

대한기계학회 주선

제10회 전국학생설계경진대회(2020년)

설계 최종 보고서

참가부	고등부 () / 대학부 (✓)				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (✓)				
참가팀명	I - MCC (Intelligent - Module Combined Community Transport Robot)				
설계제목	모듈형 결합 군집 이동로봇				
지도교수/교사	(소속)금오공과대학교 (성명)주백석 (이메일) bschu@kumoh.ac.kr				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	정현재	금오공과대학교 기계시스템학과			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	권재홍	금오공과대학교 기계시스템학과 3학년	jhsejh1001@gmail.com
2	안우현	금오공과대학교 기계시스템학과 3학년	awh007@naver.com
3	이훈석	금오공과대학교 기계시스템학과 3학년	gnstjr0430@naver.com
4	정현재	금오공과대학교 기계시스템학과 3학년	guswo1104@naver.com
5			
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (✓)
참가팀명	I - MCC (Intelligent - Module Combined Community Transport Robot)
설계제목	모듈형 결합 군집 이동 로봇
대표자명	정현재
요약문	4차 산업혁명의 물결에 따라 수송로봇의 수요가 급증하고 있다. 이러한 수요로 인해 여러 수송 로봇들이 개발되어 있다. 하지만 기존의 수송 로봇들은 독립적으로 움직이거나 직렬로 군집을 형성하여 수송 작업을 수행하는 경우가 대부분이다. 이런 경우에는 다양한 크기와 모양의 물체를 수송함에 있어 한계가 있다. 그래서 물체의 형태와 크기에 따라 다양한 결합이 가능한 군집 수송로봇을 개발하고자 한다. 본 연구의 로봇은 결합부를 제외한 모든 면을 평면화하여 직·병렬 결합 시 밀착이 가능하도록 기구부를 설계한다. 결합부는 원뿔대 모양으로 제작하여 센서로 정렬했을 때 발생한 오차를 보정한다. 결합 시 제자리 회전과 즉각적인 중·형이동을 위해 메카닉 휠이라는 이동플랫폼을 이용한다. 작업자가 로봇을 쉽게 제어하기 위해 블루투스 모듈을 기반으로 모바일 기기를 사용하여 수동 제어가 가능한 환경을 구축한다. 하지만 수동으로 조작할 경우 로봇의 위치를 육안으로 판단하여 정확하게 결합하기가 쉽지 않다. 이를 해결하기 위해 레이저 센서를 사용하여 로봇이 자체적으로 다른 로봇과의 거리를 측정하여 평행을 맞추고 정렬할 수 있도록 하는 결합 알고리즘을 추가한다. 결합한 후에는 여러 대의 차량이 한 대의 차량처럼 움직일 수 있도록 모터의 회전 방향과 크기를 결정한다. 본 연구에서 개발된 수송로봇은 수송해야 하는 물체의 형상과 크기에 구애받지 않기 때문에 모든 수송현상에 적용될 수 있다. 또한, 한 종류의 로봇으로 다양한 물체에 대응할 수 있기 때문에 여러 로봇을 구비하지 않아도 되므로 경제성과 효율성에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.
설계프로젝트의 입상 이력	※ 교외 출품실적이 있는 경우 작성 - 출품작명 : 다양한 결합이 가능한 군집 수송 로봇 - 출품대회명 : 제19회 전국 지능형 창작 로봇 경연대회 - 수상 내역 : 발표부문 최우수상(학장상), 시연부문 우수상(학장상) ※ 기 입상 프로젝트의 설계내용 및 차별성에 관한 세부사항은 별지(자유양식)를 사용하여 기술할 것

모듈형 결합 군집 이동로봇

정현재* · 권재홍* · 안우현* · 이훈석* · 주백석*†

* 금오공과대학교 기계시스템학과

Intelligent – Module combined Community Transport Robot

Hyeonjae Joung*, Jaehong Kwon*, Woohyeon Ahn*, Hunseok Lee* and Baeksuk Chu*†

* Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received January 1, 2013 ; Revised January 2, 2013 ; Accepted January 3, 2013)

Key Words: Transprt Robot(수송 로봇), Serial and Parallel Connection(직병렬 결합), Electromagnet(전자석), Swarm(군집), Mecanum Wheel(메카넘휠), Omni-directional Mobility(전방향 이동성)

초록: ‘직병렬 결합이 가능한 군집 이동 로봇’은 물체의 형상과 크기에 따라 로봇을 결합하여 단일 차량으로는 옮길 수 없는 물체까지 수송이 가능한 로봇이다. 본 연구의 핵심은 로봇이 결합하여 한 대처럼 움직여야 한다는 것이다. 결합부를 제외한 차체의 모든 부분을 평면화하여 결합 시 밀착되게 한다. 결합부를 원뿔대 모양으로 설계하여 형상적인 방법으로 차체 간 정렬을 맞출 때 발생한 오차를 보정한 후, 전자석을 이용하여 고정한다. 순기구학과 역기구학식을 이용하여 개별 액추에이터의 각속도와 전체 결합 차량의 속도 사이의 관계를 규명하였다. 이때 액추에이터의 각속도 값은 회전 중심으로 부터 바퀴까지의 거리비에 따라 결정하였다. 레이저 센서를 이용하여 차체 간 평행과 정렬을 맞추기 위해 제자리 회전과 즉각적인 종횡방향 구동이 가능한 메카넘휠을 사용하였다.

Abstract: Module combined community transport robot, which can be combined in a wide range of shape and size, is a robot that can transport objects which is unsuitable to be carried by a single vehicle. Flatten all parts of the body except the combining parts. The joints are designed in a cone shape and fixed by using electromagnet. The value of angular velocity of each actuator was determined by the ratio of distance from the center of rotation to each wheel. The mecanumwheel was used to adjust parallels and serial alignment between bodies using laser sensors.

1. 서 론

4차 산업의 발달과 물류의 증가로 인해 수송 로봇의 필요성이 증가했고 실제로도 수송 로봇이 산업현장에 투입되어 이용하는 경우가 많아졌다. 그리고 현대사회에서는 획일화되고 정형적인 크기와 모양의 제품만 생산되는 것이 아니며 사람들의 다양한 수요에 맞게 다양한 형태의 제품들이 생산된다. 이에 따라 단일로봇으로 수송을 하거나 군집을 이뤄서 수송하게 된다. 하지만 기존의 수송 로봇은 차체가 1개로 이루어진 로봇이거나 차체가 여러 개 있지만, 직렬로 연결되는 형식이 대부분이다. 이러한 로봇들로는 다양한 형태의 물체를 운송하기에는 여러 제한점이 생긴다. 앞서 언급한 문제점을 해결하기 위해 여러 형태로 결합할 수 있는 군집 수송 로봇의 도입이 필요하다.

본 연구에서는 작은 물체를 나르는 경우, 단일로봇의 형태로 수송하고 운송 물체의 형태에 따라 직렬과 병렬로 결합하는 군집 수송로봇을 다룬다. 로봇 간의 결합에 필요한 평행 및 정렬 작업을 위해 제자리 회전과 즉각적인 종횡이동이 가능한 메카넘휠을 사용하며 로봇의 기구부를 ‘비대칭적인 구조’로 설계

† Corresponding Author, bschu@kumoh.ac.kr

© 2020 The Korean Society of Mechanical Engineers

하였으며 로봇의 결합부를 원뿔대 형태로 만들었다. 또한, 결합을 위해 레이저 센서로 다른 로봇을 인식하여 평행과 정렬을 맞춘 뒤 전자식으로 결합하는 시스템을 구축한다. 결합 후 그에 적합하게 모터를 구동시키는 제어 알고리즘 및 운영 프로세스를 설계한다.

2. 모듈형 군집 결합 로봇의 바디 설계

로봇이 직·병렬로 결합해서 한 대처럼 움직이기 위해서는 센서를 이용해서 평행과 정렬을 맞출 때, 결합하는 순간과 결합 후 기동할 때 등 작동하는 모든 경우에 문제가 없어야 한다. 이 장에서는 이러한 문제가 발생하지 않도록 기구부를 설계하고 제약조건을 고려하여 해결한 내용을 각 절에 기술하였다.

2.1 차체의 평면화

로봇이 결합했을 때 완벽히 밀착되지 않으면 자석과 자성체의 접촉이 잘 안될 뿐만 아니라 로봇 사이에 틈이 생겨 물건을 이송하는데 문제가 발생할 수 있다. 그래서 Fig. 1과 같이 바디를 설계할 때 결합부를 제외한 모든 면을 평면화하였고, 부품을 장착할 때에도 차체 안으로 들어갈 수 있게 이 점을 고려하여 설계하였다.

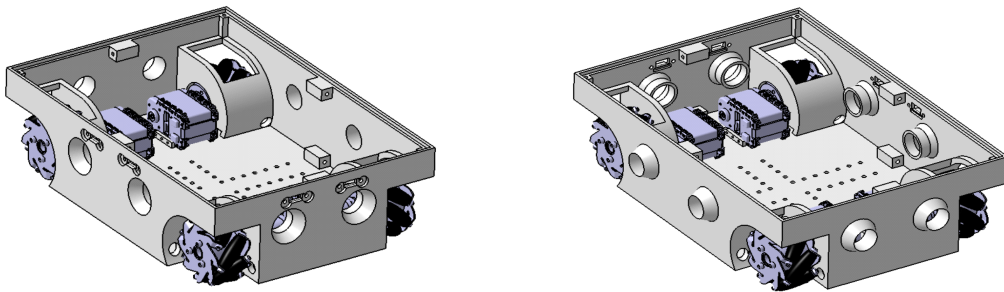


Fig. 1 Body Design

2.2 결합부의 원뿔대 모양 설계와 비대칭적 배치

로봇이 완벽히 밀착되는 것뿐만 아니라 정확하게 결합이 되지 않으면 직·병렬로 결합할 때나 결합하고 나서 기동할 때 문제가 발생할 수 있다. 레이저 센서로 정렬을 맞추지만 성능의 한계로 오차가 발생할 수밖에 없다. 그래서 정확하게 결합할 수 있도록 도와줄 수 있는 기능을 가진 기구부를 설계한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Fig. 2와 같이 결합부를 원뿔대 모양으로 만든다. 원뿔대 윗면의 반지름을 밑면의 반지름보다 5mm 크게 만듦으로써 레이저 센서가 정렬을 맞출 때 발생한 오차를 보정해주고 정확한 결합이 되게 해준다. 그리고 함몰부와 돌출부를 앞뒷면과 옆면에 비대칭적으로 배치하여 Fig. 3과 같이 어느 방향으로든 결합할 수 있도록 설계하였다.

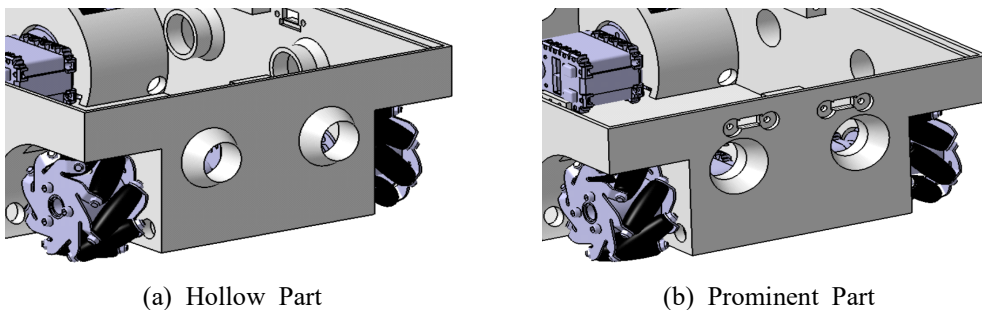


Fig. 2 Combining Part

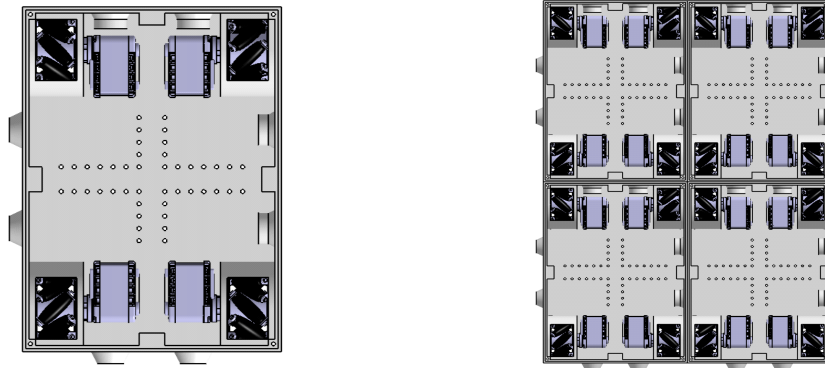
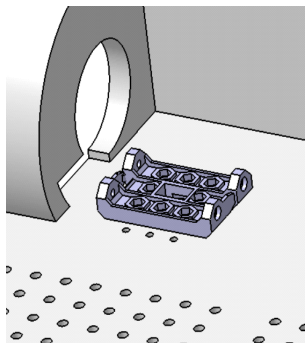


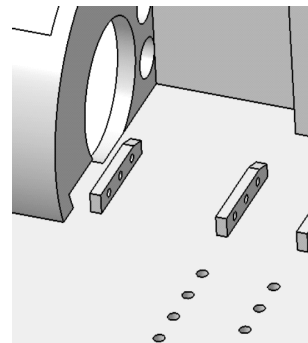
Fig. 3 Asymmetric Design

2.3 차체 바닥 끌림 현상의 분석 및 해결

초기 모델을 제작했을 때 차체가 바닥에 끌리는 현상이 발생했다. 이는 차체와 바닥 사이의 이격거리가 충분하지 않아 발생한 문제이다. 기존의 방식은 Fig. 4(a)와 같이 시중의 모터 전용 프레임에 사용하여 모터와 차체를 연결하는 방식이었는데, 이를 해결하기 위해 Fig. 4(b)와 같이 프레임의 필요한 부분만 차체에 일체형으로 제작하였다. 프레임을 따로 사용하지 않고 일체형 프레임을 제작함으로써 프레임의 두께인 5mm만큼 차체를 바닥으로부터 띄울 수 있게 되어 문제를 해결하였다. Fig. 5는 이를 해결한 모습이다.

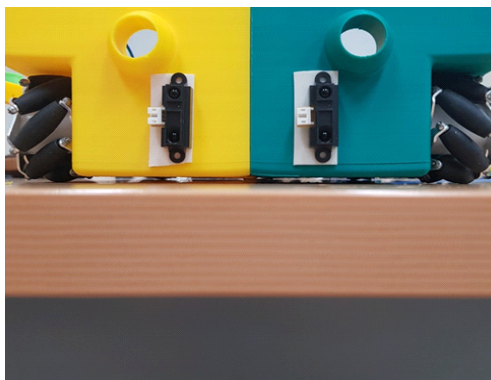


(a) Problem of Prototype Robot



(b) Redesigned Body

Fig. 4 Before and After Redesign



(a) Before Redesign



(b) After Redesign

Fig. 5 Visible Improvement

2.4 서스펜션의 부재 문제 해결

로봇 조립 시 바퀴 한 개가 바닥에 닿지 않고 뜨는 현상이 발생했다. 일반 차량에는 모든 바퀴가 바닥에 닿도록 서스펜션을 사용하는데 이 로봇의 경우에는 모터와 바디프레임 사이의 공간이 좁아 서스펜션을 달지 못해 발생한 문제이다. 메카넘휠의 구동 특성상 모든 바퀴가 바닥에 닿아야 원하는 방향으로 움직이거나 회전할 수 있기 때문에 꼭 해결해야 하는 문제이다. 이 문제를 해결하기 위해 4등분한 차체를 조립할 때 조이는 정도를 조절하였다. 이때 풀림방지너트를 이용하여 끝까지 조여지지 않은 나사가 풀리는 문제를 방지하였고, 너트의 조임 정도를 바꿔가면서 반복적으로 실험하여 모든 바퀴가 지면에 닿을 수 있는 너트의 느슨한 정도를 찾았다. Fig. 6는 풀림방지너트를 사용하여 차체를 조립한 모습이다.

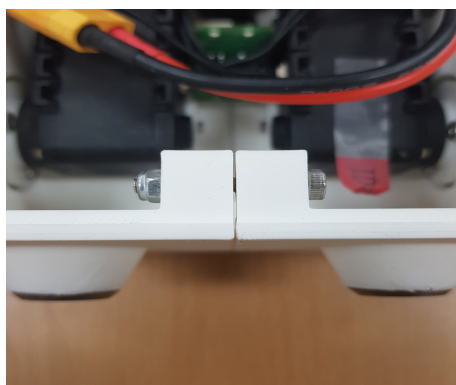


Fig. 6 Assembled Body Using Looseproof Nut

2.5 차체 색상 선정

레이저센서 두 개로 맞은편의 로봇과의 거리를 측정하여 로봇이 평행과 정렬을 맞춘다. 이때 레이저 센서는 ToF(Time of Flight)라는 비행시간측정 원리로 거리를 측정한다. 레이저가 맞은편의 차체에 반사되어 돌아오는 시간을 측정하는데 반사되는 물체의 색상에 따른 반사율이 다르기 때문에 차체의 색상을 신중히 선정해야 한다. Table 1과 Fig. 7은 색상별 레이저 센서의 측정 테이블과 그래프이다. 빛의 흡수율이 높은 검은색으로 차체의 색상을 선정하면 125mm 이상부터는 센서가 거리를 인식하지 못 하는 모습을 확인할 수 있다. 그에 반해 빛의 반사율이 좋은 흰색으로 측정했을 때는 값이 거리가 증가함에 따라 선형을 이루는 것을 볼 수 있다. 위 실험을 근거로 차량의 색상을 흰색으로 결정하였다.

Table 1 Average Distance Value according to color

Measured Distance(mm) Actual Distance(mm)	White	Black
25	57.72	46.2
50	77.28	81.08
75	101.62	116.56
100	128.5	139.83
125	156.68	153.42
150	182.24	154.8
175	202.32	158.88
200	224.01	159.27
225	242.9	157.73
250	261.09	156.18

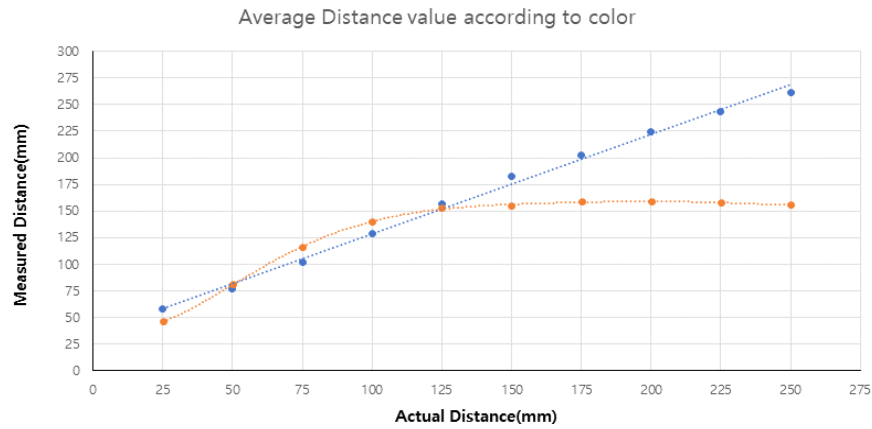


Fig.7 Laser Measurement Experiment

3. 전방향 이동로봇 및 메카넘휠

3.1 메카넘휠의 원리

이 연구에서는 다양한 전방향 바퀴 중에서 산업용으로 가장 많이 사용되고 있는 메카넘휠을 사용한다. Fig. 8은 이 연구에서 실제로 사용한 메카넘휠의 설계도 및 장착 원리에 대해 보여준다. 메카넘휠의 전체 직경은 60mm이며 Fig. 8(c)는 45°의 각도로 부착된 서브 롤러로 구성된 측면 형상을 보여준다. Fig. 8(d)는 로봇의 바디 프레임에 메카넘휠을 장착한 하단 모습이며, 그림과 동일한 방향으로 메카넘휠을 장착해야 원하는 방향으로 구동을 제어할 때 올바르게 동작한다.

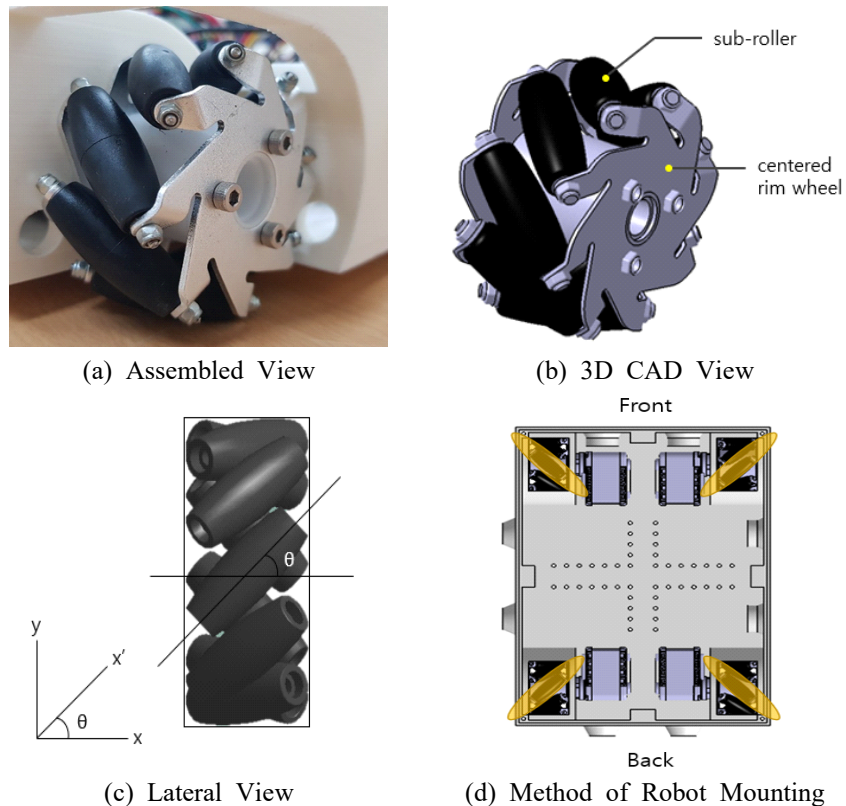


Fig. 8 Design of the Mecanum Wheel

3.2 일반적인 휠과의 이동성 비교

일반적인 휠을 장착한 차량은 전진 및 후진은 가능하지만 방향 전환이 없는 즉각적인 횡 방향 이동이 불가능하며 원하는 위치까지 이동하기 위해서는 복잡한 운전 과정이 필요하다. 이러한 이유로 로봇의 구동 휠로 일반적인 휠을 채택한다면 Fig. 9(a)와 같이 평행 및 정렬을 맞추고 결합하는 과정에 적합하지 않다. 하지만 ‘모듈형 결합 군집 이동 로봇’은 차체 간 수직 및 수평 결합 과정에서 요구되는 즉각적인 측면 방향 구동과 결합 후 전체 차량의 물체 수송과정에서의 전 방향 이동성을 극대화하기 위해 메카넘휠을 이동 플랫폼으로 채택하였다. 전 방향 구동이 가능한 메카넘휠을 장착한 이동로봇은 방향 전환과 이동이 동시에 이루어질 수 있어서 평행 및 정렬을 맞추는 과정에서 레이저 센서를 이용한 스캐닝 작업 등의 경우에 간단한 제어로 원하는 위치까지 도달할 수 있다. 따라서 Fig. 9(b)와 같이 메카넘휠은 로봇 간의 결합을 위하여 센서를 통해 평행 및 정렬을 맞추고 결합하는 과정에 적합하다.

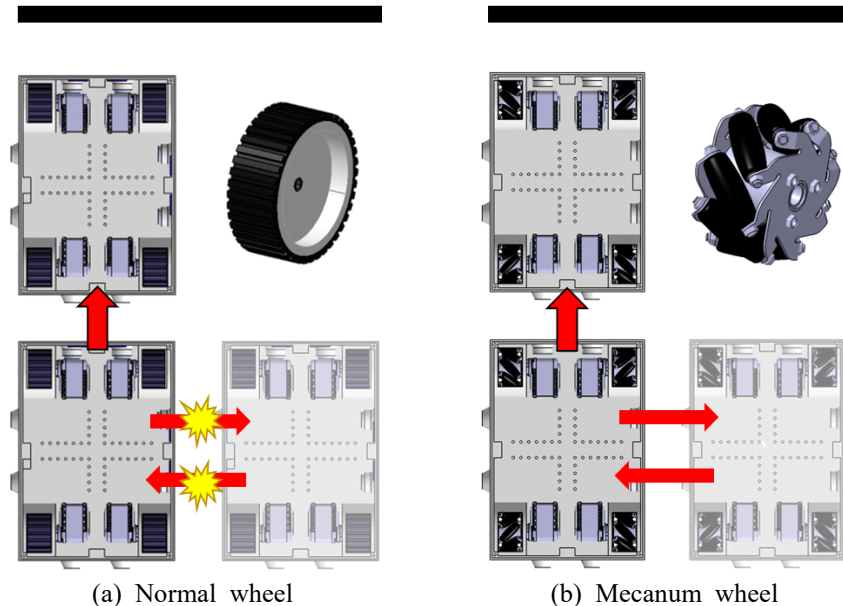


Fig. 9 Comparison between Normal wheel and the Mecanum wheel

3.3 결합 시 메카넘휠 구동 메커니즘

Fig. 10은 각 메카넘휠의 회전 방향에 따른 구동 제어 방법이다. 메카넘휠은 45° 각도로 부착된 서브 롤러로 인하여 구동축에 45° 기울어진 방향으로 추진력을 생성하게 된다. 즉, 전후방향의 속도 성분뿐만 아니라 좌우 방향의 속도 성분이 생성되므로 각각의 메카넘휠의 회전을 독립적으로 제어하여 생성되는 힘들을 적절히 조합할 경우 원하는 방향으로 최종 합력을 생성해낼 수 있다⁽¹⁾. 이 최종 합력 방향으로 로봇은 구동하게 된다.

단, 앞서 언급한 대로 Fig. 9(d)와 같이 서브 롤러의 방향을 올바르게 장착하고 4개의 바퀴들이 본체의 무게가 동일하게 분배되어야 올바르게 동작한다. Fig. 11에서 이동로봇의 전후진 방향을 Y축으로 하고 좌우 방향을 X축으로 하는 X-Y좌표계가 이동로봇의 중심에 고정되어 로봇과 함께 이동한다고 가정하면, 메카넘휠의 각속도와 이동로봇의 선속도 사이의 순속도 기구학과 역속도 기구학 식⁽¹⁾은 식 (1)과 (2) 같이 주어진다. 이 수식을 이용하여 전방향 이동로봇의 속도를 계산할 수 있다.

군집 로봇의 모션을 제어하기 위해 개별 액추에이터의 각속도와 전체 결합 로봇의 속도 사이의 관계를 순기구학 식으로 표현한다. 이때 시스템이 여유자유도를 가지므로 우의사역행렬을 통하여 역기구학 행렬식을 구하였다. Fig 11은 이를 표현한 그림과 행렬이다.

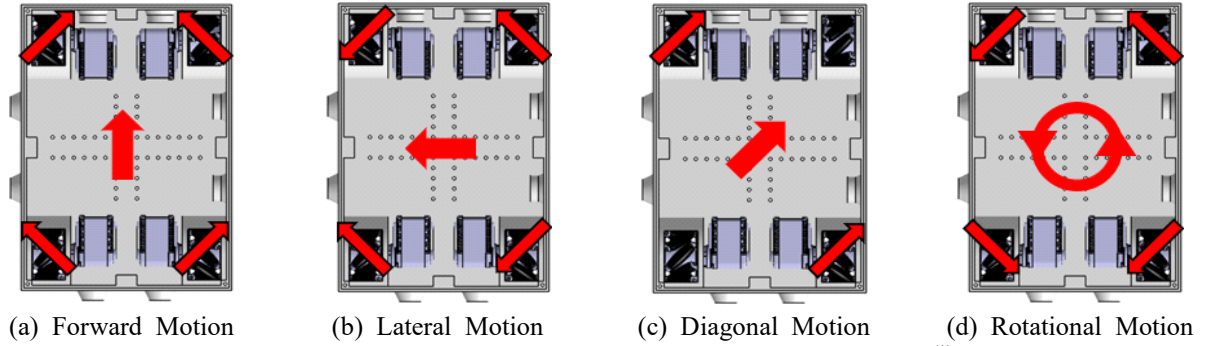
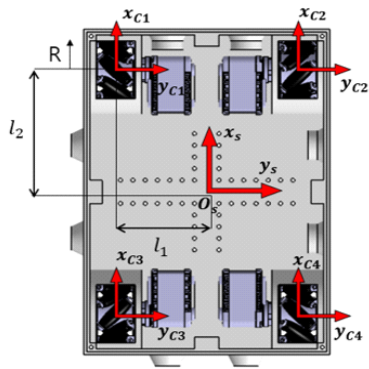


Fig. 10 Robot Motion according to Direction of the Wheels⁽¹⁾



$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \frac{R}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -\frac{1}{l_1+l_2} & \frac{1}{l_1+l_2} & -\frac{1}{l_1+l_2} & \frac{1}{l_1+l_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(l_1+l_2) \\ 1 & -1 & l_1+l_2 \\ 1 & -1 & -(l_1+l_2) \\ 1 & 1 & l_1+l_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

Fig. 11 Speed Kinematic Expression of Mecanum Wheel⁽¹⁾

3.4 결합 상태에서의 선방향 구동

다중 결합 시 로봇의 선방향 구동은 차체 한 대가 종방향, 횡방향, 대각방향으로 움직이는데 필요한 각 모터의 회전 방향과 각속도 값의 크기를 동일하게 적용시켜주면 된다. Fig. 12은 이를 보여주는 모습이다.

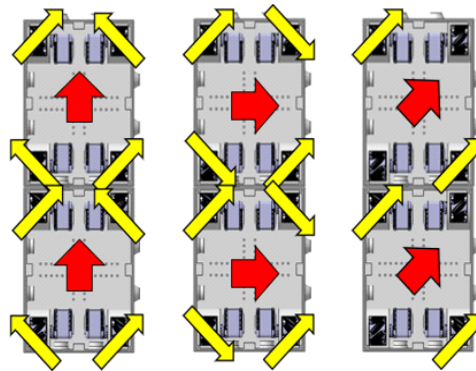


Fig. 12 Linear Motion 2×1 Configuration

3.5 결합 상태에서 회전 시 모터 회전 방향

로봇이 제자리 회전할 때 개별 모터들에 대한 회전 방향을 결정해줘야 한다. 이를 위해 모터 회전에 의하여 생기는 선속도 벡터가 전체 차량이 회전할 때 생기는 방향과 동일하게 선택하였다. Fig. 13은 2×1 배열에서 모터의 회전방향을 보여준다. 다음과 같은 방식으로 모든 결합 경우에 대한 모터 회전 방향을 결정하였다.

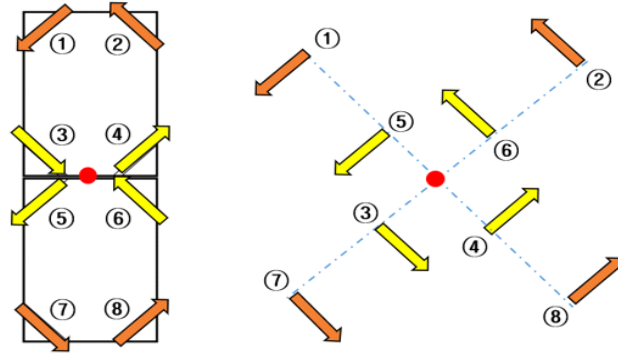


Fig. 13 Rotation Direction of Motors in 2×1 Configuration

3.6 결합 상태에서 회전 시 모터의 각속도 크기

다중 결합 상태에서 회전 구동하기 위해 바퀴들 간의 각속도 비를 정하였다. 개별 바퀴가 회전 중심으로부터 떨어진 거리의 비로 각속도 비를 선정하였다. Table 2는 여러 가지 배열에서의 모터 간 각속도 비를 보여준다. 예를 들어 2×2 배열의 경우 $l_{1t} : l_{2t} : l_{3t} : l_{4t} = \omega_1 : \omega_2 : \omega_3 : \omega_4$ 의 형태를 띤다. 다음과 같은 방법으로 모든 결합 경우에 대한 모터의 각속도 비를 결정하였다. Fig. 14은 결합 경우에 따라 회전 중심으로부터 바퀴까지의 거리가 다른 모습을 그림으로 나타낸 것이다.

Table 2 Distance Ratio in Various Configuration

Configuration	Distance Ratio
1×2	1 : 0.32
2×1	1 : 0.45
2×2	1 : 0.82 : 0.59 : 0.14
1×4	1 : 0.64 : 0.52 : 0.28
4×1	1 : 0.61 : 0.48 : 0.16

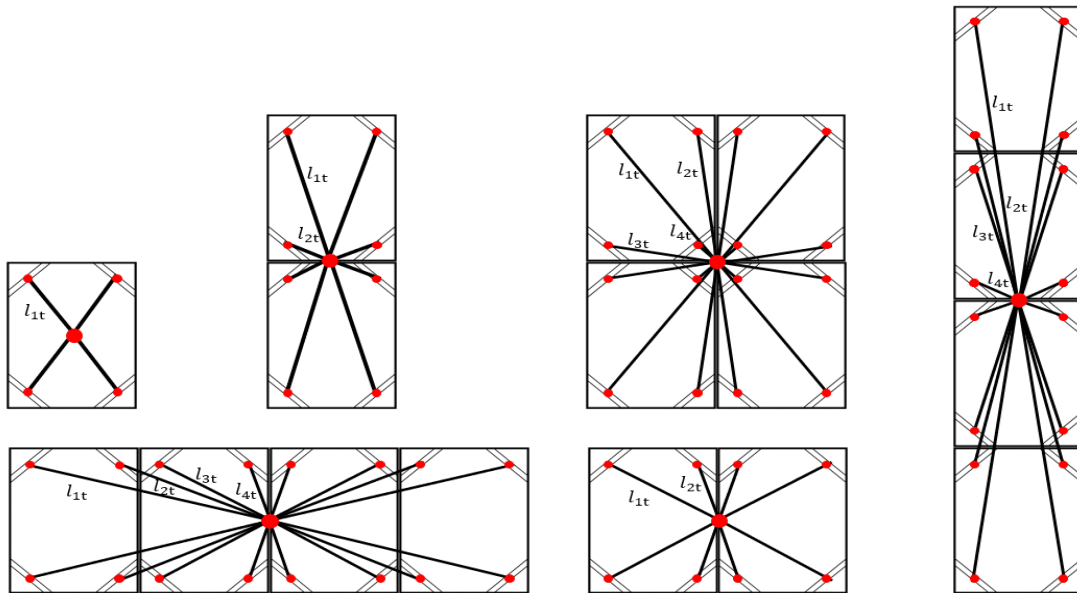


Fig. 14 Distance Ratio in Various Configuration

4. 평행·정렬 결합 시스템 및 제어

4.1 운영 프로세스

‘모듈형 결합 군집 이동 로봇’은 블루투스 모듈을 이용하여 모바일 기기와 연결된다. 군집 로봇 특성상 여러 로봇을 조작해야 하므로 앱에 4개의 블루투스 연결 요소를 만들어 모바일 기기 한 대로 총 4개의 로봇과 연결할 수 있도록 제작하였다. Fig. 15는 블루투스 모듈을 활용하여 로봇을 조작할 수 있도록 만든 스마트폰 화면 모습이다. 이를 통해 모바일 기기로 단일로봇과 군집형태의 로봇을 조작한다.

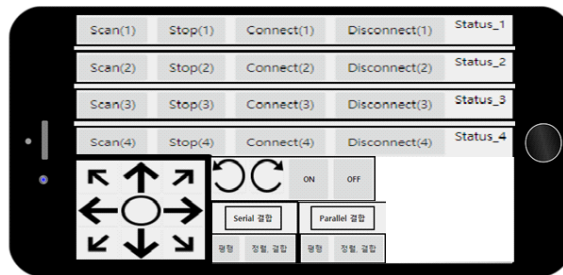


Fig. 15 Robot Controller using Smartphone

작은 물체가 있을 시에는 모바일 기기로 단일로봇을 조작하여 수송한다. 그러나 단일로봇으로 수송할 수 없는 길거나 크기가 큰 물체가 있을 시에는 로봇 간의 결합을 통해 군집 로봇으로서 해결해야 한다. 이런 경우, 수동으로 조작하여 로봇을 결합하게 되면 정확한 결합이 이루어지지 않을 수도 있다. 그러므로 센서를 이용한 ‘평행·정렬 결합시스템’을 구축하였다. 이 시스템은 레이저 센서를 통해 로봇을 제자리 회전하여 거리를 측정해 거리가 같을 때 로봇을 정지시킨다. 그 후 메카넘휠의 전 방향 이동성을 이용해 좌·우로 즉시 움직이면서 레이저 센서를 통해 한쪽 레이저 센서의 측정 값이 급격히 증가할 때 결합체의 로봇을 피결합체의 로봇 쪽의 반만큼 움직이게 한 후 결합하는 시스템이다. Fig. 16, 17은 시스템 전략을 시각적으로 보여주는 운영 프로세스이다.

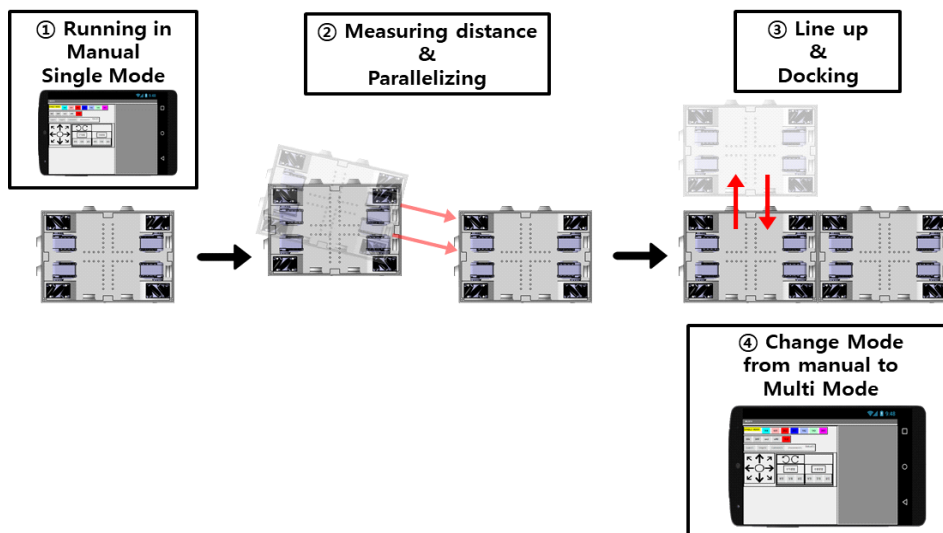


Fig. 16 Serial Docking Process

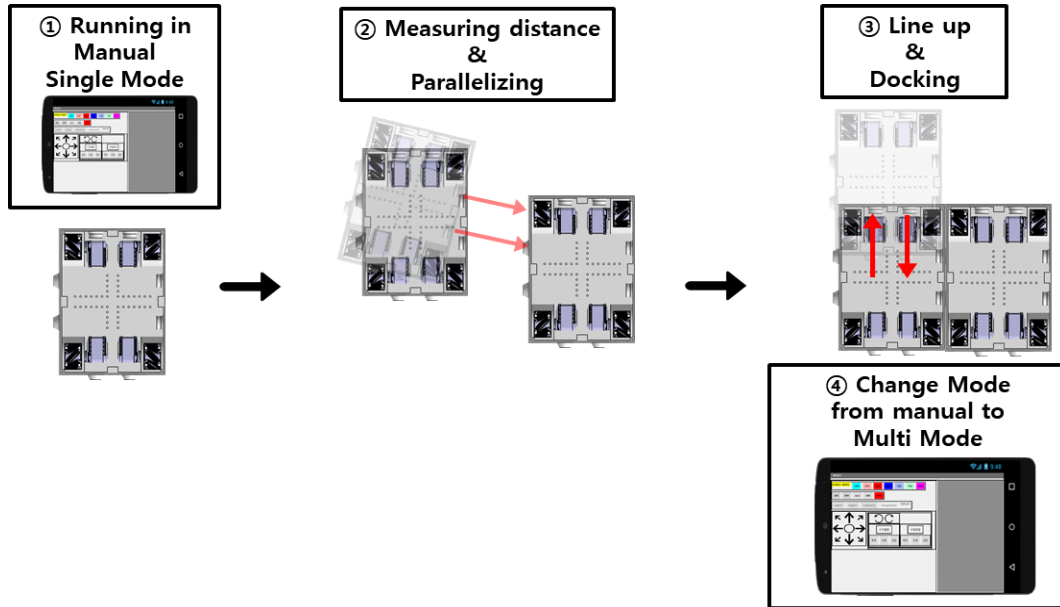


Fig. 17 Parallel Docking Process

4.2 평행, 정렬 및 결합 시스템

사용자가 수송해야 할 물체가 단일로는 옮길 수 없다고 판단될 시, Fig. 16, 17처럼 로봇을 물체의 형상과 크기에 맞게 로봇들을 결합하는 시스템을 가동한다. 결합을 위해 3가지의 단계를 거친다. 첫 번째 단계로, 로봇 간 평행을 맞춰주기 위해 레이저 센서를 이용하여 거리를 측정하는 스캔(Scan) 작업을 실행한다. Fig. 18의 (a)는 직렬 결합을 위한 평행 작업을, (b)는 병렬 결합을 위한 평행 작업을 위해 레이저 센서로 $x_1(y_1)$, $x_2(y_2)$ 를 측정하여 거리 차를 나타내는 $d_1(d_2)$ 가 0이 될 때까지 각 방향에 맞게 제자리 회전하며 평행을 맞춘다.

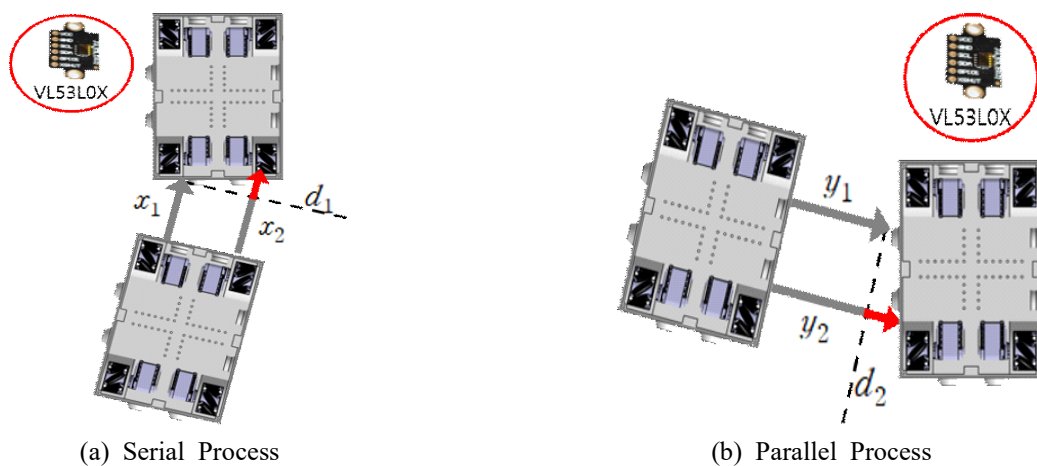


Fig. 18 Parallelizing Process

평행 작업을 마친 로봇은 두 번째 단계인, Fig. 19과 같이 결합체 로봇의 레이저 센서로 스캔 작업을 실시한다. 처음 측정되는 거리 값이 $x(y)$ 에서 $x+h+\alpha(y+w+\beta)$ 로 급격히 증가하게 되면 피결합체 폭의 반만큼 되돌아가게 설정하여 로봇 간의 정렬을 맞추었다.

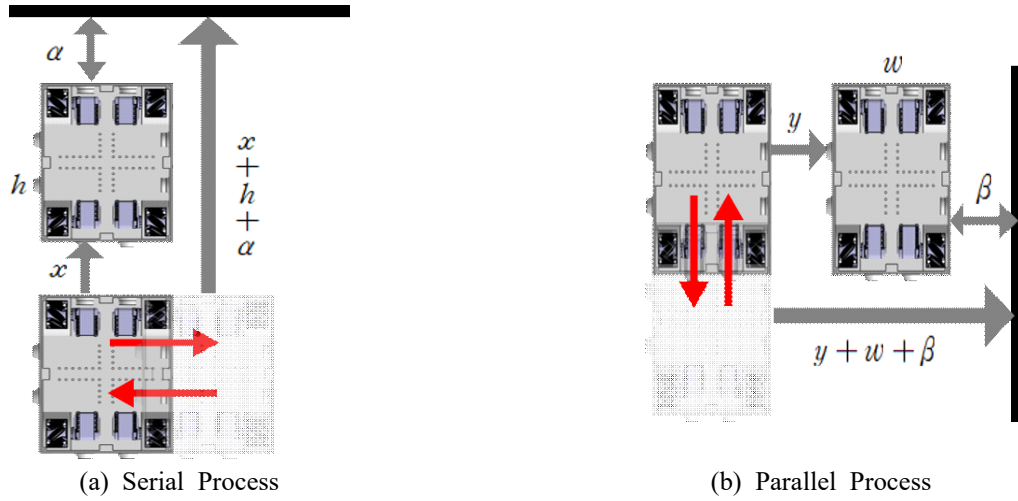


Fig. 19 Line Up Process

정렬을 마친 후, Fig. 20과 같이 결합을 하게 된다. 결합체 로봇으로 피결합체와의 거리를 계속해서 측정하다가 레이저 센서의 거리 측정 범위인 50mm까지 측정한다. 로봇의 전진(우측) 이동 속도는 사용자가 설정하는 것이므로 이미 알고 있다. 따라서 50mm를 이동할 수 있는 시간만큼 모터를 회전하여 피결합체와 결합한다.

아래의 Fig. 21은 실험을 통해 구한 속도이다. 동일한 조건에서 로봇이 일정한 거리를 이동하는데 걸린 시간을 측정하였다. 실험을 통하여 데이터를 이동 거리에 대한 시간 그래프로 나타낸다. 이때 그래프의 기울기가 이동로봇의 속도가 된다. 오차를 최소화하기 위하여 실험을 동일한 조건에서 5회 반복한 후 평균값을 이동로봇의 속도로 선정하였다.

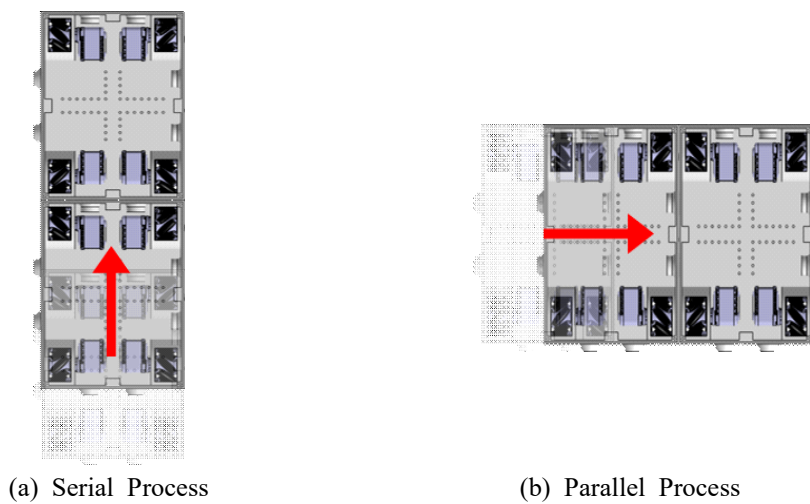
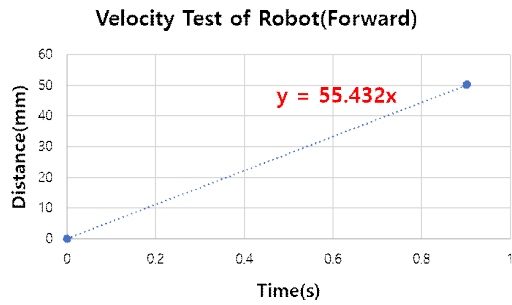
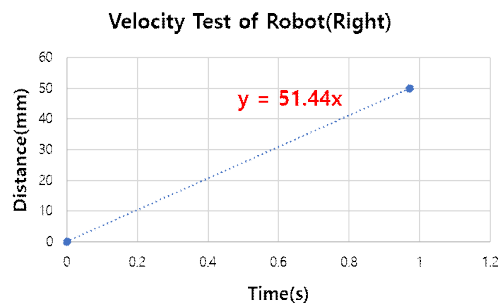


Fig. 20 Docking Process



(a) Forward Velocity Test of Robot

Time(s) Distance(mm)	First	Second	Third	Fourth	Fifth
0	0	0	0	0	0
50	0.91	0.89	0.9	0.91	0.9



(b) Right Velocity Test of Robot
Fig. 21 Result of Speed Experiment

Time(s) Distance(mm)	First	Second	Third	Fourth	Fifth
0	0	0	0	0	0
50	0.94	1.01	0.91	0.98	1.02

4.3 소프트웨어(S/W) 설계

로봇의 모바일 컨트롤러로 수동 조작을 한다. 수동 조작 중 물체가 단일로봇으로는 수송 불가능하다고 판단되면 물체의 형상에 맞게 직렬과 병렬로 로봇들을 결합하여 물체를 수송한다. 결합과정에서 Fig. 22 처럼 평행, 정렬, 결합의 작업 순으로 진행된다. 각각의 작업들에 대한 설명은 다음과 같다.

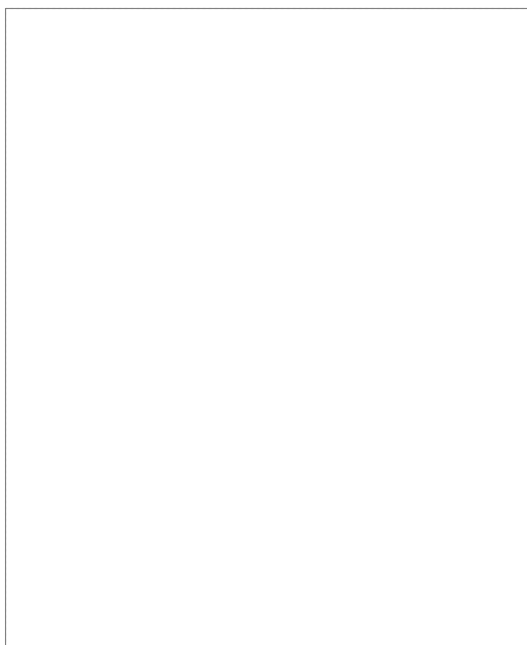


Fig. 22 S/W Design

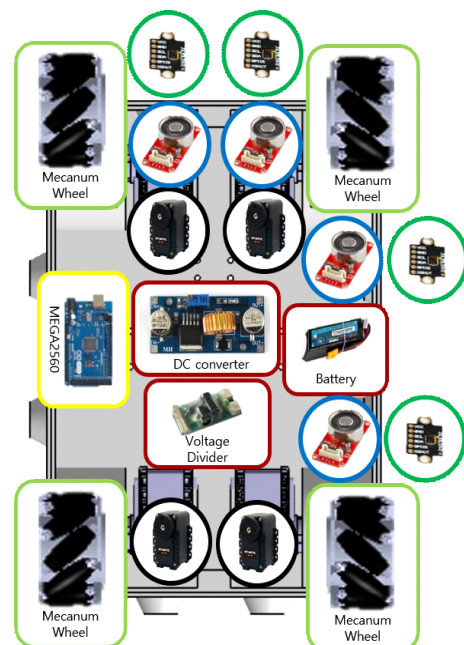


Fig. 23 H/W Design

4.4 하드웨어(H/W) 설계

로봇의 구체적인 구성부품은 Fig. 23과 같이 구성하였다. 전압원으로 한 개의 배터리를 사용하였으며, 각각의 부품들의 동작 전압들을 고려하여 전압 강하기를 설치하였다. 평행, 정렬 및 결합 등을 수행하기 위해 레이저 센서와 전자석 모듈을 사용한다. 레이저 센서를 통해 얻은 센서 값들은 마이크로컨트롤러인 아두이노 메가 보드로 전달되고, 각 센서의 신호에 따른 동작 명령을 액추에이터로 보낸다.

5. 결과 및 토의

5.1 작동 원리 및 과정

Fig. 24는 최종 결과물의 모습이다. 충전식 배터리를 전원으로 연결하고 설치된 전원 스위치를 켜 후 레이저 센서로 결합 대상체를 스캔하여 평행 및 정렬을 맞춘다. 이때 전 방향 이동 플랫폼인 메카넘휠을 이용하여 결합 과정에서의 구동 효율성을 높인다. 그 후 전자석을 이용하여 배열 전환 시 결합 및 분리가 가능하도록 하였다. 결합 후에는 역기구학 및 순기구학 식을 이용하여 전체 속도와 개별 모터의 각속도 사이의 관계를 파악하여 통일된 움직임을 구현하였다.

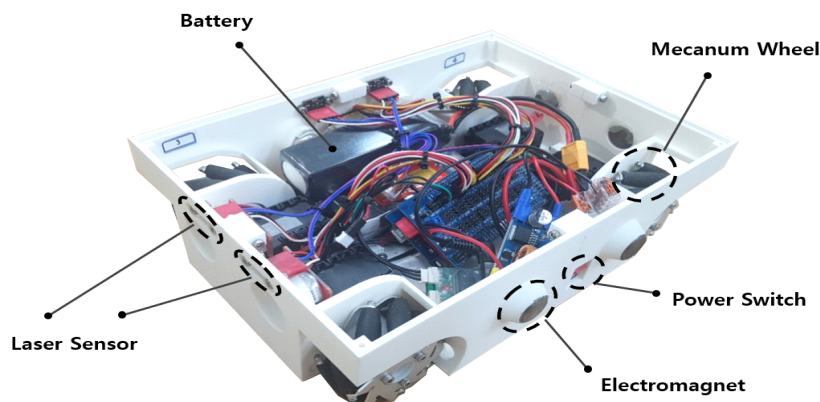


Fig. 24 Final Product

5.2 모듈형 결합 군집 이동로봇의 장단점과 의의

직렬과 병렬 모두 결합이 가능해서 모든 크기와 형상의 물건에 대응할 수 있다. 메카넘휠을 사용하여 즉각적인 형이동과 제자리 회전이 가능하여 결합할 때뿐만 아니라 물건을 좁은 공간에서 수송할 때에도 유용하다. 다만, 메카넘휠의 특성상 지면이 매끄럽지 못한 곳에서는 사용이 어렵다. 레이저 센서를 이용하여 평행한 물체에 대해서는 정밀도가 높은 값을 읽을 수 있지만 대각선에 있는 물체를 측정하는데 어려움이 있다. 전자석을 활용하여 매우 간단하게 차량을 고정할 수 있다. 그러나 전자석의 특성상 오래 사용하면 발열이 있고, 결합해있는 동안 계속 전류를 흘려보내야하기 때문에 배터리 소모가 크다.

4차 산업 혁명의 흐름에 따라 물류산업이 발전하면서 스마트한 수송로봇의 필요성이 높아지고 있다. 그 필요성에 따라 이미 시중에 많은 수송로봇이 개발되어 있는데 메카넘휠을 사용하면서 직·병렬 결합이 동시에 가능한 로봇은 없다. 그리고 많은 로봇들은 수동으로 결합시키는데 ‘모듈형 결합 군집 이동로봇’은 결합부의 형상적인 특징을 통해 정확히 결합이 가능하고 전자석을 사용하면 손쉽게 결합할 수 있다. 스마트 공장의 비율이 증가함에 따라 그에 적합한 로봇이 필요하다. 그리고 자원 절약의 측면에서도 좋은 결과를 가져올 것으로 기대되기 때문에 충분히 상용화가 가능하다고 생각된다.

5.3 활용방안 및 기대효과

‘모듈형 결합 군집 이동 로봇’은 수송해야 하는 물건의 크기와 형상에 따라 직·병렬로 결합할 수 있

다. 직·병렬 결합 기능을 통해 한 대로는 옮길 수 없는 물건을 수송할 수 있다. 이를 산업현장에 적용할 시에는 평소에는 독립적으로 수송 작업을 수행하다가 로봇보다 큰 물건을 옮겨야 할 때 다른 로봇들과 결합하여 협동해서 운반할 수 있다. 4차 산업 혁명의 물결에 따라 스마트팩토리 현장에서 IoT 기술을 기반으로 공장 스스로 판단하여 필요한 만큼의 차체를 적합한 배열로 결합하여 물체 수송하는 작업에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

기존의 방식처럼 다양한 크기의 로봇을 사용하면 사용빈도가 낮은 로봇의 존재가 불가피하다. 하지만 ‘모듈형 결합 군집 이동 로봇’을 통해 잉여자원을 줄여 운용의 효율성이 기대된다. 또한, 기존의 다양한 크기에 맞추어 제작해야하는 생산 방식과 다르게 동일한 크기의 제품을 대량 생산하여 제작비용을 낮추는 경제적 효과도 기대된다.

6. 결 론

이 연구에서는 물체의 형상과 크기에 따라 로봇을 결합하여 단일 차량으로는 옮길 수 없는 물체까지 수송할 수 있도록 직·병렬 결합방법을 제안하였다. 또한 결합 시 제자리 회전과 즉각적인 종·횡이동을 위해 메카닉 휠이라는 이동플랫폼을 이용하여 “모듈형 결합 군집 이동 로봇”을 제작하였다. 로봇이 결합할 수 있도록 모든 면을 평면화하고 결합부를 원뿔대 모양으로 만들어 비대칭적으로 배치하여 차체를 설계하였다. 작업자가 로봇을 쉽게 제어하기 위해 블루투스 모듈을 기반으로 모바일 기기를 사용하여 수동 제어가 가능한 환경을 구축하였다. 하지만 수동으로 조작할 경우 로봇의 위치를 육안으로 판단하여 정확하게 결합하기가 쉽지 않다. 이를 해결하기 위해 레이저 센서를 사용하여 로봇이 자체적으로 다른 로봇과의 거리를 측정하여 평행을 맞추고 정렬할 수 있도록 하는 결합 알고리즘을 추가하였다. 다중 결합 상태에서 순기구학 및 역기구학 식을 활용하여 통일된 움직임 구현할 수 있도록 한다. 개별 모터 회전에 의하여 생기는 선속도 벡터가 전체 차량이 회전할 때의 방향과 동일하도록 선택하고 각속도의 크기는 전체 중심으로부터 바퀴의 중심까지의 거리비에 따라 정하였다.

후 기

6개월 동안 팀원들과 함께 프로젝트를 진행하면서 엔지니어로서 한 단계 성장할 수 있었습니다. 차체와 부품을 만들고 이를 작동시킬 수 있게 하는 프로그래밍과 메카니즘을 짜는 것 무엇 하나 쉽게 해결된 것이 없었습니다. 하지만 팀원들과 힘을 합쳐 서로 돕고 밤낮 가리지 않고 연구하여 프로젝트를 마무리할 수 있어서 너무 기쁩니다. 부품 선정부터 조립, 프로그래밍까지 로봇 제작의 모든 과정을 겪어 보면서 무엇 하나 쉽게 만들어 지지 않는다는 것을 느꼈고, 특히 다른 사람이 만들어 놓은 것을 우리가 사용하고자 하는 용도에 맞게 사용하는 것이 정말 어려운 일이라는 것을 느낄 수 있었습니다. 이를 통해 이론만 배워 무슨 일이던 쉽게 생각하던 저희를 돌아보며 반성하고 겸손함을 갖출 수 있었고, 설계자와 프로그래머분들에게 존경심을 갖게 되었습니다.

참고문헌

- (1) Baeksuk Chu, Gangik Cho and Young Whee Sung, 2015, “Position Control Algorithm and Experimental Evaluation of an Omni-directional Mobile Robot”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 24, No. 2, pp. 141~147

별지

1. 평행·정렬 결합시스템 자동화

‘제 19회 전국 지능형 창작 로봇 경연 대회’에서는 사용자가 육안으로 판단하고 컨트롤러를 이용하여 수동으로 로봇 간 결합을 진행했다. 하지만 ‘제10회 전국학생설계경진대회’에서는 로봇에 레이저 센서를

부착하여 로봇이 스스로 평행·정렬을 하고 결합할 수 있게 알고리즘을 추가했다. 이를 통해 사용자가 좀 더 편리하게 사용할 수 있고 결합할 때 정확성을 향상시켰다.

2. 결합 상태에서 모터 속도 비 구체화

기존 대회에서는 결합 차량의 회전 구동에 대하여 시행오차 과정을 통해 얻은 값을 대입하여 모션을 제어하였다. 그러나 본 대회에서는 순기구학과 역기구학을 통하여 차체 하나의 모션을 제어하는 선행 논문의 구동 알고리즘을 확장하여 다양한 결합 상태에서의 개별 모터 각속도와 전체 회전 각속도 사이의 관계를 고려하였다. 이때 기존의 반복 실험을 통한 구동제어와는 달리 회전 중심과 바퀴 중심사이의 거리비를 고려하는 등 보다 엄밀하게 접근하여 구동을 제어한 것에 그 차별성이 있다.