

대한기계학회 주선

제12회 전국학생설계경진대회(2022년)

설계 최종 보고서

참가부	고등부 () / 대학부 (0)				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (0)				
참가팀명	현(賢)				
설계제목	객체 추종 시스템을 적용한 높이 조절 리프팅 카트의 개발				
지도교수/교사	(소속) 공주대학교 기계자동차공학부 (성명) 김범주				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	조명현	공주대학교 미래융합공학과			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	조명현	공주대학교 미래융합공학과 1학년	
2	박건영	공주대학교 기계자동차공학부 기계공학전공 / 4학년	
3	박성준		
4	임규룡		

설계 요약문

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (O)
참가팀명	현(賢)
설계제목	객체 추종 시스템을 적용한 높이 조절 리프팅 카트의 개발
대표자명	조명현
요약문	<p>❖ 설계배경 및 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 최근 고령화 사회로의 진입으로 인한 노인층을 비롯한 사회적 약자 및 장애인의 복지를 위한 로봇, 식당 및 일상에서 사용되는 서비스 로봇 등 이동 로봇의 활용 분야는 점점 확대되는 추세. ● 인공지능을 결합한 이동로봇의 주행기술을 활용해 고령 인구 등 사회적 약자의 복지 및 사용자의 편의성을 높이기위한 방안으로 객체 추종 기능과 자동화 리프트 기능을 구비한 시스템 제작 필요. <p>❖ 설계 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 객체 추종 메커니즘 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 라즈베리파이를 활용하여 카메라를 통해 입력된 영상데이터를 Open CV 라이브러리 및 딥러닝 기반의 색 변환 알고리즘을 통해 제어신호로 변환. ✓ 카메라, 초음파센서를 객체 인식 및 추종 메커니즘에 함께 사용하여 객체 추종의 정밀도를 높이는 설계. ● 자동화 리프트 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 아두이노 및 기어드 모터, 스위치를 활용한 장치제어 설계. ✓ 기어드 모터를 활용해 안정적인 출력으로 중량물의 승하강 동작. ✓ 리드 스크류 및 시저 구조의 리프트를 사용해 공간 활용성이 높으며, 직관적인 형태의 리프트 승하강 구조설계. <p>❖ 설계 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 초기 설계시 중량물의 무게 5kg, 중량물을 포함한 전체 장치의 무게는 25kg으로 설정. ● 장치의 목표 스펙은 사용자와의 거리 40cm 유지, 이동속도 1m/s, 리프팅 속도 0.1m/s로 움직임이 가능하도록 설계. ● 객체추종 기능에서는 초음파센서 및 카메라를 통한 객체인식 정보를 활용한 장치구동에 성공하였으며 초기목표 대비 약 40%의 기능 구현. ● 자동화 리프트 기능에서는 리드스크류 및 시저구조의 리프트를 활용하여 초기 목표대비 약 80%의 기능 구현. <p>❖ 기대효과 및 적용분야</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 객체 추종 리프팅 카트의 경우 군사, 레저 및 스포츠, 농업, 물류업 등 다양한 분야에 확대적용 가능. ● 최근 농업 종사 인구 감소, 물류 산업 증가로 인한 노동력 부족 문제, 고령화 등 문제들의 해결방안으로 적용되어 노동력 절감 및 산업에서의 편의성, 복지향상의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대.
설계프로젝트의 입상 이력	해당 사항 없음

객체 추종 시스템을 적용한 높이조절 리프팅 카트의 개발

조명현*, 박건영**, 박성준**, 임규룡**, 김범주*,**†

* 공주대학교 미래융합공학과
** 공주대학교 기계자동차공학부

Development of Height Adjustable Lifting Cart Using Object Tracking System.

Myeonghyeon Cho*, Geonyoung Park**, Seongjun Park**, Gyuryong Lim** and Bumjoo Kim*,**†

*Department of Future Convergence Engineering, Kongju National University,

**Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

(Received on September 13, 2022, revised on September 13, 2022, received on September 13, 2022)

Key Words: Object Tracking(객체추종), Mobile Robot(이동로봇), Deep Learning(딥러닝), Universal Design(유니버설 디자인), Raspberry Pi(라즈베리파이)

초록: 본 연구에서는 이동로봇의 구현방식 중 색 변환 딥러닝 알고리즘을 기반으로 하는 Open CV 라이브러리 및 초음파센서를 활용한 객체 추종 이동로봇 시스템을 구현한다. 또한 자동화 리프트 기능을 카트에 결합하여 사용자로 하여금 중량물 운송 및 이동의 편의성을 극대화하는 카트를 개발하는 것을 연구의 목적으로 한다. 딥러닝 기반 객체추종 기능의 구현 및 리프트 자동화 기능을 구현하기 위해 위하여 소형 MCU인 라즈베리파이와 아두이노를 이용하였다. 제작 결과 초기목표대비 80.0%의 리프팅 기능을, 37.5%의 객체 추종 기능 구현에 성공했다. 본 작품은 마트 등 일상생활 뿐만 아니라 농업, 물류산업, 레저스포츠 산업 등 다양한 분야에 활용될 것으로 기대된다.

Abstract: In this paper, we implement an object-tracking mobile robot system using an Open CV library and an ultrasonic sensor based on a color conversion deep learning algorithm among the implementation methods of mobile robots. The purpose of the study is to develop a cart that maximizes the convenience of transporting and moving heavy goods by combining automated lift functions with the cart. Raspberry Pi and Arduino were used to implement deep learning-based object tracking and lift automation functions. As a result, it succeeded in implementing a lifting function of 80.0% compared to the initial goal and an object tracking function of 37.5%. This work is expected to be used in various fields such as agriculture, logistics, and leisure sports industries as well as daily life such as marts.

1. 서론

산업혁명이란 기술 발전이 경제 구조의 변화 및 정치, 사회문화 등의 구조 병화를 가져오는 것으로, 증기기관의 발명, 전기, 컴퓨터와 인터넷 등의 등장인 산업혁명에 속한다.⁽¹⁾ 최근에는 인공지능, 빅데이터, 로봇공학 등의 발전이 산업혁명의 성격을 나타내며 4차 산업혁명이라는 이름으로 일상 속 모습을 변화시키고 있다.⁽²⁾ 4차 산업혁명 기술의 종류에는 위에서 언급한 바와 같이 대표적으로 인공지능(AI : Artificial Intelligence), 빅데이터, 사물인터넷(IOT : Internet of Things), 로봇공학 등이 있다.⁽³⁾ 인공지능이

† Corresponding Author, bumjoo@kongju.ac.kr

란 인간의 두뇌가 정보를 처리하듯 컴퓨터 스스로 추론, 학습, 판단을 거쳐 작업하는 시스템을 말한다.⁽⁴⁾ 빅데이터 기술은 디지털 환경에서 생겨난 데이터로 방대한 규모의 정보를 수집 및 처리해 기업의 상품 개발 및 마케팅, 정부의 정책 수립 등에 사용하는 것을 뜻한다.⁽⁵⁾ 사물인터넷은 유형 또는 무형의 객체들이 인터넷 기술을 기반으로 연결되는 것을 말하며 블루투스, 근거리 무선통신(NFC) 등 원격조정 장치들이 이에 속한다. 4차 산업혁명을 대표하는 공학 기술 중 마지막으로 로봇공학이 있다. 로봇공학이란 로봇의 설계 구조, 제어, 지능, 운용 등에 대한 학문으로 4차 산업에서의 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷 등 정보처리 기술의 발전이 로봇공학에 적용되어 큰 발전이 이루어지고 있다.⁽⁶⁾

로봇이란 고전적으로는 사람과 유사한 모습이나 기능을 가진 기계를 뜻한다. 제조공장에서 조립, 용접, 핸들링 등을 수행하는 산업용 로봇이 이에 해당한다. 현대의 로봇은 산업영역을 포함하며 더 나아가 기계장치를 뜻하는 일련의 용어로 사용되어 기계(Machine)와 유사한 의미로 사용되고 있다. 로봇공학의 발전은 자동차, 제조업, 의료, 농경, 서비스, 금융 등 다양한 분야에 변화를 가져오고 있다.⁽⁷⁾

로봇기술 중 이동로봇은 4차 산업 기술의 발전과 함께 관심과 수요가 증가하고 있다. 이동로봇은 대형 물류 센터용 로봇, 군사 분야의 이동로봇, 스포츠 및 레저용 전동카트 등 광범위한 분야에 활용되고 있다.⁽⁸⁾ 최근에는 고령화 사회로의 진입, 장애인의 편의성 및 복지 분야의 관심 증가와 더불어 기술 발전에 따른 삶의 질 향상으로 인한 편의, 서비스 분야의 시장규모 확대에 따라서 서비스 로봇 시장에서도 이동로봇의 사용이 증가하고 있다.⁽⁹⁾ 이를 통해 인간을 대신하여 물건을 목적지까지 이동시키는 이동로봇 기술은 앞으로 적용 분야와 활용성이 점점 증가할 것으로 예측될 수 있다.

주행기술은 이동로봇의 핵심기술 중 하나로, 센서를 이용하여 주변의 위치나 환경의 정보를 입력받아 로봇의 주행 경로 및 속도 등을 제어하는 기술이다. 이동로봇의 주행기술은 센서를 기반으로 얻은 정보를 처리하여 주행방법을 결정하는 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기술, 사전에 입력된 지도와 GPS 정보를 이용하여 주행하는 지도기반 주행기술, 주변 환경의 랜드마크나 사물을 인식하여 주행하는 비지도 기반 주행기술 등이 있으며 이 외에도 다양한 주행기술이 연구되고 있다.⁽¹⁰⁾ 이동로봇의 주행기술 중 SLAM 방식은 다른 주행기술 등과 다르게 미지의 환경에서 다양한 센서를 이용해 위치를 추정하는 방식이다. 이 방식은 데이터베이스 기반 기술이 아니므로 새로운 환경에서 즉각적으로 대응할 수 있으며, 기본 데이터베이스의 양이 적어 접근성이 높다는 장점을 갖고 있다.⁽¹¹⁾ SLAM 방식 주행기술의 구현방법에는 RFID(Radio Frequency Identification) 태그를 사용한 방식, 2D Lidar 센서 이용 방식, 라즈베리파이 카메라 기반 Open CV 라이브러리 활용 기법 등이 있다. 그중 Open CV 라이브러리 활용 기법은 라즈베리파이와 아두이노를 사용하여 조향 및 속도제어를 수행한다. 이 방법은 동작 및 제어기능을 쉽게 구현할 수 있고 단편화된 프로그래밍으로 다양한 응용 및 수정방법이 존재한다는 장점을 갖고 있다.⁽¹²⁾

위에 언급한 바와 같이 4차 산업 기술에 대한 관심은 꾸준히 증가하는 추세이며, 동시에 기술의 연구가 진행됨에 따라 관련 분야의 발전 또한 빠르게 진행되고 있다. 대표적인 4차 산업기술로 분류되는 항목 중 하나인 로봇기술 또한 인공지능, 빅데이터 등 기술과 접목되어 빠르게 변화하고 있으며, 일상생활 속 많은 부분에서 변화를 가져오고 있다. 나아가 고령 인구 및 장애인을 위한 설계인 유니버설 디자인에 함께 접목되어 일상 편의, 서비스 및 복지 분야에 확대 적용되고 있다. 개인별 선호하는 위치, 높이 등을 조절할 수 있는 시스템을 위해 각종 리프팅 시스템이 주목받고 있으며, 가구, 산업현장, 건설 현장 등 다양한 분야에 사용되고 있다. 따라서 우리는 인공지능을 결합한 이동로봇의 주행기술을 활용해 고령 인구 및 사용자의 편의성을 증대시키기 위한 방안으로 객체 추종 기능과 자동리프팅 기능을 구비한 ‘객체 추종 시스템을 적용한 리프팅 카트’를 제작 및 구현해 보고자 한다.

2. 설계핵심내용

2.1 연구 목적

객체 추종 방식을 적용한 기술은 군사용 이동로봇, 대형물류센터용 로봇, 레저 및 스포츠 로봇 등 다양한 분야에 사용되고 있다. 그중 우리는 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 마트에서의 중량물 운반에 도움을 주는 이동식 카트를 제작해보고자 한다.

선행기술로는 객체 추종 기능을 구비한 로봇⁽¹³⁾, 쇼핑카트⁽¹⁴⁾, 쇼핑카트 하측면 상승 및 하강 장치⁽¹⁵⁾ 등이 있다. 객체 추종 기능을 구비한 로봇의 경우 사용자가 소지하고 있는 RFID 태그로부터 정보를 받아 운행을 진행하며, 객체와 일정 거리를 유지하며 운행하는 이동로봇이다.⁽¹⁶⁾ 해당 기술의 경우 RFID 기술을 활용하기 때문에 사용자가 송신기를 따로 구비해야 하며 원거리 송수신을 위한 RFID 태그의 경우 가격이 비싸다는 단점이 있다. 쇼핑카트의 경우 적재함에 물건을 적재하거나, 적재된 물건을 내릴 때 사용자의 허리 부담을 최소화시킬 수 있는 효과가 있는 카트이다. 카트 프레임에 결합된 적재함 내에 X자형 승강링크와 바닥판이 위치한다. X자형 승강링크는 공압실린더에 의해 작동하며 페달을 통해 공기가 유입되면 바닥판이 상승하는 방식을 사용하고 있다. 마지막으로 쇼핑카트 하측면 상승 및 하강 장치가 있다. 해당 장치는 위치제어 센서부가 쇼핑카트 내의 물건의 위치를 감지하고 상승 및 하강 동작을 수행하여 물건의 이동을 원활하게 하는 장치이다. 위치제어방법의 경우 랙과 피니언을 사용해 상승 및 하강을 제어하는 방식을 사용하고 있다.

본 연구에서는 딥러닝 기반의 색 변환 알고리즘 및 초음파 센서를 적용한 방식으로 객체 추종 이동로봇을 구현하며, 리드 스크류 및 시저 구조를 활용한 중량물 자동 승강 제어 기술을 함께 결합한 객체 추종 리프팅 카트 시스템을 제작하는 것을 목적으로 한다. 딥러닝 색 변환 알고리즘을 적용한 객체 추종 방식은 기존 RFID 방식과 달리 송수신기가 필요 없으며⁽¹⁷⁾ 초음파 센서를 활용한 사용자와 카트의 거리 조절을 통해 기존 객체 추종 카트보다 정확한 제어가 가능하다. 리드 스크류 및 시저 구조를 활용한 리프트 제어는 기존 실린더, 랙과 피니언 방식 대비 공간 활용성이 좋고 소음이 적으며 저렴하다.⁽¹⁸⁾ 이러한 객체 추종 카트에 리드 스크류 및 모터를 활용한 시저 구조 리프팅 기능을 결합하여 사용자로 하여금 중량물 운반 시 편의성을 제공할 수 있는 카트를 구현하는 것을 연구의 목적으로 한다.

2.2 이론적 배경

객체 추종 시스템

객체 추종 카트는 카트 전방에 배치된 초음파 센서가 사람과의 거리를 측정하여 카트가 사람과 근접할 수 있도록 한다. 이후 학습된 사용자의 가장자리(Edge)를 인식한다. 인식된 정보 값을 좌, 우 1개씩 부착된 DC 모터에 전송하여 전/후진 및 좌우 조향을 실시하여 사용자를 추종한다. 이후 초음파 센서가 40~45cm의 일정 거리를 유지하며 카트가 사용자를 추종하는 데에 도움을 준다.

초음파 센서 거리측정

우선 작품의 전방에 배치된 초음파(ultrasonic) 센서는, 초음파를 일정 시간 발생시킨 뒤 물체에 반사되어 돌아오는 신호를 검출하여 그 시간 차로 거리를 측정한다.⁽¹⁹⁾ Fig. 1은 초음파 센서와 객체 사이의 거리측정 구성도를 나타낸다.

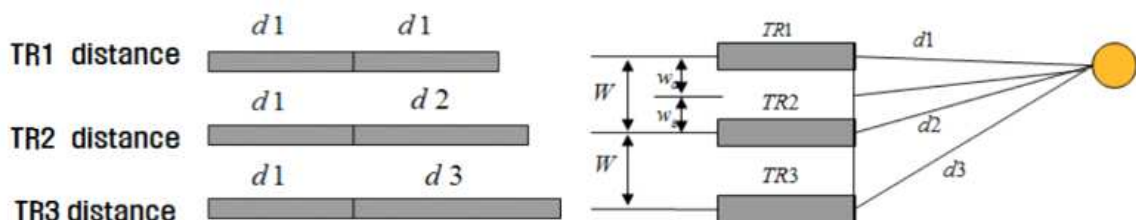


Fig. 1 Configuration diagram of distance measurement between ultrasonic sensors and specific objects⁽³¹⁾



Fig. 2 RGB scale to Image Binary

Fig. 2에서 향후 카트 전방에 배치될 초음파 센서가 3개이기 때문에 그림에 $TR1$, $TR2$, $TR3$ 로 나타내었다. 초음파 센서(TR)의 초음파 송수신 시간(t)와 초음파 속도(c), 초음파 센서와 장애물까지의 거리(d)를 가정할 때 초음파 센서($TR1$)와 객체까지의 거리는

$$d_1 = \frac{t_1 c}{2} \dots\dots (1)$$

초음파 센서($TR2$)와 객체까지의 거리는

$$d_2 = c \left(\frac{t_1 - t_2}{2} \right) \dots\dots (2)$$

로 나타낸다.

$TR1$ 의 중심선과의 수직인 면과 $TR1$ 와 객체 사이의 거리(d_1) 사이의 각 a 는 삼각함수의 공식에 의해

$$a^2 = a_2^2 + w^2 - 2d_1 w \cos a \dots\dots (3)$$

$$a = \cos^{-1} \left(\frac{((t_1 c / 2)^2 + w^2 - [c(t_2 - t_1 / 2)]^2)}{t_1 c w} \right) \dots\dots (4)$$

여기서 w 는 $TR1$ 과 $TR2$, $TR2$ 와 $TR3$ 의 거리이다.

d_1 과 d 사이의 각 $\theta = 90^\circ - a$ 이므로

$$d = \left(\frac{t_1 c}{2} \right) \cos(90^\circ - a) \dots\dots (5)$$

이고 d 와 초음파 센서 사이의 거리는

$$w_a = \left(\frac{t_1 c}{2} \right) \cos a, w_b = w - w_a \dots\dots (6)$$

이다. 기준점으로부터 객체의 카트의 폭(횡)방향으로 거리 l_w 와 객체까지의 실제로 떨어진 거리 l 은 아래 식(7),(8)으로 유도된다.

$$l_w = w + w_b \dots\dots (7)$$

$$l = d \cos a \dots\dots (8)$$

특정 객체 탐지 및 추종 알고리즘 설계

영상처리(Image Processing)를 통해 사전에 특정된 객체의 인식, 조향제어 및 속도제어 알고리즘을 설계한다. 실시간으로 제공되는 특정 객체의 RGB Scale의 영상(Image)의 노이즈(Noise)를 없애고 이미지 연산처리 속도와 정확성을 향상시키기 위하여 Gray Scale로 변환한다. 이후 이미지의 Edge를 쉽게 검출하기 위하여 가우시안 필터(Gaussian Filter)로 이미지의 Noise와 고주파 성분을 제거한다. 또한 Gray Scale에서 0~255 밝기 중 적당한 임계값을 설정하여 흑(0), 백(255)으로 이진화(Binary)를 적용한다.⁽²⁰⁾ 이는 이

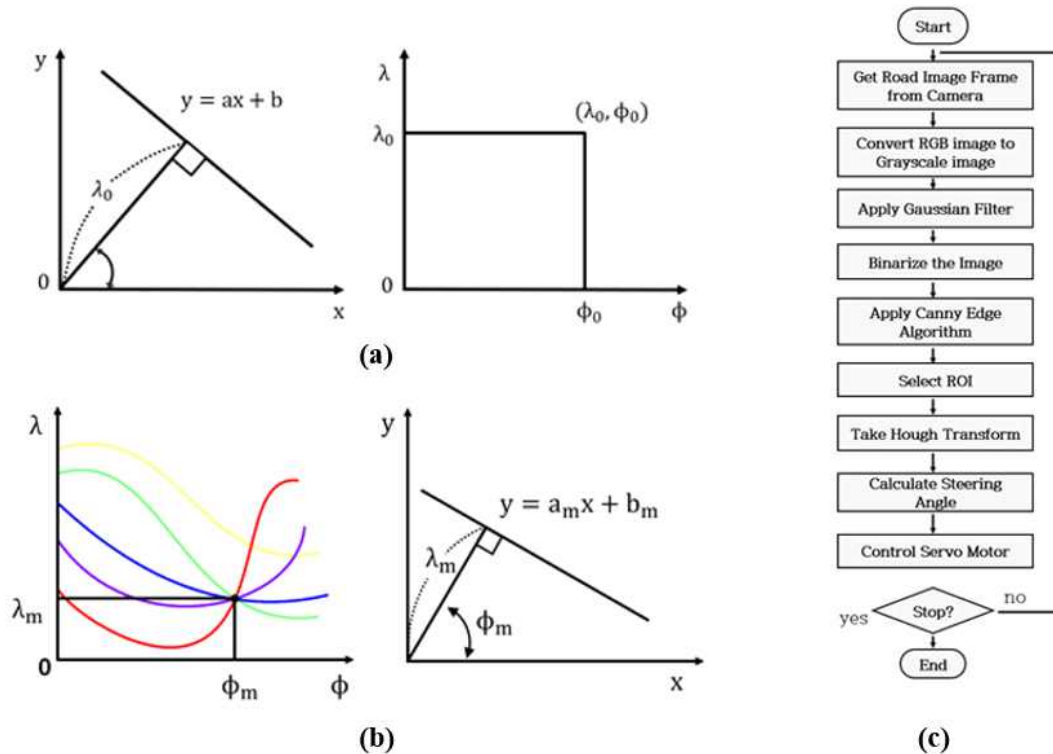


Fig. 3 a) Object Follow Algorithm b) Display of right-angled and polar coordinate systems for straight lines c) Straight line equation represented by polar coordinate system

후 적용할 Canny Edge 알고리즘의 처리속도 향상에 도움을 준다. Fig. 2에 객체 추종 카트의 주된 사용 대상인 고령인의 뒷모습을 원본 이미지로 하여, 이진화까지의 일련의 과정을 나타내었다. 마지막으로 이미지에 낮은 에러율, 정확한 Edge 위치, 응답 최소화를 목표로 하는 케니 에지(Canny Edge)를 적용하여 입력된 이미지의 가장자리를 검출한다. 가장자리 검출 후 다음 과정은 Fig. 3c와 같다. 가장자리가 검출된 이미지 중 배경을 제외한 관심 있는 객체의 뒷모습을 ROI(Region of Interest)으로 설정하고, 하프 변환(Hough Translation)으로 직선들을 검출한다.⁽²¹⁾ 선은 점으로 이루어져 있어 직각 좌표계에서 직선의 방정식 $y = ax + b$ 를 이용하여 (x, y) 좌표에 있는 모든 점들에 대한 직선을 표시하고 극 좌표계 (λ, ϕ) 로 변환, 표시한다. Fig. 3a는 직선에 대한 직각 좌표계와 극 좌표계에서 표시를 보인다. 그러므로 임의의 점을 지나는 직선은 식(9)와 같은 형태로 표현할 수 있다. 이때 ϕ 의 범위는 직선이 $[0, \pi]$ 와 $[\pi, 2\pi]$ 에서 동일하게 나타나므로 $[0, \pi]$ 로 결정한다.

$$x \cos\phi + y \sin\phi = \lambda \text{ (단, } 0 \leq \phi \leq \pi) \dots\dots(9)$$

극좌표계로 변환한 직선의 방정식인 식(9)를 통해 나오는 무수히 많은 곡선은 Fig. 3b와 같이 그려진다. 이때, n 개의 곡선이 한 점에서 만나면 n 개의 점이 하나의 직선 위에 있다는 뜻이 되므로 Fig. 3b와 같이 (λ, ϕ) 위의 교점의 좌표를 가지고 (x, y) 평면에 직선을 그리면 n 개의 점을 가지는 직선을 Fig. 3b와 같이 그릴 수 있다.

위 과정을 통해 선 위의 점의 개수를 파악하여 설정한 임계값 이상의 개수를 가질 때만 직선으로 인식한다.

하프 변환을 이용하여 검출된 객체의 기울기를 기반으로 객체를 검출하는 알고리즘은 Fig. 4와 같다. 객체의 중앙을 기준으로 왼쪽 Edge, 오른쪽 Edge로 영역 2개로 나눈다. 다음으로, 각 Edge에서 검출된 기울기와 y 절편의 평균값을 계산하여 Edge의 시작점 (x_1, y_1) , Edge의 끝점 (x_2, y_2) 좌표를 받아온다. 이때 왼쪽 Edge의 경우 좌표는 $x_2 > x_1, y_2 < y_1$ 로 나타나고 이때 식(10)에 의해 음의 기울기를 가진다.

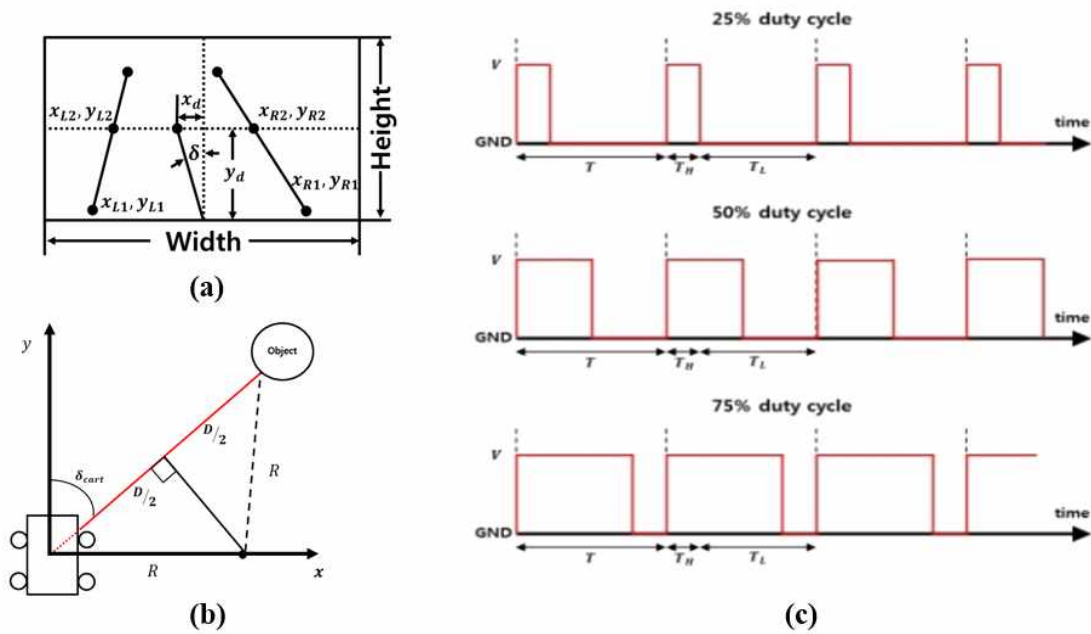


Fig. 4 a) Positive and reverse rotation of the cart wheel motor based on the slope of the object b) Output changes according to duty cycle ratio c) Create a path for the cart based on the relative position of the object

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \dots\dots (10)$$

반대로 오른쪽 Edge의 경우 좌표가 $x_2 < x_1$, $y_2 < y_1$ 로 나타나고 식 (10)에 의해서 양의 기울기를 가진다. $x_2 = x_1$ 와 같은 경우에는 기울기가 무한대라고 판단하고 카트는 직선 주행을 유지한다.

해당 과정을 거치면 왼쪽 Edge들의 시작점 (x_{L1}, y_{L1}) 과 끝점 (x_{L2}, y_{L2}) 들, 오른쪽 Edge들의 시작점 (x_{R1}, y_{R1}) 과 끝점 (x_{R2}, y_{R2}) 들을 각각 얻을 수 있다. 이 시작점과 끝점들로부터 주행 벡터를 Fig. 4a로 표시할 수 있으며, 객체의 중심과 왼쪽 Edge에 대한 x 좌표 사이의 거리를 x_d , y 좌표 사이의 거리를 y_d 로 정의한다. 이때, 검출된 왼쪽 Edge의 시작점과 끝점을 이용하여 조향각을 계산할 수 있다. 조향각 δ_{cart} 값은 식 (11)을 통해 얻을 수 있다.

$$\delta_{cart} = \tan^{-1}\left(\frac{x_{L2} + x_{R2} - Width}{2y_d}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{x_d}{y_d}\right) \dots\dots (11)$$

PWM 제어를 이용한 모터의 속도 조절

PWM(Pulse Width Modulation) 제어는 전압을 제어하기 위한 방법으로 펄스(Pulse)의 폭을 조정하여 부하 전력의 크기를 조절하는 방식이다. 펄스는 파동이나 일정한 주기로 반복되는 형상에서 발생하는 변화이며 신호 처리 분야에서 펄스는 보통 신호보다 강도가 매우 강하면서 지속 시간이 매우 짧은 신호를 말한다. 매우 짧은 동안만 흐르는 전류, 펄스의 유무를 두 값으로 대응시킴으로써 정보 전달의 수단으로 사용할 수 있다. 펄스의 폭을 조절하여 필요한 출력전력에 따라 ON/OFF의 비율, 듀티 사이클(Duty Cycle)을 변화시킬 수 있다.

Fig. 4c에서는 Duty Cycle의 비율에 따른 출력의 변화를 볼 수 있다. 펄스의 폭이 넓어짐에 따라 출력되는 시간 또한 증가한다. 이는 모터의 속도, 토크의 증가를 의미하며, 반대로 펄스의 폭이 좁아지게 되면 출력에 해당하는 모터의 회전속도와 토크 등의 값은 작아지게 된다. 듀티 사이클은 시스템의 신호가 살아 있는 특정 기간의 백분율로 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.⁽²²⁾

$$Duty\ Cycle(\%) = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \cdot 100 = \frac{T_{on}}{T_{total}} \cdot 100 \dots\dots (12)$$

위 식에서 T_{on} 은 일정한 주기 내에서 시스템에 사용되는 시간, T_{off} 는 사용되지 않는 신호의 시간을 의미한다. 일반적으로 모터는 코일에 흐르는 전류와 속도가 정비례하기 때문에 모터의 구동 전압을 변화시키면 속도를 제어할 수 있다. 작품에서는 DC모터의 제어과정에서 PWM제어방식을 활용하여 작품의 좌우 및 전후진 조향을 구현한다.

카트-객체 간 경로생성을 통한 카트의 속도 계산

실제 환경에서 객체를 추종하기 위해 곡률궤적을 통한 경로를 Fig. 5와 같이 임의로 생성하였다. 앞서 계산한 δ_{cart} 만큼 기울어진 방향에 거리 D 만큼 떨어진 위치에 객체가 위치한 경우, 회전반경 R 은 Fig. 4b와 같이 나타난다. 회전반경 R 은 앞바퀴에 각각 1개씩 체결된 DC 모터의 속도에 영향을 준다. 또한 앞서 정의한 y_d 는 객체와 카트 간의 상대 거리(D)이고, x_d 는 조향각에 직접적인 영향을 주는 값이다. 이러한 값을 이용하여 카트의 선속도(V_{cart})와 회전각속도(w_{cart})에 관한 서로 다른 제어이득을 사용한 PI 제어를 설계 적용한다.

$$V_{cart} = P_{v-gain} (D_{cart} - D) + I_{v-gain} \int (D_{cart} - D) dt \dots\dots (13)$$

$$w_{cart} = P_{\theta-gain} (\theta_{cart} - \theta) + I_{\theta-gain} \int (\theta_{cart} - \theta) dt \dots\dots (14)$$

여기서 D_{cart} , θ_{cart} 는 원하는 카트의 상대 거리와 상대 각도이며, 사용자가 원하는 값으로 변경할 수 있다. D , θ 는 카트와 객체 간의 계산된 상대 거리와 상대 각도 값이다.

계산된 V_{cart} , w_{cart} 로 좌·우측 모터의 속도 V_L , V_R 이 유도된다. 카트의 주행 곡선은 두 모터의 속도비에 의해 결정된다.^[23]

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| R : 회전반경 [m] | δ_{cart} : 카트와 객체 사이 각도 [°] |
| D : 좌표계로 계산된 카트-객체 사이 거리 [m] | V_L : 좌측 모터 속도 [m/s^2] |
| l : 초음파 센서로 측정된 카트-객체 사이 거리 [m] | V_R : 우측 모터 속도 [m/s^2] |
| w_{cart} : 카트의 회전 각속도 [rad/s^2] | V_{cart} : 카트의 선속도 [m/s^2] |
- 회전반경 R 은 다음과 같이 정의 된다.

$$R = \frac{D}{(2 \cos(90^\circ - \delta_{cart}))} \dots\dots (15)$$

객체(Object)의 위치 좌표는, Fig. 6에 따라 $D(x_d, y_d)$ 이다.

$$D = \text{atan}\left(\frac{y_d}{x_d}\right) \dots\dots (16)$$

초음파 센서로 측정된 실제의 카트-객체 간 거리 l 식 (7)과 식 (12)에 의해 계산된 V_{cart} , 회전 반경 R 식 (14)를 통해 좌·우측 모터의 속도 V_L , V_R 가 유도된다.

$$V_R = \left(1 + \frac{l}{2R}\right) V_{cart} \dots\dots (17)$$

$$V_L = \left(1 - \frac{l}{2R}\right) V_{cart} \dots\dots (18)$$

2.3 역학이론

모터역학

모터는 전동기라고도 하며 전류가 흐르는 도체가 자기장 속에서 받는 힘을 이용하여 전기 에너지를 역학적 에너지로 바꾸는 장치이다.[22] 입력 전력 방식에 따라 AC모터, DC 모터로 구분한다. DC 모터는

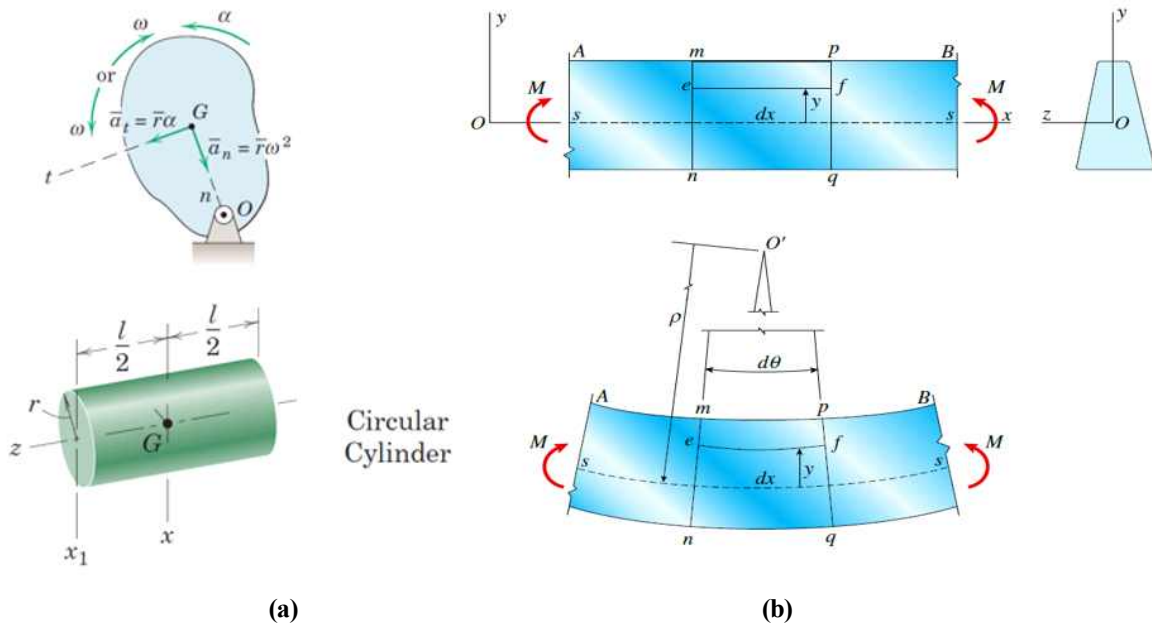


Fig. 5 a) Moment of inertia of circular axis with respect to fixed axis b) Deformation of beams in pure bending conditions

양방향으로 동작하며 전류의 방향에 따라 회전 방향이 결정된다. DC 모터의 회전속도는 코일에 흐르는 전류와 비례하며, DC 모터의 구동전압을 크게 줄수록 회전속도 또한 빨라진다. 모터의 용량은 하중, 속도, 길이 등을 고려한 토크에 의해 결정된다.⁽²⁴⁾ 모터의 출력에 따라 안정성 및 효율이 좌우되기 때문에 적절한 모터의 선정이 중요하다.

바퀴 구동 모터

전체적인 카트의 움직임을 담당하는 모터로 구동부의 모터 성능이 충분하지 않다면 원활한 성능을 구현할 수 없으므로 안전율을 고려한 토크의 선택이 필요하다. 몸체 구동 토크를 계산하기 위해 카트의 바퀴는 Fig. 5a와 같은 원통형 관성체로 간주할 수 있다. 바퀴는 고정축을 중심으로 회전운동을 하므로 고정축에 대한 관성체의 회전으로 생각할 수 있다. 고정축을 중심으로 회전하는 경우 토크 T 는 식(19)과 같이 표현할 수 있다.⁽²⁵⁾

$$T = J \times \alpha \quad \dots\dots (19)$$

위 식에서 J 는 질량 관성 모멘트, α 는 각가속도이다. 원통형 관성체의 질량 관성 모멘트는 식(20)와 같이 나타낼 수 있다.

$$J = \frac{1}{2}mr^2 \quad \dots\dots (20)$$

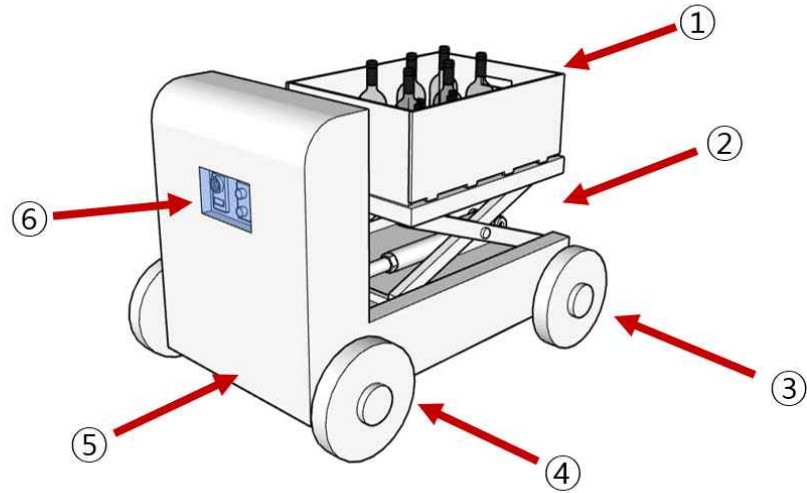
위 식에서 m 은 관성체의 질량이며 r 은 원통의 반지름이다. 각가속도 α 는 식(21)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \frac{w}{t} = \frac{V}{r \times t} \quad \dots\dots (21)$$

위 식에서 w 는 각속도, t 는 시간, V 는 속도를 나타낸다. 최종적으로 계산된 토크 값에 안전율을 고려해 적절한 모터를 선정한다.

몸체의 강성

카트의 몸체는 모터, 배터리 그리고 리프트 등 다양한 장치들이 부착된다. 몸체는 리프트를 결합하여 사용하므로 목표 하중을 견딜 수 있도록 견고하게 제작되어야 한다. 몸체의 가해지는 하중은 Fig. 5b와 같이 굽힘 응력으로 전달되며 이를 통해 인장강도와 비교하여 재료의 적합성 및 안정성을 판별한다. 최



번호	부품명	번호	부품명
1	바스켓	4	DC 모터 (바퀴 제어)
2	리프트 및 모터	5	몸체(바디)
3	바퀴	6	카메라 모듈, 초음파 센서

Fig. 6 Part Configuration Diagram of Object Follow Lifting Cart

대 굽힘 응력은 식(22)과 같이 표현할 수 있다.⁽²⁶⁾

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot e}{I} = \frac{M_{\max}}{Z} \dots\dots (22)$$

M_{\max} 는 최대 굽힘 모멘트, e 는 최외각 거리, I 는 단면 2차 모멘트이다. 최외각 거리와 단면 2차 모멘트는 극 단면계수로 나타낼 수 있으므로 최대 굽힘 응력은 최대 굽힘 모멘트와 극 단면계수의 비로 나타낼 수 있다. 최대 굽힘 모멘트는 몸체를 단순지보, 하중을 분포하중으로 가정한다면 식(23)와 같이 표현할 수 있다.

$$M_{\max} = \frac{wl^2}{8} \dots\dots (23)$$

w 는 단위 길이당 하중, l 은 몸체의 길이이다. 직사각형 단면의 극 단면계수는 식(24)와 같이 나타낼 수 있다. 아래의 식에서 b 는 몸체의 폭, h 는 몸체의 높이를 나타낸다.

$$Z = \frac{bh^2}{6} \dots\dots (24)$$

2.4 개념설계

1) 장치 개념도

Fig. 6에서는 Google Sketchup 프로그램을 이용하여 디자인한 장치의 개념설계도이다. 객체 추종 리프팅 카트의 부품 구성은 위 그림과 같이 물건을 담을 수 있는 바스켓, 바스켓을 위아래로 승하강 할 수 있도록 하는 시저 구조의 리프트와 모터, 장치 전체를 이동할 수 있도록 하는 바퀴, 객체 추종 인식 신호에 따라 제어되는 DC 모터, 장치 전체의 부품 및 구성품들을 지지하는 몸체, 외부의 객체 추종 신호

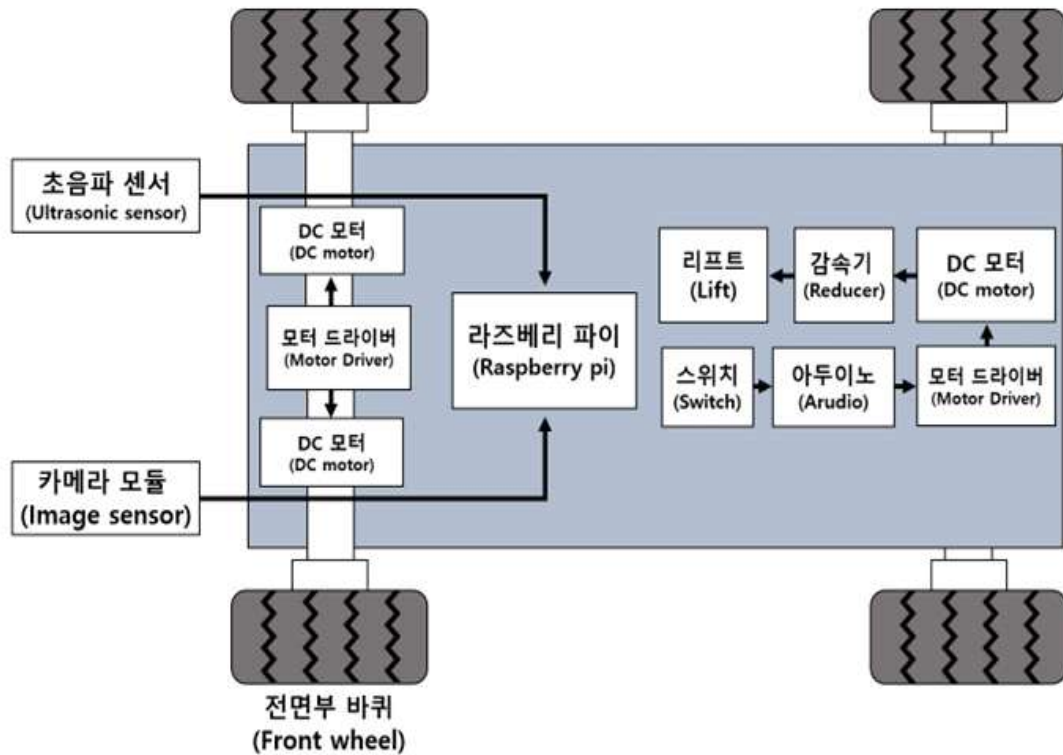


Fig. 7 System Overview of Object Follow Lifting Cart

를 받아 바퀴를 제어하고 리프트의 승하강 제어 버튼 등이 위치하는 카메라 모듈, 초음파센서 등이 위치하는 제어부로 구성된다.

2) 설계제약조건

장치의 설계에 있어 고려해야 할 설계제약 조건으로 기능성, 예술성, 사회성, 경제성, 윤리성, 현실적 설계제약 조건으로 나누어 총 6가지 항목을 고려하였다. 기능적 측면으로는 정확한 작동 및 사용자의 편의 극대화를 위한 방안으로 설계를 진행하였다. 먼저 사람의 보행속도와 비슷한 수준의 카트 이동속도(1m/s)의 구현 및 충분히 빠른 리프트 상승속도(0.1m/s)를 구현하기 위해 충분한 출력을 가지는 DC 모터를 역학계산을 통해 선정하였다. 예술적 측면에서는 장치의 외관 제작 시 외부 케이스의 제작을 통해 장치의 회로나 배선을 보호함과 더불어 가시성을 확보할 수 있도록 설계하였다. 사회적 측면의 경우 몸이 불편한 노인, 또는 허리 부상자들과 같이 중량물을 옮기는데 있어 도움이 필요한 인원들을 위한 자동 리프팅 기능을 추가하여 설계하였다. 또한, 자동 리프팅 기능의 경우 충분히 빠른 리프팅 속도를 구현하여 일반인들에게 있어서도 편안한 자세로 무거운 물건을 옮길 수 있는 편의성을 제공하는 수단으로 사용될 수 있다. 경제성의 경우 카트의 물품 운반 시 불필요한 전력 낭비 및 불필요한 움직임을 최소화할 수 있도록 정확한 객체 추종 방식을 사용하며, 장치의 경량화를 위해 몸체 재질에 금속성분이 아닌 아크릴을 재료로 사용하고 이를 통해 몸체의 부식과 같은 손상방지도 가능하도록 설계하였다. 윤리적 측면에서 객체 추종 카트의 사용을 통해 사회적 약자들을 위한 도움이 방안이 될 수 있으며 일반인들에게는 편의를 제공하는 시스템으로 윤리적 관점에서 문제가 없도록 설계했다. 마지막으로 현실적 설계제약조건에서는 금액적 및 시간적 측면에서 실사이즈의 카트 제작을 위한 재료 구입비 및 제작 시간의 한계가 존재하므로 상용 마트용 카트 대비 1/8치수로 제작 및 설계하였다. 위의 설계제약조건에서 언급한 사항들은 모두 상세설계 및 제작단계에 모두 반영하였다.

3) 시스템 개요도

Fig. 7에서 나타난 객체 추종 리프팅 카트의 전체 시스템 개요는 다음과 같다. 객체 추종 리프팅 카트

Table. 1 Spec Sheet of object tracking lifting cart

객체 추종			
작품 전체크기	이동속도	작품전체하중	구동시간
400 × 600 × 315mm ³	1m/s	25kg	2hour
조향각	유지거리	객체 인식 시간	객체 인식 정확도
30°	40cm	< 2s	> 90%

리프트 구동			
바스켓 크기	리프트 하중	리프트 상승속도	최대상승높이
350 × 470 × 240mm ³	5kg	0.1m/s	25cm

의 기능은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫 번째로 사용자를 따라다니며 카트를 이동하게 하는 구동부이다. 구동부의 경우 초음파센서 및 카메라 모듈이 사용자와의 거리 및 방향 정보를 수집하게 되며 이는 라즈베리 파이를 이용해 연산 및 계산된다. 라즈베리 파이에서 계산 및 연산이 진행된 이후에는 제어정보가 DC 모터로 전달되어 카트의 이동 동작이 실행되며 이 과정이 계속 반복되며 카트가 운행된다. 두 번째로는 리프팅 기능부이다. 리프팅 기능부의 경우 리프트 조작 버튼을 이용해 상승 및 하강 정보를 입력하게 되면 리프트에 연결된 DC 모터의 정회전 및 역회전 동작이 이루어지고, 이 힘은 리드스크류를 통해 전달되어 시저구조의 리프트를 통한 승 하강 제어가 실행된다. 위 두 가지의 기능이 결합되어 함께 이루어지는 것이 객체 추종 리프팅 시스템이다.

목표 Spec sheet

객체 추종 리프팅 카트의 정확하고 실용적인 사용을 위한 기능 스펙을 표로 정리하면 아래 Table. 1 과같이 정리할 수 있다. 작품의 전체크기의 경우 대형 마트에서 사용하는 카트의 실제 사이즈의 1/8치수로 평균을 낸 값이며, 이동속도의 경우 사람의 평균 보행속도인 3~4km/h의 환산값이다. 리프팅 하중의 경우 1/8 스케일에서 5kg의 하중을 리프팅 하는 것을 목표로 하며, 작품의 전체 하중은 30kg으로 설정한다. 목표 구동 시간은 2시간이며, 리프트의 상승속도는 1/8 스케일에서 10cm/s를 목표로 하며 리프트의 최대 상승 높이의 경우 25cm로 한다. 각각의 목표값들에 대한 달성 여부는 이후 제작 및 결론부에서 목표 달성 여부 및 요인분석을 다루도록 한다.

2.5. 상세설계

1) 역학계산

역학계산 list up

Table. 2는 객체 추종 리프팅 카트의 제작을 위한 역학계산 리스트를 나타낸다. 첫 번째로 리프트에 가해지는 하중을 고려해 필요한 모터의 토크 값을 산출한다. 리프트와 모터는 리드 스크류와 커플링으로 체결되어 있으며, 모터의 동력은 곧 회전력으로 전달된다. 나사의 지름, 피치 등을 고려해 리프트와 시저 구조에서의 힘 및 동력 등을 계산한다.

두 번째로는 전체 하중을 고려한 바퀴 모터의 토크 계산이다. 구동 모터는 관성체로 가정할 수 있는

Table. 2 Dynamics calculation List Up

역학계산 List up		
1	리프트 모터 토크	리프트에 가해지는 하중을 고려한 모터 토크 계산
2	바퀴 모터 토크	모터 토크 식을 활용한 바퀴 모터 토크 계산
3	재료의 적합성	굽힘 강도 계산 및 해석을 통한 재료의 적합성 판단

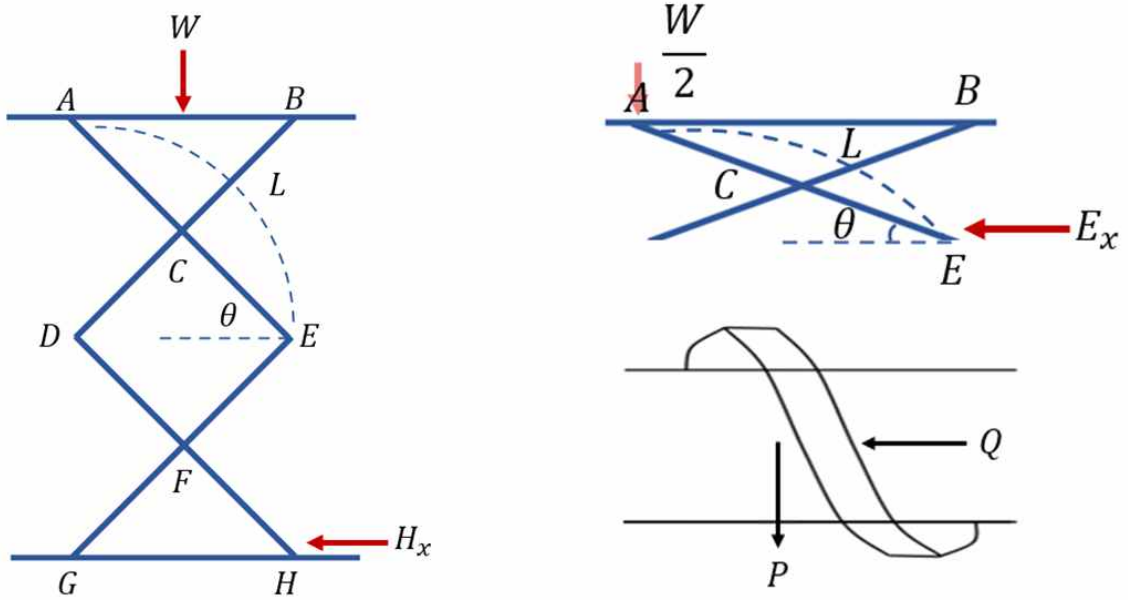


Fig. 8 Free Body Diagram for scissors Lift

바퀴에 연결되어 있으며 목표 속도에 도달하기 위해서는 가속 토크를 요구한다. 모터는 가속 구간일 때 가장 높은 출력을 요구하며 최대 출력은 가속 구간에서 발생하므로 이 값을 계산하여 모터 선정에 반영한다.

마지막으로 몸체 재료의 적합성 판단이다. 재료는 고유한 성질을 통해 비중, 내구성, 강도, 탄성 등 각기 다른 기계적, 물리적 성질을 가진다. 하중을 견디기 위해서는 항복강도 및 인장강도가 높은 재질을 선택하는 것이 유리하며, 강성이나 강도가 크더라도 무게와 하중에서 불리할 수 있다. 따라서 목표 하중을 견딜 수 있는 재료 중 가장 가볍고 강성이 좋은 경제적인 재료를 계산을 통해 선정한다. 이후 시스템에서 몸체에 가해지는 하중을 고려해 굽힘 강도의 계산 및 역학 시뮬레이션의 해석을 통해 재료의 적합성을 판단한다.

리프트 모터 구동 토크

$$H_x = 2 \times \frac{W}{2} \times \tan\theta \quad \dots\dots(25)$$

$$P = \left(\frac{\mu\pi d + p}{\pi d - \mu p} \right) Q \quad \dots\dots(26)$$

$$T = P \times \frac{d}{2} \times S \quad \dots\dots(27)$$

θ : 리프트 시저의 각도 [deg]

μ : 마찰계수

W : 리프트에 가해지는 최대하중 [N]

d : 리드 스크류의 지름 [mm]

p : 리드 스크류의 피치 [mm]

P : 회전력 [N]

Q : 나사 축 방향

하중 [N] S : 안전율

토크 값을 구하기 위해 리프트의 리드 스크류를 회전시키는 회전력을 구한다. 회전력을 도출하기 위해 나사 축 방향 하중을 구할 필요가 있으며 이는 리프트 시저 구조해석을 통해 도출할 수 있다. 리프트의 시저 구조를 자유 물체도로 표현하면 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있다. C점에서의 모멘트 평형 방정식을 통해 E_x 를 유도하면 식(28)과 같이 유도할 수 있다.

$$\sum M_c = 0; \frac{W}{2} \times \frac{L}{2} \times \cos\theta - E_x \times \frac{L}{2} \times \sin\theta = 0$$

$$E_x = \frac{W}{2} \times \frac{1}{\tan\theta} \dots\dots(28)$$

시저 구조에서 힘은 단순히 시저 구조의 개수에 비례하므로⁽²⁷⁾ H_x 는 식(25)와 같이 표현할 수 있다. 무게 W 는 리프트에 가해지는 최대하중 5kg이며, 각도 θ 는 시저 구조의 최소각도 10°이다.

$$H_x = 2 \times \frac{5kg \times 9.81m/s^2}{2} \times \tan 10^\circ$$

$$= 278.2N$$

이를 통해 H점에 가해지는 x방향 힘은 약 278.2N이며 이는 Fig. 11에서 나사 축 방향 하중 Q와 반력 관계로 같은 값을 갖게 된다. 회전력 P는 식(26)를 통해 유도할 수 있으며 이는 나사 축 방향 하중으로부터 마찰을 고려한 식이다.

$$P = \left(\frac{0.5 \times \pi \times 8mm + 1.5mm}{\pi \times 8mm - 0.5 \times 1.5mm} \right) \times 278.2N$$

$$= 160.5N$$

마찰계수는 강(steel)과 강의 마찰계수인 0.5이며, 리드 스크류는 M8 사각 나사이므로 지름은 8mm이다. M8 나사의 KS규격 피치는 1.5이므로 값을 대입하여 회전력 P를 구하면 약 160.5N의 값이 나오게 된다. 회전력을 통해 토크를 구하는 식은 식(27)와 같다.

$$T = 160.5N \times \frac{8mm}{2} \times 1.5$$

$$= 0.963N \cdot m$$

지름은 8mm, 안전율 1.5를 고려한 최종 리프트를 구동하기 위한 모터 토크는 0.963N·m로 구할 수 있다.

바퀴 구동 토크

$$T_m = (T_a \pm T_e) \times S \dots\dots(29)$$

$$T_a = J \times \alpha = \frac{1}{2} mr^2 \times \frac{V}{r \times t} \dots\dots(30)$$

$$T_e = \frac{\mu Wd}{4} \dots\dots(31)$$

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| T_m : 동륜 축의 전체 모터 토크 [N·m] | r : 관성체의 반지름 [cm] |
| T_a : 관성 부하 토크 [N·m] | V : 속도 [m/s] |
| T_e : 마찰 부하 토크 [N·m] | t : 가속 시간 [s] |
| J : 질량 관성모멘트 [$kg \cdot m^2$] | μ : 관성체의 마찰계수 |
| α : 각가속도 [rad/s^2] | W : 전체 질량 [kg] |
| m : 관성체의 질량 [kg] | d : 관성체의 지름 [cm] |
| S : 안전율 | |

바퀴라는 관성체를 구동하는 경우 Fig. 9와 같은 경우로 간주할 수 있으며, 이 경우 모터는 가속 구간, 등속 구간, 감속 구간을 거쳐 작동하게 된다. 동륜 축의 전체 토크는 가속 구간에서는 관성 부하 토크와 마찰 부하 토크의 합으로 표현할 수 있고 등속 구간에서는 마찰 부하 토크만으로 표현되며, 감속 구간에서는 관성 부하 토크와 마찰 부하 토크의 차로 표현된다. 따라서 동륜 축의 전체 토크는 가속 구간에서 가장 큰 값을 가지게 되므로 가속 구간에서의 토크 값을 계산하여 모터 토크를 계산한다. 관성 부하 토크는 식(30)을 통해 계산할 수 있다.⁽²⁸⁾

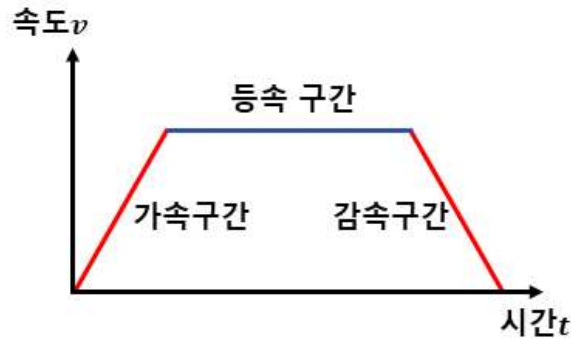


Fig. 9 Torque required by section of DC motor⁽⁶⁾

$$T_a = J \times \alpha = \frac{1}{2} \times 12.5kg \times 6.35cm^2 \times \frac{1m/s}{6.35cm \times 5s}$$

$$= 0.81kg_f \cdot cm = 0.079N \cdot m$$

관성 부하 토크는 질량 관성모멘트와 각가속도의 곱으로 표현되며 관성체의 질량은 12.5kg, 관성체 바퀴의 반지름은 6.35cm이다. 가속 구간은 5초, 속도는 1m/s로 목표한다. 질량 관성모멘트, 가속 구간의 시간, 그리고 속도를 통해 계산한 관성 부하 토크는 0.079N·m로 계산할 수 있다. 마찰 부하 토크 식 (31)를 통해 계산할 수 있다.⁽²⁹⁾

$$T_e = \frac{0.2 \times 12.5kg \times 12.7cm}{4}$$

$$= 7.94kg_f \cdot cm = 0.778N \cdot m$$

전체 중량은 12.5kg, 관성체의 지름은 12.7cm, 그리고 마찰계수는 고무바퀴와 바닥과의 마찰계수 0.2를 고려하여 계산한 마찰 부하 토크는 0.778N·m이다. 동륜 축의 전체 모터 토크는 식(29)을 통해 계산할 수 있다.

$$T_m = (0.079N \cdot m + 0.778N \cdot m) \times 1.5$$

$$= 1.29N \cdot m$$

관성 부하 토크 0.079N·m, 마찰 부하 토크 0.778N·m와 안전율 1.5를 고려한 동륜 축의 전체 토크는 1.29N·m로 계산할 수 있다.

리프트를 구동하기 위한 토크 0.963N·m와 바퀴를 구동하기 위한 토크 1.29N·m를 고려하여 리프트 구동 모터는 출력 25W, 정격전압 12V 토크 1.2N·m, 감속비 1/20의 감속기 결합형 모터, 바퀴 구동 모터는 출력 25W, 정격전압 12V 토크 1.7N·m 모터로 선정한다.

몸체의 강성 및 몸체 재료의 적합성

Table. 3 Tensile strength test table by materials

재료명	비중	인장강도 (kg_f/cm^2)	처짐량 (mm)
플라스틱 (ABS)	1.05	350~550	9.63×10^{-2}
아크릴	1.19	670~780	5.78×10^{-2}
알루미늄	2.7	150000~	2.51×10^{-4}
스테인리스	7.93	520000~	9.63×10^{-5}

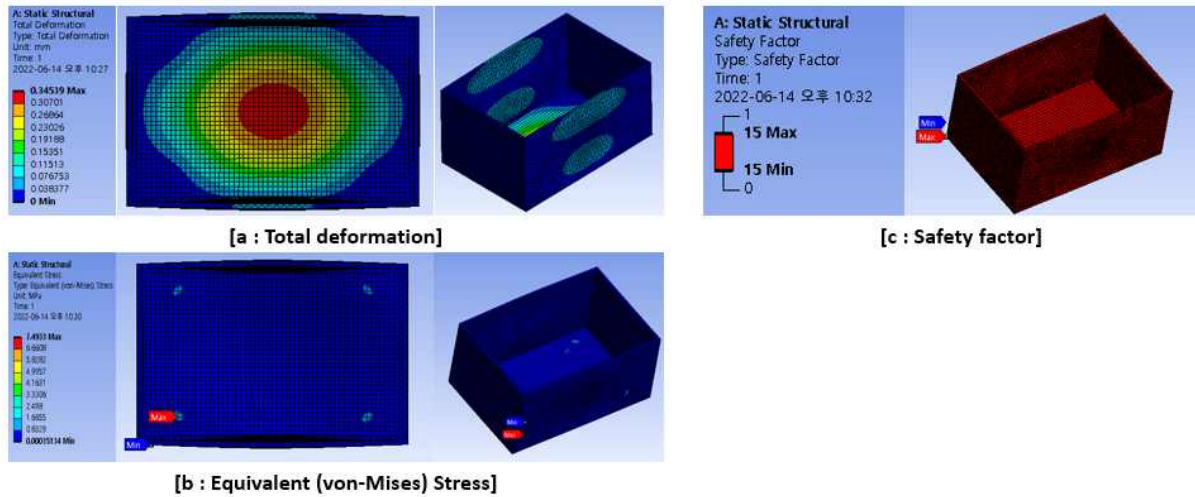


Fig. 10 Analysis data using ANSYS

몸체의 굽힘 응력은 이론적 배경의 식 (21)을 이용해 계산할 수 있다. 제작하고자 하는 카트의 몸체는 바퀴에 의해 지지 되는 단순 지지보로 간주할 수 있으며 하중을 분포하중으로 간주한다면 최대 굽힘 모멘트는 식(23), 극 단면계수는 식(24)과 같이 표현할 수 있다.

$$M_{\max} = \frac{408.8N/m \times 0.6m^2}{8} = 18.4N \cdot m$$

$$Z = \frac{0.4m \times 0.003m^2}{6} = 6 \times 10^{-7}m^3$$

몸체에 가해지는 전체 질량은 25kg, 길이는 0.6m이므로 단위 길이당 무게는 408.8N/m로 계산된다. 따라서 최대 굽힘 모멘트는 18.4N·m로 계산된다. 극 단면계수는 몸체의 폭 0.4m, 두께 0.003m로부터 $6 \times 10^{-7}m^3$ 으로 계산할 수 있다. 이를 식(22)에 대입하면 다음과 같은 계산 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{18.4N \cdot m}{6 \times 10^{-7}m^3} \\ &= 30.67Mpa = 312.75kg_f/cm^2 \end{aligned}$$

최대 굽힘 모멘트 및 극 단면 계수를 통해 계산한 최대 굽힘 응력은 $312.75kg_f \cdot cm^2$ 이다. Table. 2는 각 재료의 인장시험 데이터⁽³⁰⁾이며 플라스틱 수지의 경우 이론적인 최대 굽힘 응력과 근사한 수치를 가지며 알루미늄 재료의 경우 가공이 어렵고 재료의 가격이 고가인 점을 고려하면 몸체의 재료로 적절하지 않다. 스테인리스 재료의 경우 비중이 커 몸체의 무게가 무거워질 수 있는 점을 고려하여 적절하지 않은 재료로 판단하였다. 아크릴의 굽힘 응력은 이론적인 값보다 크지만 취성재료이므로 가공 시 파손의 위험이 있다. 따라서 몸체의 재료는 플라스틱 재료에 아크릴을 결합하여 사용한다.

위의 Fig. 10은 상용 역학 시뮬레이션 Tool인 ANSYS를 활용한 구조해석 결과이다. 해석 모델의 경우 정하중 상황을 고려하여 Static structural을 사용하였다. 모델링에서 객체 추종 카트의 몸체 부분을 박스 형태로 모델링 하였으며, 내부에는 보강을 위한 10mm두께의 아크릴판이 bonded의 접촉조건으로 부여되었다. 치수는 실 제작 사이즈를 반영한 가로*세로*높이 총 $400*600*430mm^3$ 의 크기로 모델링 하였다. 경계조건에서는 몸체 하단의 바퀴 브라켓 부에 fixed Support로 하중을 지지하도록 부여하였으며, 몸체 내부에는 목표 하중인 30kg의 하중을 내부 아크릴판에 분포하중으로 부여하였다. 재료의 경우 내구성파 비중을 고려하여 사용하기로 결정한 외부의 플라스틱과 내부의 고정을 위한 아크릴, 모터 브라켓부의 알루미늄으로 각각의 Body에 Material 조건을 부여하였다. 내부 아크릴판의 Mesh Type은 Hex dominant, Mesh size는 0.015m로 부여하였으며, 외부 플라스틱 상자의 경우 2mm의 얇은 두께로 인해 auto mesh 방식으로 0..015mm의 size를 부여하였다. 전체 모델에서 Mesh에서 Nodes 는 97751, Element의 수는 43336

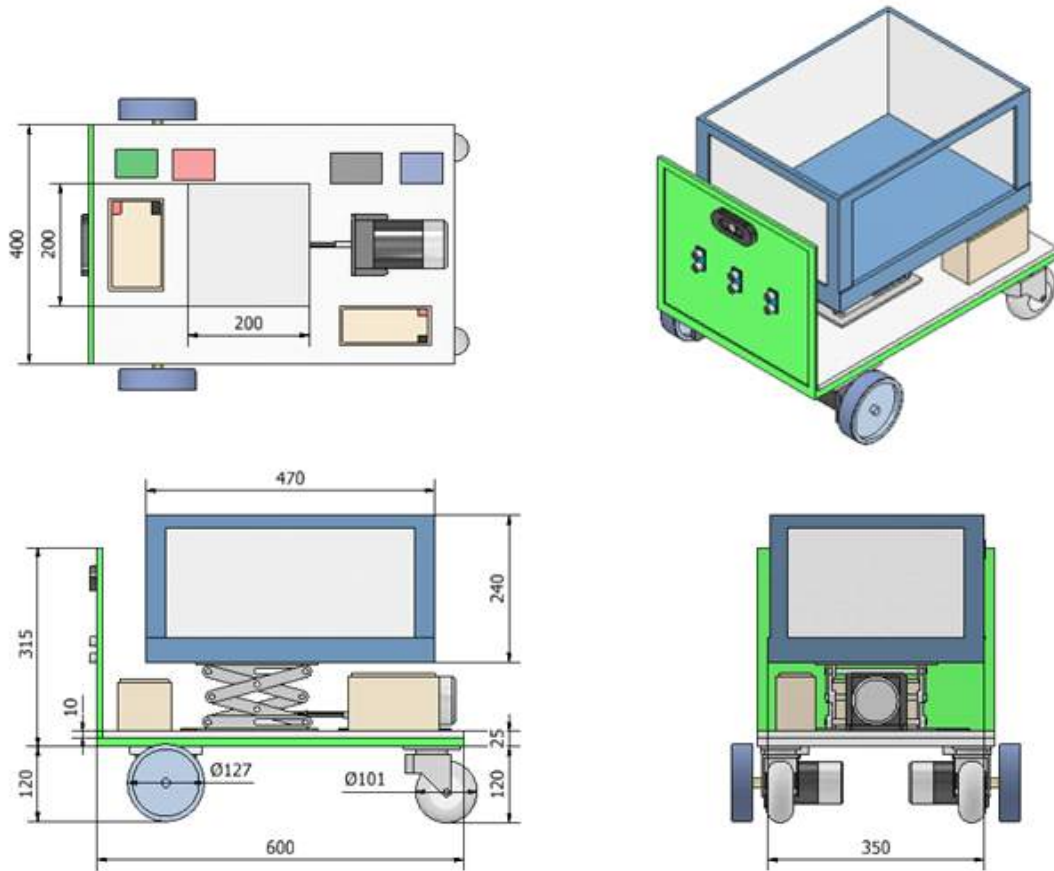


Fig. 11 3D Design of Height Adjusted Cart Using Object Tracking System

으로 나타났다. 경계조건 및 모델링, 메쉬 퀄리티 등과 관련한 세부 자료는 부록에 첨부하였다. Fig. 10a의 Total Deformation(총변형량)의 경우 최대 변형량이 0.34539mm로 안정적인 사용이 가능함을 확인하였으며, 파단 예측에 사용되는 Von-mises응력의 경우 Fig. 10b에서 모델링한 구조의 항복 응력은 7.4933MPa로 항복 응력 값에 도달하지 않음을 확인하였다. 마지막으로 Fig. 10c에서 안전율을 확인해보았을 때 모델링한 모든 부분에서 안전율이 15 이상으로 안전한 사용이 가능함을 확인하였다.

2) 3D 모델링

Fig. 11은 Autodesk Inventor 프로그램을 이용하여 디자인한 상세설계도이다. 상세설계에서 진행한 역학 계산을 바탕으로 실제 치수 반영해 모델링 하였다. 제품의 치수는 기존 카트 대비 1/8 Scale로 설계하였으며 가로*세로*높이 총 400*600*435이다. 개념설계와 동일한 배치를 반영하여 카트의 전면부에는 초음파센서와 카메라 모듈이 위치하며 라즈베리 파이와 아두이노 등의 제어부가 리프트 구동 모터의 전면부에 위치한다. 전원공급을 위한 배터리와 리프트 모터를 전방에 배치해 바스켓에 담기는 중량물을 포함하는 무게중심 설계를 3D 모델링에 반영했다. 바퀴는 몸체의 4곳의 모서리에 위치하며, 이 중 전면 2개의 바퀴는 구동 바퀴로 조향 및 구동을 담당한다. 물건을 담는 바스켓의 경우 시저 구조의 리프트의 위에 위치하며 리프트를 이용한 물품의 승 하강이 가능하도록 설계했다.

3. 결과 및 토의

3.1 제작 및 구동

몸체 제작 및 배치

Fig. 12는 실제 제작한 카트의 외부 모습이다. 전방에는 영상 녹화를 위한 카메라와 거리 인식 및 측정을 위한 초음파센서가 부착되어 있다. 3개의 초음파센서가 각각 좌측, 중앙, 우측에 간격을 두고 위치하여 전방과 측면 인식이 가능하다. 하단에는 구동을 위한 모터와 바퀴가 위치한다. 사용되는 바퀴로 후면 바퀴는 원활한 회전이 가능하도록 360 회전이 가능한 4인치 캐스터 바퀴를 사용하였다. 전면의 구동 바퀴는 모터와 함께 사용되며, 모터는 브라켓을 통해 몸체와 고정된다. 바퀴는 후면 바퀴와의 단차를 고려하여 5인치 휠을 사용하여 제작하였다. Fig. 13은 실제 제작한 카트의 내부 모습이다. 내부에는 중량물을 상승, 하강시킬 수 있는 시저 구조의 리프트와 모터, 감속기, 배터리, 제어부로 구성된다. 제어부는 리프트의 및 바퀴 구동을 위한 아두이노, 브레드보드, 모터 드라이버 등이 포함된다. 감속기와 배터리는 각각 상세설계에서 진행한 역학계산을 바탕으로 리프트 상승속도 0.1m/s, 리프팅 하중 5kg, 구동 시간 2시간을 고려하여 1/20의 감속기와 12000mA의 배터리를 사용하였다.

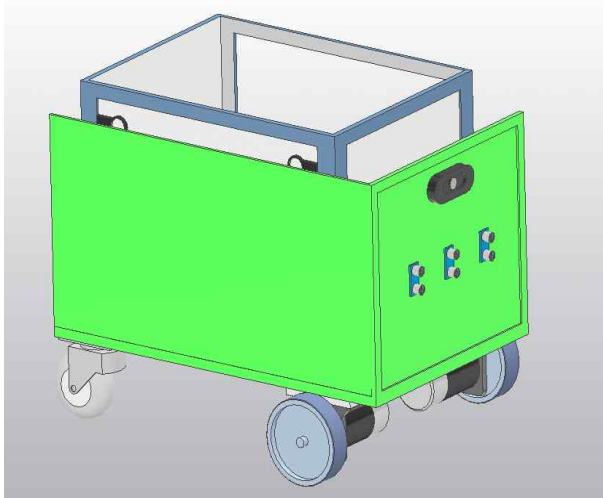


Fig. 12 External appearance of the object tracking lifting cart

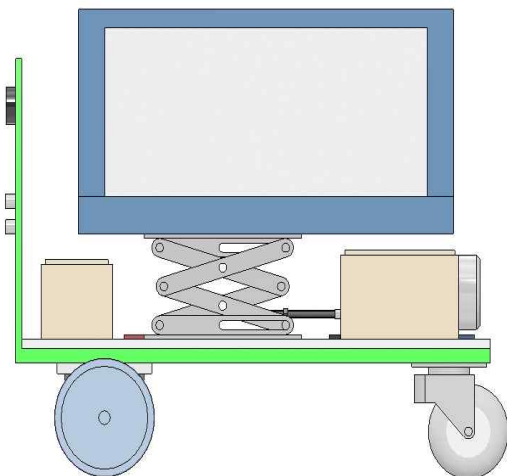


Fig. 13 Internal appearance of the object tracking lifting cart

바퀴 모터 구동



Fig. 14 Object recognition using Raspberry Pi and Camera

Fig. 14는 카메라 및 라즈베리파이를 이용하여 학습한 도형을 인식한 모습을 나타낸다. 객체 인식을 위해 먼저 Google Colab개발환경에서 Tensorflow를 활용한 딥러닝 학습모델을 생성한다. Fig. 14의 경우 별모양, 동그라미모양, 숫자를 그림으로 학습시키고 인식한 결과를 확인할 수 있다. Tensorflow에서는 이미지 인식을 위해 CNN(Convolution Neural Network)알고리즘이 사용되며 이후 영상처리를 위한 방식으로 Canny edge방식의 변환과정을 통해 정확한 객체 인식이 이루어진다. 위 일련의 과정을 통한 학습모델이 생성되면 라즈베리파이의 IDE(Integrated Development Environment)개발환경에서 인식된 개체를 Contour box로 표시 하게되고 박스의 형상 및 크기에 따라 객체인식의 정확도를 향상시킨다. 이후 카메라 상의 면적을 3분할하여 객체의 위치를 좌측, 중앙, 우측으로 판별하고 좌우 조향 및 직진 등의 제어 신호로 변환하게 된다. 제어 신호는 객체의 위치에 따라 인식된 값을 바탕으로 모터의 속도를 조절하여 좌우 조향 및 전 후진 기능을 수행한다. 3분할된 면적에서 중앙을 기준으로 객체의 Contour box가 좌측 면적에 70% 이상 인식되면 왼쪽 모터의 속도는 감소하여 장치는 좌회전하게 된다. 다시 객체의 Contour box가 중앙에 위치하게 될 때 두 모터의 속도는 같아지며 직진 기능을 수행한다. 이를 우측에도 적용하여 모터의 속도 차를 이용해 좌우 회전할 수 있도록 조향 코드를 작성하였다. 마지막으로 초음파센서와 연동하여 객체와의 거리 값을 판별하고 40cm 이내에 물체가 있다고 판단되면 모터가 정지하여 사람과의 거리를 40cm로 유지할 수 있도록 구현하였다.

Fig 15는 초음파 센서를 통한 객체 추종의 1차적 구현 모습이다. 카트는 초기 정지 상태에서 사용자와의 거리를 판단하여 작동한다. 사용자와의 거리가 40cm 이상이면 카트는 사용자를 따라 전진한다. 그 후 사용자가 왼쪽 또는 오른쪽으로 이동하면 3개의 초음파 센서 중 왼쪽 또는 오른쪽 초음파 센서의 거리 값이 다르게 판단되어 카트는 회전한다. 이후 사용자가 정지하면 카트는 사용자와의 거리를 판단하여 40cm이내에 위치하면 카트는 정지한다.

리프트 모터 구동

리프트의 상승 및 하강 제어는 모터 축과 체결된 리드 스크류를 통해 작동된다. 상용 시저 리프트의 경우 리드 스크류가 중단에 위치하며 리드 스크류의 상하좌우 움직임이 존재한다. 따라서 이를 모터 축과 직접 체결할 시 모터가 같이 움직이는 문제가 발생하여 이를 제어해야 하는 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존 중단에 위치하는 리드 스크류를 분리하여 하단에 위치시켜 상하좌우 움직임을 제어하였다. Fig. 16은 리프트의 하단 축에 M8 너트를 용접한 모습이며, 너트를 통해 리드 스크류를 구동하여 움직임을 제어하였다. 리프트의 모터는 상세설계에서 진행한 역학계산을 바탕으로 상승속도 0.1m/s와 토크를 고려하여 1/20의 감속기를 사용하였다. 초기 설계에서 감속기의 모터 축과 리드 스크류는 커플링을 통해 체결하려 했지만, 제작 과정에서 커플링의 약한 내구성 및 동력의 손실로 인해 제거하게 되었다. 커플링을 대체할 방안으로 감속기의 모터 축과 리드 스크류를 직접 용접 가공하여 체결하였다. 용접 가공을 통해 리드 스크류와 감속기의 축을 직접 체결하여 기존 문제의 약한 내구성 및 동력 손실을 최소화하였다.

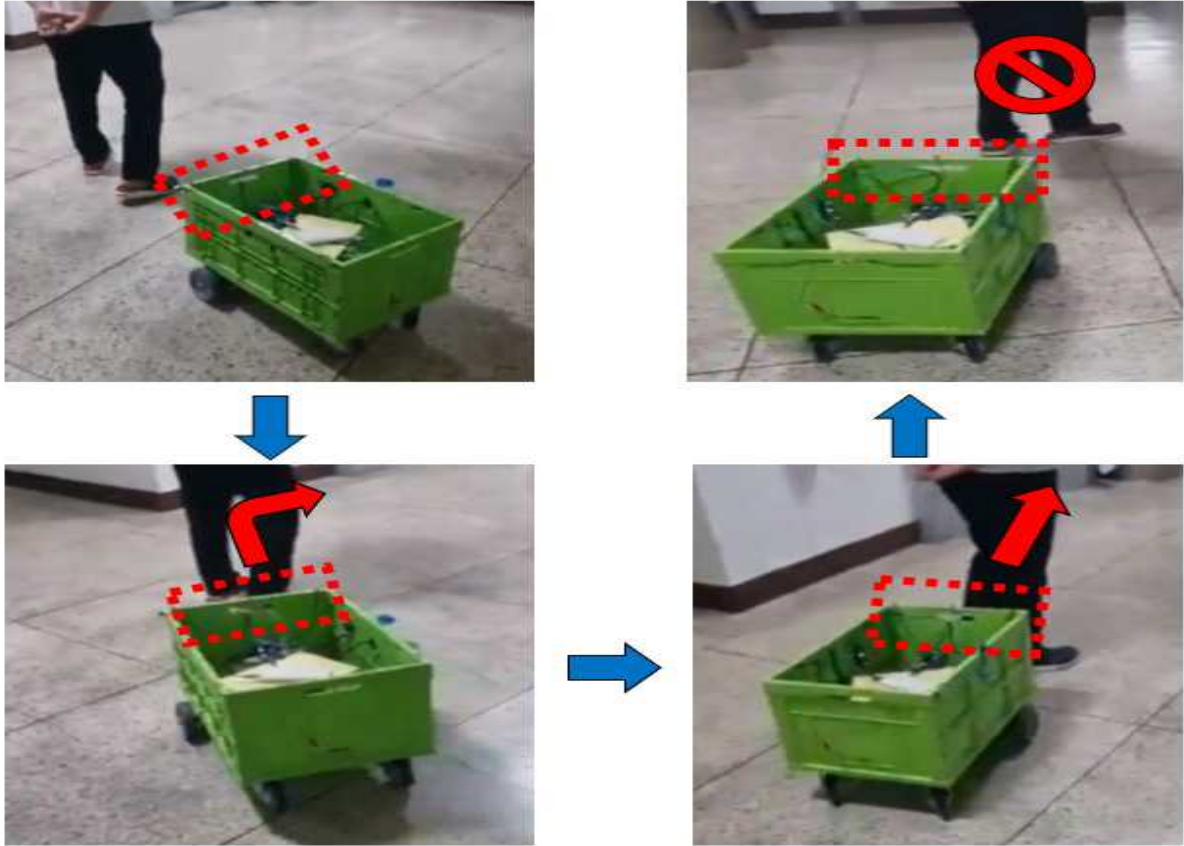


Fig. 15 Object tracking using ultrasonic sensors

Fig. 17은 바스켓을 리프트 위에 설치하고 중량물을 적재하여 최대 리프팅 하중, 상승속도, 최대 상승 높이를 측정하기 위해 구동한 사진이다. 구동을 통해 확인한 결과 초기 개념설계 단계에서 설정했던 목표 Spec Sheet의 최대 리프팅 하중 5kg, 최대 상승 높이 25cm를 달성하였다. 하지만 리프팅 시 안정적인 지 못한 움직임 및 낮은 상승속도를 보였다. 이는 리드 스크류의 위치를 변경하며 리프트의 지속적인 분해 및 재결합으로 인한 리프트 내구성 감소 및 리드 스크류와 감속기 모터 축의 지름이 상이하여 용접 시 동심이 맞지 않아 발생한 문제로 판단된다. 이는 상용 시저스 구조의 리프트를 사용하여 발생한 문제이며 본 작품에 맞는 시저스 구조를 제작한다면 개선할 수 있는 사항으로 고려된다.

바퀴 모터 및 리프트 모터 제어

Fig. 18은 “Fritzing” 프로그램을 이용한 라즈베리파이 및 아두이노 회로의 모식도이다. 좌측은 바퀴 구동을 위한 라즈베리파이의 회로도이며 우측은 리프트 구동을 위한 아두이노의 회로도이다. 바퀴 구동에 필요한 장치는 3개의 초음파센서, 브레드보드, DC 모터, 모터 드라이버, 배터리 그리고 라즈베리파이로 구성되어 있다. 회로도에서 초음파센서의 Vcc, Gnd 핀은 브레드보드의 +, -측에 T1rg, Echo 핀은 라즈베리파이의 8번부터 13번까지 연결하였다. 구동부에 위치하는 DC 모터를 제어하기 위해 각각 2개의 모터 드라이버를 사용하였으며 모터의 방향을 결정하는 DIR 핀은 36번과 37번에, 모터의 속도를 담당하는 PWM 핀은 32번과 33번에 연결하였다.

우측 리프트 구동을 위한 회로도의 장치로는 3단 토글스위치, 모터, 모터 드라이버, 배터리, 아두이노 우노로 구성되어 있다. 토글 스위치의 3단 동작은 리프트 모터의 정지, 정방향, 역방향 제어가 가능하며 이는 리프트의 정지, 상승, 하강 동작으로 이어진다. 아두이노에서 사용하는 디지털 신호는 1과 0으로 구성되어 있다. HIGH 상태일 때는 1, LOW 상태일 때는 0의 신호를 출력하게 된다. 이때 전기가 흐를 때 생기는 자기장과 같은 전기 에너지로 인해 신호가 불안정하게 변하며 신호 값의 오류를 발생시키는 플로팅 현상을 유발할 수 있다. 이를 방지하기 위해 Pull-Up 저항 코드를 사용하여 전기적 신호가



Fig. 16 Lead screw construction welded at the bottom of the lift



Fig. 17 Maximum rise and fall height comparison of lift

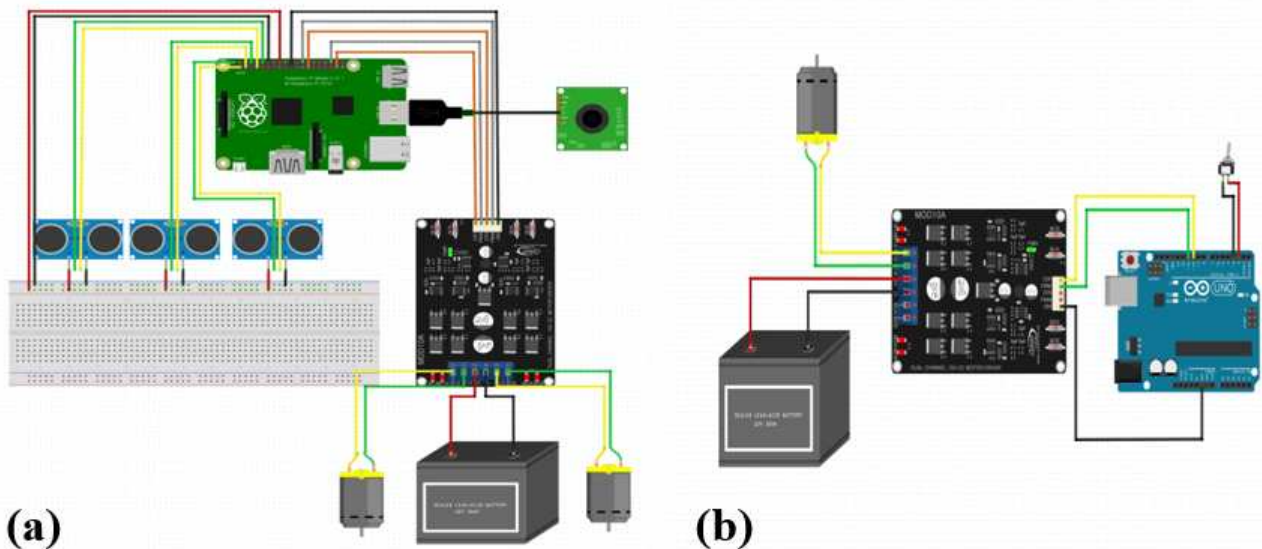


Fig. 18 a)Control unit circuit diagram using Fritzing wheel drive circuit diagram
b)Lift drive circuit diagram

원활하게 이루어지도록 설계하였다. 조건문인 if문을 통해 스위치 좌측에 신호가 들어온다면 정회전, 두 번째 else if 문을 통해 우측에 신호가 들어온다면 역회전, else 구문을 통해 신호가 들어오지 않는다면 모터가 정지하도록 하여 스위치가 중앙에 위치할 때 리프트의 높이를 고정할 수 있도록 제작하였다.

3.2 장단점 및 기대효과

객체 추종 시스템을 적용한 높이조절 리프팅 카트의 장점은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

첫째, 객체 추종 시스템과 리프트 기능을 구현하여 사용자가 중량물을 운반할 시 편의성을 제공한다. 카트가 사용자를 추적하며 리프트를 통해 짐을 적재 및 운반할 때 더 쉽게 이용할 수 있다.

둘째, 딥러닝 색 변환 알고리즘을 적용한 객체 추종 방식은 기존 RFID 방식과 달리 송수신기가 필요 없으며 초음파센서를 활용한 사용자와 카트의 거리 조절을 통해 기존 객체 추종 카트보다 정확한 제어가 가능하다. 또한, 기존의 서비스 로봇처럼 설정된 경로로 움직이는 것이 아닌 사용자를 추적함으로써 다양한 상황에 유연하게 대처할 수 있다.

셋째, 리드 스크류 및 시저 구조를 활용한 리프트 제어는 기존 실린더, 랙과 피니언 방식 대비 공간 활용성이 좋고 소음이 적으며 저렴하다.

이러한 객체 추종 리프팅 카트의 정확한 객체 추종 메커니즘의 완성과 리프팅 기능의 구현이 완성된다면 최근 농업 종사 인구 감소, 물류 산업 증가로 인한 노동력 부족 문제의 한 가지 해결방안으로 적용되어 노동력 절감 및 산업에서의 편의성, 복지향상의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 본 작품은 마트에서의 사용이 주된 목적으로 고안되었으나, 향후 농업 및 물류 산업등 다양한 분야에서 확대 적용하여 높은 활용성을 기대할 수 있을 것으로 보인다

4. 결론

본 연구에서는 OpenCV라이브러리 및 딥러닝기술을 기반으로 한 객체 추종 기술과 시저스 구조 및 리드 스크류를 활용한 중량물 자동 승강제어 기술의 결합을 통한 객체 추종 리프팅 카트의 구현을 목적으로 제작을 진행했다. 작품의 설계 및 제작, 평가과정을 통해 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 설계의 목표는 인공지능을 결합한 이동로봇의 주행기술을 활용해 고령 인구 및 사용자의 편의성을 증대하는 것이다. 객체 추종의 경우 라즈베리파이를 MCU(Micro Controller Unit)로 하며 딥러닝 코딩 프로그램인 Tensorflow 및 영상정보 처리 기법인 OpenCV 라이브러리를 활용한 카메라의 이미지 정보를 기반으로 하는 객체 추종 제어를 목적으로 연구를 진행하였다. 이는 오픈소스코드를 사용하여 보편적으로 사용이 가능하며, 기존 객체 추종 기술에서 사용되는 송수신기와 같은 추가 장치 사용이 불필요하다.

(2) 몸체의 객체 추종 방식 구현을 위해 라즈베리파이 개발환경 내에서 카메라의 영상정보 입력받아 Canny edge형식을 이용해 디스플레이상에서 추종의 대상이 되는 물체를 인식하도록 변환하여 물체를 식별하는 알고리즘의 설계에 성공했다. 알고리즘 및 카메라 모듈을 통해 입력받은 정보와 초음파 센서를 통해 입력받은 정보를 활용해 좌우 조향 및 간단한 형식의 1인 객체 추종 상황에서의 추종을 구현하였다. 이는 기존 객체 추종 기술 대비 정확성이 뛰어나다.

(3) 리프트 승하강 제어는 시저스 구조 및 리드 스크류를 이용한 중량물의 자동 상승 및 하강을 목적으로 개발을 진행했다. 제어방식으로는 아두이노를 MCU로 하여 스위치를 통한 승하강 제어신호의 전달이 가능하도록 했다. 시저스 구조를 활용한 리프트는 공간 활용성이 높으며 간단하고 직관적인 구조를 가진다. 리드스크류를 활용한 승하강 동력 전달은 브레이크의 사용이 불필요하며 기어드 모터와 함께 사용되어 안정적인 동력전달에 유리하다.

로봇기술은 인공지능, 빅데이터 기술 등과 접목되어 빠르게 변화하고 있으며, 일상생활 속 많은 부분에서 변화를 가져오고 있다. 나아가 고령 인구 및 사회적 약자들을 위한 유니버설 디자인에 함께 접목되어 편의 및 복지 분야에 확대 적용되고 있다. 이후 지속적인 연구개발을 통해 활용성을 개선한다면 향후 다양한 산업에서 노동력 절감 및 편의성 증대를 위해 높은 이용률을 보일 것으로 기대된다.

참고문헌

- (1) Yoo, S. J. (2017). Fourth industrial revolution and artificial intelligence. *Journal of Korea Multimedia Society*, 21(4), 1-8.
- (2) Won, D. G., & Lee, S. P. (2016). Artificial Intelligence and Implications of the Fourth Industrial Revolution. *Industrial Engineering Magazine*, 23(2), 13-22.
- (3) Kim, D. Y., & Kim, Y. B. (2019). 4 차 산업혁명 시대의 핵심 ICT 기술: 빅데이터, 인공지능, 클라우드 기술 동향. *Korea Information Processing Society Review*, 26(1), 7-17.
- (4) Eom, W. S., Kim, Y. K., Lee, J. H., Choi, G. H., & Sim, E. S. (2013). Development trend of intelligent robots. *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, 11(1), 150-160.
- (5) Kim, D. W. (2013). Big data use cases of the sector. *Business Review of Dong-a University Business Research Center*, 34, 39-52.
- (6) Shin, S. H. (2020). A Study on Trends in the Use of Logistics Technology based on the 4th Industrial Revolution. *e-business research*, 21(2), 17-27
- (7) 김병률, 이명기, 허정희, & 송성환. (2018). 농업·농촌 분야 4차 산업혁명 기술 적용 현황과 확대 방안. *한국농촌경제연구원 연구자료*, 1-338.
- (8) Kim, W., Lee, S., Choi, Y., Kim, K., & Lee, Y. (2011, May). On the self-driving of a model car using image processing. In *26th ICROS Annual Conference (in Korean)* (pp. 660-663).
- (9) Kim, U. S., Jeon, W. J., Kim, B. U., Han., K. T., & Mun, S. D. (2016). Study On Intelligent Custom Cart For The Elderly In An Aging Society. *Proceedings of the KSMPE Conference*, 191-191.
- (10) Yu, W. P., Choi, S. L., Lee, J. Y., & Park, S. H.. (2011). Robot Navigation Technology and Its Standardization Trends. *[ETRI] Electronic Communication Trend Analysis*, 26(6), 0-0.
- (11) Jeong, H. R. "Trends of Autonomous Driving Technology for Outdoor Mobile Robots," *Journal of the Society for Control Robot Systems* 26, 1 (2020): 24-32.
- (12) Kim, T. S., Jang, Y. H., & Jeong, H. D. (2018). Implementation of Autonomous Vehicle using Raspberry Pi. In *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference* (pp. 287-288). Korean Society of Computer Information.
- (13) 김기형. 객체 추종 기능을 구비한 로봇. 특허출원 제10-2014-0166763
- (14) 전주대학교 산학협력단, 쇼핑카트, 특허출원 제10-2013-0123538
- (15) 배훈전. 쇼핑카트 하측면 상슬 및 하강 장치. 특허출원 제10-2016-0069126
- (16) Lee, H. J., Choi, K. C., LEE, J. M., & Lee, M. C. (2006). Location recognition technology for moving RFID. *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering*, 12(1), 41-46.
- (17) Lee, S. J., Choi, J. H., & Choi, B. Y. (2021). Implementation of Linear Detection Algorithm using Raspberry Pi and OpenCV. In *Proceedings of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conference* (pp. 637-639). The Korea Institute of Information and Commucation Engineering.
- (18) Choi, E. M., Lee, J. N., & Park, C. S. (2008). Characteristics and a Variation of Profile Shape in Scissors Deployable Structure. *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, 8(4), 57-64.
- (19) Choi, C. H., Song, J. B., & Kim, M. (2000). Localization of an Autonomous Mobile Robot Using Ultrasonic Sensor Date. *KSPE*, pp666-669.
- (20) Ivanov, F., Krouk, E., & Zyablov, V. (2021, October). New Code-Based Cryptosystem Based on Binary Image of Generalized Reed-Solomon Code. In *2021 XVII International Symposium" Problems of Redundancy in Information and Control Systems"(REDUNDANCY)* (pp. 66-69). IEEE.
- (21) Pannu, G. S., Ansari, M. D., & Gupta, P. (2015). Design and implementation of autonomous car using Raspberry Pi. *International Journal of Computer Applications*, 113(9).

- (22) Meng, L. L., & Si, X. J. (2007, November). An improved algorithm of modulation classification for digital communication signals based on wavelet transform. In 2007 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (Vol. 3, pp. 1226-1231). IEEE.
- (23) Eom, J. H., & Jung, Y. G. (2021). Quasi Z-Source Dynamic Voltage Restorer by a Simple Duty Cycle Control Scheme. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*. *ournal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 35(5), 25-32.
- (24) Yum, S. H., Eom, S. H., & Lee, E. H. (2020). The Technique of Human tracking using ultrasonic sensor for Human Tracking of Cooperation robot based Mobile Platform. *Journal of IKEEE*, 24(2), 638-648.
- (25) Kil, B. S., Cho, C. P., Pyo, Y. D., & Kim, G. C. (2010). Optimized Strategy of Neighborhood Electric Vehicle with Driving Schedules. *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, 18(3), 53-59.
- (26) Kim, H. S., Choi W. S., Choi, W. S., & Lim, W. S. (2021). Energy Optimization through Operating Mode and Motor Torque Control for Electric Vehicles Equipped with 2-Motor and 2-Transmission. *Department of Automotive Engineering*, 29(5), 477-483.
- (27) James M. Gere Barry J. Goodno. Cengage Learning (2017). *Mechanics of Materials*, Si 9th Edition.
- (28) Spackman, H. (1994). *Mathematical analysis of actuator forces in a scissor lift*. NAVAL COMMAND CONTROL AND OCEAN SURVEILLANCE CENTER RDT AND E DIV SAN DIEGO CA.
- (29) J. L. Meriam, L. G. Kraige, & J. N. Bolton. Sigma Press (2017). *Engineering Mechanics : Dynamics* 8th Edition.
- (30) Lee, J. Y., Kim, J. H., Choi, H. K., Oak, S. H., & Kim., S. W. (2001). Recycling of ABS/PMMA Resin for Combination Lamp in End-of-Life Vehicle. *Lecture Proceedings*, 23-26.
- (31) Hwang, W. J. (2015). A Study on Obstacle Avoidance Technology of Autonomous Treveling Robot Based on Ultrasonic Sensor. *Journal of Korean Society of Industry Convergence*, 18(1), 30-36.