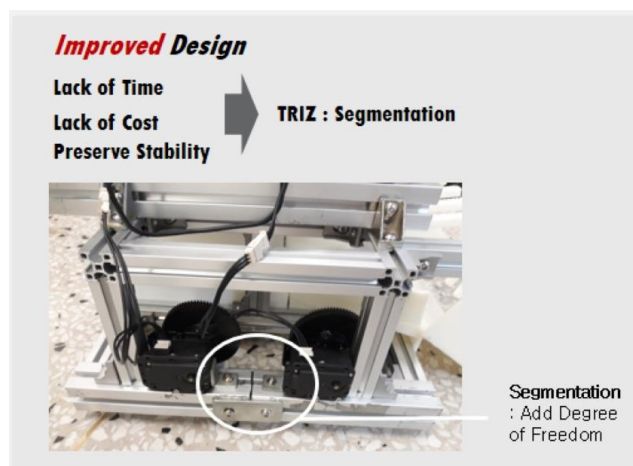
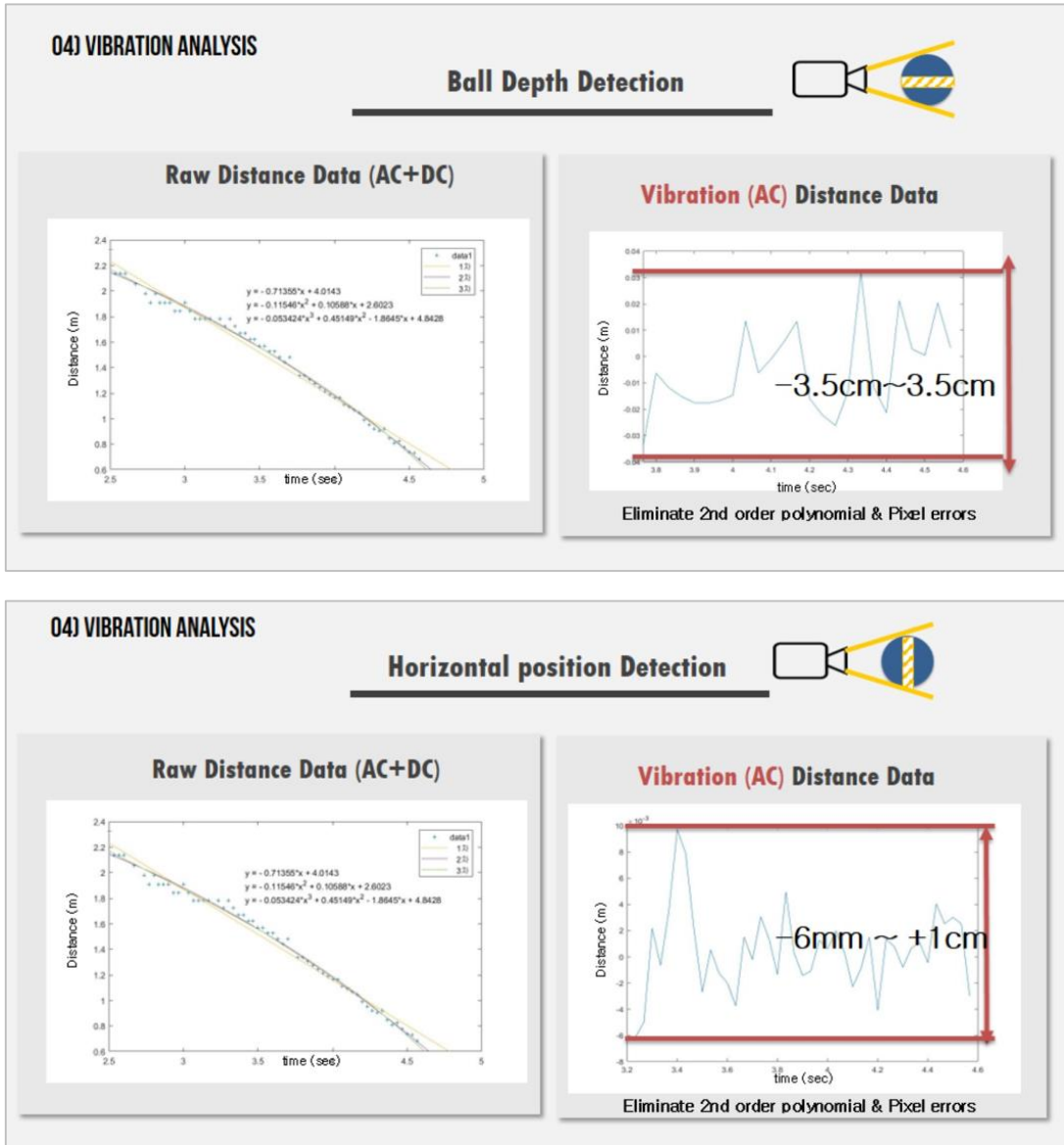


Figure 8 Frame segmentation

## 2.4 Vibration Analysis

기어 시스템을 설계한 뒤에 캠의 ball detection에 진동에 의한 문제가 발생하지 않는지 살펴 보았다. Raw data로부터 의미 있는 진동 데이터를 뽑기 위해 spline 근사 식을 빼서 아래의 오른쪽 그래프와 같이 공 위치 detection을 살펴보았다. 이때, 공의 수평과 수직 오차는 아래 붉은색으로 표시한 부분과 같다.



**Figure 9 Vibration Analysis**

공 좁는 모듈의 가로 길이는 20cm 이므로 수평방향의 detection 오차는 기기 자체의 크기로 커버 가능함을 알 수 있었다. 수직방향 오차에 대해서는 코드를 통해 문제를 해결하였다. 캠이 공으로부터 약 60cm 떨어져 있을 때, 롤러가 움직이되 오차 범위 내에서는 항상 공을 칠 수 있도록 속도를 조절하였다.

## 2.5 Heat Transfer Analysis: Fan & Fin

차체의 최고 온도가 기준 온도인  $70^{\circ}\text{C}$  를 넘지 않았지만 가장 많은 에너지가 사용되기에 온도가 가장 높아졌던 모터 컨버터 위주로 냉각을 위한 설계를 진행하였다. Conduction 은 냉매를 이용해야해서 설계의 복잡성이 커지고, radiation 은 건물 내벽의 온도가 차체의 절대온도와의 차이가 크지 않기 때문에 영향이 적을 것으로 판단되어 fin 과 fan 을 이용한 forced convection 을 사용하였다.

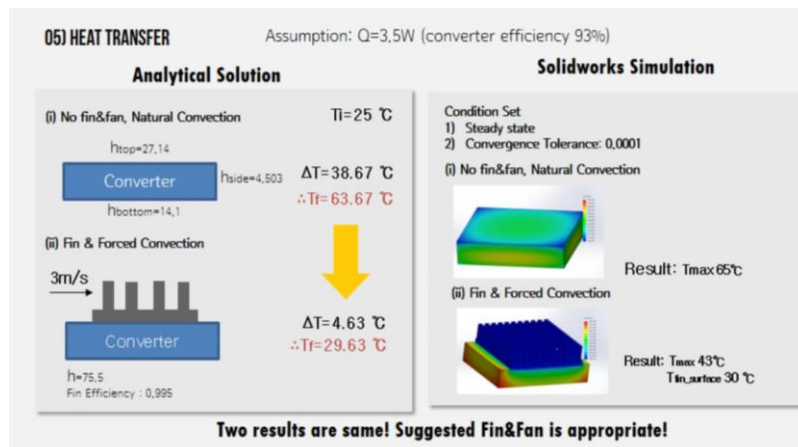


Figure 10 Heat analysis

온도를  $20^{\circ}\text{C}$  이상 냉각시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

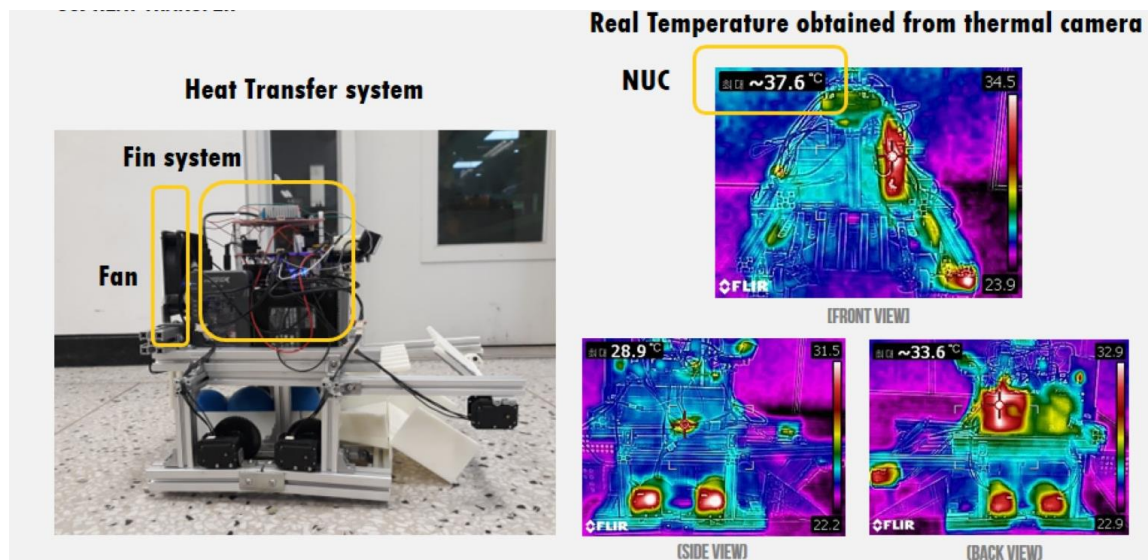


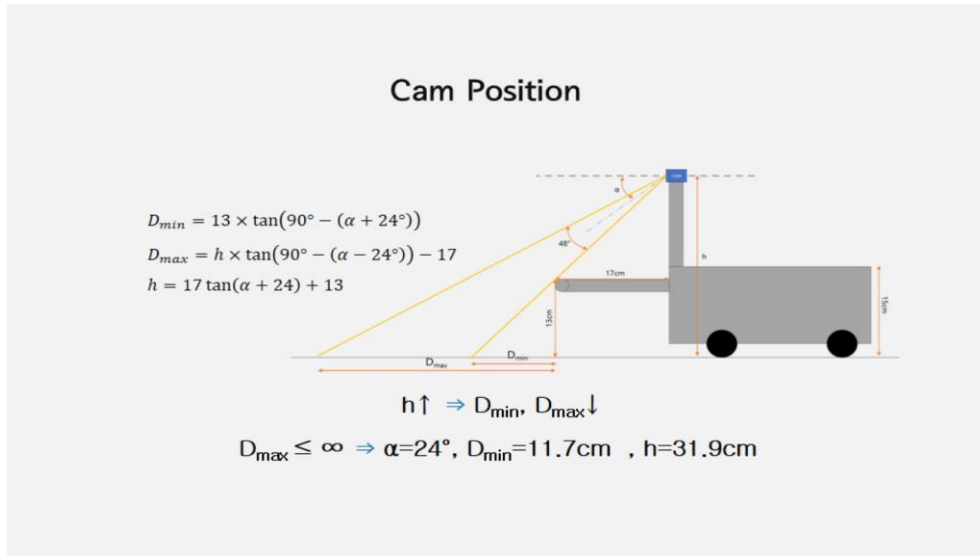
Figure 11 Temperature measured

또한 실제 온도 측정 결과 또한 이론적인 분석을 뒷받침했다.

## 2.6 webcam위치 정하기

최대한 가까운 곳까지 보면서 멀리 있는 공 또한 인식할 수 있도록 웹캠의 위치를 계산하였

다. 대각선 시야각(FOV)이 76°라는 사실을 이용해 가로(66°), 세로(48°)의 시야 각을 추정해 계산했다.



**Figure 12 Webcam position**