

# 대한기계학회 주선

## 제12회 전국학생설계경진대회(2022년)

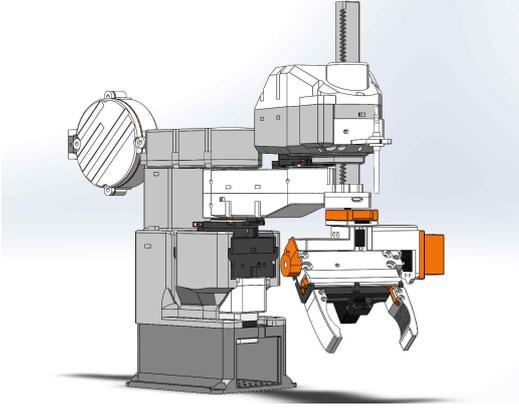
# 설계 최종 보고서

참가부	대학부 ( O )				
참가분야	공모주제 ( O ) / 자유주제 ( )				
참가팀명	회귀본능(回歸本能)				
설계제목	스카라 로봇을 활용한 재활용 용기 불순물 제거 시스템 (Impurity Removal System For Recycling Container Using Scara Robot)				
지도교수/교사	(소속)동양미래대학교 (성명) 황우현				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	김지원	동양미래대학교 자동화공학과			

## 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	김지원	동양미래대학교 자동화공학과/ 4학년	
2	권혁주	동양미래대학교 자동화공학과/ 4학년	
3			
4			
5			
6			

# 설계 요약문

참가분야	공모주제 ( <input checked="" type="radio"/> ) / 자유주제 ( <input type="radio"/> )
참가팀명	회귀본능(回歸本能)
설계제목	스카라 로봇을 활용한 재활용 용기 불순물 제거 시스템 (Impurity Removal System For Recycling Container Using Scara Robot)
대표자명	김지원
<p><b>요약문</b></p>	<p>전 세계적으로 늘어나는 플라스틱 쓰레기들을 효과적으로 처리하기 위해서 분리수거를 철저히 실시하고, 더 효율적인 분리수거 방안들을 개발하는 중이다. 하지만 내부가 완벽히 세척되지 못한 플라스틱들은 재활용에 좋지 않은 영향을 끼치고, 재활용으로 만들어진 제품의 품질을 저하시키는 요인이 된다.</p> <p>이 문제점을 해결하기 위해 플라스틱 용기들을 재활용하는 공정중에서 도움이 될 수 있는 로봇을 제작하여 매해 증가하는 플라스틱 쓰레기들을 효율적으로 처리할 수 있는 능력을 극대화한다.</p> <p>내부가 더러운 플라스틱 용기만 선별하여 신속하게 세척 후 공정을 운영하기 위해서 특정 물체만 잡을 수 있도록 설계된 스카라 관절 로봇으로 제작하였다.</p> <p>로봇 옆으로 컨베이어 벨트가 작동한다고 가정하고, 적외선 센서로 플라스틱 물체를 인식하면 그리퍼로 잡은 뒤 서보 모터의 회전운동을 통해 용기 구멍을 세척에 유리하도록 위로 위치시킨 후 페리스탈틱 펌프를 통하여 세척한 후 완료한다. 그 다음 세척할 플라스틱 용기를 찾는 이 과정을 수행하도록 로봇을 설계한다.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>
설계프로젝트의 입상 이력	해당 사항 없음

# 스카라 로봇을 활용한 재활용 용기 불순물 제거 시스템

김지원\*·권혁주\*·황우현\*\*  
\*동양미래대학교 자동화공학과

## Impurity Removal System For Recycling Container Using Scara Robot

Ji-won Kim\*, Hyeok-ju Gwon\* and Woo-hyeon Hwang\*\*

\* School of Automation Engineering, Dongyang Mirae University

(Received January 9, 2022 ; Revised January 9, 2022 ; Accepted January 11, 2022)

---

**Key Words:** Modular design(모듈화 설계), SCARA ROBOT(스카라 로봇), Actuator(구동부), Motor control(모터제어), Peristaltic pump(연동 펌프)

**초록:** 본 설계는 스카라 로봇을 활용한 세척 시스템을 통해 고품질의 재활용품 획득과 실질적인 재활용률을 높이는 것을 목표로 한다. pick and place 동작 수행과 더불어 물체를 펌프로 제작된 세척 시스템을 이용해 소독 후 원하는 위치 및 방향으로 놓음으로써 효율적인 분류를 하도록 한다. 현재 인구 및 소비가 증가함에 따라 매년 플라스틱 제품 사용 증가로 처리 비용도 증가하는 추세이다. 이를 해결하기 위해서 우리 팀이 제작한 로봇을 이용해 플라스틱 세척 및 살균을 수행하면 고품질의 재료를 획득하여 실질 재활용률을 높일 수 있다. 궁극적으로 우리 사회의 폐기물 문제를 해결하여 친환경 에너지 발전에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

**Abstract:** This design aims to obtain high-quality recyclables and increase the actual recycling rate through a cleaning system using a scara robot. Currently, as the population and consumption increase, the cost of processing is also increasing due to the increase in the use of plastic products every year. To solve this problem, plastic cleaning and sterilization using the robot made by our team can increase the actual recycling rate by obtaining high-quality materials. Ultimately, it is expected to contribute to the development of eco-friendly energy by solving the waste problem of our society.

---

## 1. 서론

현재 전 세계적으로 83억톤의 플라스틱<sup>(1)</sup>이 생산되고 있으며 이는 환경을 넘어서 생태계 먹이 사슬에 의해 우리 인체에 해로운 영향을 미칠 가능성이 크다. 각국의 정부에서는 일반 쓰레기를 줄이고 재활용을 활성화하는 방안을 연구하고 있으며 노력 덕분에 기업에서도 ESG 경영에 일환으로서 연구를 통해 사용 비율을 늘리면서 재활용 시장은 가파르게 상승하고 있다. 우리나라에서도 재활용 방안을 계속 구상 및 추진하고 있으며 플라스틱 제품으로 재활용할 수 있도록 추진하고 있으며 순환 경제가 구축된다면 4200억 규모의 제품 시장이 늘어날 전망이다.

---

† Corresponding Author, acts@dongyang.ac.kr

그러나 앞서 설명했던 대로 우리나라의 재활용 수치는 2019년 기준 86%로 높으며 폐플라스틱은 62%이지만, 실제로 고품질의 제품으로 전환되는 경우는 적다. 수거 후 선별 과정에서 버려지는 쓰레기가 매우 많으며 실질적인 재활용률은 40%에 불과하며 이 중에서 35%는 이물질이 많아서 버려지게 되거나 저급 솜을 만드는데 사용된다.<sup>(2)</sup> 또한 한국 포장재 재활용 사업 공제 조합<sup>(3)</sup>에서 2015년에 조사한 바에 따르면 페트병의 경우 재활용이 용이한 1등급은 0.1%(2015년)에 불과했다. 페트병 내부의 이물질이 플라스틱의 순도를 낮추는 원인 중 하나이다.

본 팀은 이런 원인 중 하나인 내용물을 제거할 수 있도록 하는 것이 목적이며, 기존에도 재활용 선별 센터에서 로봇이 사용되는 사례가 있지만, 일반 쓰레기를 분류하는 로봇이 전부이다. 제거용 로봇을 설치한다면 실질적 재활용률을 높이고 재료 및 제품으로 재순환되는 플라스틱의 비율을 높이고 소각장으로 보내지는 쓰레기의 양을 줄일 수 있으므로, 순환 경제를 활성화하고 소각 비용을 줄임으로써 이득을 창출할 수 있을 것으로 생각한다. 그동안 이물질 제거용 장비는 효율성이 낮아서 시도하지 않은 것 같지만, 센터에 오염된 플라스틱과 유리를 따로 분류하는 컨베이어 설비를 추가하고, 여러 협동 로봇이 동시에 세척 작업을 수행한다면 고품질의 재료를 얻는데 큰 도움이 될 것으로 생각한다.

## 2. 설계핵심내용

### 2.1 설계 문제의 정의

로봇을 사용한다면 선별 업체에서 수작업으로 진행되어 불가능하던 이물질 제거 및 선별을 무인 시스템이 수행하게 되므로 실질 재활용률을 높이는 데 큰 역할을 할 것으로 예상된다. 고품질의 재료를 얻어 가공을 통해 섬유, 합성 목재 등을 얻어 새로운 제품으로 제작하여 궁극적으로는 대체재 제작에 도움을 주므로 에너지를 절감하고 자원의 선순환에 도움을 줄 것이다. 이를 위해 로봇을 설계하고 원활한 동작을 위해서 역 기구학, 응력 및 관성을 계산하는 것이 프로젝트 목표이며, 구체적인 요구 조건은 다음과 같다.

#### 1) 로봇 암 설계와 관절 메커니즘 구현

지정된 위치로 이동하기 위해서는 관절과 연결된 팔이 필요하다. 이를 위해서 사용되는 재료와 부품을 선정 후 암이 부하로부터 손상 및 휨 현상을 버틸 수 있도록 설계 및 제작하는 것과 요구되는 이동 범위와 유연성 그리고 사용되는 환경을 고려하여 분해 및 조립이 쉽도록 하는 것이 중요하다.

#### 2) 액추에이터 설계

액추에이터, 즉 로봇의 관절을 움직일 장치는 사용될 모터의 성능 및 크기를 고려하여 설계한다. 움직임을 구현하는 것이므로 모터 힘, 즉 토크를 올릴 방법을 생각하며, 암과 액추에이터의 연결 방법을 고려하여 축 처짐 및 부드럽게 움직이도록 설계한다.

#### 3) 세척 시스템과 펌프 설계

페트병 및 유리병을 고품질 재료로 재탄생 시키기 위해서 이물질 제거 및 세척이 중요하다. 이를 위해서 유독한 소독액과 고온수를 사용할 것으로 예상하며 정확한 양의 유체를 이송할 펌프와 세척을 담당할 노즐의 설계가 필요하다.

#### 4) 물체 인식 및 그리퍼 설계

로봇이 물체로 이동하기 위해서는 좌표를 계산하고 이동시킬 수 있는 말단 장치 설계가 중요하다. 이

를 위해서 물체를 인식하여 좌푯값을 계산하는 시스템을 제작하고, 올바른 그리퍼 형상 및 매커니즘을 고려한다.

**Table. 1** Design considerations

Key Design Considerations	Method
Robot arm design and joint mechanism implementation	3D 프린터를 사용한 로봇 제작 및 오차 보정, 외벽 두께 증가 및 보강대 설치, 상하 및 좌우로 분리 및 조립되도록 설계
Actuator design	스테핑 모터를 사용, 타이밍 벨트와 폴리로 동력 전달. 크롬 봉과 베어링을 사용하여 하중 지지
Cleaning system and pump design	페리스탈틱 펌프와 노즐을 사용하여 시스템 구현
Gripper design and object recognition.	적외선 센서를 활용하여 물체 인식, 줌 동작을 수행할 parallel gripper 설계

## 2.2 논문 회피, 특허 조사 및 분석

본 팀이 프로젝트를 진행하기 위해서 아래의 논문 특허들을 참고하였다. 플라스틱 쓰레기들은 다양한 규격들을 가지고 있으므로 그리퍼의 움직임 반경 내에서 최대한 집을 수 있도록 기어를 설계하였다.

또한, 로봇 축의 효율적이고 최적화된 움직임을 위해서 기구학을 참고하여 로봇의 동작 알고리즘을 구성하였다.

**Table. 2** Similar patent search results

검색어	페플라스틱 재활용 = 7404건	총 7978 (유사특허 : 5건)
	페트류 재활용 = 6건	
	페트병 세척장비 = 568건	

**Table. 3** Patent Analysis and Avoidance Strategies

특허명	폐플라스틱 재활용을 위한 처리 장치 Apparatus for recycling plastic waste	
특허 내용	폐 플라스틱 재활용을 위한 선별 및 처리 방법	
유사점	폐플라스틱의 선별 및 처리하는 장비	세척액 및 용수를 활용하여 폐플라스틱을 소독
차별점	특허는 대량의 분쇄된 폐플라스틱을 대상을 세척하는 장치이지만, 본팀의 로봇은 협동 로봇을 고려하여 제작되었으며, 센서를 통해 폐플라스틱을 탐지 후 개별적으로 세척하여 순도 높은 재생 플라스틱이 생산되도록 한다.	

**Table. 4** thesis Analysis and Avoidance Strategies

논문명	부품 다양성을 고려한 제조산업용 로봇 그리퍼 A robot gripper of manufacturing industry considering the diversity of parts	
논문 내용	다양한 부품을 움켜쥐는 동작이 가능한 다관절 로봇 그리퍼	
유사점	최소 2개의 원형 기어로 그리퍼를 작동시킨다는 공통점	4축 이상의 다관절 로봇에 적용한 그리퍼
차별점	이 논문에서의 그리퍼는 스피어 기어를 서로 맞대서 한쪽이 회전하면 맞물려 있는 다른 한쪽이 움직이지만, 우리 조의 그리퍼는 랙 및 피니언 기어를 평행으로 둔 후, 서보 모터를 통해 피니언 기어를 회전시키면 랙 기어가 가로로 평행 직선 운동하면서 그리퍼가 작동함	

폐플라스틱 재활용을 위한 처리 장치  
Apparatus for recycling plastic waste

상세정보 | 공고전문 | 등록사항 | 통합행정정보

서지정보 | 인용정보 | 행정처리 | 청구항 | 지명국 | 인용/비인용 | 패밀리정보 | 국가연구개발사업

(5) Int. CL B29B 17/02(2006.01.01) B29B 17/04(2006.01.01)

(52) CPC B29B 17/02(2013.01) B03C 1/0335(2013.01) B03C 1/027(2013.01) B29B 2017/0213(2013.01) B29B 2017/0468(2013.01) Y02W 30/62(2013.01)

(2) 출원번호/일자 1020180152888 (2018.11.30)

(7) 출원인 심재윤

(11) 등록번호/일자 1021172230000 (2020.05.26)

(65) 공개번호/일자

(11) 공고번호/일자 (2020.06.01) [전문다운](#)

(86) 국제출원번호/일자

(87) 국제공개번호/일자

(30) 우선권정보 등록

변적상태 등록

심사진행상태 등록결정(일반)

심판사항

구분 국내출원/신규

원출원번호/일자

관련 출원번호

기술이전 희망

심사청구여부/일자 Y(2018.11.30)

심사청구횟수 4

등록특허 10-2117223

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년06월01일  
(11) 등록번호 10-2117223  
(24) 등록일자 2020년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B29B 17/02 (2006.01) B29B 17/04 (2006.01)

(52) IPC특호분류  
B29B 17/02 (2013.01)  
B03C 1/027 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0152888  
(22) 출원일자 2018년11월30일  
심사청구일자 2018년11월30일

(56) 선행기술문헌  
KR1020180044151 A\*  
(보안상 생략)

원제 청구항 수 : 총 3 항 심사관 : 임재경

(54) 발명의 명칭 폐플라스틱 재활용을 위한 처리 장치

(57) 요약  
폐플라스틱 재활용을 위한 처리 장치가 개시된다. 폐플라스틱 재활용을 위한 처리 장치는 폐플라스틱을 소정의 사이즈로 분쇄된 분쇄물인 분쇄부, 상기 폐플라스틱의 분쇄물로부터 분쇄속을 분리하는 절단속 분리부, 상기 절단속이 분리된 상기 분쇄물로부터 비원규속을 분리하는 비원규속 분리부; 및 상기 비원규속이 분리된 상기 분쇄물에서 플라스틱을 선별하는 플라스틱 선별부를 포함하며, 상기 절단속 분리부는 중립 축을 중심으로 방사상으로 배열된들이 배치된 원형 환상의 드럼; 상기 드럼을 상기 중립 축을 중심으로 회전시키는 제1구동부; 상기 중립 축과 동일 축 상에 위치하는 스플라인; 및 상기 스플라인의 선단에 연결되는, 관류 인가로 자력을 형성하는 원자석 코일을 포함한다.

도 20

**Fig. 1** Patent investigation and analysis

출원 번호 1020180152688 Fig 1은 결과적으로 폐플라스틱의 재활용을 위해 분류 및 세척하는 과정은 본 팀의 로봇과 역할이 같다 하지만, 분쇄 후 용기에서 원통형 세탁기와 같이 대량의 물품을 소독하므로 방식이 다르다.

로봇은 협동 로봇을 고려하여 설계되었다. 다수의 로봇 팔로 이루어진 공정에서 개별적으로 플라스틱을 선별하여 노즐로 입구에 직접 세척 작업을 수행하며, 분쇄 할 수 있도록 한다.

특허에서 설명한 방식과 다르게 오염된 플라스틱이 분쇄되어 순도를 낮추는 것을 방지 할 수 있도록 하여 소각되는 재활용품을 줄이도록 한다.

또한 특허 내용에서 처음 폐기물들을 분리할 때, 금속과 비금속으로 나누고, 비금속에서 플라스틱과 아닌 것으로 분리하여 진행하는 것을 확인하였다.

재활용을 위해서 순차적으로 분류를 진행한다는 것을 알게 되었고, 로봇 제작 시 꼭 참고해야 할 사항을 확인하였다.

플라스틱 중에서 폐-플라스틱을 선별하는 로봇을 제작하는 팀의 기계가 투입되기 바로 직전 과정에 투입되는 로봇인 것도 알 수 있었고, 이에 맞춰 제작하였다.

위의 특허 로봇은 전자기장을 이용해 철 금속을 구분하여 작동시키고, 우리 조의 로봇은 적외선 센서를 이용해 플라스틱의 존재를 감지한다는 차이점을 알 수 있다.

학술대회자료

### 부품 다양성을 고려한 제조산업용 로봇 그리퍼

A robot gripper of manufacturing industry considering the diversity of parts

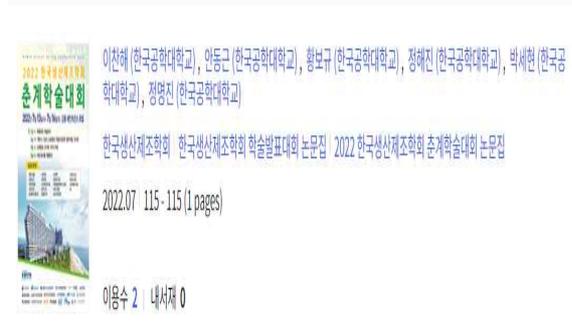


Fig. 2 the contents of a gripper's thesis

플라스틱 쓰레기를 선별하여 물체를 집어낼 때 가능한 다양한 종류의 물체를 집을 수 있게 하도록 링크 사이 간격을 조정하고, 그리퍼가 최대한 넓은 범위에서 움직일 수 있도록 설계하였다.

논문에서 언급한 로봇 그리퍼 내부 스피어 기어 개수와 같은 2개의 피니언 기어로 구성하였고, 추가로 그리퍼의 직선 운동으로 동작하기 위해서 랙 기어를 추가하였다. 논문에서 언급한 그리퍼의 원리는 단순 반복 작업보다 복잡한 기능을 수행할 수 있는 복합작업에서 유용하게 사용할 수 있으므로 다양한 제조공정에서 용도에 맞는 그리퍼로 교체해서 사용할 수 있다. 팀의 로봇 또한 정밀한 제어를 목적으로 제작하였으므로 현장에 적용된다면 이와 같은 다양한 용도로 사용될 것이라고 예상한다.

논문 내용 중에서 그리퍼의 구성도를 살펴보면 2개의 스피어 기어가 서로 맞물린 형태로 배치된 것을 확인할 수 있는데, 모터 1개를 사용하여 한쪽 기어가 작동하면 옆 기어도 같이 작동해 손을 폼다 쥐기를 반복할 수 있다. 이와 달리 우리 로봇의 그리퍼 동작은 2개의 원형 기어를 사용하는 것은 같지만, 랙 기어를 추가하여 내부 평행 운동을 한다. 즉, 논문에서의 그리퍼는 회전운동을 통해 그리퍼를 동작하지만, 우리 조의 로봇 그리퍼는 평행 운동을 통해 동작하는 차이점임을 알 수 있다.

DBpia

한국생산기술학회 2022년도 춘계학술대회

### 부품 다양성을 고려한 제조산업용 로봇 그리퍼

이찬해, 안동근, 황보규, 정해진, 박세현, 정영진

A robot gripper of manufacturing industry considering the diversity of parts

C. H. Lee, D. G. An, B. G. Hwang, H. J. Jeong, S. H. Park, M. J. Chung

한국공학대학교 메카트로닉스공학부

Key Words : Gripper, Industry, Robot, Joint, Process

#### 1. 서론

최근 제조공장에서 스마트팩토리의 도입에 따라 제조산업에서 로봇의 수요가 증가하고 있으며, 기능적요소는 단순화되어 보다 다양한 기능이 요구되는 복합산업으로 변화하고 있다. 제조산업의 직용을 위해 다양한 형태와 사이즈를 향상시킬 수 있게 되었으며, 다양한 제조공정에 로봇이 적용됨에 따라 로봇 본체에 다양한 그리퍼에 관한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 본 연구에서는 다양한 부품을 파지하는 조립 공정에 적용이 가능한 그리퍼의 구조를 설계하고, 6축 다관절 로봇에 장착하여 그리퍼의 유용성을 확인하였다.

#### 2. 설계 및 제작

그리퍼 1은 로봇 그리퍼의 구성도를 나타낸다. 손가락마다 5개의 링크를 구비하고, 2개의 스피어 기어가 연결되어 모터 1개의 구동으로 링크 손가락이 동시에 파지거나 오프리지는 동작을 수행할 수 있다. 또한, 4면과 5면 링크 사이의 원형에 스프링을 적용하여 다양한 크기 및 모양의 부품을 파지하는 것이 가능한 구조이다.



Fig. 1 Structure of robot gripper

#### 3. 실험

제조 공장에서 사용되는 다양한 유형의 파지 가능하도록 설계된 그리퍼를 6축 다관절 로봇에 부착하여 제조 공장에서 사용되는 도구 및 부품을 파지하는 실험을 그림 3과 같이 수행하였다.

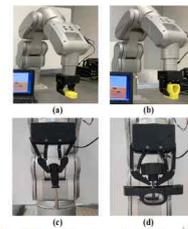


Fig. 3 Part holding experiment: (a) small part, (b) large part, (c) chair component, (d) chair component

그림 3(a)는 작은 부품을 그리퍼의 단부로 파지한 실험이며, 그림 3(b)는 큰 부품으로 파지하여 파지된 후 파지된 부품의 크기를 비교한 실험이다.

그림 3(c)는 작은 부품을 그리퍼의 단부로 파지한 실험이며, 그림 3(d)는 큰 부품으로 파지하여 파지된 후 파지된 부품의 크기를 비교한 실험이다.

## 2.3 설계 방법 및 제약조건

### 2.3.1 설계 방법

본 팀은 바텀-업 방식으로 설계를 진행한다. 방법은 가장 보편적인 방법으로 먼저 파트를 설계하고 모델한 다음, 어셈블리에 삽입하고 메이트를 사용해서 파트를 배치한다. 파트를 변경하려면, 개별적으로 편집해야 하지만 3D 프린터를 활용하여 각 파트를 제작하고 수정이 필요한 작품의 특성상 적합하다 판단하였다.

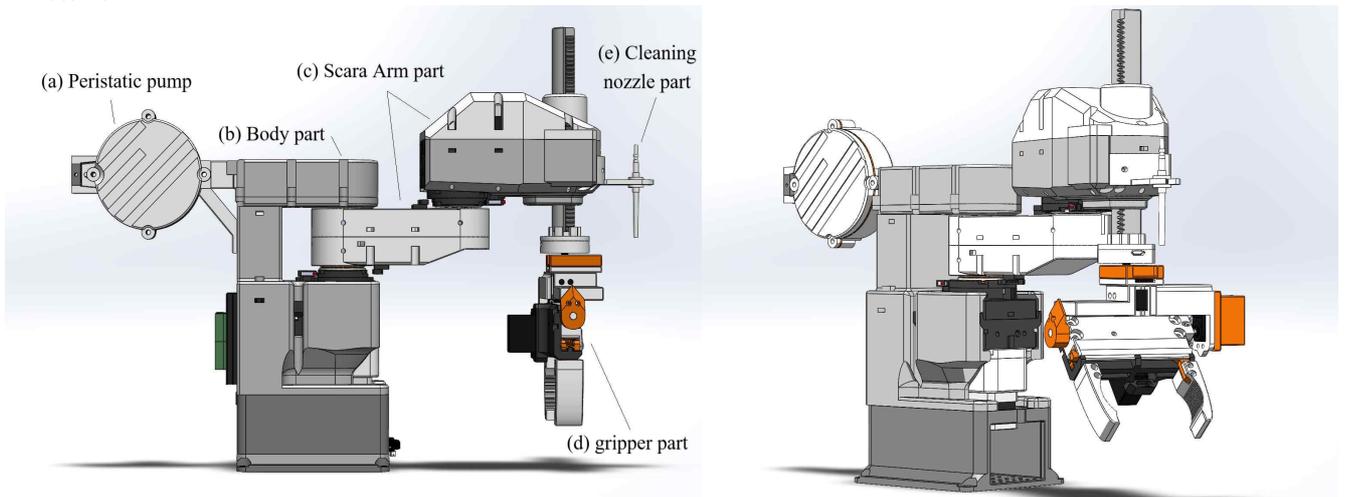


Fig. 3 Name of each structure and Assembled robot

### 2.3.2 로봇 형태 및 구조 결정

SCARA(Selective Compliance Assembly Robot Arm의 약자)는 x-y 축의 평면상에서 고정되어있는 2개의 수평 관절과 1개의 수직 운동을 할 수 있는 축으로 운용되며 관절 4의 말단 장치를 장착하여 조립, 정밀 생산, 절삭 분야에 사용하는 자동화 로봇 설비이다.

기본적으로 컨베이어에 놓인 재활용품을 상정하여 시스템을 설계하는 것이기 때문에 평면 작업에 유리한 스카라 로봇을 선정하게 되었다. 또한 기본적으로 로봇을 설계하고 다양한 말단 장치를 설계한다면 다양한 작업에서 활용할 수 있어서 범용성도 높다.

로봇이 원하는 좌표로 이동하고 동작을 수행하기 위해서는 역기구학(Inverse kinematics)에 따라서 해석되어야 한다. 로봇은 3개의 회전축을 사용하여 좌표 이동을 할 것이므로 3DOF Manipulator 역 기구학 풀이에 따라서 동작하게 프로그래밍 될 것이다.

로봇은 크게 Body(몸체), Joint(관절) 그리고 Arm(팔), 직선 관절과 물체를 집을 수 있는 그리퍼로 구성하며, 몸체는 3D 프린터로 제작을 진행하였다. 전체적인 크기는 500mm, 높이는 300mm로 설정하고 진행하며 각 관절 간 거리는 (Joint1-2) 120mm, (Joint2-3) 130mm로 정한다. 팔은 파손과 휘어짐을 방지하기 위해서 내부에 보강대 및 내부 지지대를 설치하며, 프린터에서 사용하는 필라멘트의 내구성과 FDM 프린터가 적층하여 제작하는 것을 염두에 두어 보강하기 위해 내부 벽을 두껍게 설계하였다.

로봇은 Pitch-Pitch-Yaw-Pitch 관절 구조로 설계하였으며, 1축과 2축은 리밋 스위치를 통한 원점복귀를 고려하여  $\pm 125^\circ$  가동 범위를 가진다. 4축은 MG996 Servo motor의 제품규격인  $180^\circ$ 를 전부 사용한다.

유지 보수가 쉽도록 위아래로 분리되는 구조로 만들어지며, 조립은 M5 수나사와 암나사를 사용하였고, 벽에 구멍을 만들어서 암나사를 삽입하여 결합한다.

로봇은 Fig. 3과 같이 크게 5가지 구조물로 구성한다.

a. 페리스탈틱 펌프(Pump) : 재활용품 세척을 위한 용수를 공급하는 펌프로 내부 베어링이 실리콘 튜브를 눌러 정해진 용량만큼 공급하는 구조로 설계한다.

b. 몸체(Body) : 로봇 암과 결합한 액추에이터를 안정적으로 고정 및 지지함으로써 원활한 동작 수행을 위한 구조물이며, 마이크로프로세서, 펌프(Pump), 모터 드라이버, 환경 센서 등도 장착하여 일체감을 주도록 한다.

c. Scara Arm part : 프린터로 제작된 하우징으로 구성 및 조립되며, 스테핑 모터와 액추에이터 내부 풀리 및 타이밍 벨트를 통해 동력을 전달한다.

리미트 스위치를 장착하여 스테핑 모터의 원점복귀를 수행한다. 2축은 Pitch 운동을 위한 액추에이터와 Rack Gear와 서보 모터가 장착되며 3축의 Yaw 운동을 담당한다.

d. 그리퍼 (Gripper part) : 3축 직선 관절 끝에 장착되며, 3개의 서보 모터를 이용하여 사람의 줍 동작을 흉내를 내며 목표로 하는 물체를 들어 올려 세척용 노즐에 위치하도록 임무를 수행한다.

e. 세척용 노즐(Cleaning nozzle part) : Arm part 끝부분에 장착되며, 그리퍼를 통해 들어 올려진 물체를 펌프를 통해 공급된 용수로 세척 하는 작업을 수행한다.

### 2.3.3 부품 선정

#### 2.3.3.1 모터 선정

움직임을 구현하기 위해서 모터의 선정은 무엇보다 중요하다. 기본적으로 PLS 필라멘트를 재료로 로봇 프레임을 제작한다. 팔 내부에 모터가 있는 것을 고려하여 작고 무게가 적지만, 높은 토크로 동작할 수 있는 모터를 선정하는 것이 중요하다. 로봇 무게를 10kg 이상으로 가정하여 NK243-01AT 모터를 선정하였다. 사양은 Table. 5과 같다.

Table. 5 Stepping motor Specification

	NK243-01AT(4P)	Nema17	Nema23
VOLTAGE	4.56	4.0	12
CURRENT	0.95	0.95	2.4
Step Angle (°)	1.8	1.8	1.8
HOLDING TORQUE (kgh*cm)	2.1	1.58	0.64
SIZE (cm)	42x42	42x42	57x57
Weight (g)	224g	220g	520g

#### 2.3.3.2 모터 드라이버 선정

모터 드라이버는 동작을 위한 신호를 증폭하여 구동할 수 있게 하여 주는 장치이다. 그렇기 따라서 모터의 요구 조건과 맞춰 알맞은 모터 드라이버를 사용하는 것이 중요하다. 따라서 다음과 같

은 드라이버 중에서 공급 전압 범위가 넓고 분해능이 우수하며 특히 토크의 크기는 전기자 전류에 비해 하므로 공급 전류 범위가 넓은 TB6600을 선정하여 사용하였다. 사양은 Table. 6과 같다.

정밀한 제어를 위해 TB6600에 내장된 마이크로스텝(MICROSTEP) 기능을 사용한다. Stepping Motor는 Rotor와 Stator의 극 구조에 의해 정해지는 Step각 마다 회전·정지하므로 정밀하지만, Step 값 변동에 따라 공진 및 진폭이 커지는 특징이 있다. Microstep은 Step을 세분화하여 저속 및 저소음에 도움을 주는 기능이다. 따라서 step 당 1.8°를 움직이는 NK243-01AT 모터를 4분할 하면, 0.45°로 보다 정밀한 동작이 가능하다.

**Table. 6** Motor driver SpecsSheet

	TB6600	L298N	L293 쉘드
Number of motors that can be driven simultaneously	스텝핑 1개	2개 (스텝핑은 1개)	4개 (스텝핑 2개)
Drive input voltage	9~42V	4.7~24V	4.5~36V
Maximum allowable current	0.5~4.0A	채널당 2A	채널당 600mA
Maximum Micro Step	32	X	X
Operating temperature	-10~45°	-25~130°	-40~150°

### 2.3.3.3 베어링 선정

필라멘트를 사용하여 프레임을 제작하였지만, 내부에 들어가는 모터 및 센서 등 무게 증가를 고려하여 구동축은 무게를 버티면서 축이 휘어지지 않도록 고정할 수 있어야 하며, 축간 하중 또한 고려해야 한다. 그러므로 베어링을 사용하는데 모터의 크기와 예상되는 관절의 크기를 고려하여 다음과 같은 베어링을 선정하여 사용한다. 선정된 베어링 사양은 Table. 7과 같다.

**Table. 7** Bearing SpecSheet

	608zz	6808	51107
Bearing Name	미니어처 볼베어링	볼 베어링	스러스트 볼 베어링
Size (L x FD x H)	8x22x7mm	40x52x7mm	35x52x12mm
Role	크롬봉 고정	구동축 고정	관절간 축 하중 지지
Basic rated load (Cr) N	3300	4900	20400
Load direction	레이디얼	레이디얼	스러스트
Permissible rotational speed (rpm)	34000	12000	3900

베어링에 적용하는 하중은 경 방향과 축 방향을 합친 경우가 많다. 이러면 하중을 그대로 베어링 계산식에 사용할 수 없으므로 가상의 하중을 계산하여 베어링 수명을 계산할 때 대입해야 한다. 이와 같은 하중을 레이디얼 하중이라 한다.

$$P_r = \text{동등가 레이디얼 하중 (kgf, N)}$$

$$F_r = \text{실제 작용하는 레이디얼 하중 (kgf, N)}$$

$$F_a = \text{실제 작용하는 레이디얼 하중 (kgf, N)}$$

$$X = \text{레이디얼 계수}$$

$Y =$  스리서트계수

$$P_r = XF_r + YF_a$$

같은 조건에서 작업하는 명백히 동일한 롤링 베어링 그룹 또는 개별 롤링 베어링의 경우 기본 작업 조건에서 재질 및 제조 품질을 동시에 공통으로 사용하며 90% 신뢰도와 연관된 수명이다. 반지름 볼베어링의 기본 정격 수명은 다음과 같다.

$C =$  베어링 기본 정격 하중(N), 로봇 관절 1 = 3.5kg, 로봇 관절 2 = 6.5kg, 중력가속도 9.81 m /s<sup>2</sup>

$P =$  베어링 레이디얼 하중(N)

$N =$  회전속도 (rpm), ( $N_s = 120 \cdot 60\text{Hz} / 4\text{극} = 1,800\text{rpm}$ )  $\rightarrow$  (벨트 풀리 1:5(16:80)  $1800/5 = 360\text{rpm}$ )

$L_n =$  베어링 회전 수명

$L_h =$  베어링 시간 수명

(기본 정격 수명)

$$L_h = \frac{10^6}{60N} \left( \frac{C}{P} \right)^3 (\text{시간}) \dots\dots\dots (1)$$

6808볼 베어링을 사용하며 로봇 암1 + 로봇 암2 하중을 모두 버티는 관절 1 베어링의 수명은 다음과 같다.

(관절1+관절2)

Table. 7 베어링 수치를 예상되는 수치를 고려하여 식 (1) 적용하면 다음과 같다.

$$L_1 = \frac{10^6}{60 \times 360} \left( \frac{4900}{98.1} \right)^3 (\text{시간}) = 5769357.71(\text{hr})$$

(관절2)

위에 과정을 반복한다.

$$L_2 = \frac{10^6}{60 \times 360} \left( \frac{4900}{34.3} \right)^3 (\text{시간}) = 134974624.6(\text{hr})$$

51107 스리스트 베어링을 사용하며 로봇 암1 + 로봇 암2 하중을 모두 버티는 관절 1 베어링의 수명은 다음과 같다.

(관절1+ 관절2, 스리스트)

$$L_2 = \frac{10^6}{60 \times 360} \left( \frac{20400}{98.1} \right)^3 (\text{시간}) = 416322352.5(\text{hr})$$

가벼운 PLS 재질을 사용한 점, 작은 크기의 작품이라는 점이 적용하여 부하가 적고 산업에서 사용하는 베어링이기에 무리가 없다.

### 2.3.3.4 환경 센서 선정

로봇이 구동하는 동안 알맞은 공정 환경에서 작동하기 위해서 주변 온도 및 습도, 미세먼지 농도를 측정해야 하므로 다음과 같은 환경 측정 센서들을 선정하였다.

마이크로컨트롤러에 연결하여 사용해야 하는 온습도 센서이므로 호환할 수 있고, 로봇 하드웨어와 모듈화가 편리한 크기가 작은 센서를 선정하였다. 또한, 여러 개의 서보 모터와 센서들을 사용할 예정이므로 **Table. 8**에 표기와 같이 작동 및 대기 전류가 적은 센서로 선정하였다.

**Table. 8** Temperature and humidity sensor SpecSheet

DHT-11	
Operating voltage	3.3V ~ 5V
Operating current at measurement	0.3mA
Quiescent operating current	60uA
resolution, resolving power.	1°C
Accuracy	± 2°C
Measurement range	0°C ~ 50°C
Recommended Storage Conditions	온도 10~40°C / 습도 60% RH이하
resolution, resolving power.	1% RH
Accuracy	± 2% RH
Measurement range	20% ~ 90% RH (25°C)

온도 및 습도뿐만 아니라 미세먼지도 공정 운영에 영향을 끼치는 요소 중 하나이므로, 미세먼지 농도 측정 센서를 사용하였다. 마찬가지로 로봇 하드웨어와의 모듈화를 위해서 크기가 작고 작동 및 대기 전류가 적은 센서를 이용하였다. (먼지 센서 모듈 유형 : DSM501A - 2mm 피치 커넥터 타입 (20010WR-05))

**Table. 9** Fine dust concentration sensor SpecSheet

DSM501A	
Supply voltage	DC5V ± 10%
Power consumption	90mA
Operating temperature range	-10 ~ +65°C
Humidity Range of Use	95 % RH 이하 (결로가 없을 것)
Recommended Storage Conditions	-20 ~ +80°C
size	W59 * H45 * D20 (mm)
Detectable particle size	약. 1µm (최소)
Detectable concentration range	0 ~ 1.4mg / m³
an output signal	PWM (펄스 폭 변조)
Stabilization time	전원을 켜 후 1분

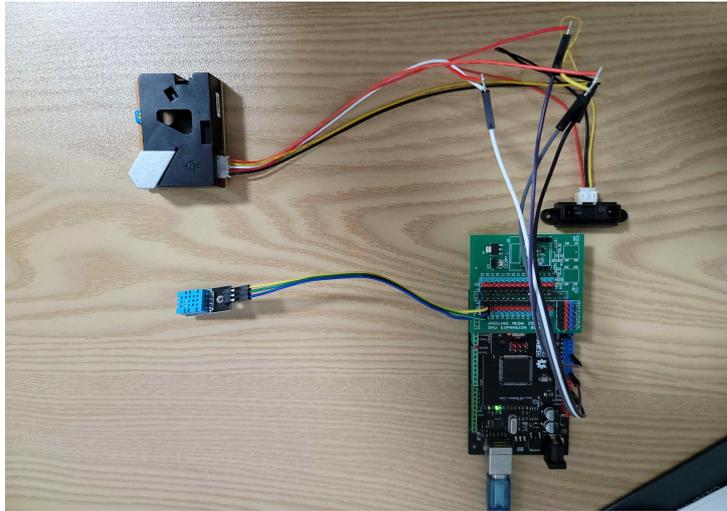


Fig. 4 Temperature and humidity and fine dust concentration measurement test

### 2.3.4 로봇 프레임 설계

#### 2.3.4.1 액추에이터 설계

로봇이 움직이기 위해서는 구동부(액추에이터)를 설계할 필요가 있다. 모터를 포함하여 모터 드라이브, 원점 센서, 감속기, 베어링 등으로 구성되며 사용되는 모터의 전압 토크에 따라 사양은 크게 변하며, 기어의 형태 기어비도 로봇이 움직이는데 중요한 요소다. 따라서 모터를 선정하고 액추에이터를 설계하면서 기어의 구성 그리고 움직임에 따른 관성과 축에 가해지는 응력 또한 계산해야 할 과제이며, 타이밍 벨트와 풀리를 사용하여 기어비를 조절하고 모터의 토크 값을 높이고 동력을 전달할 예정이다.

Table. 10 Pulley Specifications Used

Type	80-2GT Pulley	16-2GT Pulley	20-2GT Pulley
pitch	2mm	2mm	2mm
number of teeth	80	16	20
OD	50.42mm	9.86mm	12.22mm
Tooth Width	6mm	6mm	6mm
Materials	Aluminum alloy 6061	Aluminum alloy 6061	Aluminum alloy 6061
inner diameter	8mm	6mm	5mm
size	55x18mm	14x16mm	16x16mm

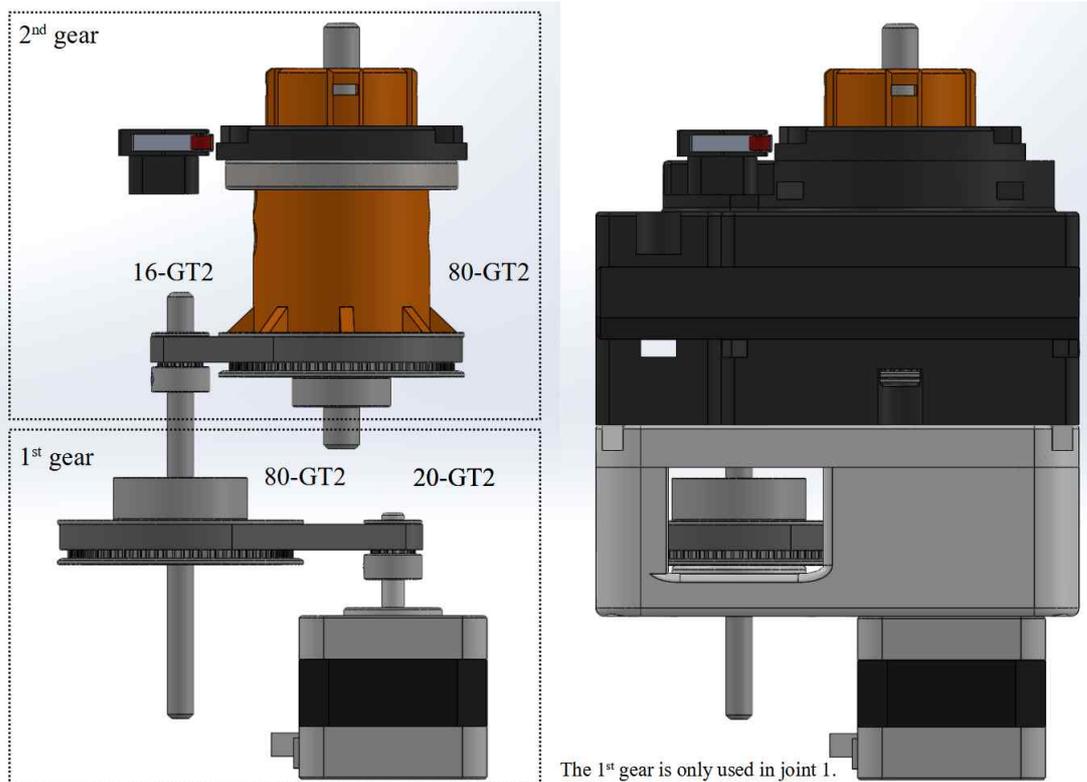


Fig. 5 Actuator module with various pulley and timing belt

액추에이터는 타이밍 벨트와 잇수 16과 20 그리고 80으로 되어 있는 풀리, 움직임을 위한 NK243-01AT 스텝핑 모터, 축을 고정하는 (6 π x 100mm), (8 π x 100mm) 연마 봉과 이를 고정하는 608ZZ 베어링으로 구성되어 있다. 모듈화를 위해서 액추에이터를 따로 구성되도록 설계하였고, 교환하기 쉽도록 최대한 작은 크기로 모든 부품이 구성되도록 Fig. 5와 같이 구성한다.

모터의 동력 전달을 위해 기어의 동작을 대신할 수 있으며, 경량화 및 정속성 높은 내구성이 특징인 타이밍 벨트를 사용하기로 하였다. 타이밍 벨트를 선정하기 전에 사용되는 모터와 요구되는 조건을 종합해야 하며 설계 동력을 결정해야 한다.

각 Joint에 필요한 동력은 다르므로 가장 많은 부하가 예상되는 Joint 1은 타이밍 벨트를 2단으로 풀리를 복합적으로 사용하여 동력을 증폭시키며, Joint 2는 2단만 사용하여 무게 경량화를 한다.

설계 동력 계산식은 다음과 같다.

$$\text{설계 동력(Pd) kW} = \text{전동 동력(Pt) kW} \times \text{과부하 계수(Ks)}$$

Ko : 부하 보정 계수

(최대출력이 정격의 300% 이하인 것, 운전 시간 단일 사용 8~12시간, 경하 중 벨트 기준 1.7)

Kr : 회전비 보정 계수 (회전비 3.50 이상 0.4)

Ki : 아이들러 보정 계수 (벨트의 팽팽한 쪽에서, 벨트 안쪽부터 사용하는 경우. 0.1)

Tq : 설계 토크 (N · m)

tq : 전동 토크 (N · m) 2.1 kg\*fc

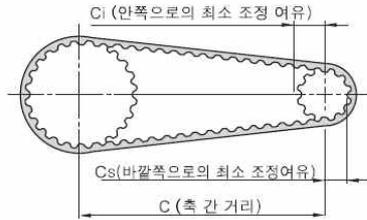
Ks : 과부하 계수 (Ko+Kr+Ki) = 2.2

Pd : 설계 동력 (kW)

n : 회전수 (rpm) 360rpm

토크(Tq)=tq×Ks = 0.021 × 2.2 = 0.0462kgf\*m = 46.2kgf\*mm

설계 동력 (Pd) = Tq × n / 974000 = 46.2 x 360/974000 = 0.017kW



공식 일람표		
항 목	공 식	비 고
회 전 비	SR= 대형 풀리 톱니 수 / 소형 풀리 톱니 수	
벨트 길이	$Le=2C+\frac{\pi(De+de)}{2}+\frac{(De-de)^2}{4C}$	Le : 벨트 유효 길이 (mm) C : 축 간 거리 (mm) $\pi$ : 3.1416 De : 대형 풀리 유효 직경 (mm) de : 소형 풀리 유효 직경 (mm)
축 간 거리	$C=\frac{b+\sqrt{b^2-8(De-de)^2}}{8}$ $b=2Le-\pi(De+de)$	C : 축 간 거리 (mm) De : 대형 풀리 유효 직경 (mm) de : 소형 풀리 유효 직경 (mm) b : $Le-1.57(De+de)$ Le : 벨트 유효 길이 (mm)

표23. 간이 선정표(2GT·3GT 시리즈)

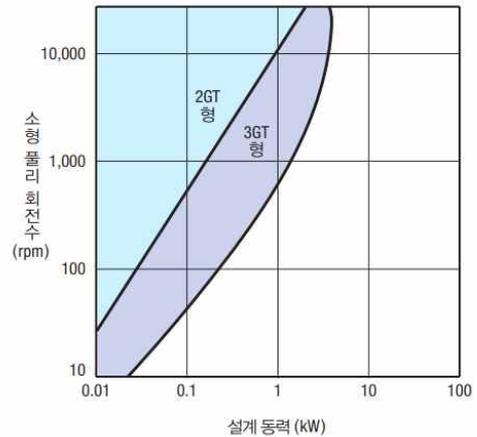


Fig. 6 Formulas of interaxial distance according to belt length and pulley and belt selection table according to design power<sup>(4)</sup>

Fig.6의 선정표를 활용, 회전수와 설계 동력형을 고려하여 2GT 형 타이밍 벨트를 선택하였다.

2단 기어는 길이 180mm 폐쇄형을 사용하였기 때문에 다음 계산식을 사용하여 축간거리를 계산한다.

$$b=2Le-\pi(De + de) \dots\dots\dots (2)$$

$$b=2*180-\pi(55 + 14) = 143.23$$

식 (2) 을 사용하여 도출된 값을 식 (3) 에 대입하여 축간거리를 계산한다.

$$c=\frac{b+\sqrt{b^2-8(De-de)^2}}{8} \dots\dots\dots (3)$$

$$c=\frac{143.23+\sqrt{143.23^2-8(55-14)^2}}{8} = 35.5mm$$

길이 200mm 폐쇄형을 사용한 1단 기어는 다음과 같다.

$$b=2*200-\pi(55 + 16) = 176.95$$

$$c = \frac{176.95 + \sqrt{176.95^2 - 8(55 - 16)^2}}{8} = 39.4mm$$

폴리 잇수 차이로 타이밍 벨트를 통해 증폭된 모터 토크는  $2.1Kg.cm * 5 * 4 = 42Kg.cm$ 이다.

2단 기어를 단독 사용하면  $2.1Kg.cm * 5 = 10.5Kg.cm$ 이다.

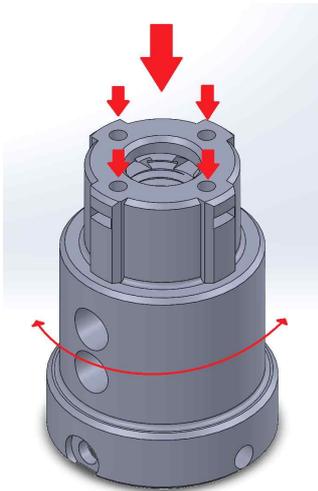


Fig. 7 Rotary actuator center shaft

액추에이터 축은 로봇 암과 연결을 위해 X 모양으로 제작된 상부 결합 홈과 볼트 체결용 구멍을 가지고 있으며, 이를 결합한다.

결합을 위한 볼트를 결정하며, 이를 위해 볼트의 전단 강도를 계산한다. 고정하는 재료는 PLA로 설정하여 계산한다.

PLA의 기본 인장강도는  $63.63Mpa = 63.63N/mm^2$ 이다.<sup>(5)</sup>

안전율을 고려하면 다음과 같다.

$$\sigma_s = 63.63N/mm^2 \cdot 0.7(\text{안전율}) = 44.54N/mm^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 7.07mm^2 \text{ 이다.}$$

$$\text{응력에 대한 } P_s = 44.54N/mm^2 \cdot 7.07mm^2 = 314.9N \text{ 이다.}$$

$$\text{볼트 1개당 } P = 20kgf \text{가 작용하고 있다고 가정해도, } P = 20kg(f) \cdot 9.81m/s^2 = 196.2N \text{ 이다.}$$

$P_s > P$  이므로 M3 볼트를 사용해도 안전하다.

장착 시 M3 x15 볼트를 사용하여 4부분을 체결하며 제작된 M16 볼트를 축 중앙에 직접 결합하여 동력 전달 및 고정을 한다.

하단에는 잇수 80 GT2 폴리를 장착하여 동력을 전달받도록 하며, 동력을 전달받는 축은 하단과 상단에서 동력 및 응력을 받고 있으므로 파손되지 않도록 계산한다.

다음식들을 활용하여 축에 응력 및 모멘트를 계산한다.

$\sigma$  = 굽힘응력

$M$  = 단면에 작용하는모멘트

$c$  = 중립축으로부터 연단까지의 거리

$I$  = 중립축에 대한 단면 2차모멘트

Z단면의성질표 ( $d2 : 30mm, d1 : 15mm, \text{속이빈축}$ )

N회전수( $rpm$ ): 360rpm

H설계동력: 1.7kW

최대 굽힘 모멘트

$$M = PL = 12.5kg * 60mm = 750kgf*mm$$

원형 단면의 단면계수

$$S = \frac{\pi * d^3}{32} = \frac{\pi * 30^3}{32} = 2650.7 \text{ mm}^3$$

최대 굽힘 응력

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{750 \text{ kg} * \text{mm}}{2650.7 \text{ mm}^3} = 0.28 \text{ kgf/mm}^2$$

비틀림 모멘트

$$T = 974000 \frac{H}{N} = 974000 \frac{0.017}{360} = 46.00 \text{ kgf} * \text{mm}$$

상당 비틀림 모멘트

$$T_e = \sqrt{M^2 + T^2} = \sqrt{750^2 + 46^2} = 751 \text{ kgf} * \text{mm}$$

$$\text{중공축} : d_2 = \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi\sigma(1-\chi^4)}} \text{ (내외경비 } x = d_1/d_2) \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{중공축} : d_2 = \sqrt[3]{\frac{16T_e}{\pi\sigma(1-\chi^4)}} \text{ (내외경비 } x = d_1/d_2) \dots\dots\dots (5)$$

(4), (5) 식을 활용하여 축 지름을 계산하면 다음과 같다.

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{32 * 12.5 * 60}{\pi * 0.28 * (1 - 0.5^4)}} = 30.8 \text{ mm}$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{16 * 751}{\pi * 0.28 * (1 - 0.5^4)}} = 24.4 \text{ mm}$$

로 한계치 상태에서도 축 지름은 이상 없다.

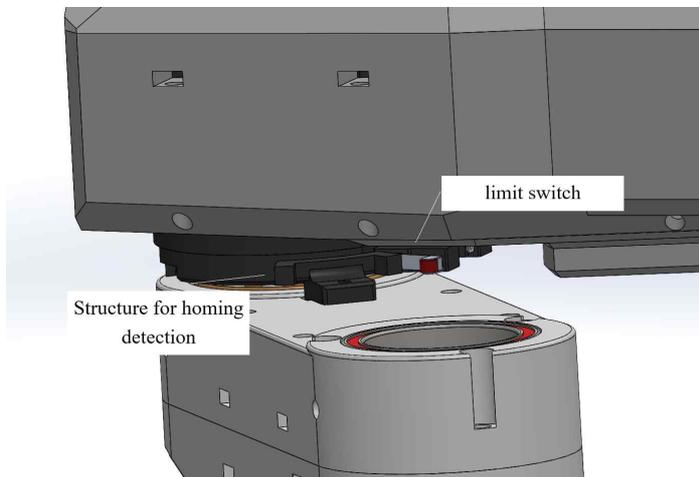


Fig. 8 Back to home limit switch and structure

스텝핑 모터는 움직임을 측정하여 위치는 알 수 있지만, 자신의 초기 위치는 알 수 없으므로 원점복귀가 필요하다.

이 때문에 액추에이터에 리미트 스위치를 같이 장착하며 팔에 구조물을 설치하여 위치 파악 및 원점복귀 동작을 수행할 수 있도록 하며, 리미트 스위치가 인식되는 지점이 중앙(180°)을 기점으로 125° 좌우 250° 범위(55°~305°)로 인식되므로 위치 파악이 가능하다.

액추에이터 하우징은 내부 풀리 및 타이밍 벨트를 보호 및 진동을 억제 할 수 있도록 설계하며, 모든 부품은 분해 및 조립이 쉽도록 Fig. 9와 같이 설계한다.

하우징은 몸체(Body) 및 SCARA 암에 들어갈 수 있도록 끼워 맞춤 공차 및 3D 프린터 오차를 고려하여 0.5mm 공차를 준다.

액추에이터가 삽입되는 구멍 또한 업데이트 및 수리를 고려하여 같은 치수를 사용한다.

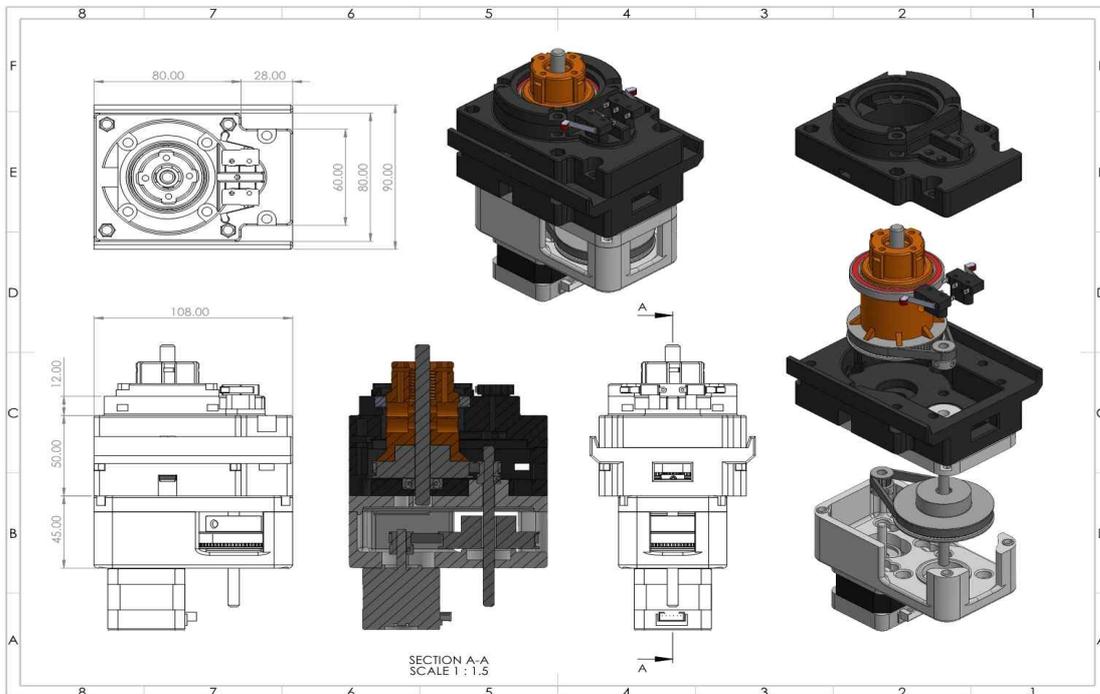


Fig. 9 Rotary actuator drawing

### 2.3.4.2 로봇 팔과 관절 설계

로봇 모듈화를 염두 하여 설계한다. 각 부품을 분리하기 쉽게 설계하며 조립용 볼트 등 결합 및 끼워 맞춤식 설계를 적용하여 고정 장치를 구상한다면 부품을 고정할 수 있으면서 분리하기 쉽게 만들 수 있도록 한다.

1축 관절은 전체 길이 200mm로 분해 조립이 되도록 프레임이 상 하부로 분해되도록 설계되어 있다. M5 x16 볼트로 조립하며, 프레임 또한 조립을 위한 구멍이 설계되어 있다.

축과 고정할 수 있도록 모양에 따라 홈이 파여 있으며, M3, M16 볼트로 추가로 조립되도록 하였다. 3D 프린터 PLS 재질로 제작할 예정이었기에 벽 두께는 전체적으로 6~8mm로 설계하여 하중 증가와 관

성으로 파괴되지 않도록 하였다.

내부에는 1cm 두께 (10x15) 보강대를 설치하여 하중에 의한 휨 현상을 방지한다.

2축 또한 설계된 액추에이터가 조립 및 분해가 되기 쉽도록 끼워 넣을 수 있는 홈이 설계되어 있으며 3축 직선 관절을 위한 서보 모터 고정부, Rack Gear가 장착될 수 있는 구멍을 따로 제작하였다.

또한 여러 가지 선들을 배선하므로 정리하기 쉽도록 상부에 선 정리용 패널을 제작하고 커넥터를 장착하여 결선이 쉽게 하였다.

액추에이터 축과 연결되는 관절 부분은 51107 스티리트 베어링을 장착하여 하부로 적용하는 무게를 분산하여 원활한 동작이 가능하게 한다.

팔의 주재료는 PLA 필라멘트이며 옥수수, 사탕수수 또는 당분을 함유한 농작물에서 추출하는 중합된 젖산으로 만들며, 가장 친환경적인 3D 프린팅 재료이다. 따라서 특징을 살펴봐야 한다. 재료의 안전계수를 구한다. 하중에 대한 구조물의 저항 능력을 강도이며 구조물의 실제 강도는 요구 강도보다 커야 하며 실제 강도의 비를 의미한다.

MECHANICAL PROPERTIES   TENSILE TEST		Test Method ISO 527			
All test specimens were printed using an Ultimaker 2+ under the following conditions: Printing temperature: 210 °C Heated bed temperature: 60 °C Print speed: 40 mm/s Number of shells: 2 Infill under 45°					
	Printed vertical (Z-axis)	Printed horizontal (X,Y-axis)			
Infill	50%	100%	50%	100%	
Tensile strength (MPa)	13.6 ± 2.6	28.8 ± 4.2	24.1 ± 0.6	38.1 ± 0.9	
Force at break (MPa)	13.4 ± 2.5	28.6 ± 4.1	23.9 ± 0.7	36.3 ± 1.2	
Elongation at max force (%)	0.7 ± 0.2	1.1 ± 0.3	2.2 ± 0.1	2.1 ± 0.0	
Elongation at break (%)	0.7 ± 0.2	1.1 ± 0.3	2.4 ± 0.1	2.8 ± 0.2	
Relative tensile strength (MPa/g)	1.5 ± 0.3	2.4 ± 0.4	2.7 ± 0.1	3.3 ± 0.1	
Emodulus (MPa)	2028 ± 59	3150 ± 54	1760 ± 38	2852 ± 88	

Fig. 10 Properties of PLA related to printing direction and fill ratio<sup>(6)</sup>

PLA의 물성값은 Fig. 10과 같으며 여기서 항복 응력을 계산하면 다음과 같다.

$$\text{항복 응력} = (28.8 - 13.6) / (100 - 50) * 20 = 6.08(\text{MPa})$$

$$\text{탄성계수} = (3150 - 2028) / (100 - 50) * 20 = 448.8(\text{MPa})$$

계산을 위해서 Joseph Vidosic이 제안한 값으로 항복강도(Yield Stress)를 토대로 구한 값을 기준으로 안전계수를 정한다.

Table. 11 Factor of safety(Joseph Vidotic)<sup>(7)</sup>

Factor of safety -FOS-	Applications
1.25 ~ 1.5	For use with highly reliable materials where loading and environmental conditions are not severe and where weight is an important consideration
1.5 ~ 2	For use with reliable materials where loading and environmental conditions are not severe
2 ~ 2.5	For use with ordinary materials where loading and environmental conditions are not severe
2.5 ~ 3	For use with less tried and for brittle materials where loading and environmental conditions are not severe
3 ~ 4	For use with materials where properties are not reliable and where loading and environmental conditions are not severe, or where reliable materials are used under difficult and environmental conditions

안전계수는 4(3~4) 잘 알려진 재료이지만 불확실한 환경과 응력 조건에서 사용할 때를 적용한다. 항복강도 6.08(MPa), 파괴 강도 8.00(MPa)을 적용하면 다음과 같다.

$$\text{허용 응력 } \sigma_a = \frac{\text{항복강도}}{\text{안전계수}} = \frac{6.08(MPa)}{4} = 1.52(MPa)$$

$$\text{허용 하중} = (\text{허용 응력})(\text{면적}) = 1.52(MPa) * 140cm^2 = 212.8kg$$

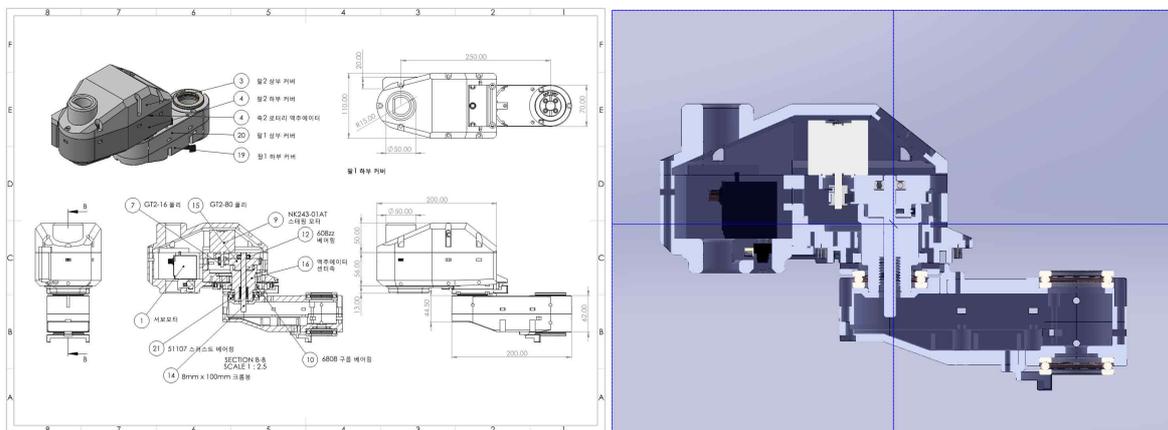
$$\text{파괴 응력 } \sigma_a = \frac{\text{파괴강도}}{\text{안전계수}} = \frac{8.00(MPa)}{4} = 2.00(MPa)$$

$$\text{파괴 하중} = (\text{파괴 응력})(\text{면적}) = 2.00(MPa) * 140cm^2 = 280.0kg$$

이며, 안전계수를 개선한 식은 (6) 과 같다.

$$\text{Factor of safety} = \frac{\text{Yieldpoint stress}}{\text{Working or Design Stress}} \dots\dots\dots(6)$$

(6) 을 대입하면  $\frac{280.0kg}{212.8kg} = 1.31$  이므로 매우 신뢰성 있는 재료로 확인할 수 있다.



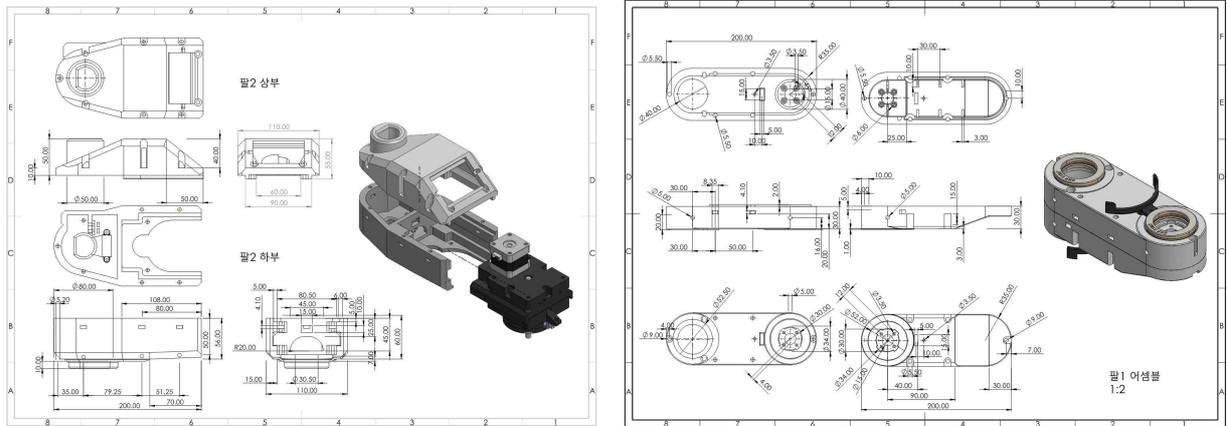


Fig. 11 Joint Arm drawing and sectional view

### 2.3.4.4 3축 직선 관절 설계

Table. 12 Rack pinion gear SpecSheet

Rack pinion gear SpecSheet		
Sortation	Rack	pinion
Gear tooth type	표준	
Tool	Module (m)	1.5
	tooth type	보통이
	Input angle	20°
The whole height	3.375	
pitch circle diameter	-	36
the number of teeth	45	24

Table. 12를 참조하여 치수를 계산<sup>(8)</sup>하면 다음과 같다.

- a) 전체 이 높이  $h = 2.25 \times m = 2.25 \times 1.5 = 3.375$
- b) 피니언 피치원 지름  $P.C.D = m \times z = 1.5 \times 24 = 36$
- c) 원주 피치(이와 이사이 거리)  $P = m \times \pi = 1.5 \times \pi = 4.712$
- d) 래크의 길이  $L = P \times z = 4.712 \times 45 = 212.06$
- e) 피니언 바깥지름  $D = P.C.D + 2m = 36 + 3 = 39$

래크 피니언 기어로 구성된 직선 관절이다. 이수 24 모듈 1.5로 제작된 기어이며, 서보 모터 1회전 시 래크 기어 103.67mm가 이동하는 구조이다.

1도당 0.28mm 움직이며, 하단 물체를 잡을 수 있도록 상하 운동을 위해 서보 모터가 장착되어 있다. 래크 기어와 서보 모터가 감당할 부하 토크를 계산하면 다음과 같다.

$F$ : 운동방향하중 [ $N$ ]

$\eta$ : 효율(0.95)

$i$ : 감속비

$m$ : work의 총무게 [ $kg$ ]= 0.5kg로 가정

$\mu$ : 마찰계수 [ $N$ ]

$\theta$ : 경사각도(수직이므로 90도)

$D$ : 최종단기어지름 [ $m$ ]= 0.036m

$g$ : 중력가속도  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$  (9.807)

$$F = M * G(\sin(\theta) + \mu * \cos(\theta)) [N] = 0.5 * 9.807 * 1 = 4.9035$$

$$T_L = \left(\frac{F}{2\pi * \eta}\right) * \left(\frac{\pi * D}{i}\right) = \frac{F * D}{2 * \eta * i} [N * m] \dots\dots\dots (7)$$

토크를 구하는 공식은 (7) 과 같으며 계산된 수식을 대입하면 다음과 같다.

$$T_L = \frac{4.9035 * 0.036}{2 * 0.95 * 1} [N * m] = 0.093 [N * m] = 9.3 [N * cm]$$

MG996 서보 모터의 최고 토크( $T_s$ ) 는 11 [kgf\*cm]이며 피니언 기어가 직결되어 있으며,  $T_L < T_s$  이므로 피니언 기어를 구동하여도 문제없다.

**Table. 13** Servo SpecSheet

	MG996R (360도)
Type	Digital/3-pole
Torque	4.8v 9.4 kgf*cm, 6V 11kgf*cm (1cm 기준)
Speed	4.8v 0.19 sec/60
Weight	55 g
Size	40.7x19.7x42.9

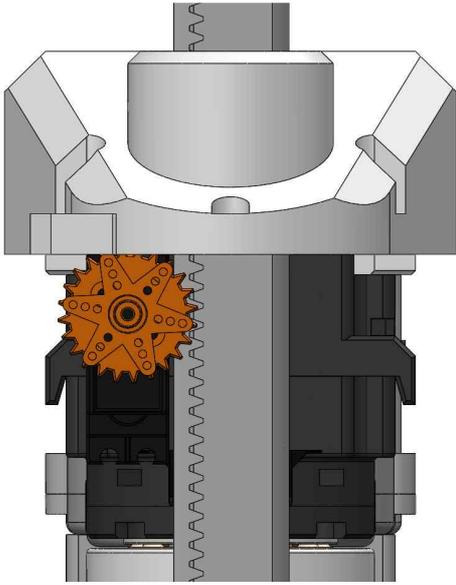


Fig. 12 Rack pinion gear

### 2.3.4.6 몸체 설계

상부 몸체는 TB6600 모터 드라이버, 페리스탈틱 펌프, Arduino Mega 2560, 각종 환경 및 감지 센서 등 무겁고 정교한 장비 장착을 위해 Fig. 13 와 같이 두껍고 안정적으로 설계를 진행하였다. 3D 프린터 과 부하 및 조립 편의성을 고려하여 부품별로 제작하였다.

하부 제어 상자도 마찬가지로 마이크로컨트롤러 장비나 센서들을 탑재하며, 액추에이터 출력 증가를 고려하여 몸체 하부 확장 슬롯으로써 제작되었다.

개방된 전면에는 적외선 센서(sharp 2Y0A21)를 활용하여 로봇 정면에 물체를 간단하게 확인하고 동작을 수행할 수 있다.

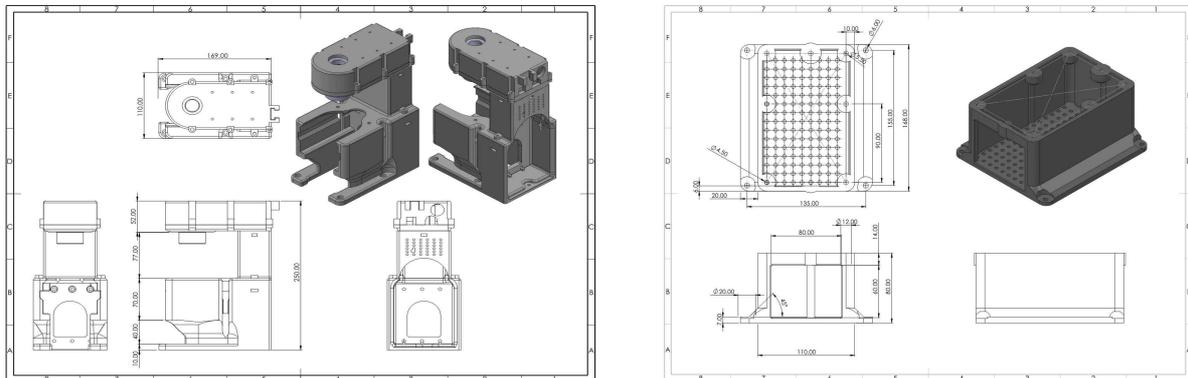


Fig. 13 Robot Body and Control Box Design Drawings

### 2.3.4.6 페리스탈틱 펌프(Peristaltic pump) 설계

페리스탈틱 펌프는 다양한 유체를 정해진 시간에 일정량의 유체를 송출하기 위해서 사용하는 positive

displacement pump 의 하나다.

송출하고자 하는 유체는 튜브를 통해서 이동하며 이때 펌프 헤드가 생리학적 장운동을 모방한 연동 작용을 통해서 정확한 양을 송출할 수 있다.

펌프는 크게 3가지 장점을 가진다.

- (a) : 액체가 튜브를 통해 이송되기 때문에 사용 용액의 오염이 전혀 없다.
- (b) : 연속적인 액체 이송이 가능하다.
- (c) : 소모품이 튜브밖에 없어 실질적인 펌프 유지비용이 거의 없다.

따라서 소독제와 같이 유독하고 낭비 없이 사용하는 공정 특성상 정확한 유량을 주입하는 로봇을 제작하는 본 작품에 어울리며, 설계 및 제작을 진행하였다.

모양은 Fig. 14과 같으며, 실리콘 튜브의 고정 및 정확한 밀착을 위해서 펌프 헤드에는 길이를 가변할 수 있는 M3 수나사와 암나사가 장착된다.

이를 통해서 실리콘 튜브를 밀착되지 않아 액체가 이송되지 않는 현상과 과 밀착으로 모터에 무리가 가는 현상을 방지할 수 있다.

또한 몸체와 결합될 수 있도록 구조물과 볼트 체결 부품을 갖추고 있다.

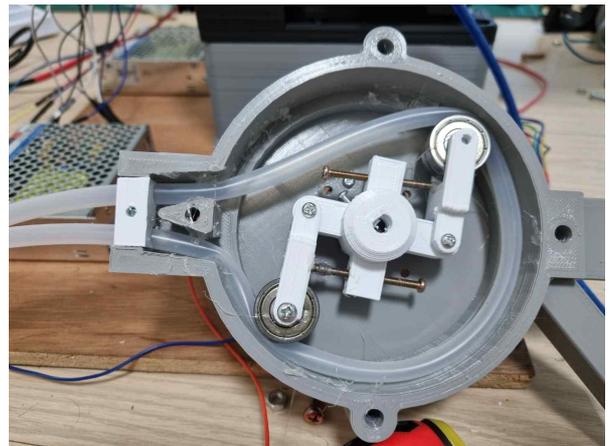
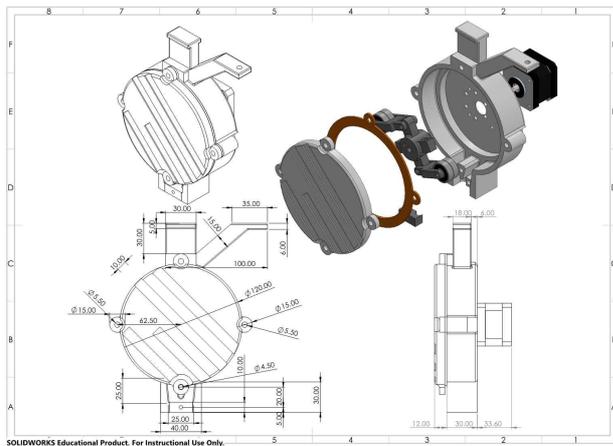


Fig. 14 Peristaltic pump Drawings and Designed Pumps

펌프는 크게 3가지로 구성된다.

1. Drive : 유량을 제어할 수 있는 컨트롤러다.
2. Pump Head : 튜브를 짜낼 수 있는 롤러가 달린 것이 pump head이다. Roller의 수가 많을수록 적은 유체의 양을 제어할 수 있다.
3. Tubing : 액체가 이송하는 통로인 튜브이다. 액체의 특성에 맞는 다양한 재질의 튜브를 선택할 수 있다.

실리콘 튜브는 내경 6mm 외경 7.5mm 사용하며, 모터는 NK243-01AT 스텝핑 모터를 채택하였다. 튜브를 짜낼 베어링은 이전에 설명한 608zz 미니어처 베어링을 사용한다.

Pump head 1회전 시 제어되는 유체 양은 다음과 같다.

튜브링 체적 = 단면적(내경) x 길이 (Head 둘레)  
 $(0.785 * 0.6cm^2 * 88(가변) * \pi) / 2 = 65.1cm^3 = 65.1mL$  이다.

액체가 노즐까지 Purge 되어 있는 상태라면, 500mL 생수병이면 7.6회 회전하도록 제어하면 된다.

### 2.3.4.7 그리퍼 설계

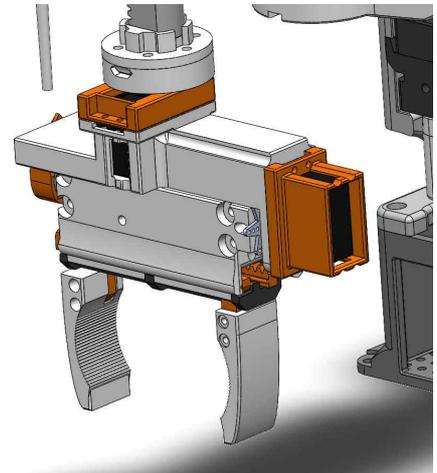
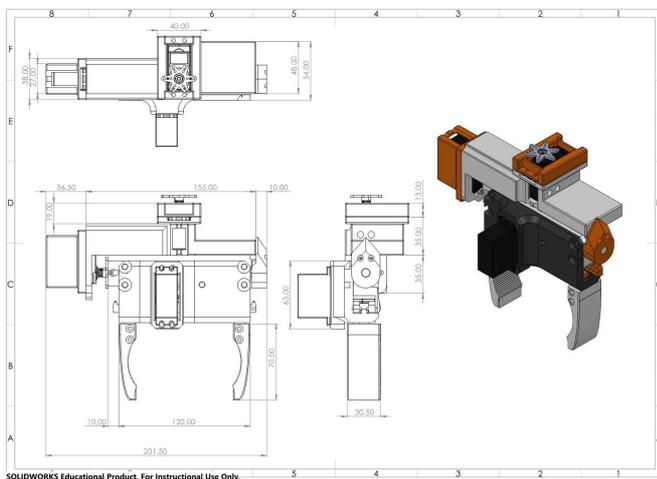


Fig. 15 Design and shape of gripper

그리퍼 Gripper는 사람의 동작을 흉내 내는 장비이며, 자동화 장치에서 사람의 손가락과도 같은 역할을 한다. 그리퍼는 다음과 같은 두 가지 형태의 주요 동작을 수행한다.

외부 : 물체를 쥐기 위한 가장 보편적인 방식이며 가장 간단하고 가장 짧은 스트로크 길이가 필요하다. 그리퍼의 턱이 닫히면 그리퍼의 닫는 힘으로 물체를 쥐게 된다.

내부: 일부 적용 분야에서 물체의 기하학 또는 물체의 외부로의 접근 시 물체를 중심으로부터 쥐도록 동작한다. 이러면 그리퍼의 여는 힘(opening force)으로 물체를 쥐게 된다.

본팀은 외부 형태 평행이동 그리퍼(parallel gripper) 스타일의 그리퍼를 Fig. 16 와 같이 설계 하였다. 공기압력을 동력원으로 사용하는 방식이 아닌 서보 모터의 토크를 엇갈린 두 개의 피니언 기어와 레크 기어를 사용하여 동작을 수행한다. 치수는 피니언 기어 높이 13mm만 다를 뿐 직선 관절과 같다.

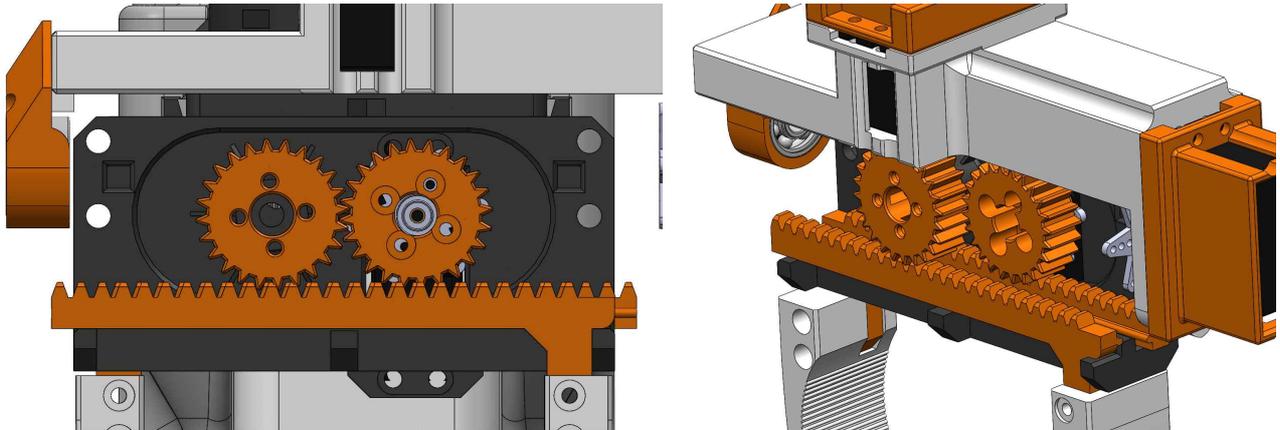


Fig. 16 Placement of gears inside the gripper

평행이동 그리퍼를 사용한 이유는 그리퍼가 쥐게 되는 물체에 평행하게 열리고 닫히며 가장 폭넓게 쓰이는 그리퍼이며, 사용법이 가장 간단하며 일정 치수의 변화에 보상할 수 있기 때문이다.

또한 동력원으로 전기 즉 서보 모터의 동력을 사용하는 이유는 공기와는 다르게 정확한 줍 동작이 필요하며 물체를 최대치로 쥐었을 경우, 멈추는 동작이 필요하기 때문이다. 본 설계는 그리퍼에 핑거에 리밋 스위치를 장착하여 동작을 감지할 수 있으며 핑거가 장착되는 래크 기어는 볼트를 체결할 수 있는 홈이 뚫려있어 목표에 맞는 핑거로 치수를 변경할 수 있다.

### 2.3.5 소프트웨어 설계

#### 2.3.5.1 회로 구성도

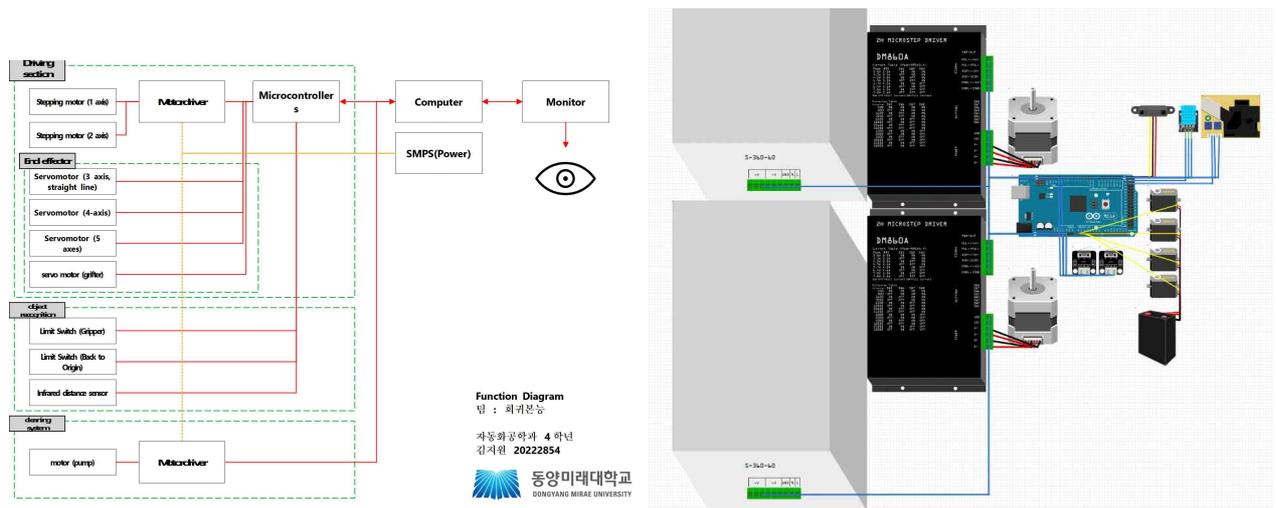


Fig. 17 Visual Circuit diagram and Circuit diagram and Wiring operations

서보 모터 2개를 추가하여 최종적으로 4개를 사용해 2축에 달린 그리퍼를 제어하도록 하였다. 서보 모터의 최대 토크를 사용하여 원활한 동작을 끌어내기 위해 6v 건전지도 추가로 부착한다.

스텝핑 모터가 조립된 2개의 축도 360도 회전이 가능한 것이 아니라 회전 각도 제한이 있다. 그리하여 제한된 각도에 도달하여 원활한 동작을 수행하지 못할 때 스텝핑 모터 축 하단에 부착된 막대가 리미트 스위치를 터치하게 되면 1, 2축이 일직선으로 복귀된다. 즉, 리미트 스위치는 원점 포인트 복귀 임무를 수행하고, 물리 터치식으로 작동한다.

### 2.3.5.2 프로그램 동작 및 역 기구학 설명

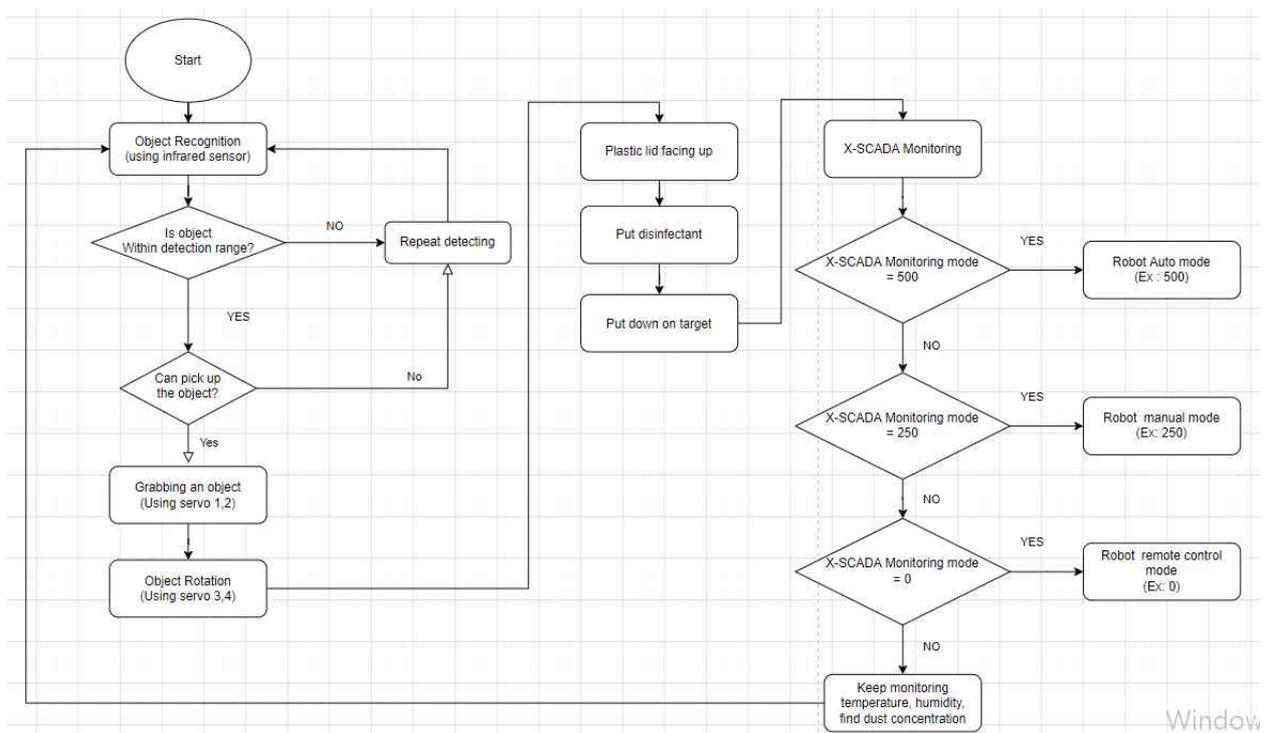


Fig. 18 Flow chart that summarizes robot movements

로봇의 전체적인 동작 순서도를 Fig 18에 시각적으로 표현하였다. 로봇을 작동시키기 시작하면 적외선 센서가 컨베이어 벨트 위의 폐-플라스틱 용기를 탐지한다. 로봇의 활동 범위 안에 쓰레기가 진입하면 서보 모터 1, 2를 이용해 플라스틱을 집어 들고, 서보 모터 3, 4를 이용해 소독액을 쉽게 넣을 수 있도록 플라스틱 용기 입구를 위로 향하게 한다. 그 후 소독액을 집어넣어 세척 후 플라스틱 용기를 목표 위치에 내려둔다.

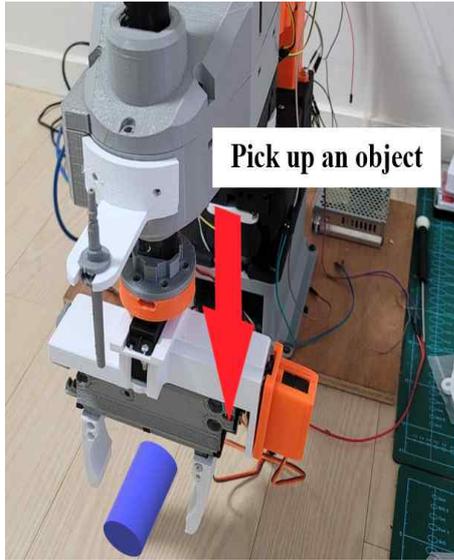


Fig. 19 Robot gripper motion (Using servo motor 1,2)

Fig 19를 확인해 서보 모터 1을 이용해 그리퍼를 물체에 근접하게 내린 후, 서보 모터 2를 통해서 플라스틱 물체를 집을 수 있다는 것을 알 수 있다.

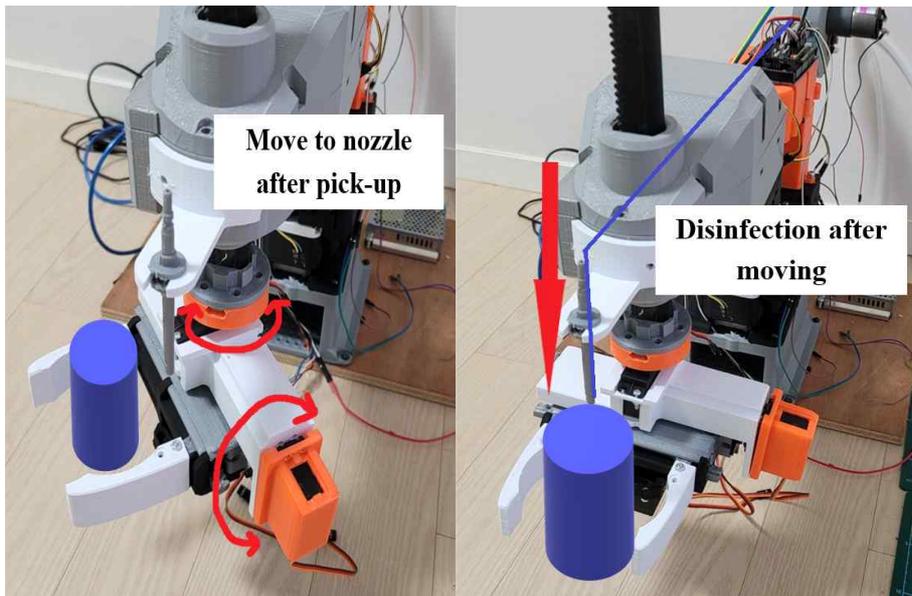


Fig. 20 Robot gripper motion (Using servo motor 3,4)

Fig 20을 확인해 서보 모터 3을 이용해 플라스틱 용기의 입구가 위를 향하도록 배치할 수 있고, 서보 모터 4를 이용해 페리스탈틱 펌프에 연결된 소독액 투입기에 근접하게 위치시켜서 소독액이 잘 들어갈 수 있도록 한다.



Fig. 21 Robot gripper motion (Using servo motors)

Fig. 21을 확인해 서보 모터들을 이용해 세척이 완료된 플라스틱 물체를 목표 위치에 내려놓을 수 있는 것을 확인할 수 있다.

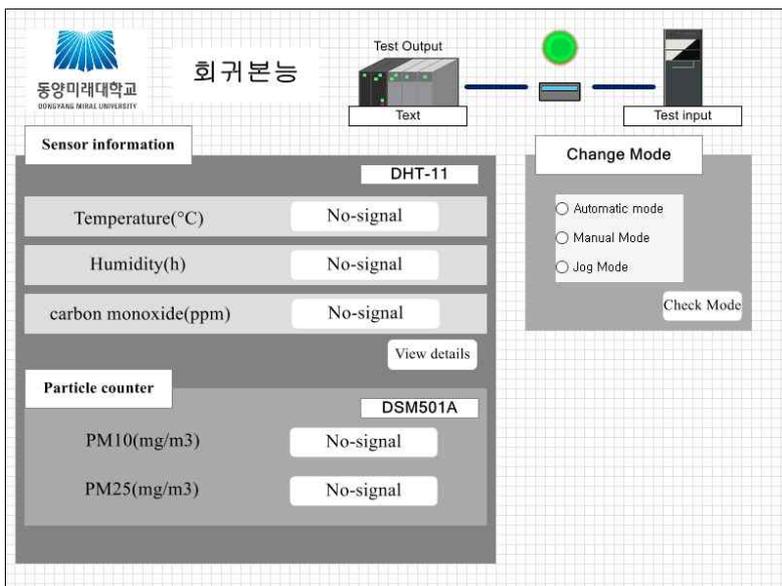


Fig. 22. Main Screen (X-SCADA)

X-SCADA 산업 자동화 소프트웨어 개발 툴을 활용한다. 자동화 기기를 손쉬운 설정으로 감시하거나 직접 제어를 할 수 있으며, 다양한 자동화 모니터링 및 제어기기(PLC, Control Device)의 실시간 데이터와 Database 정보를 확인 가능한 도구다. Fig. 22와 같이 제작된 모니터링 소프트웨어는 로봇의 현재 센서 상태를 확인 가능하며 모드 선택을 통해 표시된 컨트롤 패널을 통해 제어할 수 있다. 상세정보 버튼을 클릭 때 Fig. 24와 같이 도표로 정보를 확인 가능하며, 경보 이력을 확인 할 수 있다.

USB 케이블을 통해 모드버스 통신을 수행한다. 이때 사용자 환경에 따라 포트 번호가 다르기에 Arduino Mega 2560(COM #) 포트 번호(COM #)를 확인 후 이용한다.

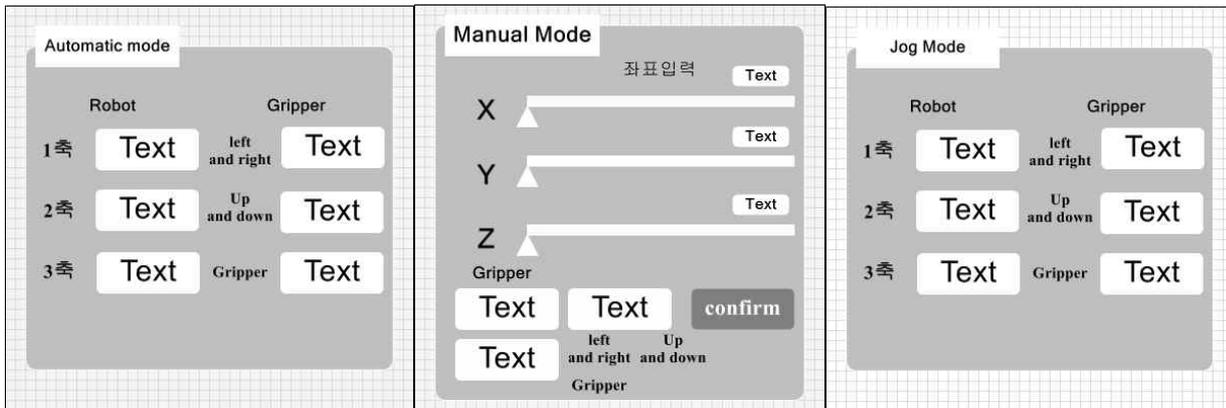


Fig. 23 Control Panel (X-SCADA)

컨트롤 패널은 모드 선택 후 제어를 위한 수치 및 정보를 표시한다.

자동모드는 정해진 절차대로 움직이며 페이지는 각 축의 좌표값을 읽어올 수 있다. 모드는 적외선 센서가 물체를 인식 시 시작되며, 입력된 좌표값 순서에 따라 동작한다.

매뉴얼 모드는 로봇을 원하는 좌표로 움직이고자 할 때 x, y, z의 값을 입력하여 움직일 수 있다. 수평 슬라이드를 통해서 원활하고 직관적인 좌표 입력이 가능하며 좌표값은 로봇의 행동반경에 벗어나지 않도록 한계가 지정돼 있다. 또한 확인 버튼을 누를 때만 아두이노가 지정 위치로 움직인다.

조그모드를 통해 직접 로봇을 움직일 때 각 축의 각도를 나타낸다.

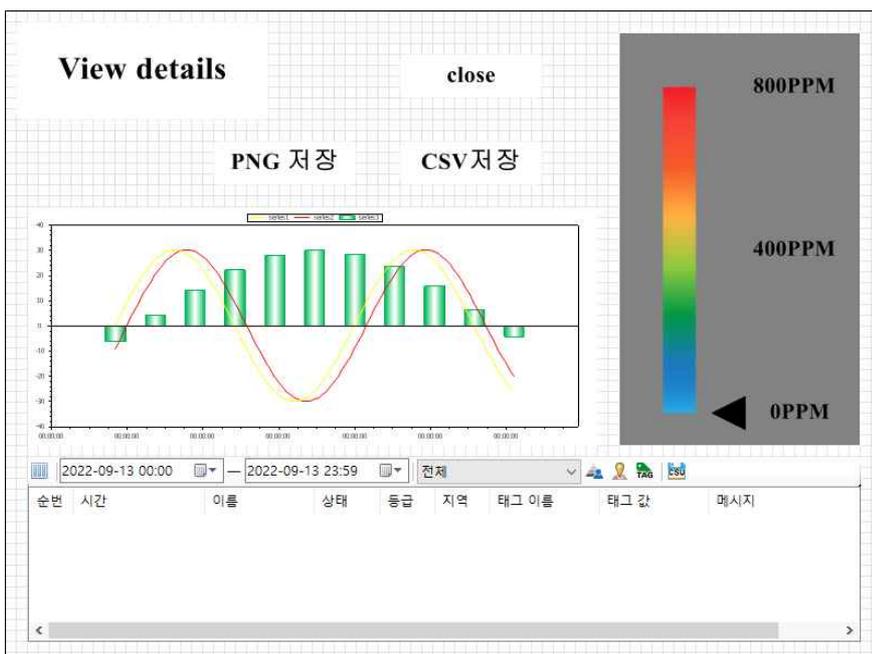


Fig. 24. Environmental Information Trends and Alerts (X-SCADA)

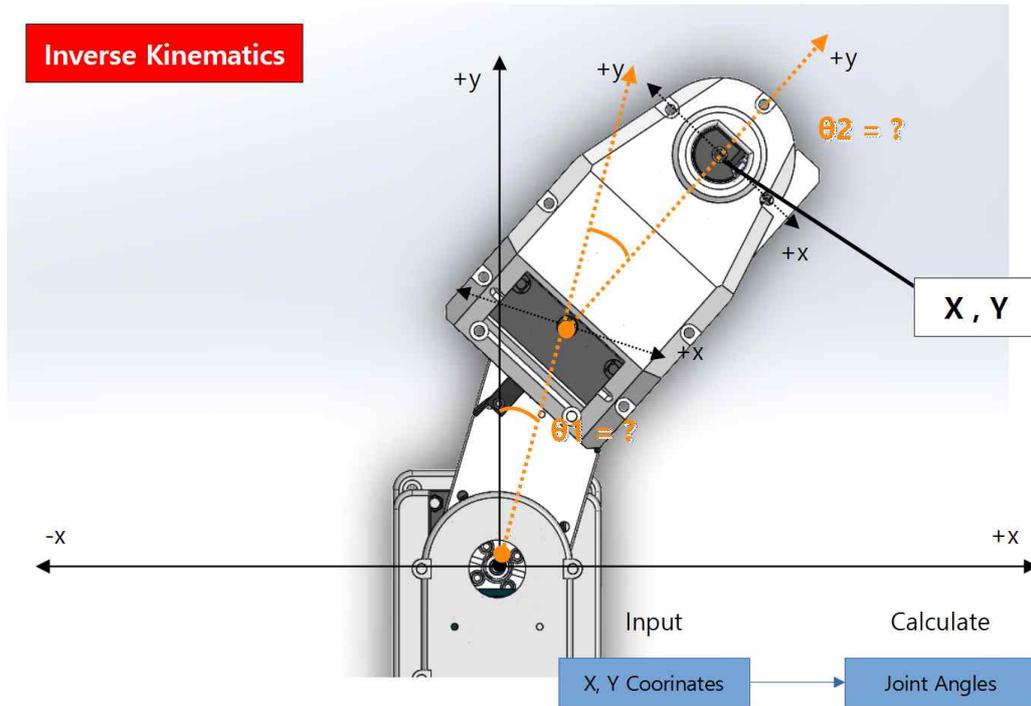


Fig. 25 Inverse Kinematics

위의 사진에 나와 있는 각도  $\theta_1$  와  $\theta_2$ 를 이용한 로봇의 동작 역기 구학 식을 구한 후 이것을 이용하여 아두이노 프로그래밍을 진행한다.

스테핑 모터 2개를 이용한 2자유도 매니퓰레이터(로봇 팔)의 Inverse Kinematics의 해는 구조상 0개이거나, 2개이다.

2개의 링크 길이의 합과 끝점의 위치(x, y)가 원점으로부터 떨어진 거리가 같은 것, 즉, 로봇 팔이 일자 일 때 해가 하나가 있다는 것을 알 수 있다. 동차 변환을 진행하면 다음과 같이 나타난다.

$${}^0T_2 = \begin{bmatrix} c\phi & -s\phi & 0 & x \\ s\phi & c\phi & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{임을 알 수 있다.}$$

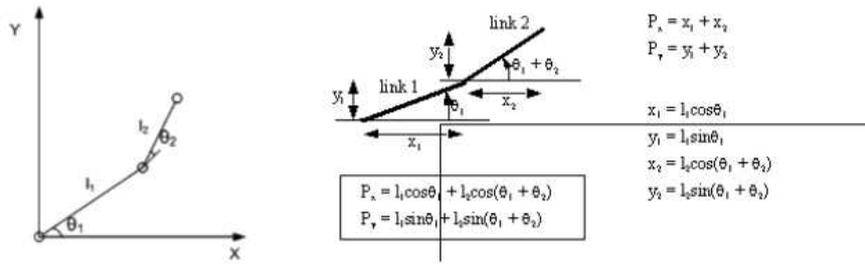


Fig. 26 graphically plotted method of calculation of joints

$$A(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

z축에 대해서 회전하는 회전 행렬을 구하면 (8) 과 같이 나타나고, 위의 식과 그림을 이용해서 끝의 x 좌표와 y 좌표에 대한 식은 다음과 같이 나타난다.

$$x = L_1 * \cos\theta_1 + L_2 * \cos(\theta_1 + \theta_2) \dots\dots\dots (9)$$

$$y = L_1 * \sin\theta_1 + L_2 * \sin(\theta_1 + \theta_2) \dots\dots\dots(10)$$

위의 (8), (9) 두 개 식을 제곱한 후 더하면 (10) 과 같이 나타난다.

(10) 식을 이용해 추가로 각도  $\theta_2$  (12) 을 구할 수 있다.

$$\cos\theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - (L_1)^2 - (L_2)^2}{2L_1L_2}, \sin\theta_2 = \pm \sqrt{1 - \cos^2\theta_2} \dots\dots\dots (11)$$

$$\theta_2 = \text{atan2}(\sin\theta_2, \cos * s * \theta_2) \dots\dots\dots (12)$$

(여기서, atan2는  $\tan\theta$ 의 역함수이다.)

$$\text{atan2}(y, x) = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & \text{if } x > 0, \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & \text{if } x < 0 \text{ and } y \geq 0, \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & \text{if } x < 0 \text{ and } y < 0, \\ + \frac{\pi}{2} & \text{if } x = 0 \text{ and } y > 0, \\ - \frac{\pi}{2} & \text{if } x = 0 \text{ and } y < 0, \\ \text{undefined} & \text{if } x = 0 \text{ and } y = 0, \end{cases} \dots\dots\dots (13)$$

(14) 과 같은 식들이 나타난다.  $\theta_1$ 을 구하기 위해서 식을 정리하면 (14) 과 같이 나타난다.

$$x = k_1 c \theta_1 - k_2 s \theta_1$$

$$y = k_1 s \theta_1 + k_2 c \theta_1$$

$$\text{where } k_1 = L_1 + L_2 c \theta_2, k_2 = L_2 s \theta_2 \dots\dots\dots (14)$$

변수를 바꾸어서 다시 정리하면 (15)과 같이 나타난다.

$$r = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$$

$$\gamma = a * \tan 2(k_2, k_1)$$

$$k_1 = r * \cos \gamma \wedge k_2 = r \sin \gamma.$$

$$\frac{x}{r} = \cos \gamma * \cos \theta_1 - \sin \gamma * \sin \theta_1 = \cos(\gamma + \theta_1)$$

$$\frac{y}{r} = \cos \gamma * \sin \theta_1 + \sin \gamma * \cos \theta_1 = \sin(\gamma + \theta_1)$$

$$\gamma + \theta_1 = a * \tan 2\left(\frac{y}{r}, \frac{x}{r}\right) = a * \tan 2(y, x) \dots\dots\dots (15)$$

(15) 로 정리가 완료되고 난 후,  $\theta_1$  값을 구할 수 있게 된다.

따라서  $\theta_1$ 은 (16) 이며

$$\theta_1 = a * \tan 2(y, x) - a * \tan 2(k_2, k_1) \dots\dots\dots (16)$$

(16) 식을  $k$ 를 이용해서 정리하면,

$$\theta_1 = a * \tan^2(y, x) - a * \tan^2(L1 + L2 * \cos\theta_2, L2 * \sin\theta_2)$$

최종적으로  $\theta_1$  값을 구할 수 있게 된다. 정리하여 끝점의 좌표에서 두 관절의 각도  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  식을 구한 순서대로 나열하면 다음과 같이 나타난다.

$$\cos\theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - L1^2 - L2^2}{2 * L1 * L2}, \sin\theta_2 = \pm \sqrt{1 - \cos^2\theta_2}$$

$$\theta_2 = a * \tan^2(\sin\theta_2, \cos\theta_2) \dots\dots\dots (17)$$

$$\theta_1 = a * \tan^2(y, x) - a * \tan^2(L1 + L2 * \cos\theta_2, L2 * \sin\theta_2) \dots\dots\dots (18)$$

(17), (18) 의 최종 식들을 이용하면 위치에 따른 팔의 각도를 계산할 수 있으며 다음식을 프로그래밍 코드로 변환하면 다음과 같다.

INPUT (X, Y)

float L1 = 130;

float L2 = 117;

Theta\_E = acos((pow(X,2)+pow(Y,2)-pow(L1,2)-pow(L2,2))/(2\*L1\*L2));

Theta\_Q = acos((pow(X,2)+pow(Y,2)+pow(L1,2)-pow(L2,2))/(2\*L1\*sqrt((pow(X,2)+pow(Y,2)))));

Theta\_S = atan2(Y,X) - Theta\_Q;

계산된 값을 다음 변수에 적용한다.

ROBOT(Theta\_S\*180/PI,Theta\_E\*180/PI,Theta\_S\*180/PI);

계산된 각도는 모터 스텝 값과 타이밍 벨트 기어변환을 고려하여 변환한다.

```
void ROBOT(float angle1, float angle2, float angle3){
    double i = map(angle1,0,360,0,16000);
    double r = map(angle2,0,360,0,4000);
```

다음 코드는 계산된 각도를 스텝 모터 구동을 위한 스텝 값으로 변환한다.

**Table. 5, Table. 6** 을 참고하면 NK243-01AT 모터는 step당 1.8°로 이동 하며 TB6600 모터 드라이버 마이크로스텝 기능을 활용하므로 0.45°로 움직인다.

추가로 풀리와 타이밍 벨트를 통해 1:5, 1:20 기어비로 구동되므로 각각의 액추에이터는 0.09°, 0.0225°로 움직인다.

따라서 360°를 움직이기 위해서 1축 액추에이터는 16000, 2축은 4000 스텝이 필요하다.

원점복귀 동작을 수행하는 경우 리밋 스위치 인식을 305°(2축 3389, 1축 13555 step)을 기준으로 180°

(2축 2000, 1축 8000 step)으로 이동 명령을 모터로 전송하며 원점복귀를 수행한다.

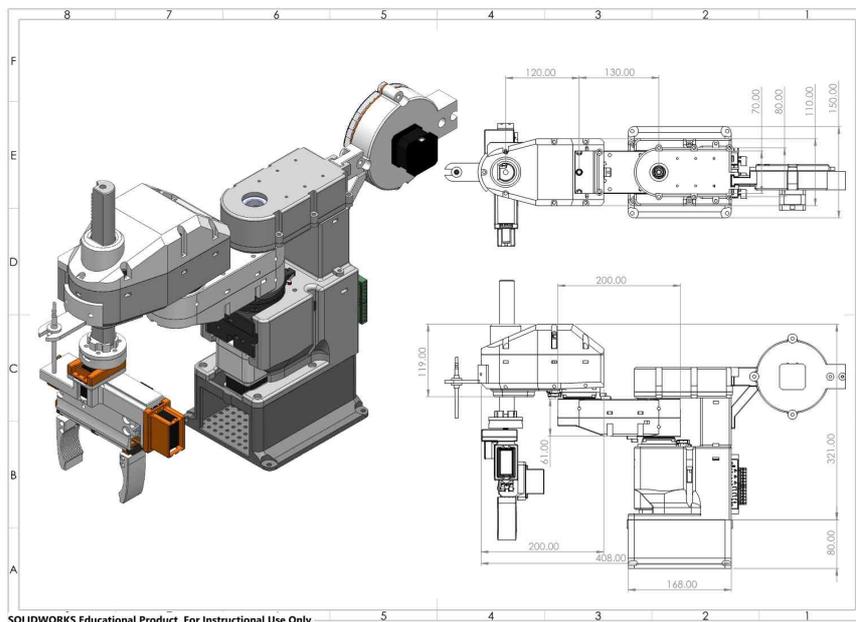
**Table. 14** Description of variables and functions used

변수명	의미	함수명	의미
L1	관절 1 길이	acos	역코사인
L2	관절 2 길이	pow	X^Y 승
Theta_E	$\theta_2$	sqrt	제곱근
Theta_Q	중간 계산식	atan2	역탄젠트/절대각도
Theta_S	$\theta_1$	PI	파이
angle1	1번 각도		
angle2	2번 각도		
i	변환된 $\theta_1$		
r	변환된 $\theta_2$		

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 로봇의 전체적 구조와 시제품

우리는 로봇의 하드웨어와 소프트웨어를 설계하며 로봇의 형상을 결정하고 원활한 움직임을 위해 프레임과 베어링 모터의 선정 및 선택을 위해 역학적 수식을 바탕으로 설계하였다. 로봇의 각 관절을 설계하였고 움직임은 원활하였으며 이를 위해 PLS 필라멘트를 사용하여 3D 프린터로 제작하였고 아두이노 보드 및 센서들을 이용하여 프로그래밍한 후, 수학적 좌표 계산을 통해서 평면좌표 상으로 이동할 수 있도록 메커니즘을 설계하였다. 메인テナンス 작업이 수월하도록 모든 프레임은 드라이버와 같은 도구로 쉽게 분해되도록 하였고 교체를 위해 상부와 하부로 분리되며 핵심이 되는 액추에이터는 고장이 날 때 현장에서 쉽게 제거하여 편의성을 높였다.



**Fig. 27** Overall Robot Configuration

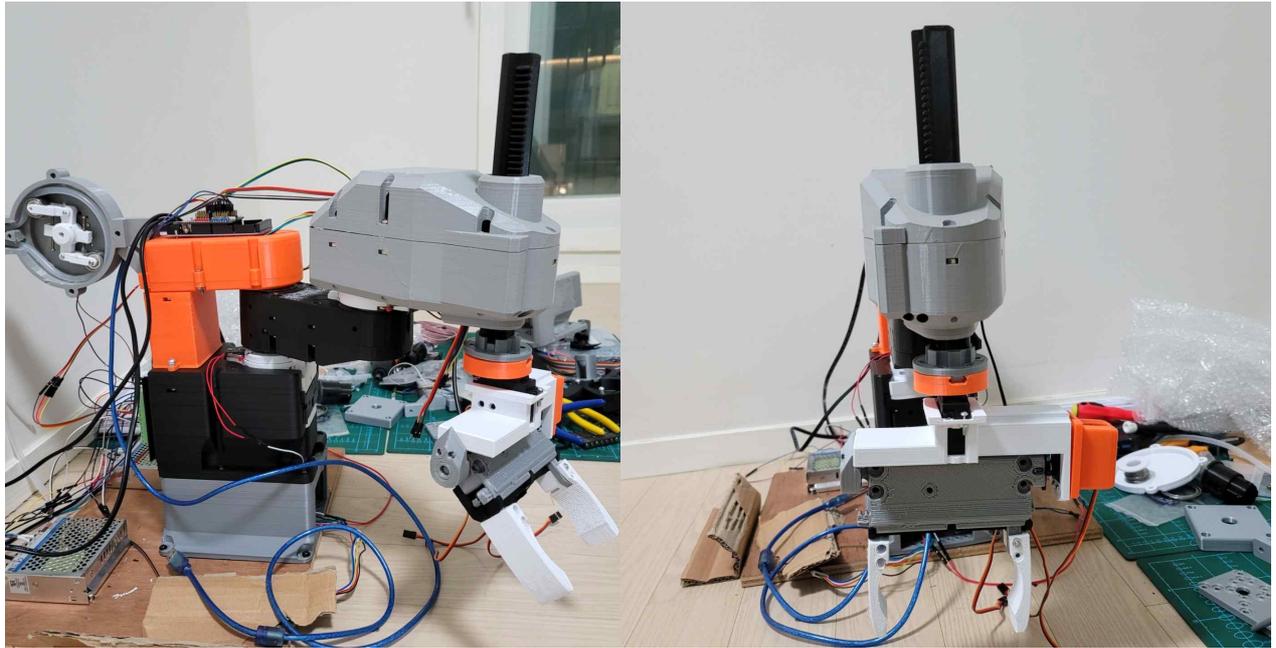


Fig. 28 Various views of the assembled robot

### 3.2 로봇의 작동 과정

로봇의 작동 순서는 다음과 같다.

- a. 로봇에 전원을 인가한다. (SMPS 220V, Arduino 5V, 6V 건전지)
- b. 로봇이 원점복귀 동작을 수행한다.
- c. 로봇은 사용자가 설정한 명령이 정해져 있지 않은 경우, 아두이노 특성상 작성한 프로그램 코드를 계속 반복한다. (자동모드)
- d. 적외선 센서를 통해서 플라스틱 용기를 탐지한다.
- e. 스텝핑 모터로 동작하는 축들을 이용해 플라스틱 용기에 도달한 후, 서보 모터 1, 2를 이용해 집어 올린다.
- f. 서보 모터 3, 4를 이용해 소독액이 들어갈 수 있도록 입구를 위로 향하게 한 후 페리스탈틱 펌프를 이용해 소독액을 집어넣어 세척한다.
- g. 세척을 완료한 후, 목표 위치에 내려놓는다.
  - (g-1) 로봇의 동작은 다시 g에서 d로 가서 계속 반복하게 된다. X-SCADA 모니터링을 실행하면 초깃값 500인 자동모드가 작동하는 것을 확인할 수 있다.
  - (g-2) X-SCADA를 이용해서 값을 250으로 변경해 로봇 메뉴얼 모드(설정된 좌푯값으로 이동)로 작동하는 것을 확인할 수 있다.
  - (g-3) X-SCADA를 이용해서 값을 0으로 변경해 조그 모드(컨트롤러를 이용해 수동으로 작동하는 것을 모니터를 통해 시뮬레이션 가능)로 작동하는 것을 확인할 수 있다.

### 3.3 기대효과

재활용을 분류하고 이를 압축하는 센터에서 높은 등급의 폐-플라스틱과 유리병의 회수율을 높이도록 로봇을 활용하여 시스템을 구성할 것이다. 글로벌 시장조사기관인 리서치앤드마켓에 따르면 플라스틱 재활용 시장은 54조 원 규모로 높다. 전 세계적으로 재활용되는 플라스틱 시장 규모는 13.6 백만 톤이다. 폐플라스틱의 가격 또한 연간 20%로 가파르게 성장하고 있다. 페트병은 재활용률이 45%에 불과하다. 그중에서 제품을 생산할 수 있는 품질은 9%이며 1등급은 0.1%에 불과하다. 버려지는 플라스틱 중에

서 35%는 이물질에 의한 것으로 이는 작업자가 제거하기에 어렵고 위험하고 비용적인 문제 때문에 소각되거나 매립된다.

본 팀의 로봇이 플라스틱의 이물질 제거 시스템을 설계한다면 재활용품이 소각되는 문제를 낮추고 고품질의 원료를 얻어 다시 제품으로 만들어지는 선순환 구조를 만드는 데 도움이 될 것으로 생각한다.

## 결론

본 작품의 설계 및 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 낼 수 있었다.

- (1) 설계의 목표는 비용이 적고 운용이 쉬워 작은 규모의 중소 폐기물 업체에서 사용할 수 있는 설비를 제작하는 것이 목적이었으며, 로봇을 활용하여 이를 구현하는 것이었습니다. 이를 위해 3D 프린터로 대부분에 몸체를 제작하며 작은 무게와 비용으로 로봇을 쉽게 제작할 수 있었고, 부품 또한 인터넷에서 찾기 쉬운 것으로 선정하였습니다. 설계 데이터를 공유한다면 많은 업체에서 활용 및 변환하여 사용할 수 있을 것으로 예상한다.
- (2) 몸체는 유지 보수의 용이성을 위해 여러 부품으로 구성되어 있으며, 크기가 작으므로 제작 및 운송 조립이 수월하다. 또한 시중에서 사용하는 M5 수나사와 암나사를 사용하여 조립하도록 설계하여 설비의 수리를 위해 많은 시간과 비용을 사용할 필요가 없다. 그리고 핵심 부품은 분해가 쉬우며 수리를 위해 외부로 반출하여 정비하기 쉽다.
- (3) 여러 관절로 구성된 로봇은 평면좌표에서 자유로운 움직임은 구사할 수 있으며, 평면에 놓인 재활용품을 자유도가 높은 그리퍼를 이용하여 들어 올리고 노즐에 맞춰서 작업을 연속적으로 진행할 수 있습니다. 환경 센서는 작업이 진행되는 과정을 실시간으로 감시하여 작업 환경의 안전성을 증명하며 위기 상황을 신속하게 탐지할 수 있다.

## 참고문헌

- (1) 플라스틱 비즈니스 가이드 - 한국기업을 중심으로, (2020.12), 세계자연기금(WWF)
- (2) 당신의 재활용 수고, 60%는 그대로 버려진다. - 한국일보 (2020.12)
- (3) 포장재 재질 구조개선 등에 관한 기준 (환경부 고시 제2014-123호) - 한국 포장재 재활용 사업 공제조합
- (4) 미스미(MISUMI) 타이밍벨트-풀리 종합정보- ([https://kr.misumi-ec.com/special/timing\\_pulley/tech/](https://kr.misumi-ec.com/special/timing_pulley/tech/))
- (5) Seong Je Park, Jung Hyun Park, Kwon Haeng Lee, and Min-Young Lyu, 2016, "Deposition Strength of Specimens Manufactured Using Fused Deposition Modeling Type 3D Printer", pp. 5
- (6) Hyeon-Woong Nam, Kee-Jeung Hong Safety and serviceability of form-liners manufactured by a FDM 3D printer Kookmin University, Seoul, Korea 2018, Table7~10
- (7) Factors of Safety - FOS - are important in engineering designs.- Engineering ToolBox ([https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d\\_1624.html](https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html))
- (8) 전산응용기계설계제도(CAD) 2D 도면작업과 3D 형상, 노수황, 메카피아, PART 03 - 13
- (9) C. H. Lee, D. G. An, B. G. Hwang, H. J. Jeong, S. H. Park, M. J. Chung, 2022.07, "A robot gripper of manufacturing industry considering the diversity of parts", 한국공학대학교 메카트로닉스공학부
- (10) 특허출원번호 No. 1020180152688, 등록번호 No. 1021172230000, 출원인이자 발명인 : 심재윤, 대리인 : 정우상, 최내윤, 박상열, 폐플라스틱 재활용을 위한 처리 장치, 등록 일자 : 2020.05.26, 공고 일자 : 2020.06.01