대한기계학회 주최

제11회 전국학생설계경진대회(2021년)

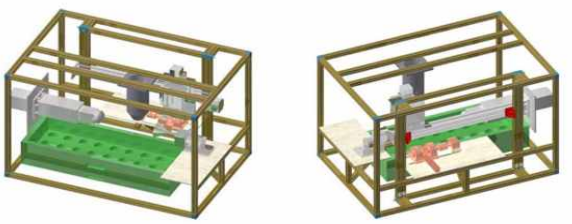
설계 최종 보고서

참가부	대학부				
참가분야	공모주제 (　　) / 자유주제 (0)				
참가팀명	단공이				
설계제목	페트병 라벨 제거기				
지도교수/교사	(소속) 단국대학교 (성명) 송지현				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	김수형	단국대학교 기계공학과			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	김수형	단국대학교 기계공학과 / 4학년	
2	김태형	단국대학교 기계공학과 / 4학년	
3	박관호	단국대학교 기계공학과 / 4학년	
4	이경록	단국대학교 기계공학과 / 4학년	
5	정진영	단국대학교 기계공학과 / 4학년	
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 (　　) / 자유주제 (O)
참가팀명	단공이
설계제목	페트병 라벨 제거기
대표자명	김수형
요약문	□ 작품 제작의 필요성 및 목적 오늘날 소비자들의 다양한 욕구 및 소비의 증가로 인해 페트병의 사용량은 나날이 갈수록 증가하는 추세입니다. 하지만, 폐플라스틱의 실제 재활용률은 10%에도 미치지 않는 게 현실입니다. 재활용률이 이렇게 턱없이 낮은 이유 중 하나는 폐페트병을 제대로 분리수거를 하지 않기 때문입니다..현 실태는 이처럼 제대로 분리수거 되지 않아 국산 폐페트병은 절반 이상이 순수 쓰레기이며, 깨끗한 폐플라스틱을 해외에서 수입해 재활용하는게 이득인 상황으로 보여집니다. 따라서 우리는 페트병 라벨 제거기를 제작하여 각 분리수거장 단지에 설치해 재활용률을 높여 환경적인 이득 뿐만 아니라, 폐 페트병 수입으로 발생하는 국가의 경제적 이익까지 상승시킬 목적입니다. □ 최종 산출물의 예상 모습 및 작동방식 제작할 제품은 전면이 다 덮인 박스형태의 작품입니다. 각각 병 앞 뒷부분 고정부, 열풍 부, 마찰을 이용한 라벨 분리부, 라벨을 제거하기 위한 칼날부로 구성될 예정입니다. 시작품의 문을 열어 페트병을 집어 넣으면 칼날을 이용한 라벨의 분리, 열풍을 통한 접착제 제거, 마찰과 병의 회전을 통한 라벨의 제거순으로 진행될 예정입니다.설계 초안 개략도는 아래와 같습니다.  < 제품 전체 개략도 정면 및 배면 > □ 기대효과 각 아파트 분리수거장에 보급된다면, 페트병 재활용률을 높이고, 환경파괴에 대한 경각심을 심어줄 수 있을 것입니다. 또한 사람들이 직접 구동해보며, 라벨 제거의 중요성에 대해 고민해 볼 수 있을 것이라 판단됩니다.
설계프로젝트의 입상 이력	없습니다.

페트병 라벨 제거기

김수형, 김태형, 정진영, 박관호, 이경록, 송지현
단국대학교 기계공학과

Pet Bottle Label Peeler

Soo-Hyung Kim, Tae-Hyung Kim, Jean-Young Jeong, Kwan-Ho Park and Gyeong-Rok Lee and Ji-Hyun Song.
Mechanical Engineering, Dankook University

(Received September 1, 2021; Revised September 2, 2021 ; Accepted January 3, 2021)

Key Words: Pet Bottle Label Peeler(페트병 라벨 제거기), Seperating waste PET bottles(폐페트병 분리수거), Eco-Friendly(친환경적)

초록: 2016년 통계청의 자료에 의하면, 우리나라의 1인당 포장용 플라스틱 소비량은 98.2kg으로 미국(97.7kg), 프랑스(73kg)를 제치고 1위로 나타났다. 또한, 최근 COVID-19에 의해 택배 물량이 급증하면서 플라스틱 쓰레기가 하루 평균 약 850톤으로 지난해 대비 16% 증가했다. 이런 상황에서 우리 조는 폐플라스틱의 올바른 분리수거 방법에 대해 찾아보았다. 환경부에 따르면, 올바른 폐플라스틱 중 폐페트병 분리수거 방법은 내용물을 비우고, 뚜껑, 라벨은 제거 후, 찌그러트려 버리는 것이 가장 효율적이고 재활용가능성이 높다고 설명한다. 우리 조는 위의 일련의 과정에서, 페트병의 라벨을 제거하는 것이 가장 우선적으로 해결해야할 문제로 판단하였고, 그에 따른 주거지 분리수거장용 및 가정용 라벨제거기를 설계하기로 하였다.

Abstract: According to data from the National Statistical Office in 2016, Korea's per capita consumption of plastic for packaging was 98.2 kilograms, surpassing the U.S. (97.7 kilograms) and France (73 kilograms). In addition, plastic waste averaged about 850 tons per day, up 16% from last year, as the volume of parcel delivery has soared recently due to COVID-19. In this situation, our team looked for the right way to separate waste plastic. According to the Ministry of Environment, separating waste PET bottles among the correct peplastics is the most efficient and recyclable method to empty the contents, remove the lid and label, and crush them. In the above series of processes, our group determined that removing labels from PET bottles would be the first issue to be addressed, and therefore decided to design a residential and residential label Peeler

Ⅰ. 서 론

1. 문제정의 및 목표 설정

오늘날 소비자들의 다양한 욕구 및 소비의 증가로 인해 페트병의 사용량은 나날이 갈수록 증가하는 추세이다. 표에 나타낸 것과 같이, 16년 통계청의 자료를 보면 우리나라는 국가별 1인당 플라스틱 소비량이 98.2kg으로 세계에서 가장 많은 것으로 나타났다.

† Corresponding Author, 32160776@dankook.ac.kr
□ 2021 Dankook University of Mechanical Engineering

국가	1인당 포장용 플라스틱 소비량
한국	98.2kg
미국	97.7kg
프랑스	73kg
일본	66.9kg
뉴질랜드	63kg

Table. 1 Per capita consumption of packaging plastics by country

또한 환경부는 최근 신종 코로나바이러스로 인해 택배 물량이 급증하면서 플라스틱 쓰레기가 하루 평균 850t으로 지난해 대비 약 16% 증가했다고 발표했다. 그렇다면 이렇게나 많이 나오는 폐플라스틱의 페트병을 올바르게 분리수거하는 방법은 무엇일까? 환경부에서 발표한 방법은 내용물을 버리고 라벨을 제거 후 찌그러트려 버리는 방법이라고 설명한다.

Fig. 1 Correct method of recyling waste pet bottles

반면, 폐플라스틱의 실제 재활용률은 10%에도 미치지 않는 게 현실이다. 재활용률이 이렇게 턱없이 낮은 이유 중 하나는 위에 설명한 것처럼 폐페트병을 제대로 분리수거를 하지 않기 때문이다.

Fig. 2 & 3 Actual Condition of Waste Plastic Recycling

환경부 자원재활용 과장의 인터뷰를 인용하면, 페트병에 붙어있는 라벨을 제거해서 재활용하는 것이 재활용 품질을 결정하는 가장 주된 요인이라고 설명한다. 하지만 현 실태는 이처럼 제대로 분리수거 되지 않아 국산 폐페트병은 절반 이상이 순수 쓰레기이며, 깨끗한 폐플라스틱을 해외에서 수입해 재활용하는게 이득인 상황이다.

Fig. 4 From Ministry of Environment(Youtube) Resource Recycling Interview Video

국가에서는 이렇게 페트병 라벨 분리를 강조하지만, 그렇다고 해서 라벨 분리가 쉽게 뜯어지지 않는 상황은 다들 한 번씩 겪었을 것이다. 페트병 라벨 부착 방식은 접착식과 비접착식으로 나누어진다. 그러나 두 방식 모두 라벨 분리가 불편하다. 밑의 그림처럼 라벨을 제거하고 버리려 해도 막상 제거하기엔 여간 쉽지 않다.

Fig. 5 Uncomfortable label separation (Left : Adhesive, Right : Nonadhesive)

따라서 재활용을 위한 라벨 제거의 중요성 및 불편함 해결을 위해 라벨을 분리해주는 '페트병 라벨 제거기'를 주제로 선정했다. 제품의 설치 장소는 각 주거지의 분리수거장이며, 사용자는 분리수거 관리자 및 주민들로 선정하여 설계했다.

1) Gantt Chart 및 업무 분담

설계 진행하기에 앞서 설계 과정을 여러 과정으로 나누고 Gantt Chart를 이용해 주요 활동들을 파악하고 일정을 짰다. 이어서 설계를 진행하기 위한 업무들을 분석 및 분담하였다.

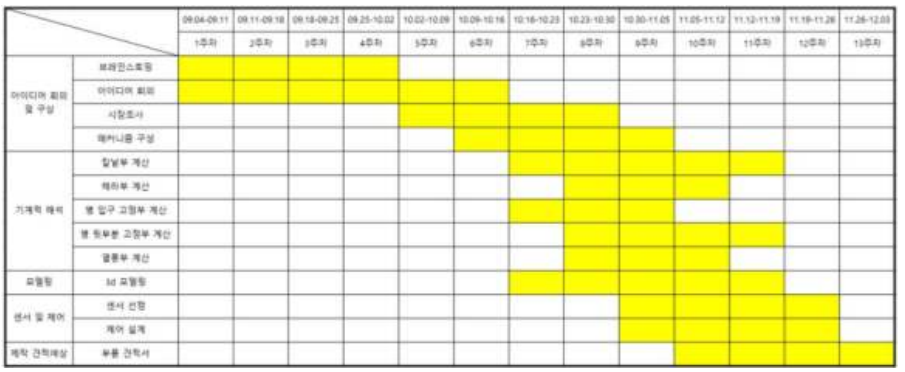


Fig. 6 Basic Engineering Gantt Chart

항목			계획 시작일	실제시작일	계획 완료일	완료일	완료율	03.16 ~03.22	03.23 ~03.29	03.30 ~04.05	04.06 ~04.12	04.13 ~04.19	04.20 ~04.26	04.27 ~05.03	05.04 ~05.10	05.11 ~05.17
								14주차	15주차	16주차	17주차	18주차	19주차	20주차	21주차	22주차
기계공학종합설계2	시작품 제작	외부 프레임 조립	2021.03.16	2021.03.16	2021.03.26	2021.03.26	100%									
		칼날부 3D프린팅 작성, 제출	2021.03.16	2021.03.16	2021.03.26	2021.03.26	100%									
		열풍기 부분 조립	2021.03.16	2021.03.16	2021.03.26	2021.03.26	100%									
		열풍기 코딩	2021.03.16	2021.03.16	2021.03.26	2021.03.26	100%									
		요류 확인 및 추가 주문 물품 체크	2021.03.22	2021.03.22	2021.04.10	2021.04.10	100%									
		병고정 윗 부분 3D프린팅 작성 제출	2021.03.23	2021.03.23	2021.03.26	2021.03.26	100%									
		병고정 뒷부분 조립	2021.03.23	2021.03.23	2021.03.26	2021.03.26	100%									
		병고정 앞부분, 해라부 3D프린팅 작성 제출	2021.03.23	2021.03.23	2021.04.22	2021.04.22	100%									
		병고정 앞부분 조립	2021.03.29	2021.03.29	2021.04.02	2021.04.02	100%									
		병고정 앞부분 코딩	2021.03.29	2021.03.29	2021.04.09	2021.04.09	30%									
		해라부 조립	2021.04.05	2021.04.05	2021.04.09	2021.04.09	50%									
		해라부 코딩	2021.04.05	2021.04.05	2021.04.16	2021.04.16	0%									
		시험기간 2주 소요					0%									
		칼날부 조립	2021.04.26	2021.04.26	2021.04.30	2021.04.30	100%									
		칼날부 코딩	2021.04.26	2021.04.26	2021.04.30	2021.04.30	0%									
		코딩 순서 배열 및 원치기	2021.05.03	2021.05.03	2021.05.07	2021.05.07	0%									
	설계 마무리 및 공모전 준비	최종 조립 및 점검	2021.05.03	2021.05.03	2021.05.07	2021.05.07	0%									
		공모전 준비 (설계 제안서 접수)	2021.04.05	2021.04.05	2021.04.26	2021.04.26	0%									
		발표 준비	2021.05.07~	2021.05.07~	2021.06.10	2021.06.10	0%									

Fig. 7 Detail Engineering Gantt chart

2) 설계 문제의 정의

문제정의를 위해 5whys 프로세스를 진행했다. 현행 라벨 분리과정은 오른쪽 위의 사진과 같이 파쇄한 페트병을 물에 넣어, 물 위로 뜨는 라벨과 물 아래로 가라앉는 페트 조각을 분리하는 비중 분리 방식이다. 그러나 모든 라벨이 물 위로 뜨는 게 아니기 때문에, 제대로 분리가 되지 않아 재활용하지 못하는 경우가 많다. 5whys 프로세스 진행 결과 기초 문제 정의, 즉 소비자가 직접 페트병 라벨을 쉽게 제거 할 수 있는 장비를 만든다면 페트병 재활용률을 높일 수 있다는 결론에 도달했다.

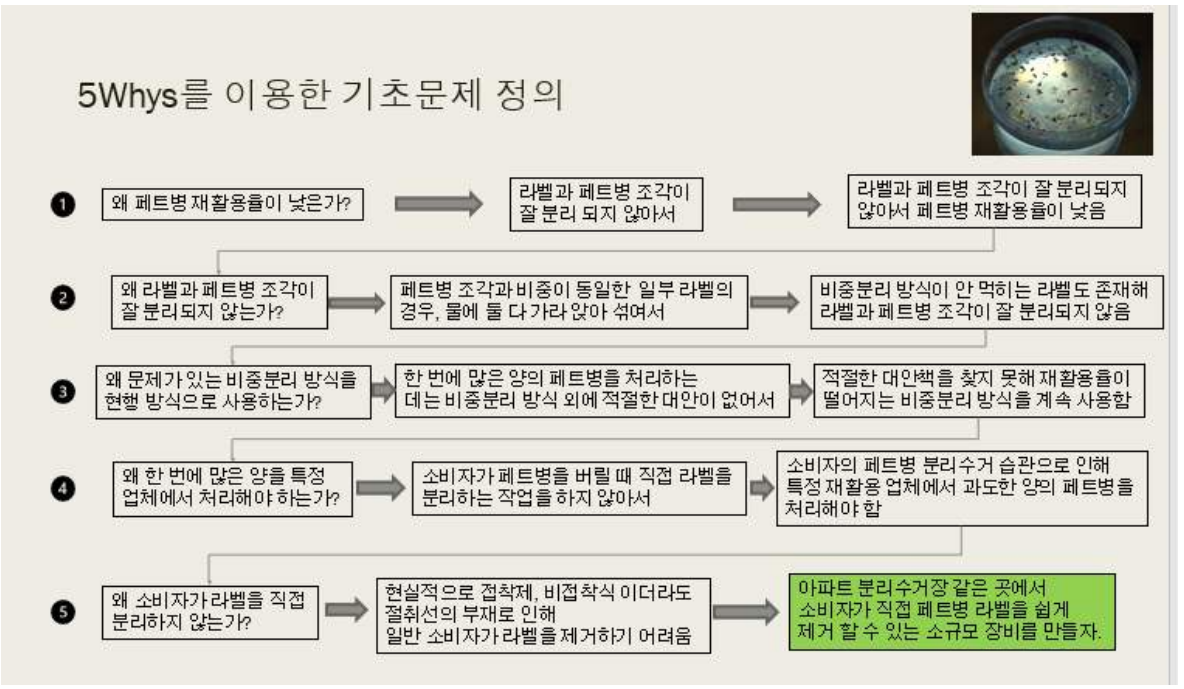


Fig. 8 Defining problems using 5 whys

이어서 우리가 제작할 페트병 라벨제거기의 시장성을 분석해 보았다. 현재 우리나라의 폐페트병은 재활용이 힘들어 해외에서 폐페트병을 수입해오는 실정이다. 페트병 1kg당 수입비용은 350원이고 연간 수입량은 22,000톤이다. 따라서 연간 페트병 수입비용은 77억원이다. 우리가 설계한 제품의 제작 예상 비용은 약 100만원이며, 통계청에 따르면 우리나라의 분리수거 행정리는 30,567이다. 따라서 제품을 각 분리수거장에 설치한다고 가정하여 총 비용을 계산하면 300억이다.

페트병 kg당 수입가격	연간 수입량	총 비용
350원	22,000톤	7,700,000,000
제품 예상 비용	분리수거 행정리	총 비용
1,000,000	30,567	30,000,000,000

Table. 2 Cost theorem ofr marketability analysis

단순한 비용을 따져보았을 때 이 제품을 설치하는 비용이 훨씬 많다. 그러나 장기적으로 봤을 때 약 4년이 지난 후에는 페트병의 수입 가격을 뛰어넘는다. 따라서 이 제품을 설치한다는 것이 장기적으로 이득을 챙길 수 있다고 볼 수 있다.

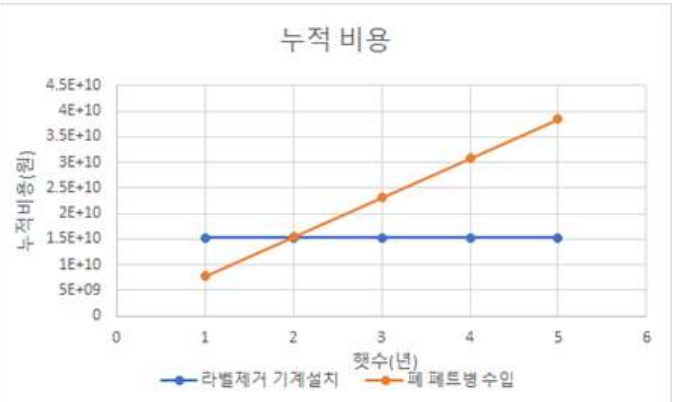


Fig. 9 Comparison of import Cost with Product Installation Costs

	역할 분담
김수형	조장 및 총괄, 칼날부 및 열풍부 설계
김태형	병 입구 고정부, 쓰레기 수거함 설계
박관호	조립과 구동 및 제어, 병 뒷부분 고정부 설계
이경록	보고서 작성, 라벨 마찰분리부 설계
정진영	칼날부 설계, 프레임 설계, 발표

Fig. 10 Role sharing Table

3) 시장성 분석

현재 우리나라의 폐페트병은 재활용이 힘들어 해외에서 폐페트병을 수입해오는 실정이다. 페트병 1kg당 수입비용은 350원이고 연간 수입량은 22,000톤이다. 따라서 연간 페트병 수입비용은 77억원이다. 우리가 설계한 제품의 제작 예상 비용은 약 100만원이며, 통계청에 따르면 우리나라의 분리수거 행정리는 30,567이다. 따라서 제품을 각 분리수거장에 설치한다고 가정하여 총 비용을 계산하면 300억이다.

페트병 kg당 수입가격	연간 수입량	총 비용
350원	22,000톤	7,700,000,000
제품 예상 비용	분리수거 행정리	총 비용
1,000,000	30,567	30,000,000,000

Fig. 11 Cost theorem for market ablility analysis

단순한 비용을 따져보았을 때 이 제품을 설치하는 비용이 훨씬 많다. 그러나 장기적으로 봤을 때 약 4년이 지난 후에는 페트병의 수입 가격을 뛰어넘는다. 따라서 이 제품을 설치한다는 것이 장기적으로 이득을 챙길 수 있다고 볼 수 있다.

4) 특허검색 및 제품비교

우리가 설계한 제품의 개념이 선례가 있는지 특허분석을 통해 알아보았다. 특허정보검색서비스 KIPRIS를 이용해 분석한 결과, 비슷한 개념의 두 제품을 찾을 수 있었다.

4-1) 대용량 라벨 제거기

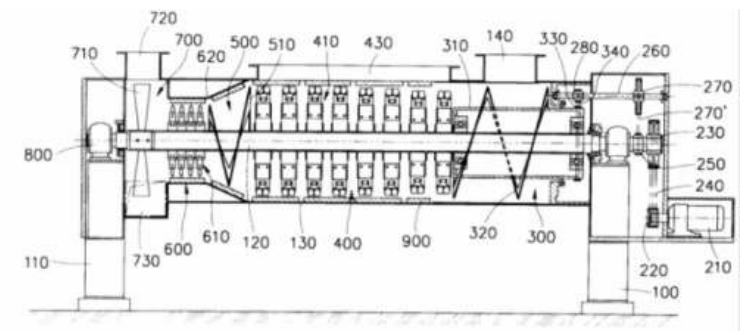


Fig. 12 High Capacity Label Peeler Schemetic

첫 번째로 발견한 특허선례는 대용량 라벨 제거기이다. 제품 내부에 돌기를 부착하고 다량의 페트병을 쏟아부은 후, 제품을 회전시켜 라벨을 제거하는 방식이다. 이 방식의 문제점은 라벨 제거가 돌기로 이루어지는 방식이라 제대로 제거되지 않는다는 점이다. 또한 돌기와의 마찰로 인해 과정 중 페트병의 손상되어 고품질의 페트병을 얻기가 힘들다. 이 제품과 우리가 선정한 제품은 작동 원리에서 차이가 있다. 대용량 라벨 제거기는 돌기를 이용해 라벨을 제거하지만, 우리 제품은 칼날 및 열풍을 이용해 제거하는 방식이다. 또한, 이 제품은 이름에서부터 알 수 있듯이 대용량이지만 우리 제품은 소량으로 하나씩 제거하는 방식이다.

4-2) 페트병 라벨 분리장치

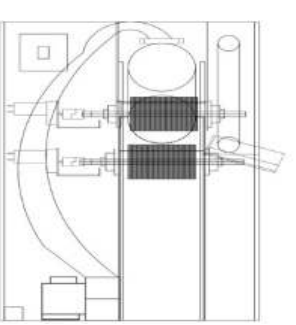


Fig. 13 Pet bottle Label peeler Schemetic

두 번째로 발견한 특허선례는 페트병 라벨 분리장치이다. 이 제품은 내부에 두 개의 롤러가 설치되며, 페트병을 투입구에 넣으면 회전하는 롤러에 의해 압축되는 과정을 거치고 출구로 나온다. 이 제품의 문제점은 그저 병을 압축시켜 라벨과의 틈을 만들어주어, 라벨 분리를 쉽게만 해준다는 점이다. 출구를 통해 나온 페트병을 사람이 직접 수작업으로 라벨을 제거해야한다. 우리 제품과의 차이점은 위의 문제점과 같다. 라벨을 수작업으로 제거하지 않는다는 점이 차이점이다. 또한 위 제품은 라벨 제거보단 페트병 압축이 목적이라고 볼 수 있다.

먼저 구상한 시스템과 같은 형태의 특허는 전혀 존재하지 않으며 가장 유사하다고 판단되는 선행기술은 위 그림과 같다. 따라서 제품제작에 있어 특허 관련문제는 없을 것으로 예상된다.

제품적인 부분의 제약조건으로 먼저 사용가능한 페트병의 제한이 있다. 우리가 목표로 하는 제품은 원형 혹은 사각형이며 350mL~2L이내의 페트병만 이용이 가능하다. 즉, 형상이 불규칙하지 않은 페트병만 라벨 제거가 가능하다. 또한 각 페트병의 라벨 제거시간은 약 15~35초로 형상에 따라 시간이 상이하다. 제품에서 필요로 하는 소모품으로는 칼날이 있으며 주기적인 교체가 필요할 것으로 보인다.

4-3) 특허검색결과창

KIPRIS에서 “라벨 제거”라는 검색어를 통해 노이즈 없이 검색한 결과창이다. 아래, Fig. 14에서 확인 가능하다.

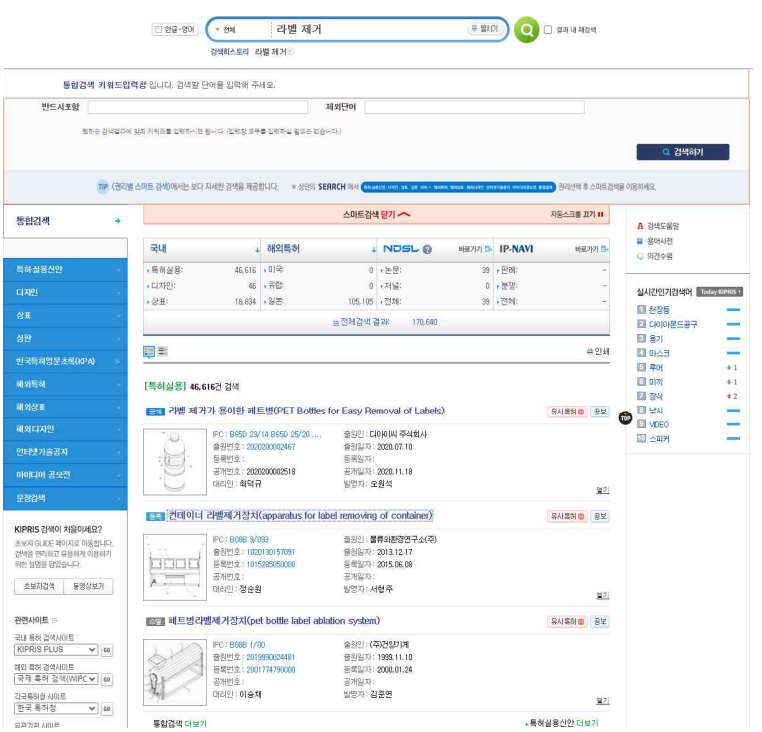


Fig. 14 Kipris label remove search results window

5) 설계 방법 및 제약조건

3D모델링 툴을 이용하여 페트병 라벨 제거기를 모델링 하였다. 전체적인 매커니즘과 알고리즘 또한 아래 첨부한 그림과 같이 구상하였다. 부품은 각각 병 입구 고정부, 뒷부분 고정부, 라벨 마찰분리부, 칼날부, 열풍부, 프레임으로 6파트로 구성되어 있으며 각 부품은 구매 및 가공하여 제작한다. 또한 아두이노를 이용해 각각의 파트를 제어한다. 구체적인 설계 개략은 아래와 같다.

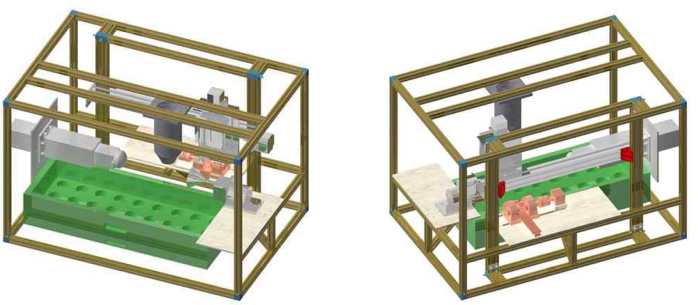


Fig. 15 Product overall Schematic Front and Rear

① 라벨을 제거하고자 하는 페트병을 준비한다.
② 페트병을 스프링이 연결된 봉과 뚜껑의 규격에 맞는 깔대기를 이용해 고정한다.
③ 기계를 작동시키면 초음파 센서를 이용해 칼날부의 칼날이 병에 부착된다.
④ 칼날이 페트병의 길이방향으로 이동하며 라벨을 자른다.
⑤ 칼날이 페트병 끝까지 이동하면 열풍기, 페트병 회전 모터 및 랙피니언 모터가 작동하고, 칼날은 원위치로 돌아온다.
⑥ 랙과 피니언 모터가 작동하면 랙에 연결된 라벨 마찰분리부가 병에 부착된다.
⑦ 열풍으로 인해 접착제를 약화시키고, 사포와의 마찰과 병의 회전으로 라벨을 제거한다.
⑧ 모든 과정을 거친 후 회전이 멈추고 라벨 마찰분리부는 원위치로 돌아간다.
위 구동 방식의 알고리즘은 아래와 같이 나타냈다.

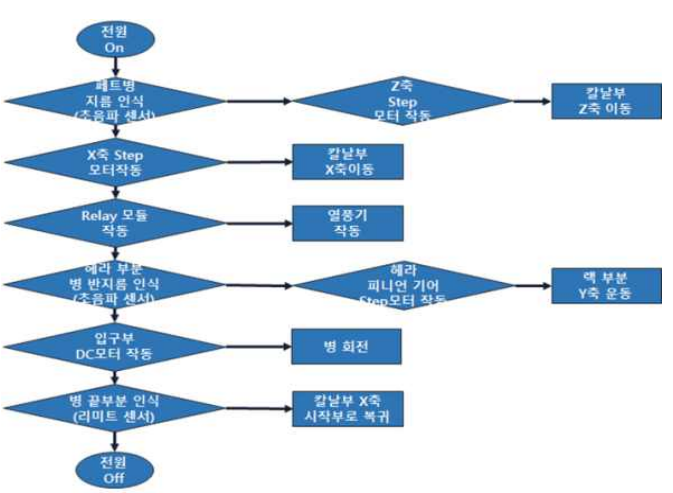


Fig. 16 Product Drive algorithm

2. 제품 부분별 개념설계

1) 병 입구 고정부

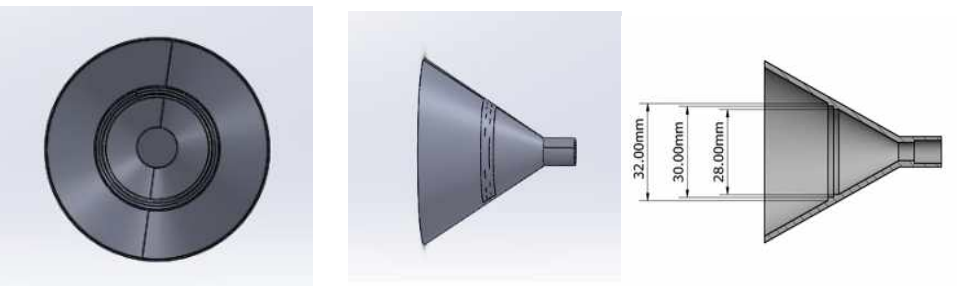


Fig. 17 Bottle inlet fixture modeling geometry

위 그림은 제품의 병 입구 고정부를 각각 정면, 측면에서 보았을 때의 형상이다. 깔대기 형상으로 설계한 이유는 모터에 맞춰 끼기 위해서이다. 키홈을 파서 헛돎을 방지하고, 공차를 약 3mm를 두고 설계했다.

병뚜껑의 규격은 어느 정도 규격화가 되어있다. 크기는 총 세 가지로 각각 32mm, 30mm, 28mm이다. 그림과 같이 3단의 지름 규격에 맞게 계단식으로 모델링하여 크기가 다르더라도 고정할 수 있도록 했다. 투입과정에 대한 많은 고민이 있었지만 현재로서 최선의 방법을 선택하였다. 추가 지원금을 통해 새롭게 제작을 시도한다면 간소화시킬 수 있도록 세로방향으로 투입하도록 제작할 예정이다.

2) 병 뒷부분 고정부

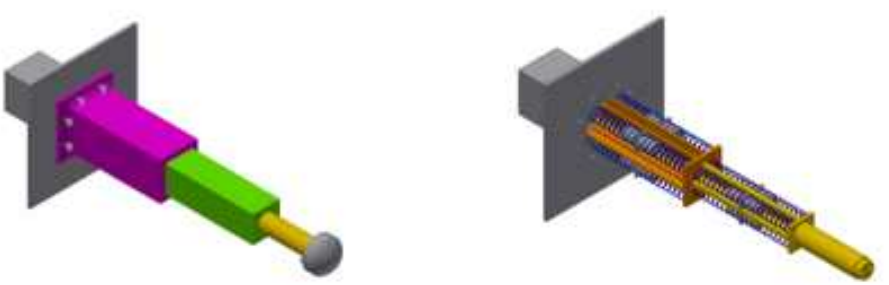


Fig. 18 Bottle back fixture modeling geometry

위 그림은 병 뒷부분 고정부 형상의 모델링을 나타낸 그림이다. 좌측은 케이스가 씌워진 겉보기 형상이고, 우측은 스프링의 모습까지 나타낸 내부 형상이다. 1번의 병 입구 고정부와 함께, 제품을 작동할 때 페트병을 수직으로 버틸 수 있게 해주는 장치이다.

3단봉 방식을 이용해 내부에 한 층당 4개씩 스프링을 연결하였다. 페트병의 최대 크기와 최소 크기의 길이 차이는 약 20cm이다. 따라서 높이가 다양한 페트병을 수용할 수 있도록 20cm의 가동범위에 맞게 설계했다.

3) 라벨 마찰분리부

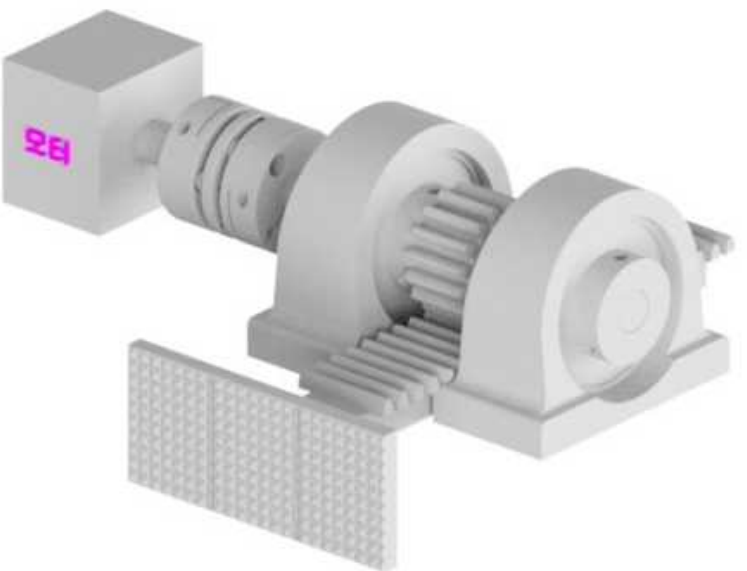


Fig. 19 Label Friction Separation Rack and Pinion Modeling Geometry

위 형상은 라벨을 제거하기 위한 마찰이 큰 면이 부착되어있는 라벨 마찰분리부의 형상이다. 모터와 연결된 피니언 기어가 회전하면 랙은 앞뒤로 이동하는 방식이다. 우선 초음파 센서로 페트병 사이의 거리를 인식한다. 이 때 입구부에 연결된 모터가 회전함에 따라 병이 회전중이고 위쪽에선 열풍이 작동해 뜨거운 바람으로 접착제가 약해진다. 마찰이 큰 면이 부착된 랙이 인식한 거리만큼 이동하여 페트병 표면에 붙도록 하여, 마찰에 의해 라벨이 벗겨지도록 설계했다.

4) 칼날부

Fig. 20 Blade part Modeling Geometry

위 형상은 페트병의 라벨을 자르기 위한 칼날부의 모델링 형상이다. x축 이송과 y축 이송 두가지 방향으로 이송이 가능하도록 설계하였다. 이송방식은 볼스크류와 스텝모터를 사용하여 정밀한 조절이 가

능하도록 설계하였다. 초음파센서를 사용하여 페트병 형상에 맞춰 높이조절을 하고 리미트 센서를 이용하여 페트병의 세로 길이에 맞춰 이송할 수 있다. 또한 높이 조절을 할 때 스프링을 이용해 높이오차에 따른 유격을 조절하여 안정적으로 페트병의 라벨을 컷팅할 수 있도록 고안하였다.

5) 열풍부

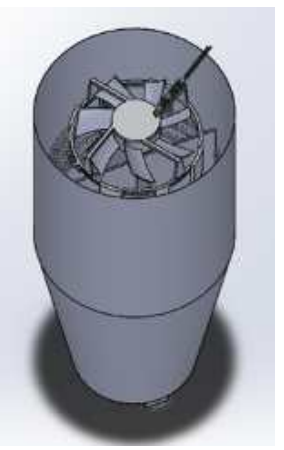


Fig. 21 Hot air Modelling Geometry

라벨 접착제를 약화시키기 위한 열풍부를 모델링한 형상이다. 열풍을 고루 받게하기 위해 병 입구 고정부에 연결된 모터를 통해 병을 회전시켰으며, 라벨을 위에서 아래로 떨어뜨리기 위해 윗부분에 부착했다.

6) 병 입구 고정부 쓰레기 수거함

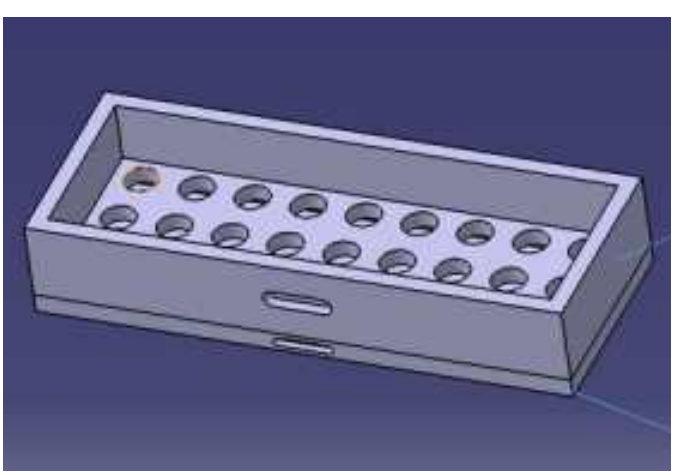


Fig. 22 Label collection box modeling

위 형상은 병 입구 고정부인 깔때기 아래 측에 위치한 쓰레기 수거함의 모델링 형상이다. 제품을 구동할 때 라벨이 제거될 때 혹은 칼날부로 자른 후 내부에 남아있는 액체가 흘러나올 때를 대비해 설계했다.

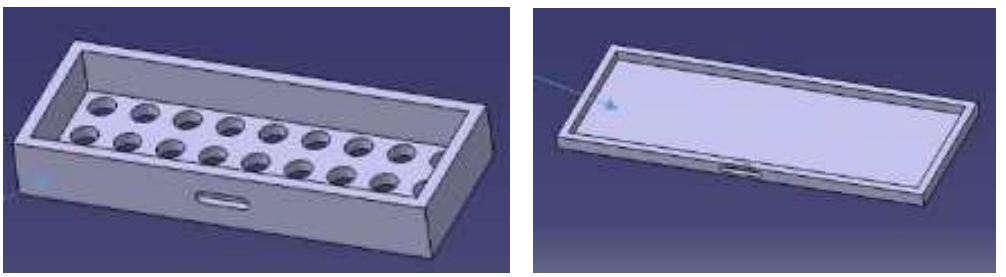


Fig. 23 Detachable Garbage Collection (Left : Label Collection, Right : Collecting liquids)

수거함은 상단 부분과 하단 부분으로 나눌 수 있다. 윗 서랍부분은 흘러내려오는 라벨을, 아래 서랍부분은 액체류를 수거할 수 있도록 설계했다. 따라서 제품 구동 후 마무리 및 뒷처리 작업이 용이할 것이다.

7) 회로도

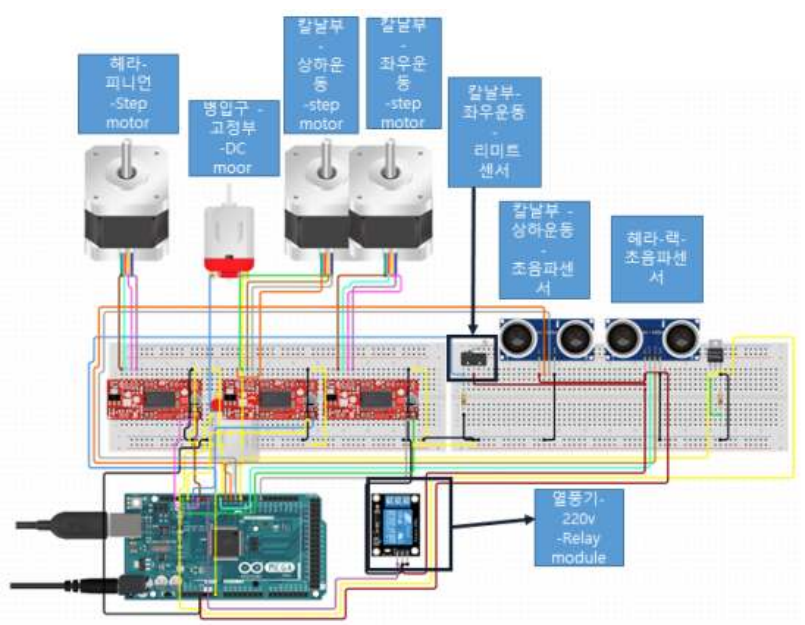


Fig. 24 Circuit diagram

위 그림은 각 부품에 사용되는 모터와 센서를 나타낸 회로도이다. 제품 구동 과정 중에 병이 회전을 해야 한다. 따라서 회전을 위해 병 입구 고정부에서는 DC 모터가 연결되어있다. 라벨 마찰분리부에는 피니언 기어를 작동시킬 Step motor가 연결되어있다. 또한 페트병과 랙 사이의 거리만큼 이동해야하므로, 거리를 인식해줄 초음파 센서가 연결되어있다. 칼날부에는 페트병 지름방향인 상하운동과 페트병 길이방향인 좌우운동을 하므로 각각 방향의 운동을 위해 step motor를 연결했다. 또한 페트병 끝까지 이동했을 때를 인식하기 위해 리미트 센서를 부착했다. 열풍기는 전력이 많이 소모될 것이다. 따라서 Relay module을 부착해 작동할 수 있도록 했다.

Ⅱ. 설계 및 수정사항

1. 병 입구 고정부 해석

1) 모터 회전 속도 선정

우리는 1개의 페트병 라벨을 제거하는 시간을 약 15~20초로 선정하였다. 이 시간을 제대로 맞추기 위해서는 모터의 회전속도를 정하는 것이 우선적이다. 지난 기계설계에서의 회전목마를 바탕으로, 우리는 실험적으로 10RPM의 속도를 가져야만 우리가 원하는 결과를 얻을 수 있을 것이라 생각하였다.

2) 모터 동력 계산

모터 동력을 계산하려면, 토크를 먼저 계산해야한다. 따라서, 힘 F부터 해석해보았다.

Fig. 25 The funnel shape of the bottle and the force acting on it

페트병에서 힘이 작용하는 방향은 아랫방향 단 한가지이다. 따라서, F=ma이므로, 페트병 하나의 질량은 약 10~20g이고, 가속도는 중력가속도로, a=9.81m/s^2이다. 힘 F를 계산하면 아래와 같다.

$$F = ma = 10g \times 9.81m/s^2 = 0.0981N$$

여기서 모델링한 결과, r값은 약 90mm로 측정이 되었다. 이는 1.5L 페트병 하나의 지름값이다. 토크를 계산해보면,

$$\tau = r \times F = 0.09m \times 0.00981N = 8.829 \times 10^{-3}[Nm]$$

동력 $P = RPM[rev/\mathrm{min}] \times \tau[Nm]$으로 구할 수 있다.

$$P = 10RPM \times 0.00981N = 10 \times 2\pi \div 360 \times 0.00981 = 1.7122 \times 10^{-3}W$$

토크 값이 너무 작아, 꼭 맞는 모터를 찾기는 불가능하였고, 동력과 회전수를 맞추어 모터를 선정하

였다. 그 결과 K6DG15S(Gear type)으로 정했다. 원하는 회전값 10rpm을 맞추기 위해 감속기가 필요하다. 감속기는 이 모터와 꼭 맞는 K6G180C로 선정하였다.

Fig. 26 Shape of motor (left) and decelerator (right)

Model	output (W)	Voltage (V)	RATED			Start T. (N·m/kgf·cm)	Starting Current (A)	WEIGHT (kg)
			Speed (rpm)	Torque (N·m/kgf·cm)	Current (A)			
K6D□15N1	15	12		0.05/0.5	2.8	0.31/3.1	17	0.73
K6D□15N2		24			1.2	0.42/4.2	11	
K6D□15N3		90			0.3	0.4/4	3	

Fig. 27 Specification of motor

Model Motor/ Gearhead	Speed(rpm)	10
	Ratio	180
N.m Kgfcm K6G□ B(C)		3
		30

Fig. 28 Specification of Decelerator

2. 병 뒷부분 고정부 해석

병 뒷부분 고정부는 내부에 스프링을 넣어서 탄성력을 이용해 페트병의 길이가 짧든 길든 수평으로 고정해주는 역할을 한다. 조사 결과 페트병의 최대 길이와 최소 길이의 차이는 20cm로, 스프링의 가동 범위는 20cm여야 한다.

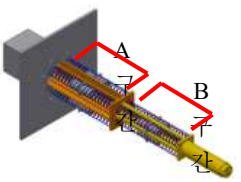


Fig. 29 Inside shape of bottle back fixing

위 그림은 병 뒷부분 고정부 내부의 형상을 나타낸 것이다. 각 구간에는 스프링이 4개씩 들어있으며 각 구간 안에서의 스프링은 병렬연결이라고 볼 수 있다. 탄성계수를 계산하면 아래와 같다.

$$k_A = 4k_{1,series} = 2k_1 = 600N/m$$
$$k_B = 4k_{2,series} = 2k_2 = 400N/m$$

A구간과 B구간은 병렬연결이라고 볼 수 있다. 전체 탄성계수를 계산하면,

$$\frac{1}{k_{total}} = \frac{1}{k_A} + \frac{1}{k_B}$$

$$k_{total} = \frac{k_A \times k_B}{k_A + k_B} = 240N/m$$

약 20cm=0.2m의 가동범위를 필요로 하므로, 최대 수축시 필요한 힘을 구하면

$$F = kx = (240N/m)(0.2m) = 48N = 4.9kgf$$

이 힘은 사람의 힘으로 충분히 사람의 힘으로 압축 가능하다.

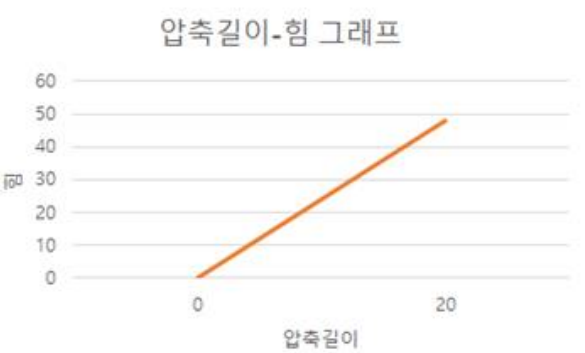


Fig. 30 Compression Length - Force Graph

3. 라벨 마찰분리부 해석

1) 피니언 기어 선정

기계공학적 해석을 하기 전, 랙 기어와 피니언 기어를 우선 선정할 필요가 있다. 먼저 피니언 기어, 즉 평기어부터 선정한다.

기어치형		표준
공구	치형	보통이
	모듈	2
	압력각	20°
잇수		16
피치원지름		32
전체이높이		4.5

Table. 3 Pinion Gear (Spurge) Key Objectives

피니언 기어는 모듈과 잇수만 정해주면 대부분의 스펙이 정해진다. 모듈은 2, 잇수는 16개로 정했으며 압력각은 20 ° 로 두었다. 이 스펙에 맞는 기어를 찾은 결과 아래와 같다.

톱니 수(톱니)	16	재질	[일반 철강재] S45C 상당
형상	B형	열처리	없음
표면 처리	없음	축 홀 형상	키 홈 홀+탭
기어 연삭	없음	백래시	있음
축 홀 직경(φ)	12	베어링	없음
톱니 폭 B(mm)	20	축 홀 공차	H7
정밀도((급) ※신 JIS)	JIS B 1702 4급	RoHS	10

Fig. 31 Detailed Dimensions of Pinion Gear

2) 랙 기어 선정

피니언 기어의 모듈을 2.0, 압력각을 20 ° 로 선정했으므로 랙 기어 또한 이에 맞추어 선정한다. 그렇다면 랙 기어의 길이만 고려해주면 된다.

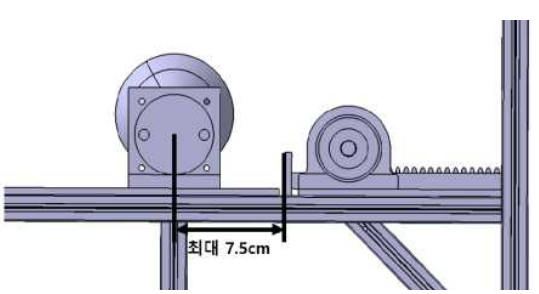


Fig. 32 Distance schematic between rack and pinion and PET bottle

모듈이 2.0인 랙 기어의 피치는 6.283mm이다. 페트병의 최대 지름은 10cm, 최소 지름은 5cm이다. 가동 전 최소 지름에서 이격된 안전거리를 7.5cm라고 가정한다. 이를 통해 랙의 잇수를 계산해보면 다음과 같다.

$$n = \frac{75}{6.283} = 11.9 \cong 12$$

페트병방향으로 랙의 잇수는 12개 이다. 앞뒤를 고려해서 여유있게 15개로 선정하고 길이를 계산하면 아래와 같다.

$$s = 15 \times 6.283mm = 94.245mm$$

따라서, 모듈 2.0, 압력각 20 ˚, 길이 94.25mm인 랙 기어를 선정했다.

톱니 종류	스탠다드	형상	랙 기어
모듈(M)/서클러 피치(P)	2	길이 L(mm)	94.25
재질	-	열처리	없음
기어 연삭	없음	표면 처리	사삼산화철 피막
유효 톱니 수(톱니)	15	톱니 폭 W(또는 D) (mm)	20
단면 가공	[없음] 양 단면 가공 타입	랙 높이(mm)	25
호칭	100	홈 가공	N(홈 가공 없음)
RoHS	10	-	-

Fig. 33 Selected rack gear specifications

3) 토크 계산

랙과 피니언의 재질은 s45c으로 밀도는 7850kg/m^3이다. 이를 통해 랙 기어와 피니언 기어의 무게를 구하면 다음과 같다.

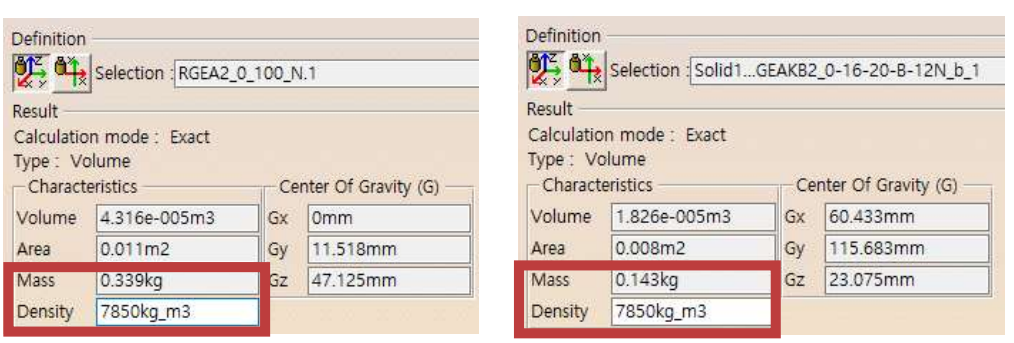


Fig. 34 Mass of rack gear (left) and pinion gear (right)

랙과 피니언 기어의 질량을 더하면 총 질량은 0.482kg이다. 랙의 속도를 75mm/s로 적당하게 설정했다. 피니언의 회전속도를 계산하면,

$$w = \frac{75mm/s}{32mm} = 2.34rad/s$$

마찰계수는 강재와 강재 사이의 마찰계수인 0.30을 사용하고, 안전계수는 1.3으로 설정한다.

$$\text{접선력 : } F_N = mg\mu = (0.482kg)(9.81m/s^2)(0.3) = 1.42N$$

$$\text{토크 : } T_N = \frac{(1.42N)(0.032m)}{2} = 0.0227Nm$$

$$\text{설계 토크 : } T_{NV} = (0.0227Nm)(1.3) = 0.030Nm$$

따라서 목표 각속도는 2.34rad/s이며, 안전계수를 고려한 설계 토크는 0.030Nm이다.

4) 모터 선정

모델명	정격전류 (A/Phase)	최대 정지 토크 (kgf·cm)	Rotor 관성 Moment (g·cm²)	권선저항(Ω)	모터길이(mm)
A2K-M243	1.2	2.06	33	2.7	34

Fig. 35 Selected Motor Specifications

설계 토크 0.030Nm를 넘는 최대 토크 2.06kgfcm = 0.202Nm의 스테핑 모터를 선정했다.

4. 칼날부 해석

1) 칼날 이송부 동력원 선정

칼날부는 2축 이동을 위해 2개의 볼 스크류 시스템이 필요하다. z축을 이송하기 위한 모터1, x축을 이송하기 위한 모터2의 위치는 각각 아래 그림과 같다. 또한 토크를 계산하기 위한 각 부분의 질량 또한 아래 표와 같이 구할 수 있다.

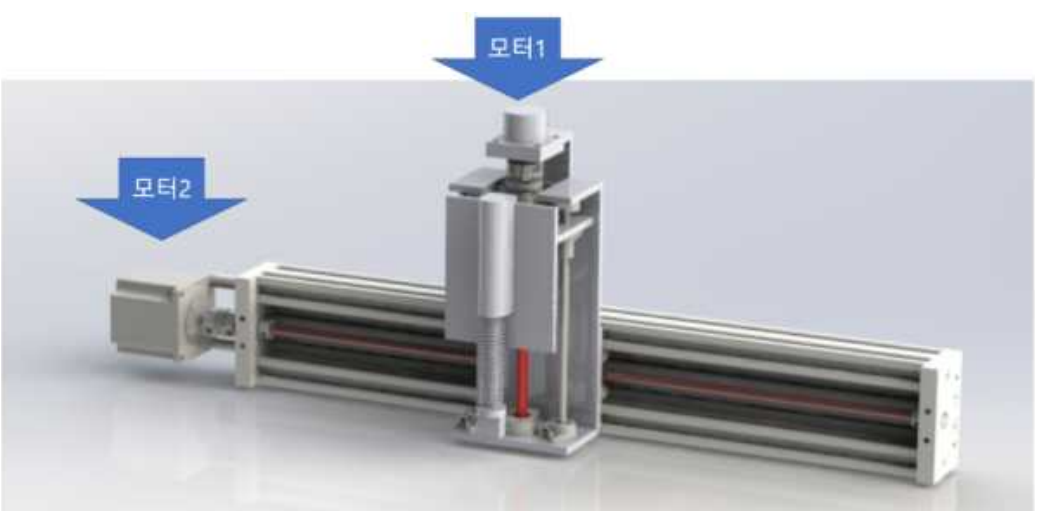


Fig. 36 Blade Transfer System Motorl

품명	개수	개당 질량(g)	총질량(g)
샤프트홀더	4	29	116
가이드샤프트	2	30	60
커플링	1	27	27
2면플랜지	2	21	42
볼스크류	1	90	90
하우징	1	60	60
플랜지(볼스크류)	1	44	44
칼날부	1	73.25	73.25
모터	1	200	200
총 무게			712.25

Table. 4 Mass of Blade Transfer System

① 모터 1 선정

동력 선정을 위한 조건으로 모터1이 이송할 하중은 하우징과 스프링을 포함해 0.3kg이다. 그리고 토크 계산을 위한 마찰계수에서 수직이동은 1, 수평이동은 0.2를 사용한다. 이를 이용하여 볼스크류 이송을 위한 토크는 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
T &= 9.8\mu mP/2\pi \\
&= (9.8m/s^2)\times 1\times(0.3kg)\times(0.024m)/2\pi \\
&= 0.011N\bullet m
\end{aligned}
$$

선정한 볼스크류의 리드는 24mm이므로 가동범위인 10cm를 2초내에 이송을 위해서는 4.2바퀴 회전이 필요하므로 126rpm의 속도가 필요하다. 이에 따른 동력을 구하면

$$
\begin{aligned}
P &= T\bullet w \\
&= (0.011N\bullet m)\times(126rpm) \\
&= (0.011N\bullet m)\times(13.2rad/s) \\
&= 0.1452\,W
\end{aligned}
$$

요구하는 토크는 11mNm, 동력은 0.1452W이다. 정밀한 거리조절을 위한 스텝모터를 사용하고 8mm축과 커플링으로 연결이 가능한 모터를 다음과 같이 선정하였다.

Fig. 37 Selected Motor Specifications

모터의 동력은 4.6W, 토크는 0.3Nm로 충분히 사용 가능하다.

② 모터 2 선정

모터2가 이송할 하중은 0.8kg이다. 수평이동이므로 마찰계수 0.2를 사용하여 토크를 계산한다. 또한 볼스크류의 리드는 정밀이송을 위해 2mm로 선정하였다. 이를 이용한 토크를 구하면

$$
\begin{aligned}
T &= 9.8\mu m P/2\pi \\
&= (9.8m/s^2)\times 0.2\times(0.8kg)\times(0.002m)/2\pi \\
&= 0.0005N\bullet m
\end{aligned}
$$

이송을 위한 각속도는 페트병 최대길이인 350mm를 15초 내에 이송하는 것을 목표로 하고 있다. 리드가 2mm인 것을 고려한 rpm은 700rpm이다. 이에 따른 동력을 구하면

$$
\begin{aligned}
P &= T\bullet w \\
&= (0.005N\bullet m)\times(700rpm) \\
&= (0.005N\bullet m)\times(73.3rad/s) \\
&= 0.806W
\end{aligned}
$$

요구하는 토크는 0.5mNm, 동력은 0.806W이다. 정밀한 거리조절을 위한 스텝모터를 사용하고 8mm축과 커플링으로 연결이 가능한 모터를 다음과 같이 선정하였다.

MODEL	HOLDING TORQUE N·m	HOLDING TORQUE ozin	RATED CURRENT A/PHASE	RESISTANCE Ω/PHASE	INDUCTANCE mH/PHASE	LEAD WIRES (PINS)	ROTOR INERTIA g.cm²	ROTOR INERTIA ozin²	MASS kg	L mm (inch)
4234	0.3	43	0.4	24	15	4	35	0.18	0.22	34 (1.33)
4234			1.33	2.1	2.5					
4240	0.45	64	1.2	3.3	3.2		54	0.28	0.32	40 (1.57)
4240			1.68	1.65	3.2					
4248	0.55	80	1.2	3.3	2.8		68	0.35	0.4	48 (1.89)
4248			1.68	1.65	2.8					
4260	0.8	120	1.2	3.3	14		102	0.50	0.55	60 (2.4)
4260			1.5	1.8	7					

Fig. 38 Selected Motor Specifications

모터의 동력은 4W, 토크는 0.55Nm로 충분히 사용 가능하다.

2) 축 설계

힘을 가장 크게 받을 것이라고 예측되는 볼스크류 축 2개에 대해 축 설계를 진행했다.

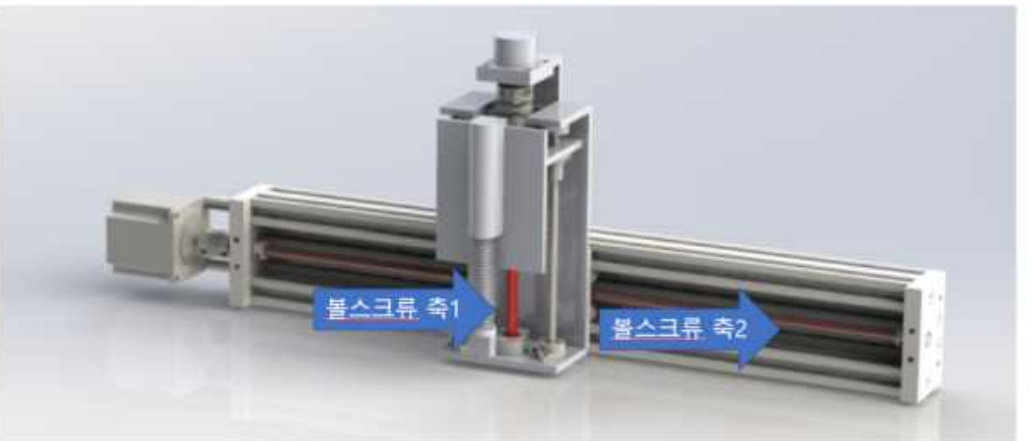


Fig. 39 Bladed ball screw shaft

① 축 1 설계

Fig. 40 Free Object Diagram of Axis 1

사용될 축 1의 지름은 8mm로 선정했다. 축 1은 세로로 세워져 있는 축으로 비틀림에 의한 영향이 가장 크다고 판단해 그에 의한 힘을 계산하였다.

	항복강도	전단강도	탄성계수
SUS304	215MPa	86GPa	196GPa

Table. 5 Physical properties of the material SUS304 of the shaft

- 강도 설계

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi \cdot \tau_a}}$$
$$= \sqrt[3]{\frac{16(0.011N \cdot m)}{\pi \cdot (86 \times 10^9)Pa}}$$
$$= 8.67 \times 10^{-5} m$$

- 강성 설계

$$\theta_b = \frac{583.6 \times T \times l}{d^4 \times G} = \frac{583.6 \times (0.011N \cdot m) \times (0.17m)}{(0.008m)^4 \times (86GPa)} \frac{\theta_b}{l} = \frac{(3.10 \times 10^{-3})^\circ}{0.17m} = 0.018^\circ/m$$
$$= 3.10 \times 10^\circ$$

위 계산을 통해 선정한 축의 지름 8mm는 강도 및 강성 설계에서 안전하다.

② 축 2 설계

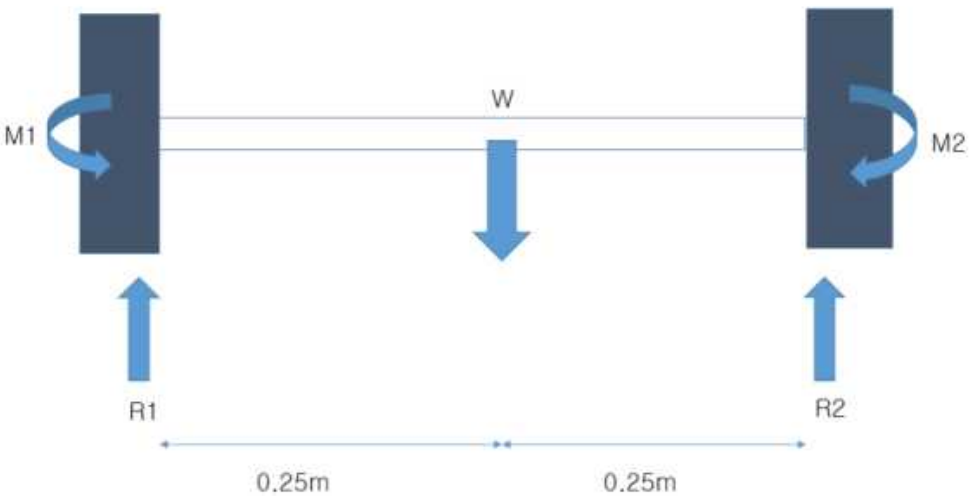


Fig. 41 Ball screw axis free object diagram

축 2는 가로로 눕혀져 있는 축으로, 처짐에 의한 영향이 가장 크다고 판단해 그에 따른 경우로 계산하였다. 최대 처짐 발생은 W, 즉 칼날을 포함한 시스템이 중앙에 위치할 때 이므로 이때를 기준으로 해석한다.

① 부정정보 이용

$$\sum F_y = R_1 + R_2 - W$$

$$R_1, R_2 = \frac{W}{2} = \frac{(0.8kg) \times (9.81m/s^2)}{2} = 3.92N$$

② 모멘트 계산

$$\sum M_0 = -M_1 + (0.25m) \times W + (0.5m) \times R_2 + M_2 = 0$$

$$M_1 = \frac{WL}{8} = \frac{(7.82N) \times (0.5m)}{8} = 0.49N \cdot m$$

③ 특이함수 이용

$$w(x) = -0.49 < x-0 >^{-2} + 3.92 < x-0 >^{-1} - 7.85 < x-0.25 >^{-1}$$
$$+3.92 < x-0.5 >^{-1} + 0.5 < x-0.5 >^{-2}$$

$$v(x) = -0.49 < x-0 >^{-1} + 3.92 < x-0 >^{0} - 7.85 < x-0.25 >^{0} + 3.92 < x-0.5 >^{0} + 0.5 < x-0.5 >^{-1}$$

$$M(x) = -0.49 < x-0 >^{0} + 3.92 < x-0 >^{1} - 7.85 < x-0.25 >^{1} + 3.92 < x-0.5 >^{1} + 0.5 < x-0.5 >^{0}$$

④ 축의 처짐 계산

$$EI\nu''(x) = -0.49 < x-0 >^{0} + 3.92 < x-0 >^{1} - 7.85 < x-0.25 >^{1} + 3.92 < x-0.5 >^{1} + 0.5 < x-0.5 >^{0}$$

$$EI\nu'(x) = -0.49 < x-0 >^{1} + 1.96 < x-0 >^{2} - 3.93 < x-0.25 >^{2} + 1.96 < x-0.5 >^{2} + 0.5 < x-0.5 >^{1} + C_1$$

$$EI\nu(x) = -0.24 < x-0 >^{2} + 0.65 < x-0 >^{3} - 1.31 < x-0.25 >^{3} + 0.65 < x-0.5 >^{2} + 0.25 < x-0.5 >^{1} + C_1 x + C_2$$

⑤ 경계조건 이용

$x = 0,\ \nu' = 0\ ,\ C_1 = 1.84$

$x = 0,\ \nu = 0\ ,\ C_2 = 0.53$

⑥ 물성치 이용

$E = 194GPa$

$d = 8mm$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 2.01 \times 10^{-10} m^4$$

⑦ 처짐곡선 계산

$$v = -6.41 \times 10^{-3} < x-0 >^{2} + 0.017 < x-0 >^{3} + 0.034 < x-0.25 >^{3} + 0.017 < x-0.5 >^{3} + 6.41 \times 10^{-3} < x-0.5 >^{2} + 0.047x + 0.0135$$

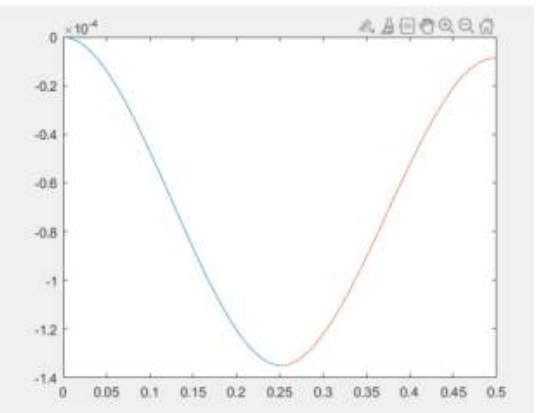


Fig. 42 Deflection curve of Shaft 2

⑧ SFD와 BMD

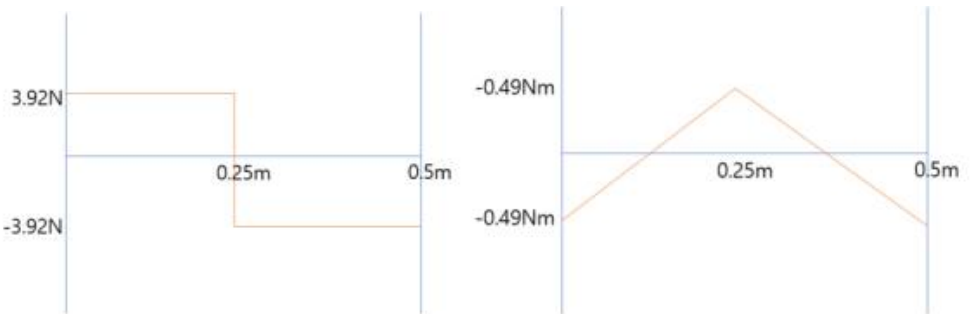


Fig. 43 SFD and BMD on Shaft 2

⑨ 강성 설계

$v_{\max} = 0.135mm$

$$\frac{v_{\max}}{l} = \frac{0.135mm}{0.5m} = 0.27mm/m$$

$\frac{v_{\max}}{l} < 0.33$ 이므로 안전하다.

⑩ 강도 설계

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_e}{\pi \cdot \sigma_a}}$$
$$= \sqrt[3]{\frac{32(0.5N \cdot m)}{\pi \cdot (215 \times 10^6)Pa}}$$
$$= 2.87mm$$

사용한 d = 8mm이므로 안전하다.

3) 베어링 설계

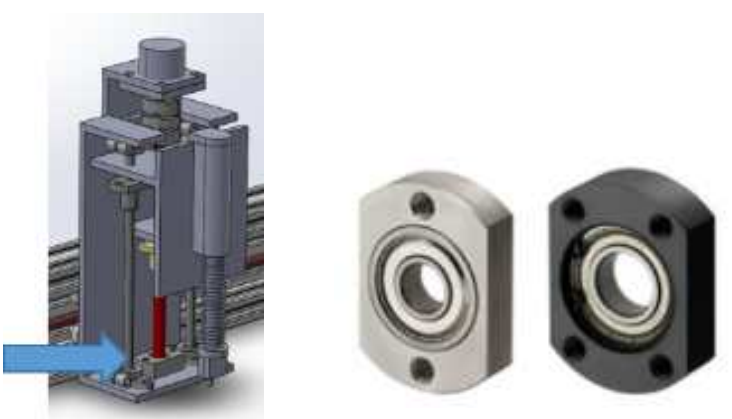


Fig. 44 Shape of blade (left) and deep groove ball bearing (right)

칼날부의 주요 베어링은 플랜지와 합쳐진 깊은홈 볼 베어링 606ZZ를 사용한다. 따라서 이 베어링의 스펙을 결정한다.

① 등가하중

$$P = XF_r + YF_e = 0 + 1 \times 7.85N = 7.85N$$

② 하중계수 2.5 이용한 하중(진동수반)

$$P = fP = 2.5 \times 7.85N = 15.7N$$

③ 속도계수

$$f_n = \left(\frac{33.3}{126}\right)^{\frac{1}{3}} = 0.642$$

④ 수명계수

$$f_h = \frac{C_0}{P} \times f_n = \frac{846N}{15.7N} \times 0.642 = 34.6$$

⑤ 수명

$$L = 500 f_h^3 = 500 \times 34.6^3 = 20710868\, hours$$

따라서 충분히 안전함을 확인했다.

5. 열풍부 해석

라벨을 좀 더 용이하게 제거하기 위해 상단부에 열풍기를 부착했다. 열풍을 발생시킬 때 열전달을 계산하고 원하는 소비전력 및 풍속에 맞는 제품을 선정한다.

1) 설계 제한조건

① 온도

$100^\circ C < T_{out} < 170^\circ C$

접착제가 녹는 온도는 $100^\circ C$ 이고, 페트병의 열변형이 시작되는 온도는 $170^\circ C$이다. 접착제는 약화시켜야하지만 페트병의 열변형은 최소화해야 하므로 두 온도의 사이인 약 $120^\circ C$ 를 목표로 한다.

② 팬의 속도

실제 드라이기를 참조해 보았을 때, 최소 드라이기 바람세기 이상이 필요하다고 판단했다. 따라서 최소 V_{out} > 12m/s을 목표로 삼고 설계했다. 또한 이를 바탕으로 모터 동력을 선정한다.

③ 흡입 공기의 조건

· 상온(25 ° C, 1atm의 공기로 설정)

· 공기는 이상기체, 비점성, 비압축성이며 radiation 무시

composition	Properties at 25 'C				
	p [kg/m^3]	Cp [J/kg*K]	k [W/m*K]	v [m^2/s]]	Pr
Air	1.184	1007	0.02551	1.562 x 10^-5	0.7296

Table. 6 Physical properties of air at 25'C

· 입출구 온도를 고려해 평균온도 약 80 ° C에서의 공기의 물성치

composition	Properties at 80 'C				
	p [kg/m^3]	Cp [J/kg*K]	k [W/m*K]	v [m^2/s]]	Pr
Air	1	1009	0.0299	2.094 x 10^-5	0.708

Table. 7 Physical properties of air at 80'C

④ 니크롬선의 조건

· 평균 니크롬선의 굵기 = 1mm 사용. (보통 0.5 or 1mm 사용)

· 처음 직경 5mm,피치 1mm 로 감은 후 직경에 대한 비 η(0.8).D.out, 피치 10mm로 이중으로 감는다.

composition	Melting Point, [K]	Propertise at 300 K			
		p [kg/m^3]	Cp [J/kg*K]	k [W/m*K]	alpa x 10^6 [m^2/s]
Nichrome (80% Ni, 20% Cr)	1672	8400	420	12	3.4

Table. 8 Physical properties of the nichrome line at 300K

⑤ 각 물성치 조건

일반적으로 팬 + 모터 + 알루미늄판 + 니크롬선이 관 형태로 부착되어 있다. 이에 따른 물성치 조건들을 아래와 같이 설정한다.

1. D_0(관내경) $= 70mm$

2. A_0(관 단면적경) $= 3848mm^2$

3. η_{D_0}(니크롬선 직경과 관 내경비) $= 0.8$

갈수록 좁아지는 형태이므로 0.8로 가정한다.

4. η_{A_0}(니크롬선 면적과 관 내 면적비) $= 0.8$

3.과 같은 이유로 가정한다.

5. $W_{\max} = 1450\,W$

아두이노 릴레이 모듈의 최대 제한 전력이 2200W이므로, 다른 부품의 전력과, 안전을 고려해 안전계수 1.5 로서 1450W를 한계치로 설정한다.

6. $L_{aluminium}$(알루미늄판 길이) $= 100mm$

7. b(알루미늄판 폭) $= 65mm$

2) 설계

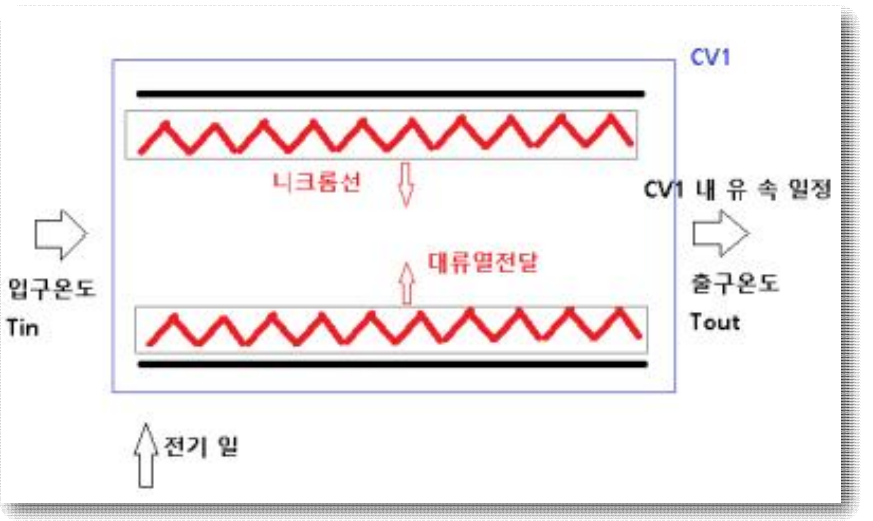


Fig. 45 Diagram of Heat Flow Inside a Hot Air Part

① 질량 보존식

$\dot{m}_i - \dot{m}_o = \Delta \dot{m}_{CV} \nearrow^{0}$ (정상 유동 상태이므로 $\Delta \dot{m}_{CV} = 0$)

$\therefore \dot{m} = \dot{m}_i = \dot{m}_o = \rho_{air} \times A_{flow} \times V$

② 에너지 방정식

$\dot{E}_i - \dot{E}_o = \Delta \dot{E}_{CV} \nearrow^{0}$ (정상 유동 상태이므로 $\Delta \dot{E}_{CV} = 0$)

$\dot{E}_i = \dot{E}_o$ (유체의 $\Delta ke = \Delta pe = 0$)

$$\dot{Q}_i + \dot{W}_i + \dot{m}\times(h+\frac{v^2}{2}+gz)_i = \dot{Q}_o + \dot{W}_o + \dot{m}\times(h+\frac{v^2}{2}+gz)_o$$

$$\because \dot{W}_i = \dot{m}\times(h_o - h_i)$$

$$\therefore \dot{W}_i = \eta\times \dot{W}_e = \dot{m}\times C_{p.air}\times(T_o - T_i) = \dot{Q}_{air} \ (\eta : \text{효율})$$

$$\dot{Q}_{air} = \dot{Q}_{conv} = \dot{Q}_{conv.1} + \dot{Q}_{conv.2}$$

(Conv_1 : 니크롬선에서 공기로 대류 열전달)

(Conv_2 : 알루미늄 판에서 공기로의 대류 열전달)

$$Thus.\ \eta\times \dot{W}_e = \dot{m}\times C_{p.air}\times(T_o - T_i) = \dot{Q}_{air} = \dot{Q}_{conv.1} + \dot{Q}_{conv.2} \cdots ①$$

③ $\dot{Q}_{conv.1}$(니크롬선에서 공기열전달)

원통형의 Internal flow로 볼 수 있다. 해석을 위해 Reynolds number를 구해 해석한다. 열전달 교과서를 이용해 Nusselt 수를 이용한 해석으로 접근한다. 층류난류 상관없이 적용할 수 있는 식으로

$$Nu = \frac{hD_{nicrome}}{k_{air}} = 0.3 + \frac{0.62Re^{1/2}\Pr^{1/3}}{[1+(0.4/\Pr)^{2/3}]^{1/4}}[1+(\frac{Re}{282000})^{5/8}]^{4/5}$$

하지만 30%까지 오차가 발생한다고 서술하고 있으므로 1.3의 안전계수를 고려해 해석한다. 따라서 이를 통한 식을 구하면

$$\dot{Q}_{conv.1} = \eta_{conv1}\times h\times A_s\times(T_s - T_\infty)$$

$$= \eta_{conv.1}\times\frac{N \bullet k_{air}}{D_{nichrome}}\times\pi D_{nichrome}L_{nichrome}\times(T_s - T_{INF}) \cdots ②$$

Nu : Nutsselt 수 k : 유체의 열전도도

D : 니크롬선의 직경 L : 니크롬선의 길이

Ts : 니크롬선 표면온도 η : 대류열전달 효율(=0.3~0.5)

③ $\dot{Q}_{conv.1}$(알루미늄판에서 공기 열전달)

평행한 평판위의 external flow로 볼 수 있다. 해석을 위해 Reynolds number를 구해 해석한다. 열전달 교과서의 식을 이용하면

$$Nu_{Laminar} = \frac{hL_{aluminum}}{k_{air}} = 0.664Re_L^{0.5}\Pr^{1/3} \cdots$$

$$Nu_{Turbulent} = \frac{hL_{aluminum}}{k_{air}} = 0.037 Re_L^{0.8} \Pr^{1/3} \cdots$$

유동이 층류인지 난류인지 중요하다. Reynolds 수로 따졌을 때 v=12m/s, 공기는 25도의 상온을 이용한다고 하면 층류이지만, 니크롬선으로 인해 난류가 발생한다고 가정하여 계산한다.

$$\dot{Q}_{conv\cdot 2} = h \times A_{s.alum} \times (T_{s.alum} - T_\infty)$$

$$= \frac{Nu_{Turbulent} k_{air}}{L_{aluminum}} \times b \times L_{aluminum} \times (T_{s.alum} - T_\infty) \cdots$$

이 때,

Nu : Nutsselt 수 k : 공기의 열전도도

b : 알루미늄 판 폭 직경 L : 알루미늄 판 길이

Ts : 알루미늄 판 표면온도

④ 니크롬선의 저항(Ω)과 그를 통한 길이

$$L_{Nichrome} = \frac{Volt^2}{p} \times \frac{A_{Nichrome}}{\dot{W}_e} = \frac{Volt^2}{p} \times A_{Nichrome} \times \frac{\eta}{\dot{Q}_{air}} \cdots$$

이 식을 2-1의 식에 대입하여 총 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\rho \times A_{cv} \times V \times C_{p.air} \times (T_o - T_i)$$

$$= \eta_{conv.1} \times \frac{N_{cyl} k_{air}}{D_{\ni crome}} \times \frac{\pi D_{nicrome} \times Volt^2 \times A_{nicrome}}{p \times \dot{Q}_{air}} \times \eta \times (T_s - T_{INF})$$

$$= \frac{N_{Turbulent} k_{air}}{L_{aluminum}} \times b \times L_{aluminum} \times (T_s - T_{INF})$$

⑤ 총 계산

매트랩을 통해 식의 Ts, V, n을 고정시킨 후, 값들을 유추해보면 Fig. 46과 같은 3차원 곡면을 얻을 수 있다.

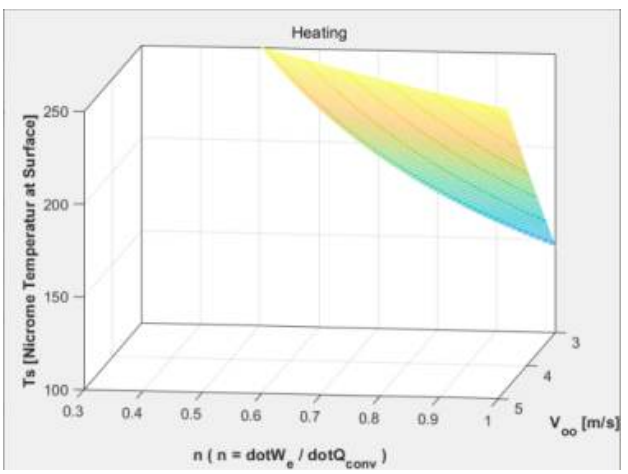


Fig. 46 Heating three-dimensional graph for Ts, V, and n

$\eta(\dot{Q}_{air}/\dot{W}_e)$	V_{avg}(m/s)	Nicrome.Ts(℃)	$h_{conv.1}$ (W/m^2K)	$h_{conv.2}$ (W/m^2K)	$R(\Omega)$
0.83076	3.343434	192.2222	58.08814	22.72254	40.75091
0.823567	3.343434	193.5354	58.08814	22.72254	40.39808
0.898295	3.636364	200.101	60.48702	24.30169	40.5141

$L(m)$	$\dot{W}_e$(W)	$\dot{Q}_{air}$(W)	$\dot{Q}_{conv.1}$(W)	$\dot{Q}_{conv.2}$(W)
29.09608	1187.703	986.6963	887.9038	98.79256
28.84416	1198.077	986.6963	887.128	99.56834
28.927	1194.646	1073.144	962.5075	110.6365

Table. 9 Heating three-dimensional graph for Ts, V, and n

결론적으로 1200w, 관내 풍속이 3.63m/s이상인 부품을 사용한다. 출구 형태를 조절해 출구 풍속을 조절한다.

⑥ 부품선정

Fig. 47 Selection of Hot Air Parts

원하는 소비전력 1200W와 관내직경 70mm일 때 평균온도 약 120°C를 낼 수 있는 최적의 제품이다. 위의 회로도에서 보았던 것처럼 아두이노 릴레이와 연결해 사용한다.

6. 센서 선정

1) 칼날부 상하운동 - 초음파 센서

Fig. 48 Ultrasonic Sensor Attachment Position

칼날부의 상하운동을 위한 센서는 초음파 센서로 선택하였다. 페트병 표면까지의 거리를 초음파센서로 인식하여 페트병 형상에 따라 달라지는 커팅 높이를 조절할 수 있다. 사용할 초음파 센서의 스펙과 이름은 다음과 같다.

Fig. 49 SRF-04

'SRF-04' Spec	
최소범위	30mm
최대범위	3000mm
감도	1.5cm(at 1m)
보드사이즈	43*20*17(mm)
측정주기	0.05sec/time

Table. 10 Spec of SRF-04

2) 칼날부 좌우운동 - 리미트 센서

Fig. 50 LIMIT SENSOR ATTACHMENT LOCATION

칼날부의 좌우운동을 위한 센서는 리미트 센서로 선택하였다. 리미트 센서란 스위치처럼 센서에 접촉이 발생했는지의 여부를 판별하는 센서이다. 따라서 이를 병 뒷부분 고정부와 연결하여 페트병 좌우 길이에 맞춰 x축 이송의 범위 또한 제한시켜줄 수 있다.

Fig. 51 DM444(Limit Sensor)

3) 라벨 마찰분리부(랙과 피니언) - 초음파 센서

Fig. 52 Ultrasonic Sensor Attachment Position

라벨 마찰분리부의 앞뒤 운동을 위한 센서는 마찬가지로 초음파센서를 사용한다. 거리 인식을 통해 앞뒤의 거리를 조절하여 병의 지름에 따른 접촉위치를 조절한다. 칼날부 상하운동과 같은 센서인 SRF-04를 선택한다.

7. 칼날부 수정사항

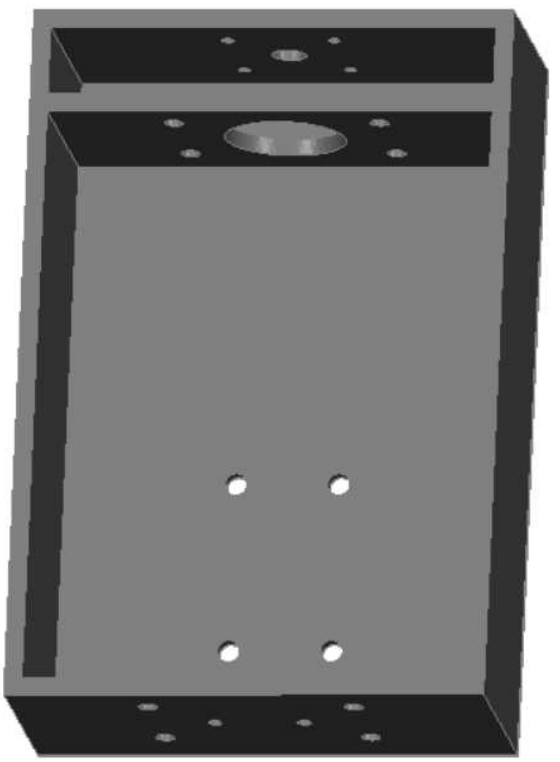


Fig. 53 Blade Housing

1) 하우징 수정

기존의 하우징이 불안전하다고 판단되어 새로운 형태의 하우징으로 수정하였다. 기존 열려진 형상의 하우징에서, 전면 닫힌 형태의 하우징으로 바꿔 안정성을 높였다.

2) Z축 이송 수정

기존 칼날부의 Z축 이송은 모터를 통해 실시간 피드백 형식으로 제작하려 하였다. 하지만 센서의 신뢰도가 매우 낮음을 확인하였고 Z축이송을 모터로 하는 것이 불필요하다고 생각되어 스프링을 통한 유격을 통해 이를 대체하였다. 사용된 스프링은 병 뒷부분 고정부에서 사용한 스프링과 동일한 스프링 두 개를 사용하여 병의 형상에 관계없이 칼날이 유연하게 작동되도록 제작하였다. 스프링에 대한 공학적 해석은 다음과 같다.

각 구간에는 스프링이 2개 들어있으며 스프링의 탄성계수는 200N/m 각 구간 안에서의 스프링은 병렬연결이라고 볼 수 있다. 전체 탄성계수를 계산하면 아래와 같다.

$$\frac{1}{Ktotal} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$$

$$Ktotal = \frac{K_1 \times K_2}{K_1 + K_2} = 100N/m$$

병과 접촉되어서 작동되므로, 스프링은 기본 2cm, 최대 4cm까지의 압축을 받는다. 최대 압축을 기준으로 발생하는 힘을 계산하면

$$F = kx = (100N/m)(0.04m) = 4N$$

따라서 무리없이 스프링이 압축된 상태로 작동될 수 있다.

Ⅲ. 제품 사양 및 제작

1. 제품의 사양서

최종적으로 결정한 제품의 사양서는 아래와 같다.

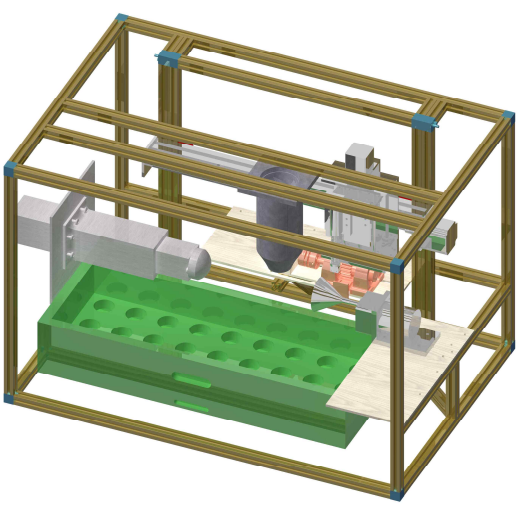


Fig. 54 Product Full Model Plot

제품 사양서	
크기	900*600*500
무게	40.06kg
구동 전압	220V
소비 전력	1300W
구동 전류	6A
작동 방식	반자동(버튼식)
1회 작동 시간	15~30초
이용 가능 페트병	16~35cm
x축 이송속도	2cm/s
제작 가격	1,701,637원

Table. 11 Product Specification Diagram

2. 제작 과정

제품의 제작은 다음 과정에 따라 진행되었다.

① 외부 프레임 (프로파일) 조립
② 아크릴판 및 3D프린팅 출력물 가공
③ 열풍기 조립 및 코딩
④ 병 뒷부분 고정부 조립
⑤ 병 앞부분 고정부 조립 및 코딩
⑥ 라벨 마찰분리부 조립 및 코딩
⑦ 칼날부 조립 및 코딩
⑧ 코딩 순서 배열 및 결합
⑨ 최종 조립 후 작동 확인 및 마무리

1) 외부 프레임 (프로파일) 조립

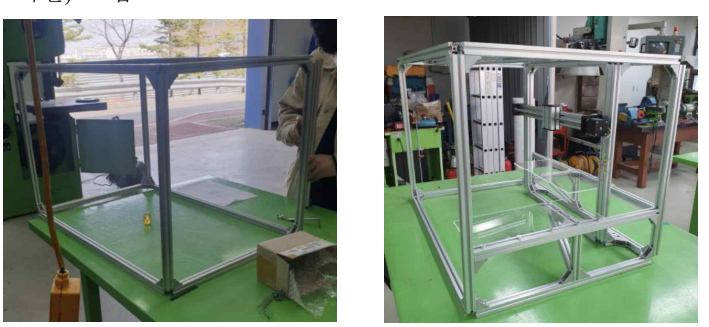


Fig. 54 Exterior Frame Assembly

2) 아크릴판 및 3D프린팅 출력물 가공

Fig. 55 Printing & Fixing

3) 열풍기 조립 및 코딩

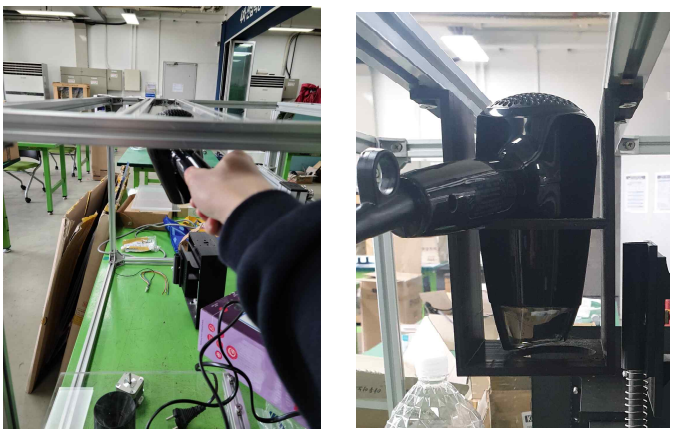


Fig. 56 Assembling a Hot Air Fan

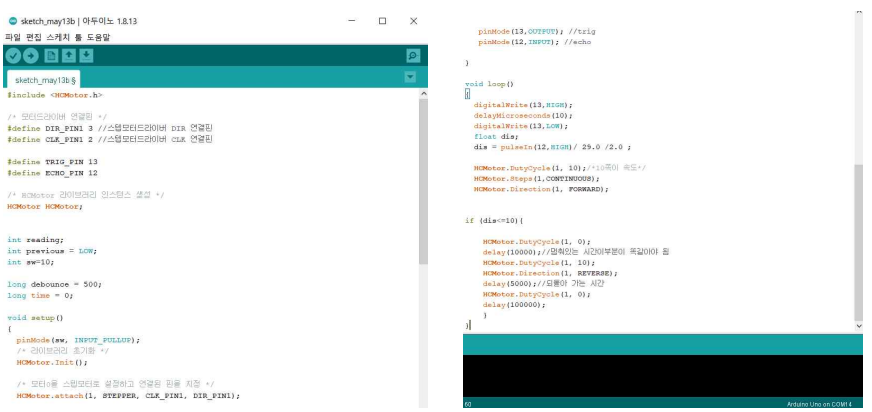


Fig. 57 Hot Air Part Coding

4) 병 뒷부분 고정부 조립

Fig. 58 Assembling the Back of the Bottle Fixture

5) 병 앞부분 고정부 조립 및 코딩

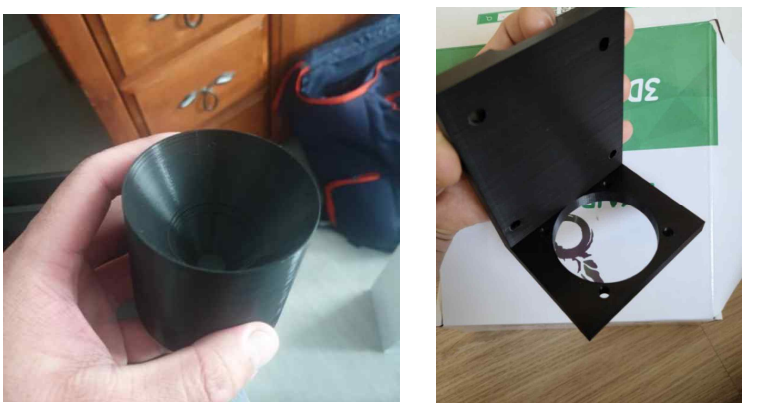


Fig. 59 3D printed output of the Front of the Bottle Fixture

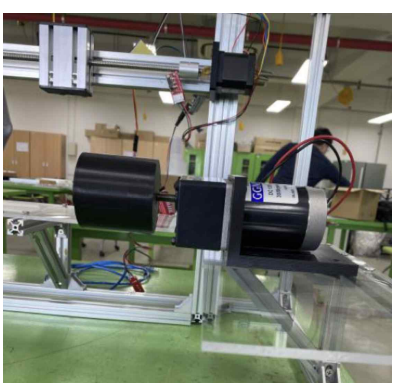


Fig. 60 Assembling the Front Fixture of the Bottle

6) 라벨 마찰분리부 조립 및 코딩

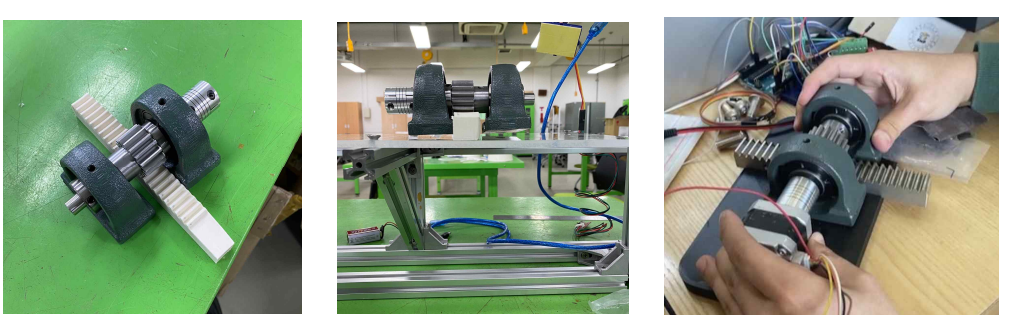


Fig. 61 Label Friction Separation Assembly

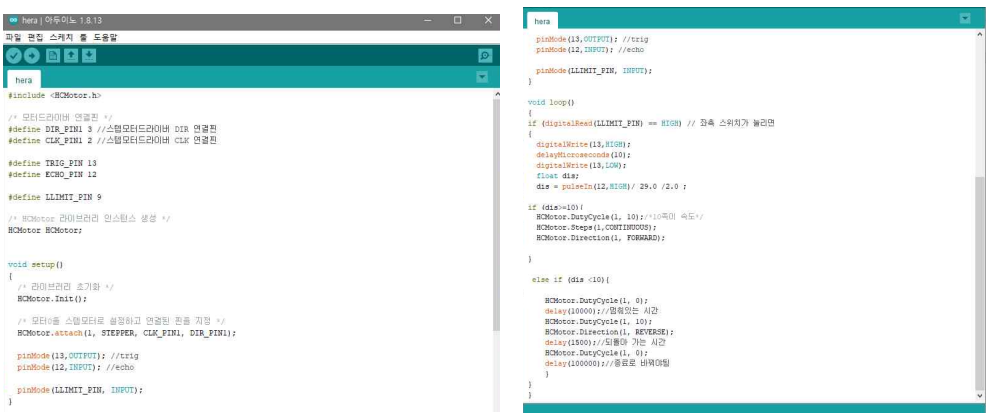


Fig. 62 Create Label Friction Isolation Coding

7) 칼날부 조립 및 코딩

Fig. 63 blade assembly

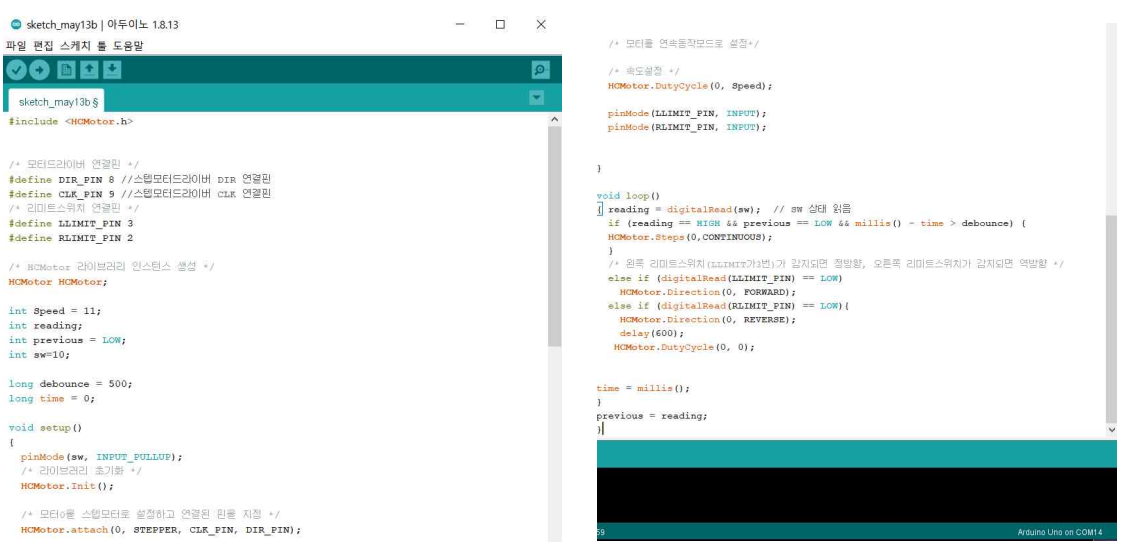


Fig. 64 Create Blade Coding

8) 코딩 순서 배열 및 결합

sketch_may13b | 아두이노 1.8.13

파일 편집 스케치 툴 도움말

sketch_may13b §

```
#include <HCMotor.h>


/* 모터드라이버 연결핀 */
#define DIR_PIN 40 //스텝모터드라이버 DIR 연결핀
#define CLK_PIN 41 //스텝모터드라이버 CLK 연결핀
/* 리미트스위치 연결핀 */
#define LLIMIT_PIN 23
#define RLIMIT_PIN 22

/* HCMotor 라이브러리 인스턴스 생성 */
HCMotor HCMotor;

int reading;
int previous = LOW;
int sw=35;//10에서 27로
int relay = 34;       // relay 핀 설정


long debounce = 500;
long time = 0;

void setup()
{
  pinMode(sw, INPUT_PULLUP);
  pinMode(relay, OUTPUT);       // relay 설정
  /* 라이브러리 초기화 */
  HCMotor.Init();

  /* 모터0을 스텝모터로 설정하고 연결된 핀을 지정 */
  HCMotor.attach(0, STEPPER, CLK_PIN, DIR_PIN);
```

```
/* 속도설정 */


pinMode(LLIMIT_PIN, INPUT);
pinMode(RLIMIT_PIN, INPUT);


}

void loop()
{ reading = digitalRead(sw);  // SW 상태 읽음
  if (reading == HIGH && previous == LOW && millis() - time > debounce) {
  HCMotor.DutyCycle(0, 11);/*11쪽이 속도*/
  HCMotor.Steps(0,CONTINUOUS);
/*z축 코딩 추가*/
  }
  /* 왼쪽 리미트스위치(LLIMIT가3번)가 감지되면 정방향, 오른쪽 리미트스위치가 감지되면 역방향 */
  else if (digitalRead(LLIMIT_PIN) == LOW){
    digitalWrite (relay, HIGH);//
    HCMotor.DutyCycle(0, 11);/*11쪽이 속도*/
    HCMotor.Direction(0, FORWARD);
    delay(600);
    HCMotor.DutyCycle(0, 0);/*11쪽이 속도*/
    delay(10000);//x축 멈춰 있는 시간
    HCMotor.DutyCycle(0, 11);/*11쪽이 속도*/
```

```
}
  else if (digitalRead(RLIMIT_PIN) == LOW){

    HCMotor.Direction(0, REVERSE);
    delay(600);
    HCMotor.DutyCycle(0, 0);
    digitalWrite(relay, LOW);//

time = millis();
}
previous = reading;

}
```

63 Arduino Uno on COM14

Fig. 65 Create combined final coding

Ⅳ. 결과 및 토의

1. 최종 조립 후 작동 확인 및 마무리

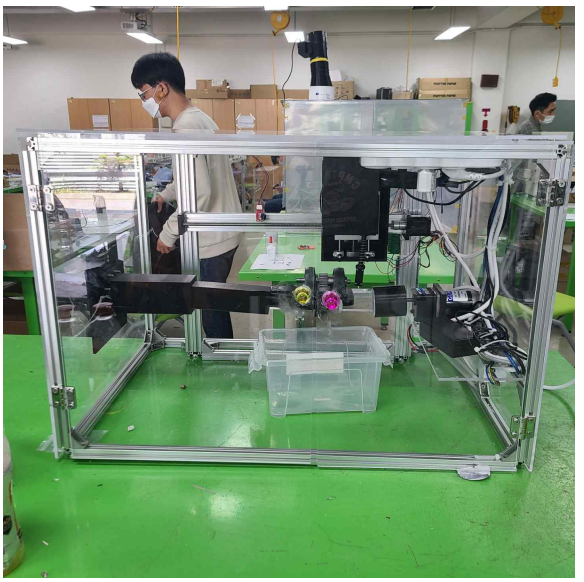


Fig. 66 front side view

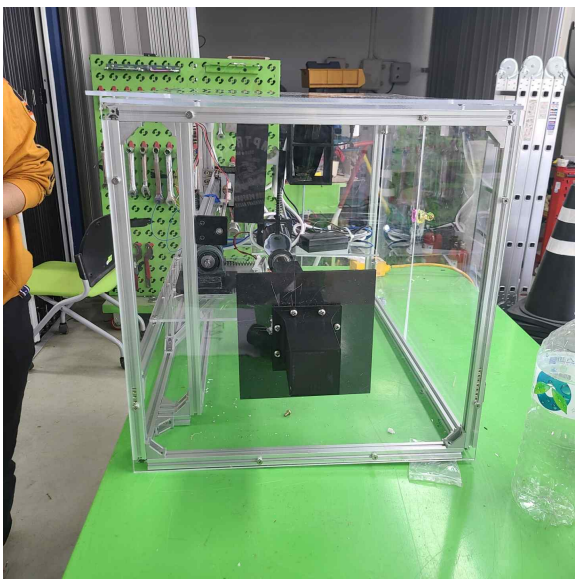


Fig. 67 left side view

Fig. 68 right side view

2. 제품 동작 시연

Fig. 69 <1> Open the inlet of the machine and put the bottle in

Fig. 70 <2> Stick the label friction to the bottle

Fig. 71 <3> Press the Operation button on the back of the instrument

Fig. 72 <4> Cut the label as the blade moves along the length of the bottle

Fig. 73 <5> When the blade reaches the end of the bottle,

Fig. 74 <6> Rotate the bottle and melt the glue with a hot air

Fig. 75 <7> The label is completely removed and dropped into the collection box

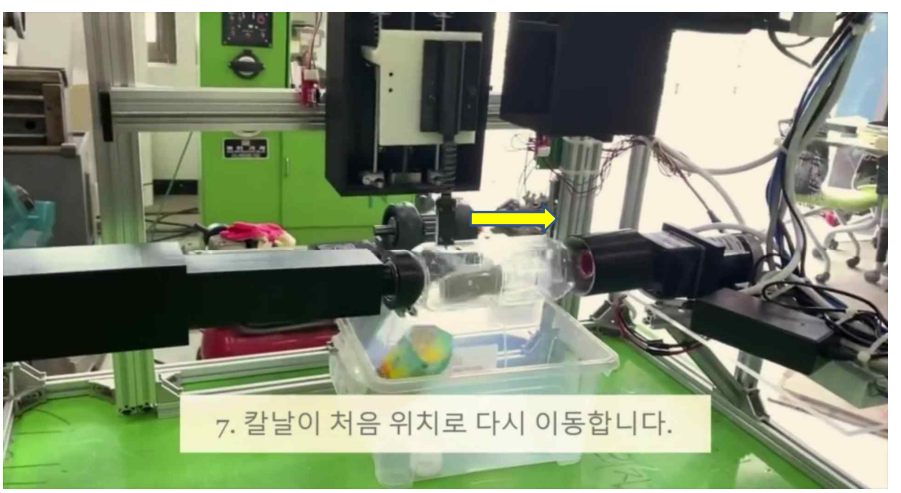


Fig. 76 <8> the blade moves back to its original position

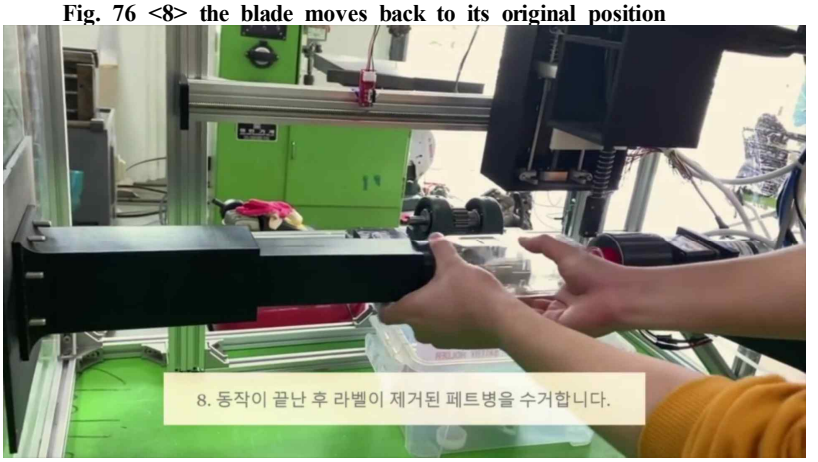


Fig. 77 <9> After the operation, Collect the plastic bottle from which the label has been removed

Ⅴ. 결 론

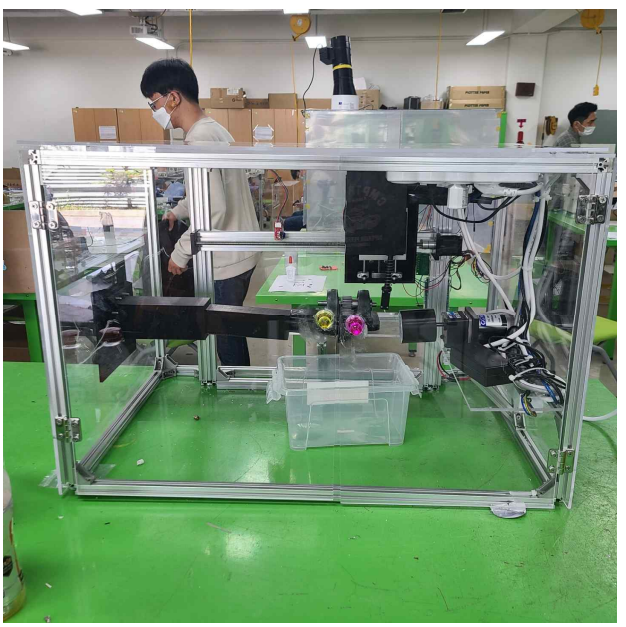


Fig. 78 Final product

사진과 같이 최종 시작품 제작을 완료하였다. 실제 구동 시 사양서에 포함한 내용처럼 15~30초의 구동시간 내에 성공적으로 페트병 라벨이 제거됨을 확인했다. 이를 통해 페트병 라벨으로 인해 발생되는 비용과 환경문제를 해결할 수 있을 것으로 예상된다. 시작품에서의 유일한 소모품인 칼날은 직접 테스트 시 약 50번의 수명을 가지는 것을 확인했다. 하지만 커터칼을 교체하기 쉽게 제작했기 때문에 수명이 짧은 커터칼의 단점을 보완할 수 있다.

다시 정리해보면, 이번 설계의 목표는, 페트병 재활용을 위한 페트병에 부착된 라벨을 제거하여 재활용율을 높여, 친환경에 일조하는 것이다. 이번 페트병 라벨 제거기의 장점은 아래로 정리할 수 있다.

첫째, 모든 페트병에 적용이 가능하다. 실제 시험해본 결과, 사각형으로 된 페트병, 긴 원통형, 특수하게 생긴 페트병(락스병, 섬유유연제 등) 등 거의 대부분의 페트병에 적용할 수 있도록 설계하였고, 실제 구동 가능하였다.

둘째, 위, Fig. 69~74의 사진을 보았을 때, 라벨을 완전히 제거할 수 있음을 보였다. 우리 조가 설계한, 페트병 라벨제거기는 라벨을 완전히 제거하기 위해, 라벨에 직접적인 마찰을 줄 수 있는 라벨 마찰분리부, 페트병에 붙은 접착제를 녹이기 위한 열풍부와, 병을 고정시킨 후, 회전을 시키는 병입구 고정부, 뒷부분 고정부로 구성되어, 각 부문 별로 원활한 구동을 통해, 라벨 제거를 수행한다.

셋째, 작동버튼을 하나로 만들어, 누구나 구동하기 쉽도록 하였다. 각 부분 별로 아두이노 코딩이 다르고, 작동 시간, 작동방식도 다르지만 코딩을 합치고, 여러 루프문을 통하여 작동버튼 하나만 누르면 구동이 되도록 만들었다.

이러한 점을 바탕으로, 우리는 아파트 분리수거장에서 직접 활용가능한 소형 페트병 라벨 제거기를 설계하였다. 이로써, 분리수거 공정을 줄이고, 버려진 페트병을 운송하는 에너지와 수거하는 에너지 모두를 줄이는데 일조하였다고 판단된다. 하지만 시작품인 만큼, 아직 개선해야할 부분이 있다고 생각한다. 그러한 점은 개선사항에서 정리하도록 하겠다.

개선 사항

구동 시 라벨 제거 시간이 생각 이상으로 오래 걸리는 문제점이 있었다. 설계 시 선정한 15~30초 안에는 제거가 되지만, 이는 실제로 해보니 다량의 페트병에 대해서 적용하려면 너무 오래 걸린다고 판단하였다. 이에, 페트병 형상과 비슷한 깔대기를 추가하여 연속적으로 작동될 수 있도록 개선하면 좋겠다. 또한 페트병 라벨 제거 시간이 생각보다 길어 고성능의 액츄에이터를 사용해 칼날이송시간을 높이는 방안도 생각해 볼 수 있었다. 칼날이 복귀할 때도 절삭이 가능하도록 디자인되도록 개선하면 더 좋을 것이라 생각한다. 마지막으로 페트병 라벨 제거와 연계해 자동적으로 페트병을 배출할 시스템을 제작하는 방안도 고려해 볼 만하다.

후 기

주제 선정시, 환경에 관련한 주제에 대해 고민하다 보니 페트병 라벨 제거기를 고안하게 되었다. 페트병 라벨 제거를 통해 페트병 재활용 시스템뿐만 아니라 환경보호에 유의미한 긍정적 효과를 낼 수 있을 것으로 본다. 설계-제작-구동 전반적인 과정을 실습해 보면서 설계 과정에서는 조립 용의성을 제대로 고려하지 않아 애로사항이 많았다. 특히, 크기가 상대적으로 작고 내구도가 약한 부품의 경우 손이 제대로 들어가지 않아 조립과정에서 파손되는 경우도 있었다. 많은 계산 끝에 기계요소의 규격 설정에 있어 적절한 값을 알아낼 수 있었다. 또한 구동에 있어서 기계공학 외인 MPU분야의 아두이노를 공부하여 코딩을 통해 접목시켰고, 많은 오류 끝에 최종적으로 시작품 제작을 완료한 후 제대로 작동이 되는 것을 확인했다. 이번 프로젝트를 통해 전공지식을 활용한 설계, 구매, 제작을 경험할 수 있었고, 성공적 성취감을 느낄 수 있었다. 또한 설계과정에서 사양서와 설계품을 주도면밀하게 분석해야한다는 것을 절실히 느꼈으며, 모터와 모터 드라이버에서 극 연결, 기어 선정, 축 설계 등 전공으로 배운 지식들과 전공 외 분야인 코딩과 접목시킬 수 있었어서 좋은 경험을 쌓았다고 생각한다.

참고문헌

1. 정남용, Mechanical Engineering Design, 학진북스(2020), p626-635.
2 정남용, Mechanical Engineering Design, 학진북스(2020), p357-430.
3. 한길영, 기계설계, 학진북스(2016), p265-352.
4. 한길영, 기계설계, 학진북스(2016), p221-259.
5. 한길영, 기계설계, 학진북스(2016), p435-464.
6. 한길영, 기계설계, 학진북스(2016), p707-714.
7. Frank P. Incropera, Principles of Heat and Mass Transfer Global edition(2020), Wiley, p476-521.
8. Daniel J. Inman, Engineering Vibration Fourth Edition, Pearson, p131-200.
9. 윤성렬 외 3명, 헤어드라이어 화재위험성조사, 한국화재조사학회, 2012, pp.107~117
10. YTN 사이언스, '환경을 살리는 폐플라스틱 재활용 기술', YTN, 2020.08.10

11. 유신성외 3명, 딤플 패턴이 있는 실리콘 표면의 마찰특성, 한국정밀공학회지, 2014, pp.451~457
12. KBS 뉴스, '플라스틱병 97% 재활용', KBS, 2020.02.20
13. KBS 뉴스, '접착? 비접착?...쓰레기 대란 속 페트병 라벨 딜레마', KBS, 2019.02.13
14. 조경재 외 3명, 유사이론을 적용한 리니어 액츄에이터의 계열화 설계기법, 전력전자학회, 1999, pp.442 ~ 448
15. 성낙준 외 3명, 질량스프링 시뮬레이션을 위한 병렬 구조 설계 방법, 한국컴퓨터그래픽스학회, 2019, pp.55 ~ 63쪽
16. 오기탁 외 5명, 전산유체역학을 이용한 자동차 엔진룸의 열 및 유동장 해석, 한국전산유체공학회, 2007, pp.22 ~ 27
17. Richard S Figliola 외 3명, Theory and Design for Mechanical Measurements 6th, Wiley, pp.5~15.