

# 끈 길이 및 각도 제어를 통한 자동화 화물차

## Automatic shopping cart using String length and angle controller

정 우 제\*, 이 민 호, 정 현 아  
( Woo Je Jung, Min Ho Lee and Hyun Ah Jung)

<sup>1</sup>Kwangwoon University

**Abstract:** 고령화가 지속되는 사회에서 노령 인구의 운송작업을 도울 수 있는 자동화 화물차를 제작하였다. 쇼핑카드와 강아지를 산책시키는 모습에서 연상하여 제작하였으며 실제로 제작에도 강아지 목줄의 부품을 차용하였다. 다양한 Encoder를 이용하여 사용자의 움직임을 고려하여 구동되도록 제어하였다. 뿐만 아니라 실생활의 장보기의 하중을 고려하기 위해 BLDC 모터를 사용하여 알맞은 출력을 낼 수 있도록 하였다.

**Keywords:** 고령인구, 강아지 목줄, 넉넉한 하중, 다양한 통신, BLDC 모터

### I. 서론

#### 1. 선정 배경 및 필요성

2019년 3분기 현재, 신체 능력이 현격히 떨어지기 시작하는 60세 이상 중 경제활동에 참여 중인 인구는 5,017,000 명가량이다. 이는 전체 60세 이상인 인구의 44%에 육박한다(그림 1 참고).

연령계층별	2019 3/4			
	인구 (천명)	경제활동인구 (천명)	비경제활동인구 (천명)	경제활동참가율 (%)
60세이상	11,398	5,017	6,381	44.0

출처 : 통계청, 「경제활동인구조사」

그림 1. 60세 이상 경제 활동 인구

Fig. 1. Economic population of over 60 years

한편 2016년 조사 결과, 대형소매점 매출의 12.2%는 60세 이상이 차지하고 있다. 이 수치는 2014년 11.1%, 2015년 11.3%에 이어 2016년 12.2%로 증가하는 추세였고, 이에 따라 해가 갈수록 대형소매점 이용자 중 노령 인구의 비율이 늘어날 것이라는 예측이다(그림 2 참고).

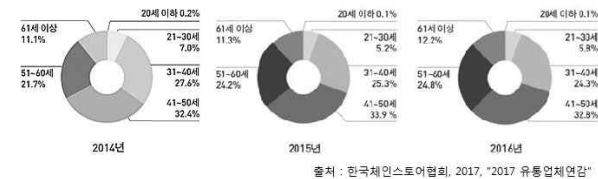


그림 2. 연령대별 대형소매점 이용 추이

Fig. 2. Trends in using hypermarkets by age group

이렇게 노령의 소비자가 늘어남에 따라, 대형소매점에서는 이용 편리성에 대해 많은 고민을 하고, 그에 따른 해결

논문지도교수: (인)

정우제: 광운대학교 로봇학부, 2016741050,

email:amraam717@gmail.com

이민호: 광운대학교 로봇학부, 2016741057,

email:minominium@naver.com

정현아: 광운대학교 로봇학부, 2016741069, email:jha0534@naver.com

책을 제시하고 있다. 최근 시행 중인 장바구니 배송 서비스 나 인터넷 배송 등 다양한 정책을 통해 고객을 확보하려고 한다. 문제는 이러한 서비스가 특정 매장에서만 제공되거나 (E사), 특정 시간대, 특정 지역에만 제공되거나(L사), 대부분의 온라인 매장 같은 경우 고령층에 익숙하지 않은 인터넷이라는 환경을 이용해야 한다는 점이다. 이런 문제 때문에 고령자 대부분은 직접 장을 보러 가는 방식을 택하게 되는 데, 실질적으로 근력, 근지구력 등이 떨어지는 고령층의 경우 장바구니를 드는 등 소비 생활에 이어지는 운반 활동이 힘에 부치는 것이 사실이다.

우리 팀은 이러한 사회 문제에 주목해 화물을 운반하는데 최소한의 힘을 들이는 방법을 고민했고, 짐차 중 미국, 캐나다 등지에서 보편적으로 사용되는 쇼핑 카트(Wagon)에 반려동물을 위한 목줄(Harness)을 접목한 형태를 고안하게 되었다.

#### 2. 기존 기술 개발 상황

현재 활발히 개발되고 있는 전자동 화물차는 대부분 거리 센서나 영상을 통한 기계학습 등을 이용해 사용자를 인식하고, 후방에서 쫓아가는 형태로 개발이 진행되고 있다 (2018.03.29., “사람 따라오는 자율주행 카트...정용진 야심작 ‘일라이’ 공개”). 이러한 형태의 경우, 무선으로 작동하며 하드웨어적 오류가 적다는 것이 강점이다. 하지만 펌웨어 및 소프트웨어상 오류가 발생할 소지가 다분하고, 이 때문에 예상치 못한 동작 및 그에 따른 사고가 발생할 가능성이 크다.

또 다른 방식으로서는 버튼 입력을 통한 조작 방식이 있다. 이 방식은 오류가 발생할 가능성이 적고, 현재 대한민국에 보편적으로 사용되는 쇼핑 카트에 조종기와 모터만 달아 바로 적용 가능하다는 장점이 있으나, 다른 조작 방식과 비교하면 상대적으로 직관적이지 못해 주 대상층인 고령층이 사용하기 힘들다는 단점이 있다.

#### 3. 관련 기술

우리 팀은 기존의 영상 인식을 통한 기계학습, 또는 거리 센서 등을 통한 자동 시스템을 채용하지 않았다. 대신, 이용자가 직관적이고 효율적으로 사용하기 쉬운 목줄 형태를 이용해 개발을 진행했다. 특히, 우리 팀이 주 고객 대상으로 정한 60세 이상 고령층은 로봇과 기계에 대한 이해도가 여타 연령층과 비교해 상대적으로 떨어진다. 따라서 목줄을 접목한 제어 형태를 채용해, 직관적인 조종이 가능해져 이러한 이해도가 없어도 사용법을 터득하기 쉽다.

제어 기술의 경우, Absolute Encoder 및 Incremental Encoder를 이용해 목줄의 길이 및 각도를 실시간으로 포착한 정보를 사용한다. 이와 함께 로봇의 몸체를 평면에 있는 모바일 로봇으로 보고 기구학 계산을 통해 현재 위치 및 상태를 구해내고, 제어량을 정하는 방식을 썼다.

#### 4. 시장 분석 및 수요 예측

최근 국내에서 자동화 화물차에 관련해 가장 화제였던 사건은 E사의 시제품 시연회였다. 이처럼 자동화 화물차는 상용화는커녕 안정적인 운용조차 되지 않을 정도로 개발이 되지 않은 영역이다. 그나마 진척이 있는 극소수도, 상기했듯 영상 인식을 통한 기계학습을 위주로 개발이 진행되고 있어서 예상치 못한 오류가 생길 가능성이 크고, 유지 보수에도 많은 시간과 비용이 든다. 우리 팀이 구축한 시스템의 경우 알고리즘 및 하드웨어 구축이 끝난 후에는 문제가 생기더라도 하드웨어 상 오류일 가능성이 매우 크기 때문에, 빠른 대처가 가능하다.

고객층의 반응을 예측해보자면, 우리 팀이 개발한 로봇은 간단한 사용법과 뛰어난 효율을 경쟁력으로 내세워, 위에서 언급한 고령층 고객은 물론 대형소매점 매출의 큰 지분을 차지하고 있는 중장년층 고객에게도 매력적으로 다가갈 수 있다는 예상이다. 주 고객층은 고령층으로 상정하고 개발을 진행했으나, 대형소매점 매출의 50% 이상은 40~60대의 중장년층 고객이 차지하고 있다(그림 2 참고). 중장년층의 경우 활동시간 대부분을 생산 활동에 종사하고, 실질적으로 체력이 떨어지기 시작하는 시기이기 때문에, 소비 활동을 할 때 힘에 부치는 경우가 많다. 그렇기에 우리 팀이 개발한 로봇은 주 고객층으로 설정한 고령층 외에도 중장년층이 적극적으로 활용할 수 있는 여지가 있다. 이런 경우, 대형소매점 매출의 약 70%를 차지하는 고객층을 이용자로 확보할 수 있는 만큼, 개발비 이상의 수요를 보일 것이라고 예상할 수 있다. 나아가 고객 편의성을 증대해 대형소매점 매출에도 크게 이바지할 수 있으므로, 실제 우리 팀은 고령층, 중장년층을 포함해 대형소매점까지도 잠재적인 고객으로 포섭할 수 있다는 예측이다.

## II. 본론

### 1. 목표

로봇 전면의 줄을 당겨 일정 거리이상 줄이 풀렸을 경우 그 거리를 유지하며 로봇이 따라오도록 제작하였다 또한 장을 보았을 경우를 고려한 적절한 하중으로 설계하였다. 앞 쪽의 바퀴는 타이어 캐스터를 장착하여 뒤쪽의 바퀴의

제어를 이용하여 방향을 바꿀 수 있도록 하였다.

바퀴의 지름을 통해 바퀴 1회전에 로봇이 가는 거리를 구하여 보통 성인의 걸음 속도로 이동할 수 있도록 제어하였다. 일정속도를 넘지 못하도록 제한을 걸어 사용자의 안전을 고려하여 프로그래밍 하였다.

### 2. 설계 및 구성

고출력을 내기 위해 인 휠 구조인 BLDC 모터를 선정하였고 이에 따라 BLDC 모터 드라이브를 선정하여 아래와 같은 구조의 시스템을 구성하였다.

또한 판 스프링의 탄성을 이용하여 줄을 되감는 Pulley와 Incremental Encoder, Absolute Encoder를 이용하여 센서 박스를 구성하였다. Inventor를 이용하여 전반적인 구조를 설계하였다. Incremental Encoder의 지지대와 pulley를 모델링하여 3D 프린팅하였다. 실이 나오는 부분인 구리관을 가공하여 상단부에 베어링과 함께 부착하였다. 베어링은 마찰력을 감소시키는 역할을 하며 Incremental Encoder pulley에도 같은 이유로 베어링을 부착할 수 있도록 설계하였다.

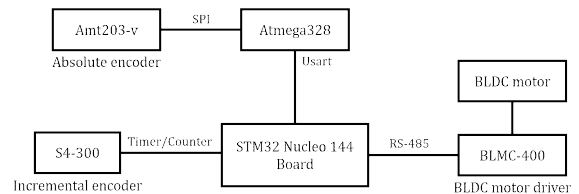


그림 1. 시스템 구성도

Fig. 1. System Architecture

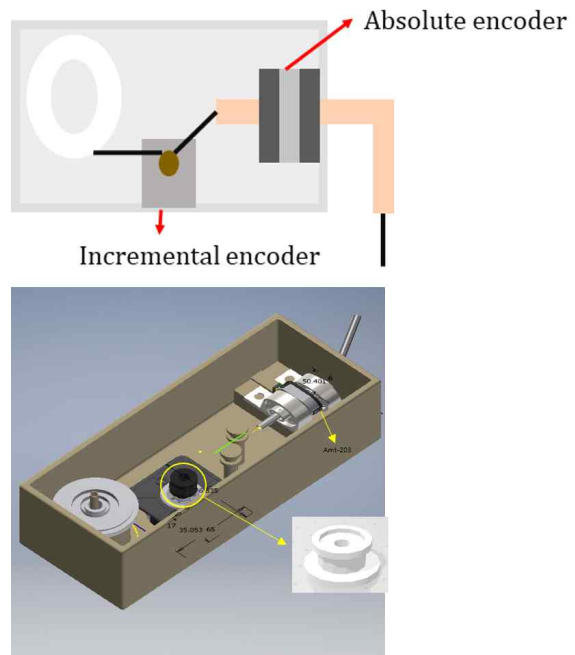


그림 2. 센서 box 구조 및 3D 모델링

Fig. 2. Configuration of Sensor box and 3D modeling

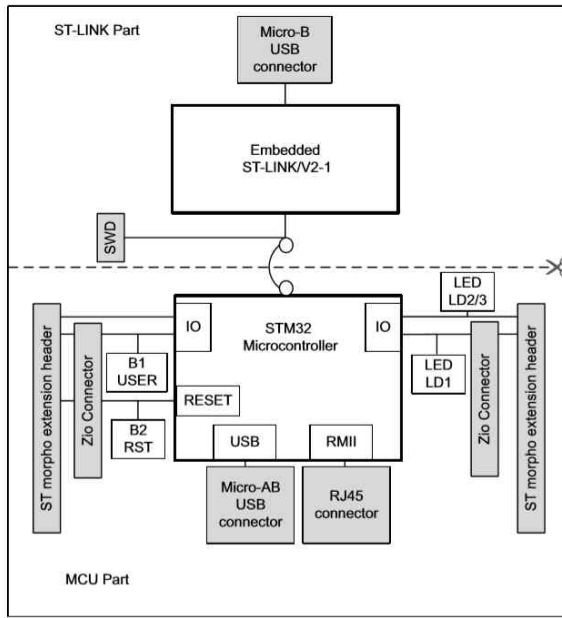


그림 3. STM32 Nucleo 144 f429zi 보드 구조

Fig. 3. System Architecture of STM32 Nucleo 144 f429zi board

### 3. 사용 센서 원리 및 제어 알고리즘

#### 3.1 Absolute Encoder

8bits의 명령어를 SPI통신을 이용하여 전송한다. 0x00 명령어를 받으면 다음 바이트로 넘긴다. 이때 남은 데이터가 없을 경우 엔코더가 0xA5를 보낸다. 엔코더가 데이터를 읽을 준비가 되면 0x10을 보낸다. 0x70는 엔코더의 영점을 변경할 때 사용하는 명령어로 영점이 EEPROM에 저장되어 완료되었을 때 엔코더는 0x80을 보낸다.



그림 4. AMT203

Fig. 4. AMT203

표 1. AMT203에 대한 정보

Table 1. Information about AMT203

Manufacturer	CUI Inc.
Encoder Type	Capacitive
Output Type	SPI
Pulse Per Revolution	4096
Voltage - Supply	5V
Actuator Type	2mm ~ 8mm Open Center
Detent	No
Built In Switch	No
Mounting Type	Chassis Mount, Motors
Orientation	Right Angle
Termination Style	Terminal Pins

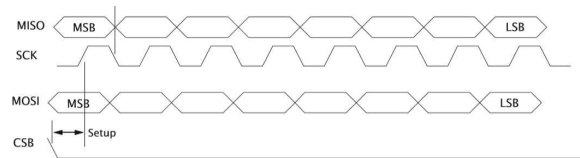


그림 5. AMT203의 SPI 타이밍 다이어그램

Fig. 5. Serial Peripheral Interface Bus (SPI) on AMT203 Timing Diagram

#### 3.2 Incremental Encoder



그림 6. S4-300

Fig. 6. S4-300

출력되는 상을 MCU의 Timer/Counter 핀과 연결한 후 데이터를 읽어들이는. 상의 순서에 따라 엔코더의 회전 방향을 알 수 있다.

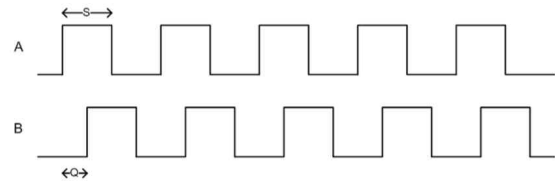


그림 7. 엔코더 파형

Fig. 7. Phase relationship

#### 3.3 BLDC 모터 & BLDC 모터 드라이브

속도를 제어하기 위해 아래와 같은 프로토콜을 송신하였다. 모터 드라이브는 RS-485통신으로 명령을 받는다. MCU에서 Uart 통신을 이용하여 명령을 보내고 보낸 명령을 Uart to Rs-485 모듈을 이용하여 RS-485통신으로 바꿔 보낸다. 속도 도달시간은 100ms로 설정하여 제어했다.

표 2. BLMC-400 통신 프로토콜에 대한 정보

Table 2. Information about BLMC-400 Protocol

Header [2byte]		0xFFFE
ID [1byte]		0x00~0xFF
Data 크기 [1byte]		0x06
Data	Check sum [1byte]	0x00
	Mode [1byte]	0x03
	속도방향 [1byte]	0x00(CCW) 0x01(CW)
	속도 [2byte]	0x0001 ~ 0xFFFD
	속도 도달 시간 [1byte]	0x00 ~ 0xFF

BLDC 모터를 구동해 보면 200rpm의 명령을 통신을 통해 전달하면 25rpm 밖에 회전하지 않는 것을 관찰할 수 있었다. 모터드라이브와 모터의 극수가 일치하지 않아 나오는 결과로써 모터의 극수를 판별한 후 모터 드라이브에 모터의 극수에 맞게 설정해 주어야 한다.

BLDC 모터의 극수를 판별하기 위해 모터에 부착되어 있는 모터가 한 바퀴 회전할 때의 Hall Sensor의 파형을 관찰하였다.

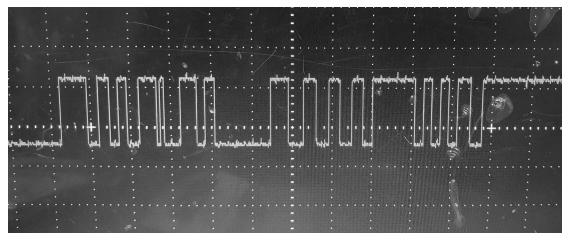
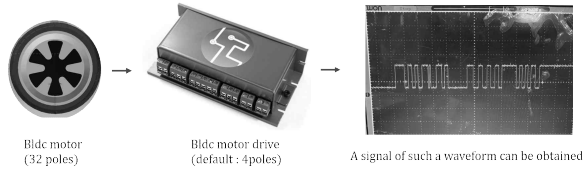


그림 8. 홀센서 파형을 구한 이유

Fig. 8. Reason why we get hall sensor signal

### 3.4 제어 알고리즘

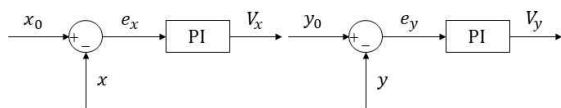


그림 9. PI 제어기 블록 다이어그램

Fig. 9. PI Control Block Diagram

$k_p e_x + k_i \int e_x dt$  와  $k_p e_y + k_i \int e_y dt$  를 얻을 수 있다.

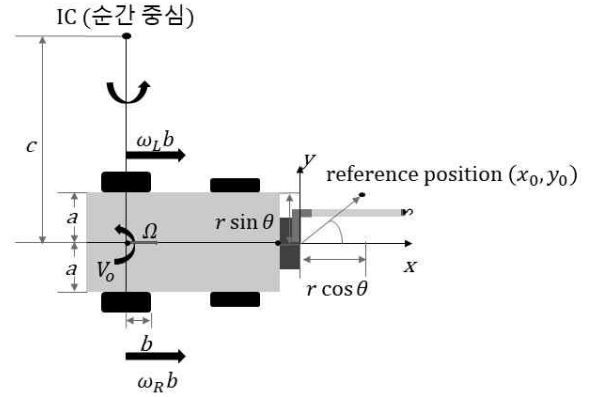


그림 10. 구조에 따른 수식

Fig. 10. Formula based on structure

$$V_0 = \left( \frac{\omega_L + \omega_R}{2} \right) b$$

$$(c - a)\Omega = \omega_L b$$

$$(c + a)\Omega = \omega_R b \quad \Omega = \frac{(\omega_R - \omega_L)b}{2a}$$

$$V_x \vec{i} + V_y \vec{j} = V_0 \vec{i} + \vec{\Omega} \times \vec{r}_{p/o}$$

$$= V_0 \vec{i} + \Omega \vec{k} \times h \vec{i}$$

$$= V_0 \vec{i} + \Omega h \vec{j} \Rightarrow V_x = V_0 = \left( \frac{\omega_L^* + \omega_R^*}{2} \right) b \quad (1)$$

$$\Rightarrow V_y = \Omega h = \frac{(\omega_R^* - \omega_L^*)bh}{2a} \quad (2)$$

(1)번 식과 (2)번 식을 연립하면 아래와 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$\omega_L^* = \frac{V_x}{b} - \frac{aV_y}{bh}$$

$$\omega_R^* = \frac{V_x}{b} + \frac{aV_y}{bh}$$

위의 수식을 이용하여 구한 속도 값을 단위에 맞게 변경한다.

$$1 [rad/s] = \frac{60}{2\pi} [rpm] = 9.549297 [rpm]$$

Absolute Encoder의 값을 각도 값으로 변경하기 위한 수식은 아래와 같다.

$$\theta = \frac{2\pi}{2048} \times data$$

$$Absolute Encoder resolution = 2048$$

Incremental Encoder의 값을 길이 값으로 변경하기 위한 수식은 아래와 같다.

$$distance = Encoderpulse\ Counter \times \frac{0.7}{300}$$

Incremental Encoder resolution = 300

Incremental Encoder circumference = 0.7

구한 수식을 바탕으로 전반적인 시스템을 Matlab Simulink로 모델링 할 수 있다. 이때의 제어상수는 Trial and Error 기법으로 구하였다. 초기의  $x_0$ 와  $y_0$ 는 시스템 상에서 초기 데이터로 구성한 값이다.

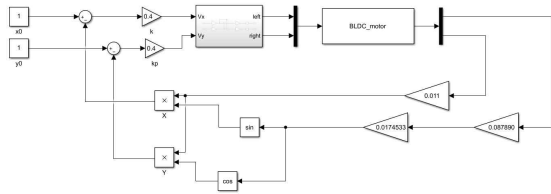


그림 11. 전체 시스템의 블록 다이어그램

Fig. 11. Block diagram of all system

좌우바퀴의 속도는 약 200rpm에서 saturation을 통해 속도를 제한하였다.

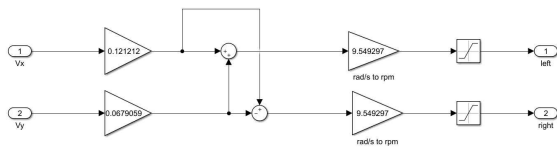


그림 12. Vx와 Vy를 바퀴 속도 값으로 바꾸는 서브시스템 블록 다이어그램

Fig. 12. Block diagram of subsystem which change Vx and Vy to wheel speed

## VI. 결론

### 1. 결과

50kg정도 되는 짐을 탑재하였을 때에도 안정적으로 수레가 잘 따라오는 것을 확인할 수 있었다. 코너를 회전 할 때 수레가 잘 회전하면서 따라오지만 코너를 회전한 후 직진을 할 경우 차체가 좌우 오가며 반듯한 일자로 직진하지는 못하는 모습을 보인다. 아마도 좌우 바퀴의 속도 지령을 주는 제어기 게인 설정에 미흡한 점이 있어 일자로 직진하지 못한다고 생각되며 또 PI제어를 사용하였기 때문에 누적된 에러값으로 인해 직진을 하면서도 좌우로 움직이는 것을 사용자가 느낄 수 있고 빠른 회전시 오버슈트가 생기면서 차체가 강하게 좌우로 흔들리는 것을 확인할 수 있었다.

### 2. 한계점

화물차가 정지되어 있다가 갑작스럽게 출발하는 경우 불안한 제어 설계로 인해 안정적으로 따라오지 못하고 거리를 진동하며 따라오는 것을 확인할 수 있었다. 또 갑작스럽게 줄을 당긴 경우 줄이 늘어난 만큼 스프링이 가하는 힘이 강해져서 사용자의 손에 작용한 힘이 강하게 되어 일반

수레를 당기는 것과 크게 다르지 않다는 것을 짧은 시간이지만 느낄 수 있다. 또 일정 속도로 보행 중에는 제어가 잘 되지만 정지해 있는 상황에서 사용자와 가까운 수레는 위치를 바꾸기 위한 조작에 까다로움이 있다. 그런 점은 설정한 줄의 거리만큼 멀리 팔과 손의 위치시켜야 제어할 수 있는 상황을 만들게 된다. 또 결과에서 확인한 것과 같이 사용자가 빠르게 선회할 경우에 카트가 좌우로 흔들리면서 뒤를 따라오게 되는데 그 궤적이 크지는 않지만 쇼핑물이나 마트 안에 사람이 많이 있는 경우 다른 손님이나 카트에 부딪힘은 불가피한 것으로 여겨진다. 또 가감속 제어의 한계로 빠르게 움직이는 사용자와의 거리와 각도를 좁히기 위해 카트가 가속을 크게 한다면 카트 내부의 물건들이 가속에 의해 흔들리거나 흐트러지게 되고 이는 카트에게도 영향을 미치게 되어 더 불안정한 거리와 각도를 추정하게 된다. 로봇의 주요 타겟으로한 연령대를 고려로 잡았지만 실제로 타겟으로 설정한 연령대에서 차체를 제어하는 것이 쉽지만은 않다.

### 3. 활용방안 및 기대효과

#### 3.1 활용방안

근거리에서 수레를 제어하는 것과 급가속으로 인한 제어는 어려움이 있지만 일반적인 속도를 유지하는 평지 혹은 오르막길에서는 사용자에게 큰 부하나 가해지는 힘이 없이 잘 따라오는 것을 확인할 수 있다. 멈춰있거나 매우 저속에서는 거리와 각도에 민감해 조작의 어려움이 있지만 야외에서 일정한 속도로 직진을 하는 것은 크게 문제가 있지 않다. 따라서 근력이 부족하신 분들에게 충분히 유용한 카트일 수 있다. 아직 매장 내에서 이용하는 것은 약간의 어려움이 따를 수 있겠지만 매장에서 짐까지 물건을 가져가는 것은 매우 효과적일 것이다. 다만 차체 내부의 물건들이 이동 중에 잘 움직이지 않게끔 고정되어 있는 상황에서 운영되어야 사용자들이 안정적으로 사용할 수 있을 것이라고 본다.

#### 3.2 기대효과

근래에 쇼핑이 온라인으로 많이 이루어지는 것이 사실이지만 아직 물건은 직접 보고 사는 것이 좋다는 것을 고수하고 있는 사람도 있다. 특히 고령의 연령층에서 볼 수 있으며 특히 농수산물 물품을 파는 곳에서 그런 모습을 쉽게 볼 수 있다. 또 농수산물 물품이 무게를 많이 차지하는 것은 익히 잘 알려져 있고 이러한 점에서 장을 보고 집으로 직접 가거나 배달이 안 되는 경우에 사용을 하면 효율적으로 이용할 수 있다는 것을 기대할 수 있다. 특히 직접 장을 보러 오는 경우 결제 금액 수 대비 물건의 무게는 많이 나가 배달을 시킬 수 없는 경우가 있는데 이런 경우에 부담 없이 장을 볼 수 있겠다는 기대를 해볼 수 있다.

## 참고문헌

대형마트 매장 수

- H사(140곳)

<http://corporate.homeplus.co.kr/STORE/HyperMarket.aspx>

- E사(141곳)

[https://store.emart.com/branch/list.do?trcknCode=header\\_store](https://store.emart.com/branch/list.do?trcknCode=header_store)

- L사(107곳)

<http://company.lottomart.com/bc/branch/main.do#a>

경제활동 인구조사

[http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1DA7002S&conn\\_path=I2](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1DA7002S&conn_path=I2)

노령 근력 측정 자료

<https://sizekorea.kr/measurement-data/power>

- 근력 측정 → 성별 전체 → 연령 60세 ~ 100세 → 미는 힘(허리 높이 - 양손 - 선 자세), 당기는 힘(허리 높이 - 양손 - 선 자세), 허리 드는 힘(무릎 위 10cm - 양손/허리 - 선 자세)

자동 쇼핑카트(“사람 따라오는 자율주행 카트...정용진 야심작 ‘일라이’ 공개” - 2018.03.29)

<https://www.mk.co.kr/news/business/view/2018/03/202411/>



**이 민 호**

2019년 광운대학교 로봇학부 재학 중.  
관심 분야는 영상 처리 및 로봇을 활용한 프로그래밍 교육.



**정 현 아**

2019년 광운대학교 로봇학부 재학 중.  
관심 분야는 제어 및 펌웨어 개발.



**정 우 제**

2019년 광운대학교 로봇학부 재학 중.  
관심 분야는 항공기 및 방위산업 분야