

# 대한기계학회 주최

## 제12회 전국학생설계경진대회(2022년)

### 설계 최종 보고서

|              |                                     |                   |           |        |    |
|--------------|-------------------------------------|-------------------|-----------|--------|----|
| 참가부          | 대학부 ( ○ )                           |                   |           |        |    |
| 참가분야         | 공모주제 (   ) / 자유주제 ( ○ )             |                   |           |        |    |
| 참가팀명         | 컨피던스                                |                   |           |        |    |
| 설계제목         | 지레와 파스칼의 원리를 이용한 아이스크림 스킵 유압 시스템 개발 |                   |           |        |    |
| 지도교수/교사      | (소속)공주대학교 (성명) 김범주                  |                   |           |        |    |
| 대표자<br>(신청인) | 성명                                  | 소속                | 연락처 (휴대폰) | E-mail | 주소 |
|              | 정민수                                 | 공주대학교<br>기계자동차공학부 |           |        |    |

### 참가팀원 인적사항

| NO | 성명  | 소속 / 학년              | E-MAIL |
|----|-----|----------------------|--------|
| 1  | 김태수 | 공주대학교 기계자동차공학부 / 4학년 |        |
| 2  | 안태민 | 공주대학교 기계자동차공학부 / 4학년 |        |
| 3  | 한채원 | 공주대학교 기계자동차공학부 / 4학년 |        |
| 4  | 정민수 | 공주대학교 기계자동차공학부 / 4학년 |        |
| 5  |     |                      |        |
| 6  |     |                      |        |

## 설계 요약문

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 참가분야             | 공모주제 (    )    /    자유주제 (    ○    )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 참가팀명             | 컨피던스                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 설계제목             | 지레와 파스칼의 원리를 이용한 아이스크림 스킵 유압 시스템 개발                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 대표자명             | 정민수                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 요약문              | <p>아이스크림 매장에서 사용하는 스킵은 굽어 펴내는 방식이다. 이 과정에서 해부학적으로 가동 범위가 작은 자쪽 혹은 노쪽 치우침을 받게 되고, 이 방향으로 과도한 부하가 지속적이고 반복적으로 걸려 손목 부상을 초래한다. 본 설계에서는 굽어 펴내는 방식이 아닌 파스칼의 원리와 지레의 원리를 이용하여 아이스크림을 스쿠핑하여 노동자의 손목 부담을 줄이는 것을 목적으로 한다.</p> <p>최종적으로 유압잭과 그랩 버킷이 합쳐진 형태를 보이는데 이때, 파스칼의 원리와 지레의 원리가 사용된다.</p> <p>파스칼의 원리는 힘을 주는 부분과 힘을 받는 부분의 면적 차이로 힘을 증폭 시켜준다. 이때, 힘을 주는 부분의 작동 범위와 힘을 받는 부분의 작동 범위의 부피 차로 인해 반복운동 횟수가 정해지는데 이때, 적은 힘으로 여성분들도 스쿠핑할 수 있고, 최대한 반복운동 횟수를 줄일 수 있도록 조정하여 힘은 1.56배 증폭하고, 반복운동 횟수는 3번이 되도록 설계하였다.</p> <p>지레의 2종 지레를 사용하기에 받침점과 힘점 사이의 거리와 받침점과 작용점 사이의 거리가 중요하다. 이때, 사이의 거리 비를 15:2로 조정하여 7.5 배의 힘의 증폭이 일어날 수 있도록 설계하여 파스칼의 원리와 같이 증폭하면 기존 힘의 12배의 힘을 낼 수 있다.</p> <p>현재 설계한 장치 성능 테스트를 위해 실험을 진행하였으며, 작품의 문제점이 발견되었다. 추후 연구를 통해 장치를 사용하기 위한 설계를 진행하고자 한다.</p> <p>본 장치가 상용화된다면 적은 힘으로 아이스크림을 풀 수 있고, 기존 스킵과 달리 노동자의 손목 안전을 고려하여 손목 부상을 최소화할 수 있을 것이라 기대한다. 이외에도 스킵 헤드의 모양을 조정한다면 과일 빙수, 미트볼 모양 제작 등 다양한 분야에서 활용할 수 있을 것으로 생각한다.</p> |
| 설계프로젝트의<br>입상 이력 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

# 지레와 파스칼의 원리를 이용한 아이스크림 스쿱 유압 시스템 개발

정민수\* · 김태수\* · 한채원\* · 안태민\* · 김범주\*\*  
\*공주대학교 기계자동차공학부·

## Development of ice cream scoop hydraulic system utilizing the principle of Lever and Pascal

Min-Su Jeong\*, Tae-SU Kim\*, Chae-Won Han, Tae-Min An\* and Bumjoo Kim\*\*†

\* Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju Natational University

(Received September 13, 2022 ; Revised September 13, 2022 ; Accepted October 4, 2022)

---

Key Words: ice cream scoop(아이스크림 스쿱), hydraulic system(유압 시스템), principle of lever(지레 원리), principle of pascal(파스칼의 원리)

**초록:** 배스킨라빈스 등의 아이스크림 매장에서 사용하는 기존 스쿱은 노동자의 손목에 부담을 많이 주어 손목 통증을 유발한다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 지레와 파스칼의 원리를 이용한 유압 아이스크림 스쿱을 개발하고자 한다.

상기 연구 목적을 위하여 지레와 파스칼의 원리에 관해 기술하였고, 최적의 힘을 내기 위한 몸통 지름과 안전성을 고려한 두께 등을 선정하여 Inventor 설계를 바탕으로 3D 프린터를 이용해 제작을 진행하였다.

본 연구에서 개발한 작품은 손목의 굴곡과 신전 없이 적은 힘으로 아이스크림을 풀 수 있어 노동자의 손목 통증을 현저하게 감소시킬 것으로 예상된다. 또한, 차후 연구를 통해 몇 가지 문제점들을 개선, 해결한다면 충분히 상용화할 수 있을 것으로 속의된다.

**Abstract:** Existing scoops used in ice cream stores such as Baskin Robbins put a lot of strain on workers' wrists and cause wrist pain. In order to solve this problem, this study intends to develop a hydraulic ice cream scoop using the principles of lever and pascal.

For the purpose of the above research, the principles of lever and pascal were described, and the body diameter and thickness considering safety were selected to exert optimal force, and the production was carried out using 3D printer based on Inventor design.

The work developed in this study is expected to significantly reduce the pain in workers' wrists by being able to solve the ice cream with less force without bending the wrist and without temples. Furthermore, it is considered that it can be commercialized sufficiently if several problems are improved and solved through future research

---

## 1. 서 론

손목은 손과 팔을 연결하는 관절 부위를 뜻하며, 8개의 손목뼈(수근골)와 아래팔인 노뼈(요골), 자뼈(척골)가 만나 이루어지는 우리의 신체 기관 중 하나이다. 손목뼈는 8개의 뼈가 가로와 세로로 복잡하게 배열되어 있으며, 각 뼈는 담당하는 손목의 기능에 따라 다른 형태를 띠고 있다. 손목을 이루는 관절에는

---

† Corresponding Author, bumjoo@kongju.ac.kr

손목을 고정하기 위한 많은 인대와 손목의 움직임을 담당하는 근육들이 분포하고 있다.<sup>(1)</sup>

손목 관절은 밥을 먹을 때, 공부할 때, 컴퓨터나 스마트폰을 할 때 등의 일상생활 활동과 헬스(workout), 요가, 스키, 축구, 농구, 야구 등의 체육 활동, 마지막으로 망치질, 톱질, 삽질 등의 노동 활동(Manual Labour)과 같이 거의 모든 활동과 관련된다. 특히 재화를 창출하기 위한 노동 활동은 하기 싫을 때 자유로이 쉴 수 있는 일상생활 활동, 체육활동과 다르게 자율성을 제약하며, 강도가 높아 육체적인 피로가 쌓이기 쉬워 잘못된 자세로 동작 수행 시 다치기 쉽다는 특징이 있다.<sup>(2)</sup>

아이스크림 프랜차이즈 브랜드 중 하나인 배스킨라빈스의 경우가 잘못된 자세로 인해 노동자의 손목 부상을 일으키는 대표적인 사례이다.<sup>(3)</sup> 매장에서 노동자는 손가락 모양의 삽인 스쿱(scoop)을 이용하여 통(bucket)에서 아이스크림을 긁어 퍼낸다. 온도가  $-15^{\circ}\text{C}$  안팎인 아이스크림은 쉽게 잘 스쿱핑(scooping) 되는 물질이 아니기에 큰 힘을 필요로 하고, 이 과정에서 손목의 개입이 커진다.<sup>(4)</sup> 손목은 손바닥이 지면과 수직인 상태에서 손바닥 쪽으로 회전할 때(굽힘) 80도, 손등 쪽으로 회전할 때(펴) 80도, 바닥 쪽으로 향해 회전할 때(자쪽 치우침) 30도, 하늘 쪽으로 향해 회전할 때(노쪽 치우침) 20도의 움직임이 가능하다.<sup>(5-6)</sup> 하지만 기존 스쿱의 메커니즘상 노동자의 손목은 가동범위가 작은 자쪽 혹은 노쪽 치우침을 받으며 손목에 큰 부하(load)가 걸린다. 이러한 이유로 노동자는 손목터널증후군(수근관증후군), 삼각섬유연골 복합체(TFCC, Triangular Fibrocartilage Complex) 손상과 같은 손목 부상이 일어나기 쉽다.<sup>(7-9)</sup>

손목터널증후군은 손으로 들어가는 신경(정중신경)이 손가락을 움직이는 힘줄인 수근관(손목 터널)에 눌러 압박을 받아 손 저림, 감각 저하 등의 증상이 나타나는 질환을 의미하며 여성이 남성보다 5배 정도 많이 발병한다.<sup>(10-11)</sup> 이 질환은 반복적으로 손목 관절을 굴곡과 신전하는 작업 동작, 손에 과도한 힘을 주어서 작업을 하는 근로자들에게 많이 발생한다.<sup>(12-13)</sup>

TFCC는 손목에서 새끼손가락 방향으로 손목을 이루는 큰 뼈인 요골과 척골 그리고 작은 뼈인 수근골들 사이에 있는 삼각형 모양의 구조물로 연골과 인대를 총칭하는 명칭이다.<sup>(14)</sup> 이는 손목을 돌리거나 뒤로 젖힐 때 손목 관절의 완충작용을 하여 손목의 안정성을 유지하고 압박을 지탱하는 중요한 역할을 한다. 이러한 삼각섬유연골(TFC)이 외상이나 반복적인 미세 손상으로 파열되는 것을 TFCC 손상(손목디스크, 손목 충돌증후군)이라고 하며, 손목을 많이 쓰는 직업군들에게 잘 발병한다.<sup>(15)</sup> TFCC 손상을 입으면 손목을 구부리거나 비틀 때 통증이 심하여 일상생활에 많은 지장을 준다.<sup>(16)</sup>

이러한 손목 부상들은 주로 인대와 신경의 손상으로 나타나며 회복 기간은 근육 손상에 비해 길고 어떤 경우는 수술을 요하며 영구적인 후유증을 남긴다.<sup>(17-18)</sup> 따라서 이러한 손목 부상을 예방하는 것이 매우 중요한데 이는 도구를 재설계하여 잘못된 자세를 고치는 것으로 해결할 수 있다.<sup>(19)</sup> 부적합한 도구는 인체의 크기와 구성비, 해부학적 구조를 고려하지 않았기 때문에 부자연스러운 자세를 유발하고 부상을 초래한다. 도구를 재설계하여 손목을 중립(neutral) 상태로 놓고 작업하는 것만으로도 손목터널증후군, TFCC 같은 부상 가능성을 현저하게 감소시킨다.<sup>(20)</sup> 따라서 본 연구에서는 배스킨라빈스 등의 매장에서 사용하는 기존 스쿱을 재설계하여 노동자가 손목을 변형시키지 않고 적은 힘으로 아이스크림을 스쿱핑할 수 있도록 하고자 한다.

## 2. 연구의 독창성

매장에서 사용하는 기존 스쿱은 아이스크림을 긁어 퍼내는 방식이다. 이 과정에서 해부학적으로 가동범위가 작은 자쪽 혹은 노쪽 치우침을 받게 되고, 이 방향으로 과도한 부하가 지속적이고 반복적으로 걸려 손목 부상을 초래한다. 이러한 기존 스쿱의 문제점을 해결하기 위한 다른 제품으로는 발열 아이스크림 스쿱(heated ice cream scoop)이 있는데 이 제품은 유도가열을 이용하여 스쿱 헤드를 가열해 아이스크림을 녹여 스쿱핑하는 방식을 사용한다.<sup>(21)</sup> 하지만 이 방식은 전기를 사용하여 충전을 해줘야 하는 번거로움이 있고 기존 스쿱의 메커니즘을 사용한다는 점은 변하지 않아 손목의 부담을 완전히 덜어주지 못한다는 단점이 존재한다. 등록된 특허 기술로는 일회용 스쿱(disposablescoop), 아이스크림 디셔 보조기구(Ice cream disher assist device), 아이스크림을 스쿱핑하는 장치(ice cream scooping machine)가 있다. 일회용 스쿱은 아이스크림을 담고 있는 용기를 위에서부터 분리하여 아이스크림을 스쿱핑하는 장치이

다.<sup>(22)</sup> 이 방식은 손목의 개입이 없다는 장점이 있지만 기존 매장에서 판매하는 아이스크림 제품 크기별로 용기를 갖춰야 하고, 일회용이기에 환경에 악영향을 끼칠 수 있다는 단점이 존재한다. 아이스크림 디셔 보조 기구는 회전하는 블레이드를 이용하여 칼날이 아이스크림을 얇게 썰는 장치이다.<sup>(23)</sup> 이는 아이스크림을 쉽게 스쿱핑하기 위한 보조 기구로 슬라이싱 한 아이스크림을 스쿱핑하기 위해 결국 기존 스쿱을 다시 사용해야 하고, 전기를 사용하며, 칼날을 이용하기에 위험하다는 단점이 존재한다. 아이스크림을 스쿱핑 하는 장치는 로봇팔(robot arm)을 이용하여 자동으로 아이스크림을 스쿱핑 해주는 장치이다.<sup>(24)</sup> 이는 전기를 사용하고, 크기가 크며, 비용이 많이 든다는 단점이 존재한다.

따라서 본 연구에서는 이러한 기존 스쿱과 특허의 단점을 보완하여 아이스크림 매장 직원들의 손목 부담을 덜어주는 지레와 파스칼의 원리를 이용한 아이스크림 스쿱 유압 시스템을 개발하고자 한다. 본 장치에 사용되는 유압 시스템은 시스템의 무게나 크기와 대비하여 높은 동력을 발생시키며 작동유체의 비압축성으로 인한 빠른 응답 특성을 가진다.<sup>(25)</sup> 또한 호스, 배관을 통하여 동력을 전달하므로 기계적 시스템보다 더 멀리까지 경제적으로 동력을 전달할 수 있다는 장점이 있다.<sup>(26)</sup> 작동 메커니즘은 기존 스쿱 방식과 다르게 손잡이와 몸통을 쥐고 펴는 방식을 이용하여 손목 움직임과 부하를 최소화한다. 또한 지레와 파스칼의 원리를 사용하여 적은 힘으로 누구나 쉽게 아이스크림을 스쿱핑할 수 있도록 설계한다. 추가로 본 시스템은 전기를 사용하지 않아 충전할 필요 없이 언제든지 사용이 가능하고 안전하며, 콤팩트(compact)한 사이즈로 공간을 많이 차지하지 않아 보관이 편하고, 구조가 간단하여 유지 보수가 쉬우며, 스쿱 헤드를 교체하면 다양한 사이즈와 모양에 맞게 사용할 수 있다는 여러 장점들이 있다.

## 2. 설계핵심내용

### 1.이론적 배경

#### 1)지레의 원리

지레의 원리는 지레의 양 끝에 작용하는 힘의 크기와 받침점까지의 길이를 각각 곱한 값이 서로 같아 수평을 이루는 것을 뜻한다. 지레의 원리는 주로 무게중심으로부터 질량점들까지의 거리를 알고 있을 때 질량점에 놓인 질량을 구하거나, 질량점에 놓인 무게를 알고 있을 때 무게중심으로부터 질량점까지의 거리를 구하는 문제 해결에 용이하다.<sup>(27-28)</sup> 본 연구에서는 fig.1과 같이 2종 지레를 사용하며 손잡이에 이러한 지레의 원리를 이용하여 힘을 증폭한다. 작용점에는 작은 피스톤이 위치해 있고, 받침점과 작용점 거리에 비해 받침점과 힘점 사이의 거리가 멀어야 힘점에 작은 힘을 주었을 때 작용점에서 큰 힘을 낼 수 있다. 사용자가 손잡이를 잡고 힘을 주면 연결되어 있는 작은 피스톤(작용점)에 더 큰 힘이 작용하게 된다.

---

#### 기호설명

---

$r_1$  : 받침점과 힘점 사이의 거리

$F_1$  : 힘점에 가해지는 힘

$r_2$  : 받침점과 작용점 사이의 거리

$F_2$  : 작용점(작은 피스톤)에 가해지는 힘

$$F_1 r_1 = F_2 r_2 \dots\dots\dots (1)$$

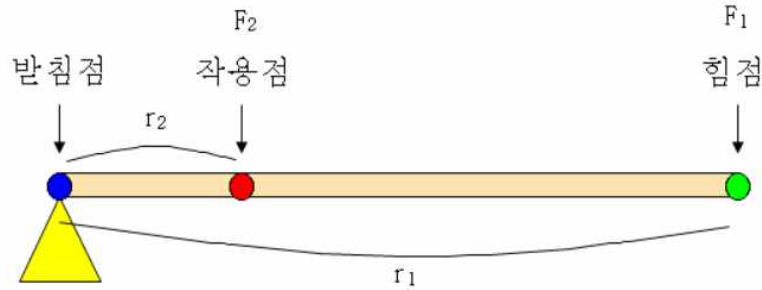


Fig.1 Second-class lever

## 2) 파스칼의 원리

파스칼의 원리는 fig.2와 같이 밀폐된 용기 속에 담겨 있는 액체의 한쪽 부분에 주어진 압력은 그 세기에 변함없이 같은 크기로 액체의 각 부분에 골고루 전달된다는 법칙이다.<sup>(29~30)</sup> 본 연구의 시스템은 2개의 피스톤(작은 피스톤과 큰 피스톤)을 사용한다. 각 피스톤과 작동유체를 보관하는 보조 탱크는 PVC 튜브로 연결되어 있다. 이들 사이의 밀폐된 공간 내부에 작동유체인 물이 채워져 있다. 이 밀폐된 공간에 동일한 압력이 가해지고 면적비로 인해 힘의 차이가 발생한다. 식 (1)에서 증폭된 힘은 식 (2)에 의해서 한 번 더 증폭된다.

기호설명

$P$ : 용기에 작용하는 압력

$F_2$ : 작은 피스톤에 가해지는 힘

$A_2$ : 작은 피스톤의 단면적

$F_3$ : 큰 피스톤에 가해지는 힘

$A_3$ : 큰 피스톤의 단면적

$$P = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_3}{A_3} \dots\dots\dots (2)$$

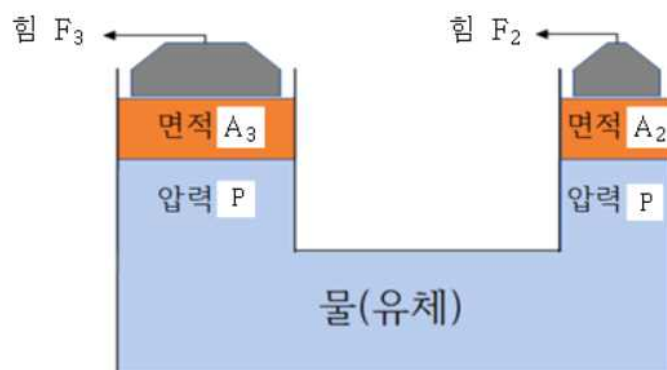


Fig.2 Pascal's law

## 3) 유압 회로

유압회로는 일반적으로 유압펌프, 오일탱크, 전동기, 유압 밸브, 액추에이터로 구성되어 있다. 유압회로는 공압회로에 비해 전달 응답이 빠르다는 장점이 있으며, 과부하에 대한 안전장치를 만들기 쉽다는 장점이 있다. 반면 유압회로는 공압회로에 비해 복잡하다는 단점이 있다. 유압회로는 회로 사용 목적에 따라 시퀀스 회로, 압력제어 회로, 유량제어 회로, 방향제어 회로, 로킹 회로 등으로 구분된다.

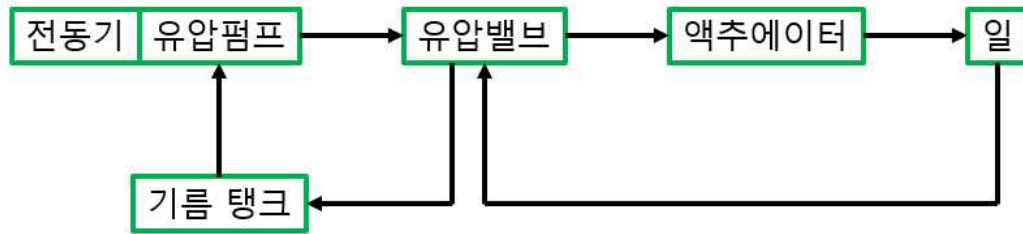


Fig.3 Hydraulic circuit diagram

본 연구에서는 유압모터나 액추에이터를 사용하지 않아 작품에서 제작한 유압회로와 실제 유압회로를 직접 비교하는 것은 어려운 점이 있지만, 사용 목적에 따라 분류하면 로킹 회로로 구분할 수 있다. 로킹 회로란 작동유체의 흐름 방향을 제어해 실린더 피스톤의 위치를 임의로 고정하기 위해 사용하는 유압회로이다. 로킹 회로는 작동유체의 흐름을 제어하기 위해 체크 밸브를 사용한다. 또한 로킹 회로에서는 파일럿 밸브를 이용해 체크 밸브의 반대쪽으로 작동유체를 이동시킨다. 이를 통해 실린더의 위치를 고정하고, 작동유체를 원활히 이동하게 한다. 본 연구에서 사용하는 유압회로는 파일럿 밸브 대신 유압조절 밸브를 사용하여 체크 밸브의 반대쪽으로 작동유체를 이동시킨다.

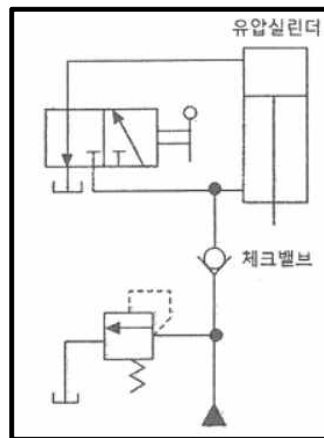


Fig.4 locking circuit<sup>(31)</sup>

체크 밸브의 종류로는 리프트식, 스윙식, 디스크식, 등 다양한 종류가 존재한다. 많이 사용하는 리프트식 체크 밸브는 수평 배관과 수직 배관 모두 사용 가능하고, 스윙식 체크 밸브는 수평 배관에서만 사용이 가능하다는 단점이 있다. 디스크식 체크 밸브는 스프링을 이용하여 유체의 흐름을 통제하는데 주로 소형 체크 밸브에 사용된다. 또한 디스크식 체크 밸브는 수평 배관과 수직 배관 모두 사용 가능하다는 장점이 있다. 체크 밸브의 선정은 유압회로를 구성할 때 고려하여야 한다. 유압회로의 수평 혹은 수직 구성 여부와 배관(본 연구에서는 유압회로)에서 발생하는 최대 압력에 따라, 사용할 수 있는 체크 밸브가 달라지기 때문이다. 본 연구에서는 크기가 작고 수평, 수직 배관에서 모두 사용 가능한 디스크식 체크 밸브를 사용한다.<sup>(32)</sup>

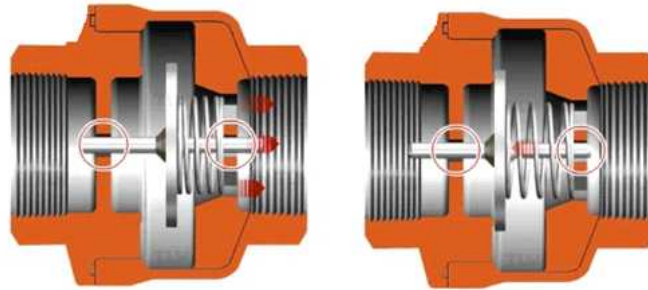


Fig.5 Disc type check valve<sup>(33)</sup>

#### 4) 작동유체

유압장치를 설계하는 데 있어 작동유체의 선정은 중요한 부분이다. 적절한 작동유체를 선정하면 기기의 수명을 늘릴 수 있으며, 원활한 동력을 전달하는 부분에 중요한 역할을 하므로 최고의 작동유체가 아닌 최적의 작동유체를 선정하여야 한다.<sup>(34)</sup>

작동유체의 종류는 공기를 사용하는 공압, 기름을 사용하는 유압, 물을 사용하는 수압으로 나눌 수 있다. 공압은 청결하지만 압축성 유체이기에 정밀도가 떨어진다는 단점이 있다.<sup>(35-36)</sup> 유압은 가장 많이 쓰이는 작동유체로 고출력이라는 장점이 있지만 누출 시 주변을 오염시킨다는 단점이 있다.

수압은 유압 시스템과 유사한 구조를 가지며, 기존의 유압 시스템에서 사용되던 유압 작동유 대신 물을 사용하는 시스템을 의미한다. 물은 점도가 유압 작동유의 1/32 정도여서 유압에 비해 펌프 누설량이 많고 정밀도와 출력이 떨어진다는 단점이 있다.<sup>(37)</sup> 하지만 환경 보전과 안정성 그리고 청결함을 유지할 수 있는 등의 장점이 있어 식품산업에 많이 사용된다. 따라서 아이스크림을 다루는 본 연구에서는 작동유체로 물을 사용한다.

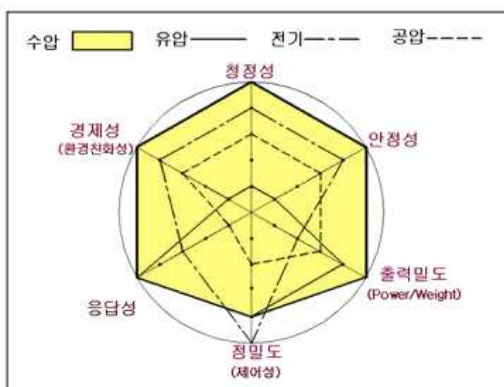


Fig.6 Comparison of characteristics by power transmission oil<sup>(36)</sup>

| 오염  | 경미                |
|-----|-------------------|
| 정밀도 | 고정밀도(유압보다는 다소 낮음) |
| 출력  | 고출력(유압보다는 다소 낮음)  |
| 크기  | 소형(유압과 흡사함)       |
| 누전  | 경미(센서부 몸체 절연 필요)  |

Fig.7 Advantages of applying a hydraulic system<sup>(36)</sup>



## 2. 개념설계

### 1) 작품개념도

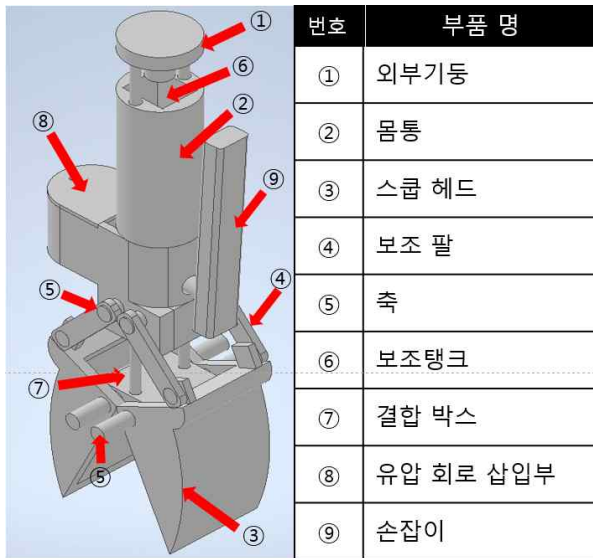


Fig.8 Hydraulic scoop parts



Fig.9 finished work

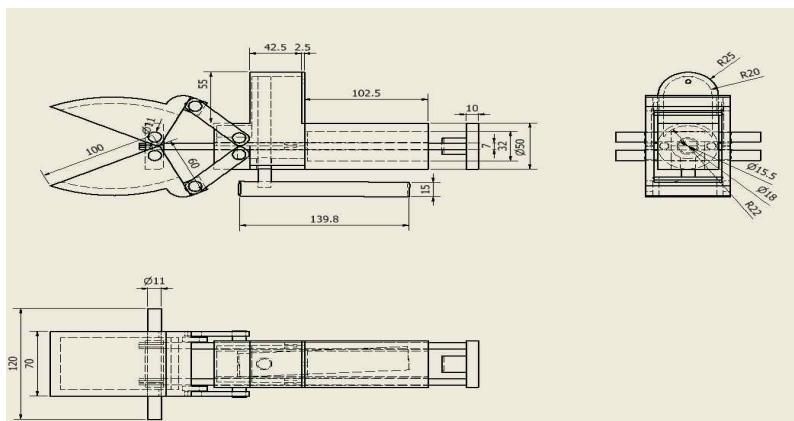


Fig.10 a drawing work

Fig.8은 Inventor를 이용하여 제작한 본 연구에서 다루는 시스템(작품)이다. 작은 피스톤에 힘을 전달해주는 손잡이, 결합 박스와 연결되는 외부 기둥과 축, 축과 연결되는 스쿱 헤드, 유체가 들어가는 보조탱크, 몸통과 스쿱 헤드를 고정하는 보조 팔, 유체 회로가 들어가는 유압 회로 삽입부로 구성된다. 작동 원리는 몸통과 함께 스트랩을 감은 손잡이에 손을 넣어 한 손으로 쥐고 펴고를 3~4회 반복하면 지레의 원리와 파스칼의 원리에 의해 힘이 증폭되어 스쿱 헤드에 전달되는 방식이다. 유압 조절 밸브는 몸통에 달리고 스쿱 헤드가 끝까지 닫히면(큰 피스톤이 끝까지 올라가면) 유압 조절 밸브를 열고 큰 피스톤을 손으로 눌러 초기 상태(스쿱 헤드가 벌어져 있는 상태)로 되돌린다.

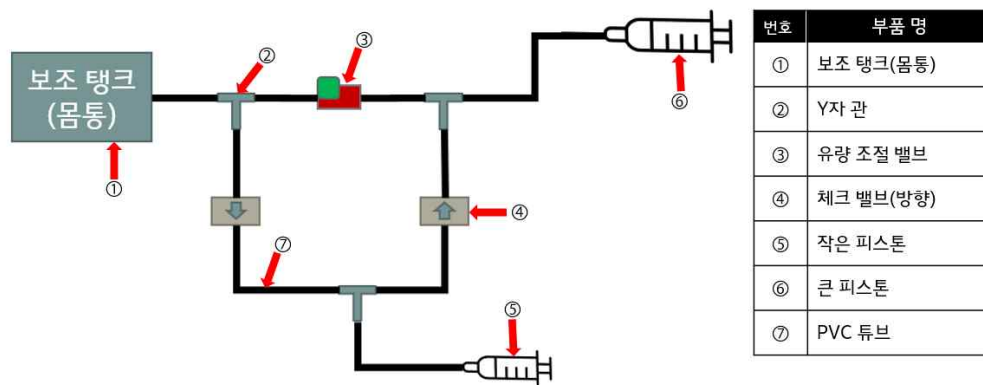


Fig.11 hydraulic circuit configuration diagram of body

Fig.11은 유압 아이스크림 스쿱에 적용되는 유압회로의 구성도이다. 작은 피스톤, 큰 피스톤, Y자 관, 체크 밸브, 유량 조절 밸브, PVC 튜브로 연결되어 구성된다. 작은 피스톤을 당기면 보조 탱크에 있는 작동유체가 PVC 튜브와 체크 밸브를 통해 작은 피스톤으로 이동한다. 반대로 작은 피스톤을 밀면 작동유체는 큰 피스톤으로 이동한다. 이때 체크 밸브로 인해 보조 탱크로 작동유체가 이동하지 않는다. 위의 과정을 반복하게 되면 큰 피스톤에 작동유체가 채워지면서 스쿱 헤드는 닫히게 된다. 이후 유압 조절 밸브를 열고 외부 기둥을 손으로 누르면 작동유체는 다시 보조 탱크로 이동하게 되고 스쿱 헤드가 열리게 된다. 이때도 체크 밸브로 인해 작은 피스톤 방향으로 작동유체는 이동하지 않는다.

## 2) 설계제약조건

설계를 진행하면서 고려해야 하는 설계 제약조건으로 안전성, 사회성, 경제성, 예술성, 윤리성으로 나누어 총 5가지 항목을 선정하였다.

안전성 측면으로는 전기를 사용하지 않고 수동(手動)으로 작동시키기 때문에 감전, 폭발 사고 등의 위험성이 존재하지 않는다. 또한, 식품을 취급하는 곳에서 사용되기 때문에 위생적인 측면을 고려해 작동유체를 물로 선정하여 만약을 대비한 누수 발생 시 오염을 방지하였다.

사회성 측면으로는 기존 스쿱의 문제점이었던 사용자의 손목 통증 발생을 줄이기 위해서 손목 통증을 유발하지 않는 중립 자세에서 작은 힘으로 장치를 구동할 수 있게 설계하였다. 이에 따라 용기형 아이스크림 판매 매장 직원들의 업무 중 상해 발생 위험이 줄어들고 유압 스쿱 사용 시 일의 효율이 늘어날 수 있을 것으로 기대한다.

경제성 측면으로는 주변에서 쉽게 구할 수 있는 재료와 3D 프린터를 이용한 부품으로 제작 단가를 낮추었다. 작동유체는 주변에서 쉽게 구할 수 있는 물로 선정하여 유지 보수 비용이 거의 들지 않도록 하였다.

예술성 측면으로는 복잡한 유압회로를 몸통 안으로 집어넣음으로써 회로를 보호하고 외관을 깔끔하게 처리하였다. 또한 모서리 부분을 각지게 두지 않고 모깍기(fillet) 처리하여 안전성과 함께 부드러운 느낌을 주어 심미성을 반영하였다.

윤리성 측면으로는 인간의 삶을 향상하기 위한 유용한 제품을 만들기 위해 공학도로서 지금까지 배운 학문적 지식과 기술을 바탕으로 정직하게 본 연구를 진행하였다. 위의 설계제약조건에서 언급한 사항들은 개념설계와 상세설계, 제작과 실험에 모두 반영하였다.

### 3. 상세설계

#### 1) 3D 필라멘트 재질 선정

3D 필라멘트 종류 중 하나인 PLA는 친환경 수지를 이용하여 유해 요소가 적고, 이산화탄소 발생량이 적고, 수축이 덜하고, 모형이 출력될 때 발생하는 찌꺼기가 적으며, 거품 발생이 없는 유기물로 만들어진 재료이다. 따라서 아이스크림을 스쿠핑해야 하는 본 제품은 PLA 수지가 적합하다고 판단하였다.<sup>(38~39)</sup>

#### 2) 입력힘 설정

##### (1) 여성평균 악력

(단위 : kg, 명)

| 요인(1)  | 2013   |        |
|--------|--------|--------|
|        | 19~24세 | 25~29세 |
| ▲ ▼ ▢  | ▲ ▼ ▢  | ▲ ▼ ▢  |
| 사례수    | 276    | 177    |
| 평균     | 25.1   | 25.7   |
| 표준편차   | 5.58   | 4.96   |
| 최소값    | 8      | 15.6   |
| 최대값    | 40.3   | 40.4   |
| 백분위수95 | 35.1   | 34.3   |
| 백분위수90 | 32.3   | 32.3   |
| 백분위수10 | 17.4   | 19.9   |
| 백분위수5  | 16.3   | 17.2   |

Fig.12 Average grip strength statistics for women in their 20s<sup>(40)</sup>

아이스크림 매장의 노동자 나이와 성별을 보면 20대 여성이 가장 높다.<sup>(41)</sup> 따라서 상대적 약자인 20대 여성을 기준으로 입력 힘을 설정한다. Fig.12 는 20대 초반 여성과 20대 후반 여성의 평균 악력에 대한 통계수치이다. 이중 하위 5%에 해당하는 백분위 수 5의 값 16.3kgf와 17.2kgf의 평균인 17kgf(소수점 첫째 자리에서 반올림)를 기준 힘으로 한다.

##### (2) 1RM

1RM 대비 근육 사용량(30% vs 80%)에 따른 근육 피로도를 비교하는 실험을 살펴본다.<sup>(42)</sup> 여기서 1RM(One Repetition Maximum)은 정확한 운동 동작을 사용해서 1회 들어 올릴 수 있는 무게의 최대치이다. 비교 결과 1RM 대비 30%의 경우 1RM 대비 80%에 비해 피로를 감소시켜주는 요인이 더욱 두드러졌을 뿐 아니라 표면에 대한 근육 활성화가 35~62% 더 낮았다. 그러므로 적은 힘을 이용해 반복 운동을 하는 것이 큰 힘을 이용해 반복운동을 하는 것에 비해 더 효율적이다. 본 연구에서 다루는 손잡이는 반복 동작을 수행하므로 피로 감소, 총작업량, 운동량, 근육 사용량을 비교하여 보았을 때 1RM 대비 적은 힘으로 반복운동을 하는 것이 적합하기에 1RM 대비 30%의 힘을 사용할 수 있도록 시스템을 설계한다.

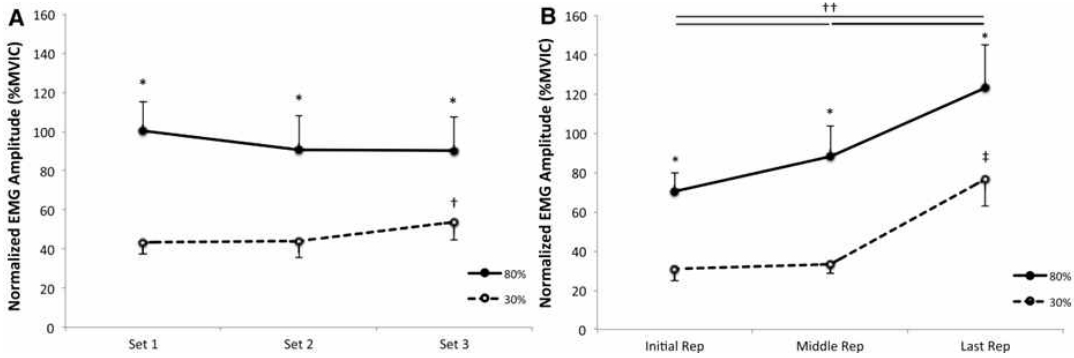


Fig.13 A:load x set for EMG amplitude; B:load x number of iterations<sup>(42)</sup>

따라서 앞서 구한 17kgf의 30%인 5.1kgf(50N)를 손잡이에 작용하는 입력 힘으로 설정한다.

### 3) 역학 계산

#### (1) 지레와 파스칼의 원리를 이용한 스쿱 헤드에 걸리는 힘 계산

##### 기호설명

|                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| $r_1$ : 받침점과 힘점 사이의 거리, 150mm | $d_2$ : 작은 피스톤의 지름, 12mm |
| $r_2$ : 받침점과 작용점 사이의 거리, 20mm | $d_3$ : 큰 피스톤의 지름, 15mm  |
| $F_1$ : 손잡이(힘점)에 가해주는 힘, 50N  | $A_2$ : 작은 피스톤의 단면적      |
| $F_2$ : 작은 피스톤(작용점)에 가해지는 힘   | $A_3$ : 큰 피스톤의 단면적       |
| $F_3$ : 큰 피스톤의 출력힘            |                          |

‘이론적 배경’의 지레의 원리 식 (1)으로부터 작은 피스톤에 걸리는 힘은 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$F_2 = \frac{r_1}{r_2} F_1 = \frac{150mm}{20mm} \times 50N = 375N \quad (3)$$

파스칼의 원리 식 (2)으로부터 큰 피스톤에 걸리는 힘은 식 (4)로 구할 수 있다.

$$F_3 = \frac{A_3}{A_2} F_2 = \frac{\frac{\pi}{4} d_3^2}{\frac{\pi}{4} d_2^2} \times F_2 = \frac{(15mm)^2}{(12mm)^2} \times 375N = 585N \quad (4)$$

따라서 손잡이에서 가해준 50N의 힘은 큰 피스톤에서 585N으로 약 12배 증가한다. 585N은 스쿱 헤드 양쪽으로 힘이 분산되면 한쪽에 약 292N이 작용하게 된다.

#### (2) 손잡이 반복운동 횟수 계산

파스칼의 원리는 부피 차이로 인해 적은 힘을 여러 번 주는 것으로 일정 높이까지 힘 전달이 가능하다. 본 연구에서는 손잡이를 통해 반복 운동을 하므로 이 횟수를 몇 번으로 설정할 것인지가 중요하다. 반복 횟수는 작은 피스톤의 부피와 큰 피스톤의 부피로 구할 수 있다.

##### 기호설명

|                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| $d_2$ = 작은 피스톤의 지름, 12mm | $h_2$ = 작은 피스톤의 삽입 길이, 40mm       |
| $d_3$ = 큰 피스톤의 지름, 15mm  | $h_3$ = 스쿱 헤드가 닫히기까지 필요한 높이, 60mm |

작은 피스톤의 부피를 전달 부피, 큰 피스톤의 부피를 필요 부피라고 하자. 그러면 부피에 관한 식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2 h_2 \quad (\text{전달 부피}) \quad (5)$$

$$V_3 = \frac{\pi}{4} d_3^2 h_3 \quad (\text{필요 부피}) \quad (6)$$

식 (5)과 식(6)를 이용하여 반복 횟수를 나타내면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_3 = \frac{\pi}{4} d_3^2 h_3 \quad (\text{필요 부피})}{V_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2 h_2 \quad (\text{전달 부피})} \quad (7)$$

이로써 식 (7)를 이용해 반복운동 횟수를 구할 수 있다.

$$\frac{V_3 = \frac{\pi}{4} \times (15mm)^2 \times 60mm}{V_2 = \frac{\pi}{4} \times (12mm)^2 \times 40mm} = 2.34$$

따라서 3회 반복하면 스쿱 헤드가 완전히 단함을 알 수 있다.

#### 4) 치수 설정

(1) 보의 중앙에서 굽힘 모멘트를 받을 때의 축 지름 계산

---

 기호설명 

---

$P$  = 축에 가해지는 등분포 하중 or 집중 하중,  $292N$

$l$  = 축의 길이,  $0.015m$

$d$  = 축의 지름

$\sigma$  = PLA 필라멘트의 평균 인장강도,  $44.5MPa$

축 중앙에 하중이 가해졌을 때 지름은 다음 식 (8)을 이용하여 구할 수 있다.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times M_{\max}}{\pi \times \sigma_a}} \quad (8)$$

지름을 구하기 위해서  $M_{\max}$ 을 구해야 한다. 중앙에서 하중이 가해지는 축의 경우 식 (9)와 같다.

$$M_{\max} = \frac{Pl}{4} \quad (9)$$

식 (8)와 (9)을 이용해  $d$ 를 구하면

$$M_{\max} = \frac{Pl}{4} = \frac{292N \times 0.015m}{4} = 1.095N \cdot m$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 1.375N \cdot m}{\pi \times (17.87 \times 10^6)Pa}} = 6.63mm$$

이때 시스템의 안전율을 고려하여 축의 지름을  $11mm$ 로 정한다.

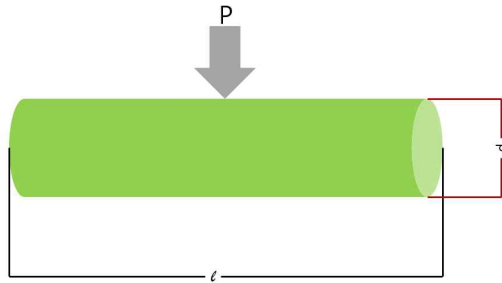


Fig.14 Load is applied to the center of shaft

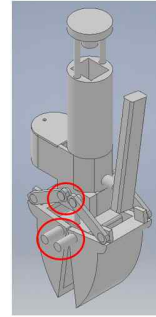


Fig.15 Position of axial

## (2) 손잡이 형상, 몸통 지름 선정

시스템을 적당한 크기로 제작하여 사용자의 손에 무리가 가지 않는 몸통 지름을 결정하고, 적합한 손잡이의 형태를 정하여야 한다. 손잡이의 형태는 앞이 크고 뒤로 갈수록 작은 방식, 앞뒤의 두께가 같은 방식, 앞이 작고 뒤로 갈수록 커지는 방식 3가지로 분류하였을 때 유의미한 차이는 보이지 않았다.[43] 본 연구에서 다루는 시스템은 앞과 뒤의 지름이 같은 방식의 모습을 사용하였다.

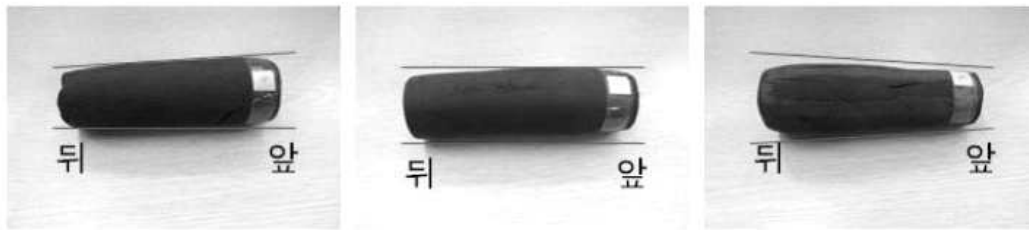


Fig.16 Comparison by thickness of handle front and back<sup>(43)</sup>

손잡이의 지름 선정은 US Army의 WCFT(wrist crease to fingertip) 자료를 활용하여 구하였다. 한국인에 맞게 US Army의 WCFT의 데이터를 비율에 따라 조정하면 [표 1]과 같이 된다.

Table1. US Army and Korean WCFT (in cm)<sup>(43)</sup>

| 손가락 | US Army |      | 한국인 (남:95%, 여:98% 감소) |      |           |        |
|-----|---------|------|-----------------------|------|-----------|--------|
|     | 남       | 여    | 남                     | 여    | 통합(25:75) | r-WCFT |
| 검지  | 18.5    | 17.0 | 17.6                  | 16.6 | 16.9      | 9.0    |
| 중지  | 19.4    | 17.8 | 18.5                  | 17.5 | 17.7      | 9.4    |
| 약지  | 18.4    | 16.8 | 17.6                  | 16.5 | 16.8      | 8.9    |
| 소지  | 15.9    | 14.5 | 15.2                  | 14.3 | 14.5      | 7.7    |

위의 데이터를 바탕으로 최적의 효율을 낼 수 있는 몸통의 지름을 계산해 보았을 때 최적의 효율을 낼 수 있는 몸통의 지름은 약 4cm~6cm이다.<sup>(43)</sup> 따라서 본 연구에서 다루는 작품의 몸통 지름을 5cm로 설정하였다.

## 5) 제작

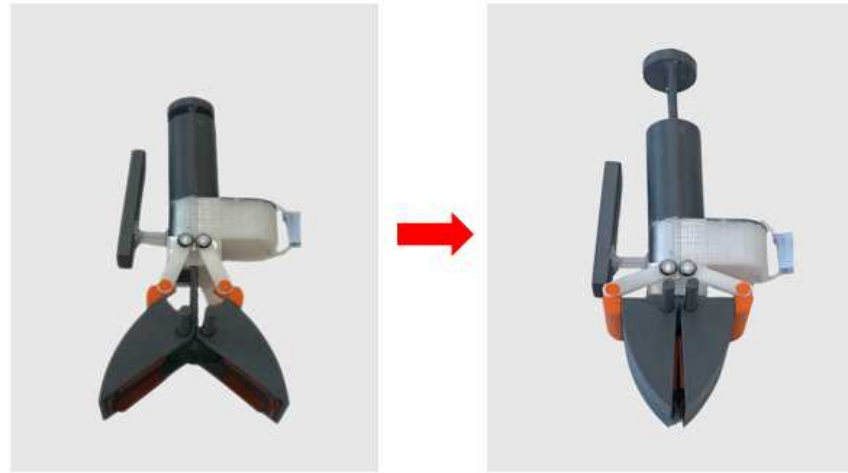


Fig.17 Operating of Hydraulic Scoop

Fig.17은 본 연구에서 제작한 작품의 최종 모습이다. 왼쪽은 작동 전 모습이며 손잡이를 누르면 오른쪽과 같이 스쿱 헤드와 닫히면서 외부 기둥이 올라간다.

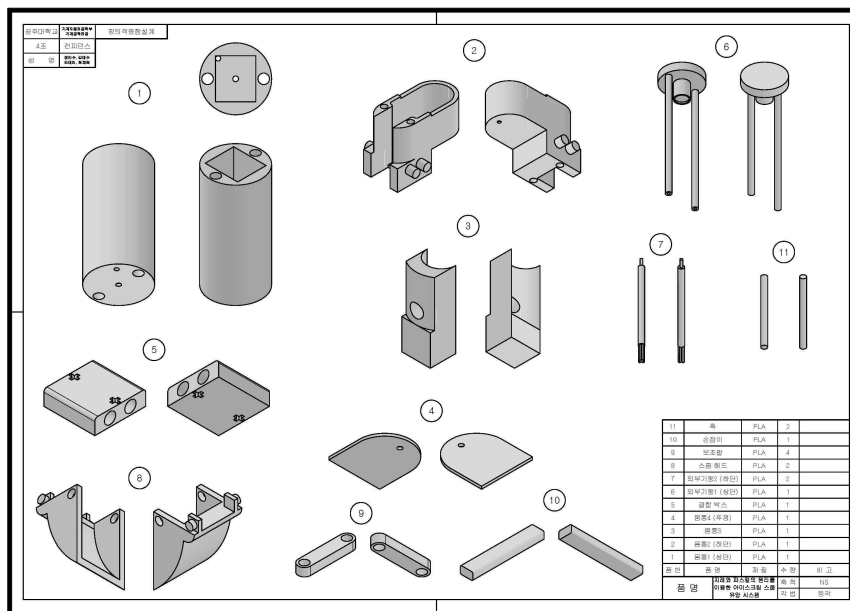


Fig.18 Parts by 3D

Fig.18 은 Inventor로 설계한 부품들이며 3D 프린터를 이용하여 출력했다. 이때 형상이 복잡하거나 부품이 너무 크면 출력이 불가능하다는 3D 프린터의 문제로 몸통을 ①, ②, ③, ④ 총 4개의 부품으로, 외부 기둥을 ⑥, ⑦ 두 개의 부품으로 분할하여 결합했다. 이때 몸통 ①의 내부에는 작동유체인 물과 큰 피스톤이, 몸통 ②와 ③에는 작은 피스톤과 유압회로가 들어간다. 따라서 이 크기에 맞춰 작품을 제작하였다.

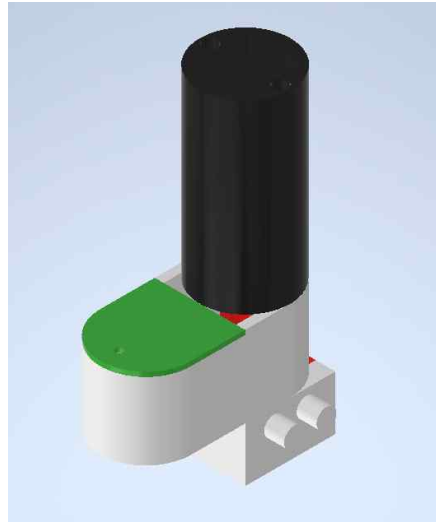


Fig.19 A body-assembled figure

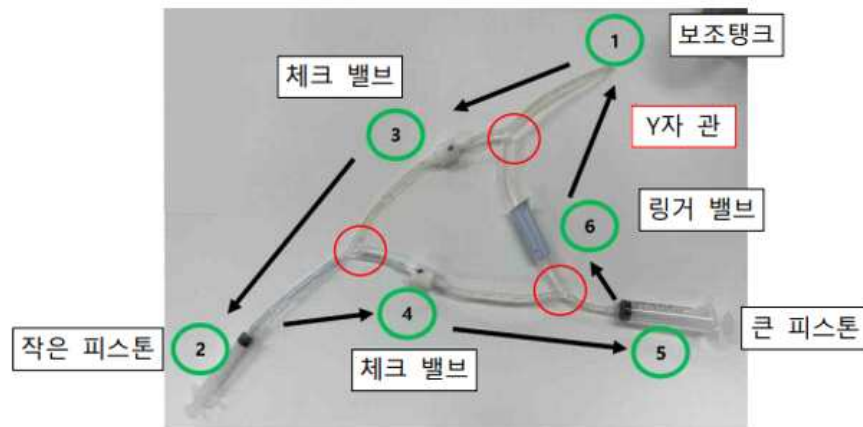


Fig.20 hydraulic circuit configuration diagram of body

| UV Bond                                                                             | UV Lamp                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |

Fig.21 UV Bond and UV Lamp



작동유체인 물이 들어가는 몸통 ①의 보조탱크 부분에서 PLA 수지의 단점으로 방수가 잘 안 되는 문제가 발생하였다. 따라서 물이 닿는 보조 탱크에 UV 본드를 도포하고 UV 조사기를 이용하여 경화시켜 방수 문제를 해결하였다.

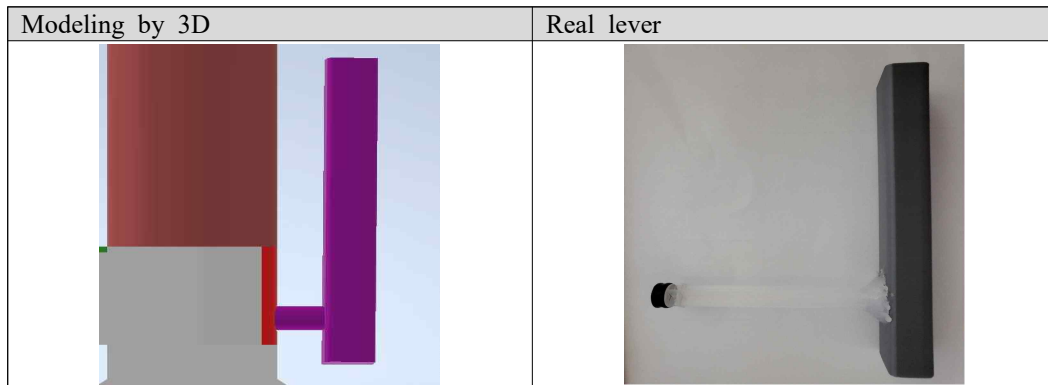


Fig.22 Lever of work

본 연구에서 의도한 손잡이의 메커니즘은 몸통과 손잡이를 한 손에 쥐고 쥐었다 폈다를 반복하여 작동시키는 것이다. 이를 구현하기 위하여 몸통에 구멍을 뚫어 유니버설 조인트를 고정시키고, 작은 피스톤 역할을 하는 작은 주사기에 구멍을 뚫어 핀으로 고정시켰으나 힘을 제대로 전달시키지 못하는 문제점이 발생했다. 따라서 손잡이를 작은 피스톤에 부착하는 형태로 제작을 진행하였다.

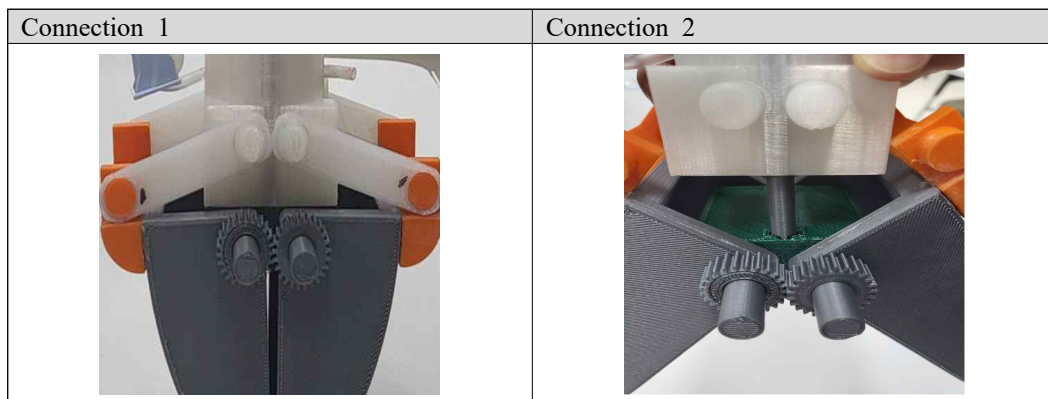


Fig.23 Structure for Scoop Head Force Transmission

Fig.23 은 손잡이에서 큰 피스톤으로 전달된 힘을 스크 헤드로 전달하기 위한 구조를 나타낸 것으로 보조 팔과 축, 결합 박스를 이용하여 제작하였다.



Fig.24 Making Scoop Heads

스쿱 헤드의 면적이 넓어 아이스크림을 파고들지 못하는 문제가 발생하여 톱날을 잘라 스쿱 헤드에 붙이고 클래드 매직 랩을 덧씌워 제작하였다.

#### 4. 실험 및 분석

##### 1) 실험 방법

##### (1) 기존 스쿱 힘 측정 실험

본 연구는 기존 아이스크림 스쿱으로 인해 유발되는 사용자의 손목 통증을 줄이기 위해 보다 적은 힘으로 아이스크림을 스쿱하는 것을 목적으로 한다. 따라서 연구 스쿱과 비교를 위해 다음과 같은 방법으로 기존 스쿱 힘 측정 실험을 진행한다.

- ① 실험은 가장 점도가 크다고 알려진 초코 맛과 녹차 맛으로 진행한다.
- ② 체중계 위에 아이스크림, 스쿱 외 다른 물건이 없도록 한다.
- ③ 냉동실에서 꺼낸  $-19^{\circ}\text{C}$ 인 아이스크림을 체중계 위에 올려놓는다.
- ④ 손으로 스쿱을 눌러 스쿱의 머리가 완전히 잠길 때의 값을 기록한다.
- ⑤ 녹차 맛 아이스크림으로 바꿔서 같은 방법으로 실험을 진행한다.

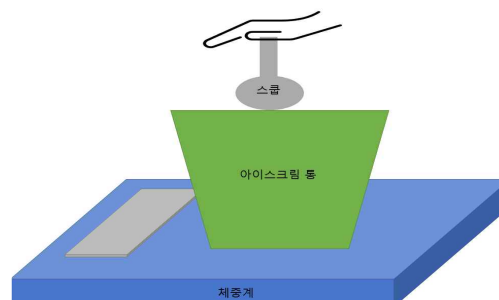


Fig.25 Ice cream scooping force measurement schematic diagram

##### (2) 파스칼 원리 실험

본 연구에서는 더 적은 힘으로 아이스크림을 스쿱하기 위해 파스칼의 원리가 적용됐다. 12mm의 작은 피스톤, 15mm의 큰 피스톤을 이용하여 유압 실린더를 대체하여 제작하였다. 본 연구 목적의 타당성을 확인하기 위해, 파스칼의 원리 작동 여부 판단을 목적으로 실험을 진행했다.

따라서 다음과 같은 조건으로 힘을 측정한다.

- ① Fig.27 장력계의 위치를 고정한다.

② 연구 스쿱이 바닥이랑 수직, 장력계와 평행하도록 한다.

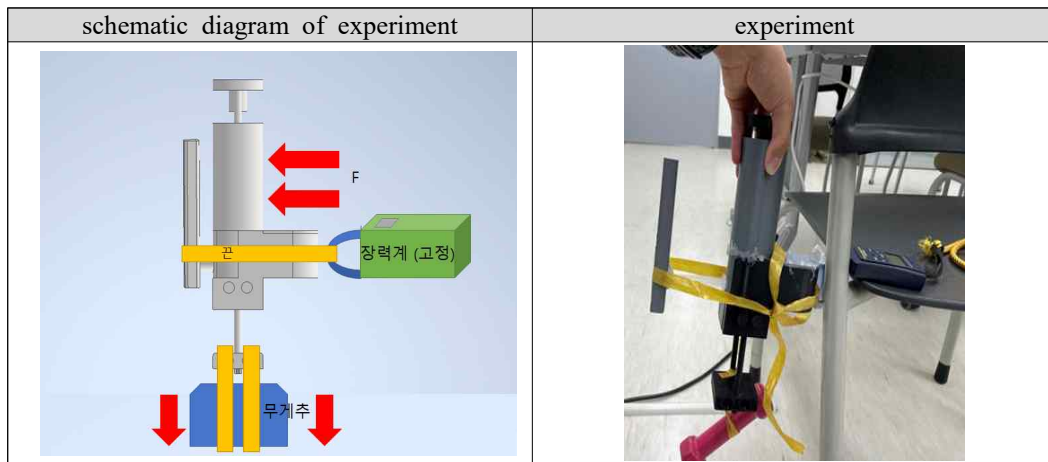


Fig.26 Experiment of Pascal's law



Fig.27 the tension meter used in the experiment

Fig.26 은 연구 스쿱의 힘 증폭 실험의 모식도와 실제 실험 모습을 나타낸 그림이다. 실험 방법은 다음과 같다.

- ① 고정된 장력계에 끈을 이용하여 손잡이를 연결한다.
- ② 무게 추를 결합 박스에 부착한다.
- ③ 장력계에 걸리는 힘이 수렴되었을 때 값을 측정한다.
- ④ 추의 무게를 늘려가며 ② ~ ③ 실험을 반복한다.

### (3) 아이스크림 스쿱핑 가능 온도 측정

아이스크림은 콜로이드의 상태로 온도에 따라 아이스크림의 강도가 달라지는 것을 확인할 수 있다. 본 연구 스쿱의 작동 가능 온도 범위 측정을 목적으로 실험을 진행했다. 실제 아이스크림 매장에서의 온도는  $-18^{\circ}\text{C}$ 이다.

다음과 같은 조건으로 실험을 진행한다.

- ① 적외선 온도계를 이용하여 표면 온도를 측정 후 실험을 진행한다.
- ② 상온  $24^{\circ}\text{C}$ 에서 실험을 진행한다.
- ③  $-18^{\circ}\text{C}$ 에서 최종 온도는  $-10^{\circ}\text{C}$ 로  $2^{\circ}\text{C}$  증가할 때마다 측정한다.



Fig.28 Infrared Thermometer used in the experiment

Fig.28은 실험에 사용한 적외선 온도계의 모습이고, 실험 방법은 다음과 같다.

- ① 적외선 온도계를 이용하여 표면 온도를 측정한다.
- ② 표면 온도가  $-18^{\circ}\text{C}$ 를 시작으로 실험을 진행한다.
- ③ 연구 스킵을 이용해 아이스크림을 스쿱핑한다.
- ④ 실험 성공 여부를 판단한다.
- ⑤ 온도가  $2^{\circ}\text{C}$  증가했을 때마다 ③ ~ ④ 번의 실험과정을 반복한다.

#### (4) 아이스크림 스쿱핑 필요 시간과 용량 측정

아이스크림을 스쿱핑하는 데 기존 스킵보다 힘이 적게 들이되 시간이 오래 걸린다면 아이스크림 매장에서 사용하는 데 있어 효율이 떨어진다. 실제 아이스크림 매장에서 사용할 수 있는지 판단하기 위해, 연구 스킵으로 아이스크림을 스쿱핑할 때 걸린 시간과 퍼낸 용량을 측정 후 기존 스킵과 비교하는 실험을 진행했다.

실험 조건은 다음과 같이 진행한다.

- ① 실험 온도는  $-12^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ 를 기준으로 한다.
- ② 스쿱핑 시간은 아이스크림이 스킵 헤드에서 떨어질 때를 기준으로 한다.
- ③ 실험 진행은 초코 맛 아이스크림으로 진행한다.

실험 방법은 다음과 같다.

- ① 실험자 외 다른 1명이 영상을 촬영한다.
- ② 아이스크림 온도가  $-12^{\circ}\text{C}$ 일 때 연구 스킵으로 아이스크림 스쿱핑을 시작한다.
- ③ 스쿱핑한 아이스크림을 체중계 위에 올려 값을 입력한다.
- ④ 영상을 보며 시작한 시간과 아이스크림이 스킵에서 떨어진 시간을 입력한다.
- ⑤ 온도를  $-10^{\circ}\text{C}$ 일 때 ① ~ ④ 의 과정을 반복한다.
- ⑥ 스킵의 종류를 바꿔 ① ~ ⑤ 의 과정을 반복한다.

#### (5) 스킵 헤드 힘 계산

본 연구에서는 아이스크림을 스쿱핑할 수 있어야 하고, 이는 스킵 헤드 형상에 따른 힘의 전달을 알아야 한다. 현재 사용된 스킵 헤드에 전달되는 힘을 알아보기 위해 스킵 헤드에 대한 자유 물체도

(FBD, Free Body Diagram)를 그려 분석해보았다.

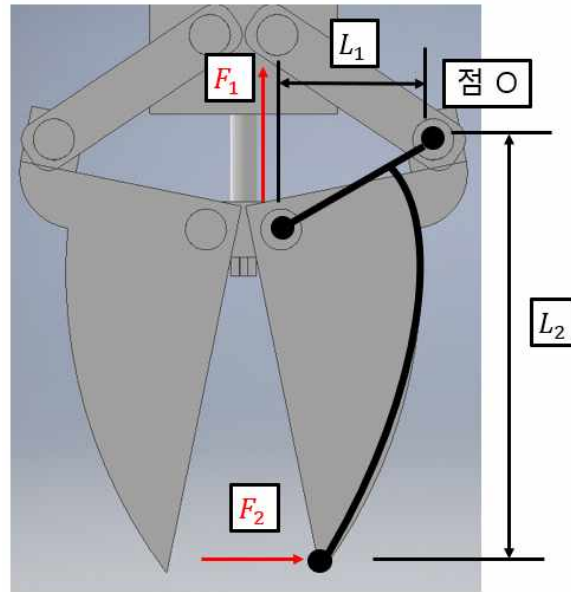


Fig.29 Scoop head FBD

Fig.29를 통해 스쿱 헤드에 전달되는 힘을 식으로 나타낼 수 있다.

기호설명

$F_1$  = 결합 박스가 올라가는 힘  
 $L_1$  = 점 O와 결합 박스 축 사이 직선 거리  
 $F_2$  = 스쿱 헤드에 전달되는 힘  
 $L_2$  = 점 O와 스쿱헤드 끝 사이 직선 거리

$$\sum M_o = 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$F_1 \cdot L_1 - F_2 \cdot L_2 = 0$$

스쿱 헤드에 전달되는 힘은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

식 (10)을 통해 현재 제작에 사용한 스쿱 헤드의 전달되는 힘을 알아보고자 한다.

#### (6) 손목이 받는 힘 비교

본 연구는 아이스크림을 스쿱핑할 때 손목이 받는 힘을 감소시키는 것을 목적으로 한다. 이는 기존 스쿱과 비교하기 위해 아이스크림을 스쿱핑하는데 필요한 수직 힘을 알아보았다.

실험 조건은 다음과 같다.

- ① 스쿱 무게, 수직 힘, 스쿱핑한 아이스크림의 무게를 힘(N)으로 환산하여 계산한다.
- ② 실험(4)의 -12℃의 아이스크림 무게로 계산한다.

기존 스쿱의 실험 방법은 다음과 같다.

- ① 실험(1)과 같은 방식 체중계의 무게를 기준으로 한다.

연구 스쿱의 실험 방법은 다음과 같다.

- ① 연구 스쿱으로 아이스크림을 스쿱핑할 때 수직 힘은 작용하지 않는다.

## 2) 결과 및 분석

### (1) 힘 측정 실험

| Chocolate Ice cream                                                               | Green tea Ice cream                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |

Fig.30 Measuring the power of scooping chocolate and green tea ice cream

Fig.30은 기존 스쿱으로 힘을 가했을 때 체중계의 중량이 증가한 것을 나타낸다.

‘아이스크림을 스쿱하는 데 드는 힘’은 ‘아이스크림을 스쿱할 때의 최고 중량’에서 ‘아이스크림을 스쿱하기 전 아이스크림 통의 중량’을 뺀 값과 같다. 통의 중량은 0.7kg으로 측정값과 같이 계산해주면 초코 맛 아이스크림의 경우  $10.3kgf - 0.7kgf = 9.6kgf$ , 녹차 맛 아이스크림의 경우  $10.1kgf - 0.7kgf = 9.4kgf$ 이다.

이 값들을 N(뉴턴)으로 변환하면  $9.6kgf \times 9.81 = 94.2N$ ,  $9.4kgf \times 9.81 = 92.2N$ 이다. 즉 약 100N으로 아이스크림을 스쿱할 수 있다는 결과가 나온다.

### (2) 파스칼 원리 실험

Table 2 Pascal's law Experimental Data

| 무게 추(kg) | 이론 값(kg) | 실제 값(kg) |
|----------|----------|----------|
| 0.25     | 0.39     | 0.29     |
| 0.5      | 0.78     | 0.55     |
| 0.75     | 1.17     | 0.9      |
| 1        | 1.56     | 1.28     |
| 1.25     | 1.95     | 1.7      |

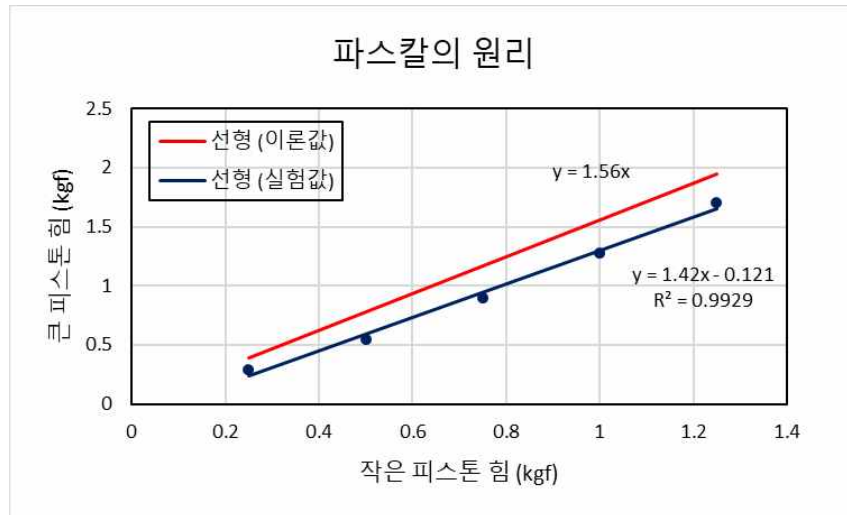


Fig.31 Pascal's law Experiment Graph

Fig.31 실험 그래프에서 1차 함수의 기울기는 힘의 증폭률이다. 즉, 이론상 작은 피스톤에 작용한 힘은 큰 피스톤에 1.56배 증폭되어 전달되어야 한다. 실험 결과 1.42배 증폭되는 것을 확인했다. 따라서 파스칼의 원리 효율은  $(1.42/1.56) \times 100 = 91\%$ 이다.

이론값과의 오차는 마찰에 의한 힘의 손실로 추정된다.

### (3) 아이스크림 스쿱핑 가능 온도 측정

Table 3 Scooping test results by ice cream temperature

| 온도  | -18℃ | -16℃ | -14℃ | -12℃ | -10℃ |
|-----|------|------|------|------|------|
| 스쿱핑 | X    | X    | X    | O    | O    |

표[3]는 실험 결과로 아이스크림 온도가 약 -12℃부터 아이스크림을 스쿱핑하는 것이 가능함을 확인했다. 실제 아이스크림 매장은 -18℃의 아이스크림을 주로 판매하는데 이때 스쿱핑하기 어려움을 알게 되었고, 이는 PLA 소재와 스쿱 헤드 모양의 한계로 볼 수 있다.

### (4) 아이스크림 스쿱핑 필요 시간과 용량 측정

Table 4 Ice cream scooping time and volume measurement results

|      | 데이터 명     | 기존 스쿱 | 연구 스쿱 |
|------|-----------|-------|-------|
| -10℃ | 스쿱핑 시간(s) | 9     | 16    |
|      | 퍼낸 용량(g)  | 41    | 137   |
| -12℃ | 스쿱핑 시간(s) | 10    | 20    |
|      | 퍼낸 용량(g)  | 42    | 128   |





Fig.32 Ice cream volume measurement result

그림[32]와 표[4]의 실험 데이터를 통해 연구 스쿵으로  $-12^{\circ}\text{C}$ 인 아이스크림을 스쿵하는 데 약 20초가 소요되며 약 128g의 아이스크림을 스쿵하는 것을 확인할 수 있었고,  $-10^{\circ}\text{C}$ 인 아이스크림을 스쿵하는 데 약 16초가 소요되며 약 137g의 아이스크림을 스쿵하는 것을 알 수 있다. 이는 실제 매장에서 사용되는 기존 스쿵의 속도 약 1/2 배, 퍼낸 용량은 약 4배의 수치이다. 약 130g은 배스킨라빈스의 파인트(3가지 맛) 용기 기준(336g) 한 가지 맛을 스쿵하는 용도로 용량은 사용하기에 적합하다는 것을 알 수 있다.

#### (5) 스쿵 헤드 힘 계산

본 연구에서 설계한 스쿵 헤드의 가로 길이와 세로 길이의 비는 약 1:2이다. 따라서 식 (10)에 의해 한쪽 스쿵 헤드에 걸리는 힘  $F_2$ 는 큰 피스톤에 작용하는 힘  $F_1$ 의 절반 정도이다. 기존 스쿵 연구에서 아이스크림을 스쿵하는 데 필요한 힘은 100N이고, 이를 이용하면 연구 스쿵의 스쿵에 필요한 손잡이 힘을 계산할 수 있다. 스쿵 헤드 양쪽에 걸리는 힘이 100N이면 결합 박스에 걸리는 힘은 200N이다. 파스칼 원리 실험 결과, 힘의 증폭비는 1.42이므로 200N을 1.42로 나누면 손잡이에 요구되는 아이스크림 스쿵을 위한 힘은 140N이라는 것을 알 수 있다. 이는 본 연구 설정 입력 힘으로 50N의 2.8배이다.

#### (6) 손목이 받는 힘 비교



Fig.33 Weight Measurement of scoop

무게 측정 결과 기존 스쿵은 128g, 연구 스쿵은 376g이다. 기존 스쿵을 이용했을 시 손목에 가해지는 힘은 101.3N(아이스크림 스쿵 힘 100N + 스쿵 무게 1.3N)이고 연구 스쿵은 5N(스쿵 무게 3.7N + 아이스크림 무게 130g  $\rightarrow$  1.3N)이다. 따라서 손목이 받는 힘은 약 95% 감소했다.



### 3. 결과 및 토의

아이스크림 매장에서 사용하는 기준 스쿱은 손목에 부담이 많이 가해져 통증을 유발한다. 다른 메커니즘 방식의 스쿱들도 존재하지만, 이것들은 전기를 사용하거나 크기가 크거나 구조가 복잡하다는 등의 단점들이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기준 스쿱의 단점들을 보완하여 아이스크림 매장 노동자의 손목 부담을 덜어주는 지레와 파스칼의 원리를 이용한 아이스크림 스쿱 유압 시스템을 개발하고자 한다.

1. 본 연구에서 다루는 작품의 부품 중 손잡이, 스쿱 헤드, 몸통, 보조 팔, 외부 기둥, 축, 결합 박스 등은 3D 프린터를 이용하여 출력하였고, 작은(큰) 피스톤은 주사기를 이용하였다. 또한 유압회로는 체크 밸브, Y관 튜브, 유압 조절 밸브, PVC 튜브로 구성된다. 모든 부품들을 조립한 결과 의도한 메커니즘대로 작동함을 확인했다.

2. 의도한 메커니즘대로 작동함을 확인했지만, 손잡이가 힘을 제대로 전달하지 못하여 아이스크림을 스쿱핑하지 못하는 문제가 발생했다. 따라서 손잡이를 밀고 당기는 방식으로 제작을 진행하였다. 이로 인해 지레의 원리를 적용하지 못하였고 작품을 한 손이 아닌 두 손으로 작동해야 한다.

3. 작품의 온도별 아이스크림 스쿱핑 실험을 통해서  $-12^{\circ}\text{C}$ 부터 스쿱핑할 수 있음을 확인하였다. 현재 상태로는 온도가  $-18^{\circ}\text{C}$ 인 매장에서 사용하기 어려울 것으로 판단된다. 파스칼 원리 실험에서 힘 증폭률이 이론값 대비 91%로 측정되었다. 오차는 마찰로 인한 힘 손실로 추정된다. 계산을 통해 스쿱 헤드에서 힘 손실이 발생하는 원인을 발견하였고 이에 따라 손잡이에 요구되는 아이스크림 스쿱핑에 필요한 힘은 140N이다. 손목이 받는 힘은 기준 스쿱 101.3N, 연구 스쿱 5N으로 약 95% 감소했다.

### 4. 결 론

향후 연구에서 개선·보완·해결할 사항들을 다음과 같이 제시한다.

첫째, 3D 프린터로 뽑은 재질을 스테인리스로 변경한다. 재질을 변경함으로써 강도가 더 강해지고 이에 따라 두께가 얇아져 크기와 무게가 감소할 것으로 기대한다. 또한

PLA 수지의 방수가 안된다는 단점을 해결할 수 있을 것이다.

둘째, 유압회로를 개선한다. 현재의 유압회로는 부피가 커 공간을 많이 차지한다는 문제가 있다. 또한 각 부품들의 연결 부위 결합력이 약해 강한 압력에 쉽게 파손된다.

셋째, 손잡이를 개선한다. 본 연구에서 의도한 손잡이를 한 손으로 쥐고 펴는 방식을 구현하기 위해서는 받침점을 링크나 슬라이드 구조로 만들어 움직일 수 있게 해야 한다. 또한 작은 피스톤 역할을 하는 작은 주사기의 플라스틱 재질을 다른 재질로 변경하는 등의 조치로 강도를 강화해야 한다.

넷째, 스쿱 헤드를 재설계한다. 스쿱 헤드에서 힘 손실을 보지 않으려면 ‘가로 길이  $\geq$  세로 길이’이어야 한다. 또한 결합 박스가 공간을 차지해 스쿱 헤드 용량을 100% 활용하지 못하는 문제를 해결해야 한다. 이러한 사항들을 개선·보완·해결한다면 실제 아이스크림 매장에 상용화하여, 노동자들의 손목 통증을 개선하고 업무의 효율을 증가시킬 것으로 기대한다. .

## 후 기

본 연구는 공주대학교의 후원으로 진행되었습니다.

## 참고문헌

- (1) 서울아산병원: <https://www.amc.seoul.kr/asan/healthinfo/body/bodyDetail.do?bodyId=182> (2022. 6. 19. 접속)
- (2) 이다혜. "근로자 개념의 재검토: 4 차 산업혁명, 플랫폼 노동의 부상에 따른 ‘종속노동’의 재조명." 노동법연구 49 (2020): 1-50.
- (3) 중앙일보: <https://www.joongang.co.kr/article/21714523#home> (2022. 6. 19. 접속)
- (4) De la Cruz Martínez, Alejandro, et al. "Estimation of Ice Cream Mixture Viscosity during Batch Crystallization in a Scraped Surface Heat Exchanger." Processes 8.2 (2020): 167.
- (5) 서울대학교병원 신체기관정보:  
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=938756&cid=51006&categoryId=51006> (2022. 6. 19. 접속)
- (6) Jung Min-Ye , and Lee Ji-Young. "Comparison of Hand Function in Normal Female Adult with Three Styles of Wrist Position." 대한작업치료학회지 5.1 (1996): 20-26.
- (7) Rettig, Arthur C. "Epidemiology of hand and wrist injuries in sports." Clinics in sports medicine 17.3 (1998): 401-406.
- (8) Pulos, Nicholas, and Sanjeev Kakar. "Hand and wrist injuries: common problems and solutions." Clinics in sports medicine 37.2 (2018): 217-243.
- (9) Fotiadou, Anastasia, et al. "Wrist injuries in young adults: the diagnostic impact of CT and MRI." European Journal of Radiology 77.2 (2011): 235-239.
- (10) Ryu, J. H., Lee, S. S.(2005).A Study on Ergonomic Design of a Computer Mouse for a Prevention of Carpal Tunnel Syndrome.한국CDE학회 학술발표회 논문집,( ),727-734.
- (11) Dorwart, Bonnie Brice. "Carpal tunnel syndrome: a review." Seminars in arthritis and rheumatism. Vol. 14. No. 2. WB Saunders, 1984.
- (12) Kim, Su-Geun.(2016).Carpal Tunnel Syndrome.산업보건,333(),64-73.
- (13) Duck-Soo Kim, Hae-Kwan Cheong, and Yong Wook Kwon. "Wrist Ratio as a Risk Factor of Carpal Tunnel Syndrome." 대한산업의학회지 vol 13.3 (2001).
- (14) Morrissy, RAYMOND T., and EDWARD A. Nalebuff. "Dislocation of the distal radioulnar joint: anatomy and clues to prompt diagnosis." Clinical Orthopaedics and Related Research 144 (1979): 154-158.
- (15) Kim, Su-Geun. "직업성 근골격계질환 16-업무상 손목 삼각섬유연골 복합체 파열." 월간산업보건 (2017): 35-46.
- (16) Kirchberger, Michael C., et al. "Update TFCC: histology and pathology, classification, examination and diagnostics." Archives of orthopaedic and trauma surgery 135.3 (2015): 427-437.
- (17) Angermann, P., and M. Lohmann. "Injuries to the hand and wrist. A study of 50,272 injuries." Journal of hand surgery 18.5 (1993): 642-644.
- (18) Parmelee-Peters, Katrina, and Scott W. Eathorne. "The wrist: common injuries and management." Primary Care: Clinics in Office Practice 32.1 (2005): 35-70.
- (19) Han Eun-Young , and Im Sang-Hee. "Ultrasonographic findings of median nerve according to the change of the wrist positions" (2015)
- (20) Kim, Su-Geun. "직업성 근골격계질환 25-근골격계질환의 발병 위험요인." 월간산업보건 (2018):

22-32.

- (21) 해외특허: Heat transfer ice cream scoop. United States. William J. Herbert. US6846171B2.
- (22) 특허정보검색서비스 KIPRIS, 일회용 스쿱, 울산과학기술원 산학협력단, 출원번호: 2020130007682, 등록번호: 2004768800000
- (23) 특허정보검색서비스 KIPRIS, 아이스크림 디셔 보조기구, 유남호, 출원번호: 1020180041909, 등록번호: 1019115270000
- (24) 특허정보검색서비스 KIPRIS, 아이스크림을 스쿠핑 하는 장치, (주) 티로보틱스, 출원번호: 1020180058010, 등록번호: 1019199680000
- (25) Mahato, Anil C., and Sanjoy K. Ghoshal. "Energy-saving strategies on power hydraulic system: An overview." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering* 235.2 (2021): 147-169.
- (26) Fitch, Ernest C., and I. T. Hong. *Hydraulic component design and selection*. BarDyne, 1998.
- (27) Dal-Won Park.(2017). Analysis of the Type of Visual Proof of Mathematically Gifted Students for the Principle of the Lever. *과학영재교육*,9(3),133-144.
- (28) HONG, Dong-Hwa. In *Proceedings of the Korea Society of Mathematical Education Conference*. Korean Society of Mathematical Education, 2006. p. 111-112.
- (29) 이찬주, 안병호, 1993, "준비작동식 밸브에 대하여", *Fire Protection Technology*, No15, pp 39-51.
- (30) Koh, Hyo Seog, and Choi, Byong Jeong. "Grouting Performance Evaluation of the Double Injection Method for Settlement Restoration of Concrete Rail Tracks" 2. *한국방재학회 논문집* 20 (2020): 31-38.
- (31) 한국산업인력공단. 일반기계기사. 2018년 2회 필기.
- (32) 고인수.(1999). 체크밸브의 선정기준, (나비체크밸브 사용시의 유리한 장점). *대한설비공학회 학술발표대회논문집*,1303-1312.
- (33) TLV.inc: <https://www.tlv.com/global/KR/product-solutions/spring-disc-type-check-valves.html#3> (2022. 6. 19. 접속)
- (34) Y. M. Gu.(2004).Influence of Hydraulic Fluid In Hydraulic System.*Journal of Drive and Control*,1(2),9-11.
- (35) BH Nam - The Monthly Technology and Standards, 2005 - [koreascience.or.kr](http://koreascience.or.kr)
- (36) 김형의,김동수. "메카트로닉스화를 향한 공기압기술의 발전동향과 향후전망." *機械와 材料* 3.2 (1991): 38-46.
- (37) HAM, Yeong-Bok, et al. 수압기술의 현황과 응용. *기계와재료*, 2005, 17.3: 115-123.
- (38) Choi Won, Woo Jae-hyeong, Jeon Jeong-bae, Yoon Seong-soo, 2015, "Measurement of Structural Properties of PLA Filament as a Supplier of 3D Printer," *한국농공학회*, Vol. 57, No. 6, pp. 142.
- (39) Jin-Kyung Lee, 2020, "Strain and Life Evaluation of ABS Resin Subjected to Impact Loads," *한국동력기계공학회*, 동력시스템공학회지, Vol. 24, No. 4, pp. 77.
- (40) 통계청: [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=113&tblId=DT\\_113\\_STBL\\_1020239](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=113&tblId=DT_113_STBL_1020239) (2022. 6. 20. 접속)
- (41) 동아일보: <https://www.donga.com/news/Economy/article/all/20200103/99066204/1> (2022. 6. 19. 접속)
- (42) Jenkins, Nathaniel DM, et al. "Muscle activation during three sets to failure at 80 vs. 30% 1RM resistance exercise." *European journal of applied physiology* 115.11 (2015): 2335-2347.
- (43) 이원섭, 정기효, 유희천.(2008).Development and Application of a Grip Design Method using Hand Anthropometric Data. *대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집*,(),363-369