

# 이중 주차된 차량 이동용 전방향 이동 로봇에 대한 연구

## A Study on an Omni-directional Mobile Robot for Moving a Double-parked Car

윤 경 수\* · 이 명 섭\*\* · 성 영 휘†

(Kyung Su Yoon · Myung Sub Lee · Yount Whee Sung)

**Abstract** - Double parking is very common in a parking lot where there is not sufficient parking space. When we double-park a car, we leave transmission gear in neutral position and release the emergency brake so that the double-parked car can be moved just by pushing it. However, moving a double-parked car by pushing is very hard and dangerous especially for the old and the weak. So, we propose an omni-directional mobile robot for moving a double-parked car easily and safely. The developed omni-directional mobile robot moves a double-parked car by rotating a wheel of a double-parked car. It has two specially designed rollers to rotate a wheel of a double-parked car and is designed so that the height of the robot is very low to be able to enter beneath a double-parked car. It can move a double-parked car safely by detecting obstacles in the way with five ultrasonic sensors. We verified by several experiments that the developed omni-directional mobile robot can be used to move a double-parked car easily and safely.

**Key Words** : Omni-directional mobile robot, Mecanum wheel, Moving a double-parked car, Obstacle avoidance, Ultrasonic sensors

### 1. 서 론

주차 공간이 부족한 아파트, 주택가 또는 상가 등에서는 구획된 주차 공간이 아닌 곳에 보조 브레이크를 풀어 놓고 기어를 중립으로 둔 상태로 주차를 하는 이중 주차가 일상화 되어 있다. 이렇게 이중 주차를 하게 되면 정해진 주차구역에 주차된 차량을 이동시키기 위해서는 이중 주차된 차량을 밀어서 이동시켜야만 한다. 이중 주차된 차량을 손으로 밀어서 이동시키는 것은 성인 남성의 경우에도 쉬운 일이 아니며 특히 노약자나 여성의 경우에는 매우 어렵고 위험한 일이다. 실제 이중 주차된 차량을 밀어서 이동시키다가 주변에 주차된 차량과 부딪쳐 파손되거나 심지어 사람과 충돌을 일으켜 인명 사고가 발생하는 경우도 빈번하다.

본 논문에서는 이중 주차된 차량을 안전하고 편리하게 이동시키기 위해 개발된 전방향 이동 로봇에 대해 기술한다. 개발된 로봇은 메카넘 휠(Mecanum Wheel)을 기반으로 하여 전방향성을 구현하고 다수의 초음파 센서를 사용하여 주변에 충돌 위험이 있는 장애물을 감지한다.

일반적인 바퀴를 장착한 4륜 차량 또는 2륜 차량은 방향 전환과 회전을 하기 위해 조향장치와 일정한 공간이 필요하다. 하지만 메카넘 휠을 사용하면 로봇 몸체의 회전이 없이도 측면주행,

사선주행, 제자리에서 방향 전환 등이 가능하다. 이러한 특징 때문에 좁은 공간에서 이동하는 장치 또는 로봇, 전방향성이 요구되는 로봇 연구 등에 메카넘 휠이 많이 사용되며 여러 분야에 적용한 연구들이 있었다.

메카넘 휠을 적용한 장애인을 위한 전동 휠체어[1], 메카넘 휠을 적용하여 평지 주행과 관을 타고 관의 상태를 파악 할 수 있는 관외주행용 로봇[2], 메카넘 휠의 측면주행을 활용해 계단을 올라가면서 청소를 하는 로봇에 관한 연구[3], 영상 위치 센서와 초음파 센서를 이용해 전방향 구동 로봇 자체의 자동 주차 시스템에 관한 연구[4], 탑승자의 무게 중심을 감지하여 탑승자의 의도대로 이동하는 메카넘 휠을 적용한 전동 스케이트보드에 관한 연구[5], 레스토랑에서 서빙을 하는 웨이터 로봇[6], 화물이송을 위한 전방향 이동로봇[7] 등의 연구가 있었으며, 특히 KUKA에서는 메카넘 휠을 채택한 전방향 이동 로봇을 상품화하여 실제 산업현장에서 이송 작업에 적용하고 있다[8].

### 2. 이중 주차된 차량 이동용 전방향 이동 로봇

#### 2.1 기구부 구성

본 연구에서 이중 주차된 차량을 이동시키는 방법으로 채택한 것은 차량 자체를 들어서 옮기거나 하는 방식이 아니고 차량의 특정한 한 바퀴만을 굴러서 이동시키는 방식이다. 이러한 방식으로 이중 주차된 차량을 이동시키기 위해서 그림 1과 같이 특수한 형태의 롤러를 설계 제작하였다.

† Corresponding Author : School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea.

E-mail : ywsung@kumoh.ac.kr

\* Top Engineering Co. Korea

\*\* School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea.

Received : December 21, 2017; Accepted : January 24, 2018

전방향 이동 로봇에 그림 1에 나타난 롤러를 두 개 장착하였고 장착된 두 개의 롤러 중 하나는 위치가 고정되어 있고 다른 하나는 직선 구동부와 연결되어 이동이 가능한 형태로 설계하였다.

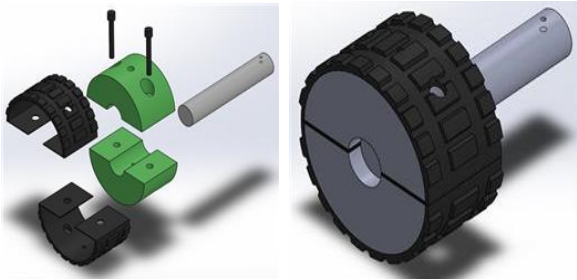


그림 1 이중 주차된 차량의 바퀴를 굴리기 위한 롤러  
Fig. 1 A roller for rolling a wheel of a double-parked car

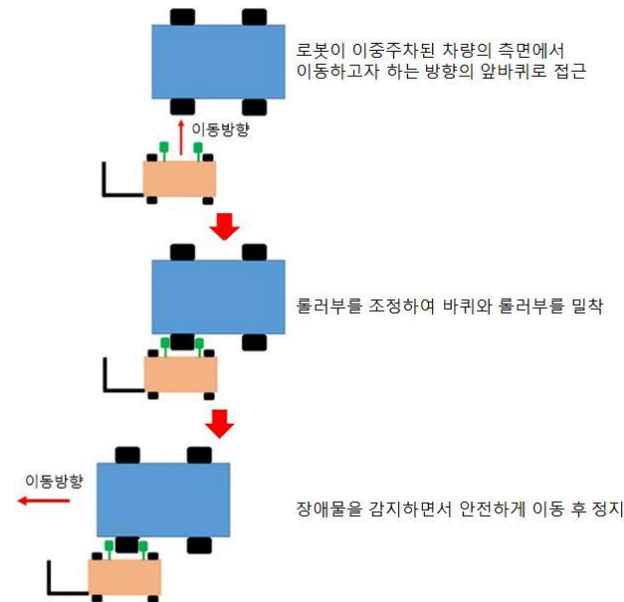


그림 2 이중 주차된 차량을 이동시키는 과정  
Fig. 2 Sequence of moving a double-parked car

그림 2는 전방향 이동 로봇이 이중 주차된 차량을 이동시키는 과정을 나타낸다. 전방향 이동 로봇이 차체 하부로 진입하여 두 개의 롤러를 이중 주차된 차량의 한 바퀴와 양쪽에서 밀착시킨 후 롤러를 회전시키면 이중 주차된 차량의 바퀴가 회전하게 되고 전방향 이동로봇과 이중 주차된 차량이 같이 이동하게 된다. 이와 같은 방식으로 차량을 이동시키기 위해서는 이동 로봇이 전방향 이동이 가능해야 한다.

개발된 이동 로봇은 그림 3과 같은 메카넘 휠을 네 개 장착하고 있어 로봇 몸체의 회전 없이도 전방향으로 이동이 가능하다. 메카넘 휠은 회전축인 림휠 주변에 배치된 서브롤러의 축방향으로 견인력을 활성화하고 서브롤러에 수직인 방향으로 수동적인 회전을 허용하는 원리를 사용하여 전방향성을 가지게 된다. 사용



그림 3 개발된 로봇에 사용된 메카넘 휠  
Fig. 3 A Mecanum wheel for the developed robot

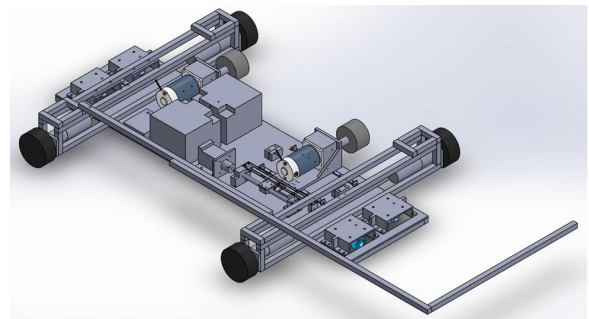


그림 4 개발된 로봇의 도면  
Fig. 4 Drawing for the developed mobile robot

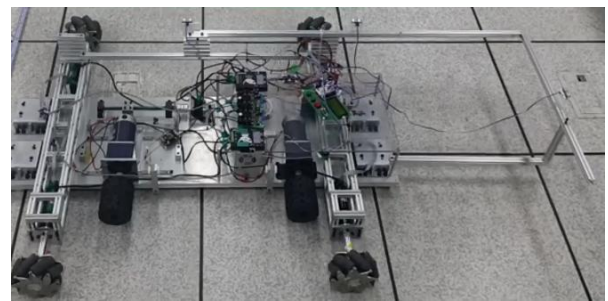


그림 5 개발된 로봇의 외형  
Fig. 5 Appearance for the developed mobile robot

된 메카넘 휠은 폭 55.52 mm, 지름 152.4 mm, 수용 가능한 무게 15 kg이고 서브롤러의 각도는 45°이다.

개발된 전방향 이동 로봇의 바퀴부와 롤러부가 이중 주차된 차량의 하부로 진입하여야 하기 때문에 로봇의 높이에 제한을 받는다. SUV, 중형차, 소형차 등 다양한 차종에 대해 실측을 진행한 결과 지면과 차체 하부면 사이의 최소 거리는 약 190mm 정도였다. 따라서 전방향 이동 로봇의 높이를 180mm로 설계하였다. 그림 4는 개발된 전방향 이동로봇의 설계도이다.

로봇의 몸체는 로봇 자체의 무게를 줄이기 위하여 알루미늄 프로파일을 사용하여 제작하였다. 그림 5는 실제 제작된 외형이다. 이동 로봇은 장애물 감지를 위해 전면부에 초음파 센서를 장착할 수 있는 거치대가 설치되어 있다. 초음파 센서부를 포함한 로봇의 길이는 1920 mm이고 폭은 1200 mm이다.

### 2.2 제어부

전방향 이동 로봇의 제어부는 그림 6에 나타난 바와 같이 모터와 제어 장비에 전원을 공급하는 전원부, 로봇 구동 중 충돌 회피를 위해 장애물을 감지하는 다섯 개의 초음파 센서부, 통신과 모터 제어 등을 수행하기 위한 주제어기인 ST Nucleo-F401RE 32 비트 마이크로컨트롤러, 스마트폰을 이용한 무선 조종 데이터 송수신을 위한 블루투스 모듈, 메카닉 휠 구동용 모터 4개와 롤러 구동 모터 2개 그리고 롤러부 전후 이동을 위해 볼스크류를 구동하는 한 개의 스텝 모터, 일곱 개의 각 모터를 구동하기 위한 모터드라이버로 구성 되어 있다.

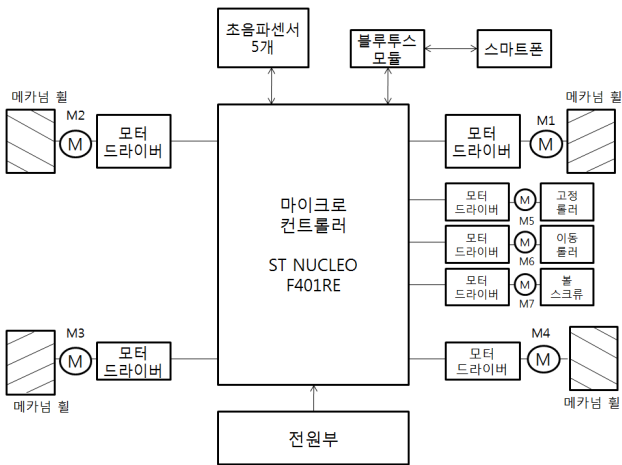


그림 6 제어부  
Fig. 6 Controller structure

센서부는 초음파센서 5개로 구성되어 로봇이 이중 주차된 차량을 이동 시킬 때 전방과 측면의 장애물을 감지하는 역할을 한다. 최소 3cm, 최대 3m까지 감지 가능한 초음파 센서로 이동 중 바닥을 민감하게 감지하지 않도록 하기 위하여 지면으로부터 약 30cm 높이에 부착 하였다. 그림 7과 같은 거치대에 약 15cm의 간격으로 다섯 개를 배치하여 전방향 이동 로봇이 이중 주차된 차량을 이동시킬 때 전방의 장애물을 감지하는데 사용한다.



그림 7 초음파 센서부  
Fig. 7 Ultrasonic sensor part

### 2.3 동작 알고리즘

이중 주차된 차량을 이동시키는 과정은 그림 8과 같다. 스마트폰의 제어 인터페이스를 사용하여 가동 롤러를 이동시켜 롤러의 사이를 최대한으로 벌린 상태에서 이중 주차된 차량의 한 쪽 바

퀴가 롤러 사이에 위치하도록 로봇을 조정한다. 바퀴 사이에 안착 되었으면 가동 롤러를 직선 이동시켜 두 롤러가 이중 주차된 차량의 바퀴와 양 끝에서 밀착되도록 조정한다. 이후 장애물 감지를 위해 초음파 센서를 작동시키면서 롤러와 메카닉 휠을 모두 구동시켜 이동 로봇이 이중 주차된 차량의 바퀴를 굴리면서 이동한다. 이동 중 장애물이 감지되면 자동으로 제동하고 장애물이 제거되면 다시 이동하여 정해진 거리만큼 이동한 후에 정지한다.

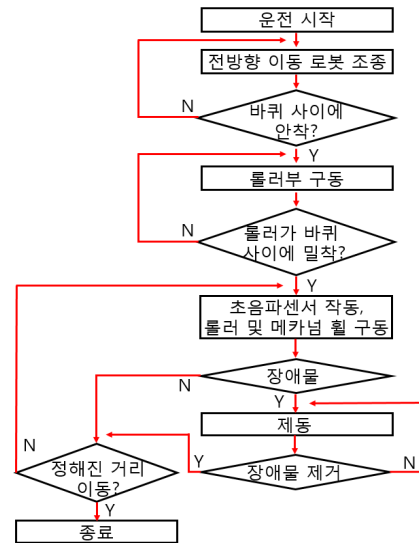


그림 8 동작 알고리즘  
Fig. 8 Algorithm for the operation

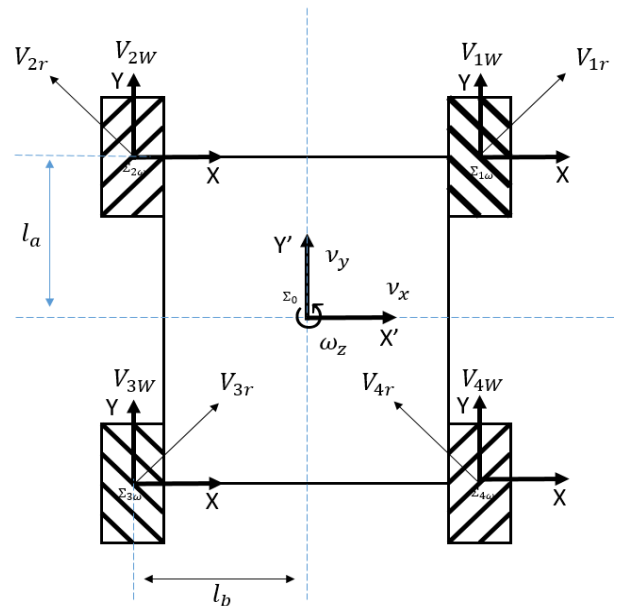


그림 9 기구학 해석을 위한 좌표계 설정  
Fig. 9 Coordinate system assignments

### 2.4 전방향 이동 로봇의 기구학

전방향 이동 로봇의 기구학 해석을 위해 그림 9와 같이 좌표계를 설정한다[9,10]. 그림 9에서  $\Sigma_0$ 는 로봇의 회전 중심 좌표계,  $\Sigma_{iW}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )는 각각의 메카넘 휠의 좌표계를 나타낸다.

$l_a, l_b$ 는 로봇의 회전 중심과 메카넘 휠 중심 사이의 거리로 개발된 전방향 이동 로봇의 경우  $l_a = 485 \text{ mm}$ ,  $l_b = 555 \text{ mm}$ 이다.  $V_{iW}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )는 메카넘 휠 각각의 선속도를 나타내고 선속도는  $V_{iW} = R_W \times \omega_{iW}$  이다.  $R_W$ 는 메카넘 휠의 반지름으로  $76.2 \text{ mm}$ 이고  $\omega_{iW}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )는 메카넘 휠 각각의 각속도를 나타낸다.  $V_{ir}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )는 바닥에 닿는 서브롤러의 접선속도를 나타낸다.  $V_{iY}$ 는  $V_{iW}$ 와  $V_{ir} \times \cos 45^\circ$ 로 구할 수 있고  $V_{iX}$ 는  $V_{ir} \times \sin 45^\circ$ 로 구할 수 있다. 따라서 각각의 메카넘 휠의  $V_{iY}$ 와  $V_{iX}$ 는 식 (1), (2)와 같이 구할 수 있다[10].

$$\begin{aligned} V_{1Y} &= V_{1W} + \frac{V_{1r}}{\sqrt{2}}, & V_{1X} &= \frac{V_{1r}}{\sqrt{2}} \\ V_{2Y} &= V_{2W} + \frac{V_{2r}}{\sqrt{2}}, & V_{2X} &= -\frac{V_{2r}}{\sqrt{2}} \\ V_{3Y} &= V_{3W} + \frac{V_{3r}}{\sqrt{2}}, & V_{3X} &= \frac{V_{3r}}{\sqrt{2}} \\ V_{4Y} &= V_{4W} + \frac{V_{4r}}{\sqrt{2}}, & V_{4X} &= -\frac{V_{4r}}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_{1Y} &= v_y + l_b \cdot \omega_z, & V_{1X} &= v_x - l_a \cdot \omega_z \\ V_{2Y} &= v_y - l_b \cdot \omega_z, & V_{2X} &= v_x - l_a \cdot \omega_z \\ V_{3Y} &= v_y - l_b \cdot \omega_z, & V_{3X} &= v_x + l_a \cdot \omega_z \\ V_{4Y} &= v_y + l_b \cdot \omega_z, & V_{4X} &= v_x + l_a \cdot \omega_z \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 연립하여 풀면 메카넘 휠 각각의 선속도  $V_{iW}$ 를 구할 수 있고 식 (3)과 같이 각속도  $\omega_{iW}$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \omega_{1W} &= (-v_x + v_y + \omega_z(l_a + l_b))/R_W \\ \omega_{2W} &= (v_x + v_y - \omega_z(l_a + l_b))/R_W \\ \omega_{3W} &= (-v_x + v_y - \omega_z(l_a + l_b))/R_W \\ \omega_{4W} &= (v_x + v_y + \omega_z(l_a + l_b))/R_W \end{aligned} \quad (3)$$

이것을 역기구학 행렬로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} \omega_{1W} \\ \omega_{2W} \\ \omega_{3W} \\ \omega_{4W} \end{bmatrix} = \frac{1}{R_W} \begin{bmatrix} -1 & 1 & l_a + l_b \\ 1 & 1 & -(l_a + l_b) \\ -1 & 1 & -(l_a + l_b) \\ 1 & 1 & l_a + l_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

순기구학 행렬은 다음 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \frac{R_W}{4} \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ l_a + l_b & l_a + l_b & l_a + l_b & l_a + l_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{1W} \\ \omega_{2W} \\ \omega_{3W} \\ \omega_{4W} \end{bmatrix} \quad (5)$$

### 3. 실험

#### 3.1 실험 환경

실험 환경은 그림 10과 같이 길이 100cm, 높이 77cm의 가상 벽을 로봇의 전면부와 좌측면부에 설치하고 전방향 이동 로봇의 좌측면에 두 개의 초음파 센서를, 전방에 한 개의 초음파 센서를 부착하여 로봇의 위치와 방향을 측정할 수 있도록 하였다. 전방에 위치한 초음파센서와 전방 벽면과의 떨어진 거리가 600 mm, 좌측 2개의 초음파센서와 좌측 벽면과의 떨어진 거리도 각각 600mm가 되는 위치를 기준 위치로 정하고 바닥면에 사각형 모양으로 표시하였다.

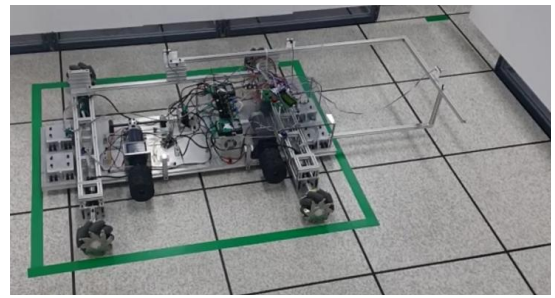


그림 10 실험 환경  
Fig. 10 Experiment Setup

그림 11은 실험 환경 내에 이동 로봇이 위치하고 있을 때, 이동 로봇의 현재 위치와 방향을 구하는 방법을 나타낸다.

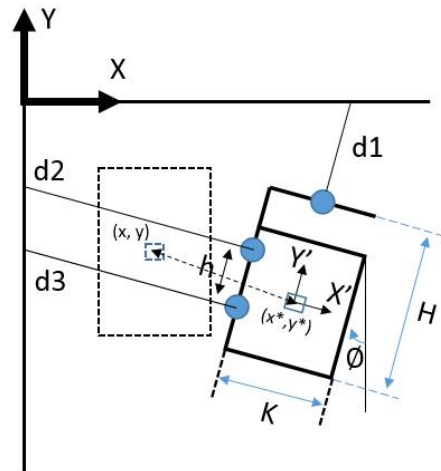


그림 11 이동 로봇의 위치와 방향  
Fig. 11 Position and orientation of the mobile robot

그림 11에서 세 개의 원은 부착된 초음파 센서를 나타낸다. d1은 로봇의 정면에 위치한 초음파 센서와 벽면 사이의 거리를 나타내고 d2, d3은 로봇의 좌측면에 위치한 초음파 센서와 벽면

사이의 거리를 나타낸다. K는 로봇의 폭으로 1200mm 이다. H는 로봇의 길이로 1920mm 이다. h는 좌측면에 부착된 초음파 센서 사이의 거리로 640mm이다. 좌표계는 두 벽면이 만나는 지점이 원점이 되도록 그림과 같이 설정하였다.

점선으로 표시된 사각형에 이동 로봇이 위치할 때,  $d1=600$ ,  $d2=600$ ,  $d3=600$ 이 되고 이 때의 로봇 중심점의 좌표 (x, y)는 (1200, -1560)이 된다.  $\phi$ 는 Y축에 대해 기울어진 각도이고 그림 11의 기하학적 관계로부터 식 (6)과 같이 계산된다. 이동 로봇의 현재 좌표를 나타내는  $(X^*, Y^*)$ 는 식 (7)과 같이 구할 수 있다 [11].

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{d3 - d2}{h}\right) \quad (6)$$

(식 2.1)

$$X^* = \left(\frac{d2 + d3 + K}{2}\right)\cos(-\phi), Y^* = \left(-d1 - \frac{H}{2}\right)\cos(-\phi) \quad (7)$$

### 3.2 전방향 이동 로봇의 정밀도 실험

개발된 전방향 이동로봇의 이동 정밀도를 측정하기 위해 추측 항법(Dead-reckoning)으로 실험을 수행하였다. 외부 센서의 도움 없이 일정거리를 이동시켰을 때 중간 과정에서의 방향오차와 거리, 최종 도착 했을 때 이동한 거리와 로봇의 방향오차를 측정하였다.

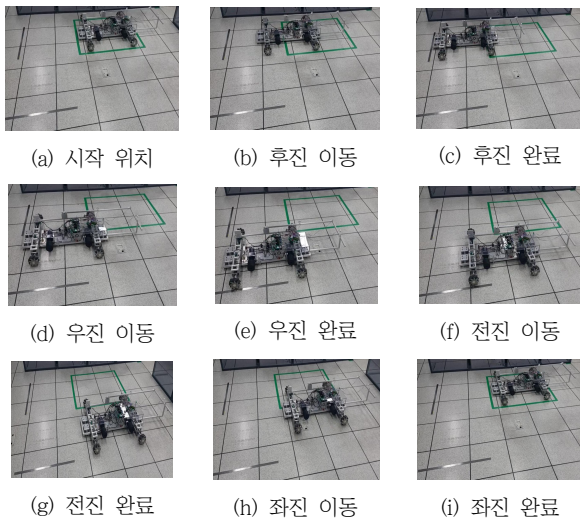


그림 12 사각형 궤적 이동 실험

Fig. 12 An experiment for traveling a square path

실험은 전후진 이동, 좌우측 이동, 좌우측 대각선 이동, 제자리 회전, 사각형 궤적 이동에 대한 실험을 수행하였으며 그림 12는 사각형 궤적을 이동할 때의 실험 결과이다. 사각형 궤적 이동 실험은 처음 위치에서 후진 이동으로 1.2m 이동 후 우측 이동으로 1.2m 이동, 전진 이동으로 1.2m 이동, 좌측 이동으로 1.2m 이동

시켜 최종 도착지점에서 처음 출발 위치와의 오차를 확인하기 위해 수행하였다.

그림 12의 (a)는 시작 위치를 나타내고 (b)는 후진 이동 과정을 나타낸다. (c)는 1.2m 후진 이동을 완료한 상태이다. (d)는 우측 이동 과정을, (e)는 1.2m 우측 이동을 완료한 상태이다. (f)는 전진 이동 과정, (g)는 1.2m 전진 이동을 완료한 상태이다. (h)는 좌측 이동 과정을, (i)는 좌측 이동을 완료하고 처음 출발 위치에서 최종 도착한 상태를 나타낸다.

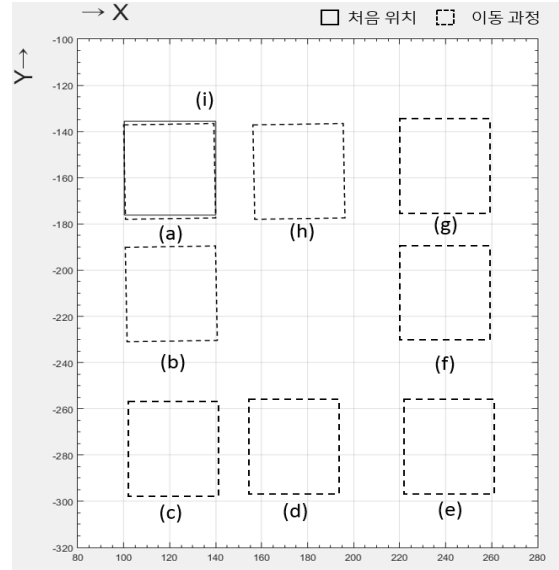


그림 13 사각형 경로에서 이동 로봇의 위치

Fig. 13 The position of the mobile robot in a square path

그림 13은 이동 로봇이 사각형 궤적을 따라 이동할 때의 로봇 위치를 나타낸다. 실험 결과는 표 1에 나타내었다. 이동 로봇이 사각형 경로를 이동하여 처음 위치로 돌아왔을 때  $d1$ 과  $d3$ 의 오차만 10mm가 생겼고 이에 따라 방향 오차가  $+0.87^\circ$  발생하였다. 즉, 초음파 센서의 정밀도가  $\pm 10$ mm 정도로 그리 높지 않다는 점을 고려하면 개발된 전방향 이동 로봇의 위치 오차와 방향 오차가 크지 않다는 것을 알 수 있다.

표 1 사각형 경로 실험 결과

Table 1 Experiment results for a square path

	d1(mm)	d2(mm)	d3(mm)	$\phi$ (deg)
시작위치(a)	600	600	600	$0.0^\circ$
후진이동(b)	1140	610	620	$+0.87^\circ$
후진완료(c)	1810	620	620	$0.0^\circ$
우측이동(d)	1800	1140	1140	$0.0^\circ$
우측완료(e)	1800	1810	1810	$0.0^\circ$
전진이동(f)	1140	1800	1800	$0.0^\circ$
전진완료(g)	590	1800	1800	$0.0^\circ$
좌측이동(h)	600	1160	1170	$+0.87^\circ$
최종위치(i)	610	600	610	$+0.87^\circ$

### 3.3 전방향 이동 로봇의 오차 복구 능력 실험

이동 로봇은 내, 외부의 결합에 의해 이동 시 오차를 가질 수밖에 없는 시스템이다. 따라서 위치 정밀도가 필요한 대부분의 응용에서는 외부의 센서를 사용하여 취득한 데이터를 기반으로 이동 로봇의 오차를 극복하게 된다. 이번 실험은 초음파 센서를 사용하여 로봇의 현재 위치와 방향을 식 (6), (7)을 사용하여 추정하고 이 데이터를 기반으로 로봇을 피드백 제어함으로써 로봇의 정밀도를 향상시키는 실험을 수행하였다.

로봇에 부착된 초음파 센서 데이터로부터 식 (6)과 (7)을 사용하여 이동 로봇의 현재 위치와 각도  $X^*$ ,  $Y^*$ ,  $\phi$ 를 구할 수 있고, 이동 로봇의 목표 위치와 목표 방향인  $X$ ,  $Y$ ,  $0^\circ$ 와의 차이를 이용하여 이동 로봇의 Y방향 속도  $v_y$ , X방향 속도  $v_x$ , 각속도  $\omega_z$ 를 다음 식과 같이 구할 수 있다[11].

$$\begin{aligned} v_x &= K_x (X - X^*) \\ v_y &= K_y (Y - Y^*) \\ \omega_z &= K_z (-\phi) \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)에서 주어진 값을 식 (4)의 역기구학 식에 대입하면 각각의 메카넘 휠에 대한 목표 각속도를 구할 수 있으므로 이를 이용하여 이동 로봇을 제어한다.  $K_x, K_y, K_z$ 는 P제어 이득으로 실험을 통해 적절한 값을 선정하여 사용하였다.

개발된 전방향 이동 로봇이 목표 위치와 비교하여 위치 오차와 방향 오차가 있을 때 외부 센서인 초음파 센서를 사용하여 이 오차를 극복하는 능력에 대한 실험을 수행하였다. 즉, 그림 14의 (a)에서와 같이 로봇이 초기에 위치해 있을 때 초음파 센서 데이터를 사용하여 이동 로봇의 현재 위치를 추정하면서 네 개의 메카넘 휠을 구동하여 최종 목표 위치로 얼마나 정확하게 복귀할 수 있는지를 실험하였다.

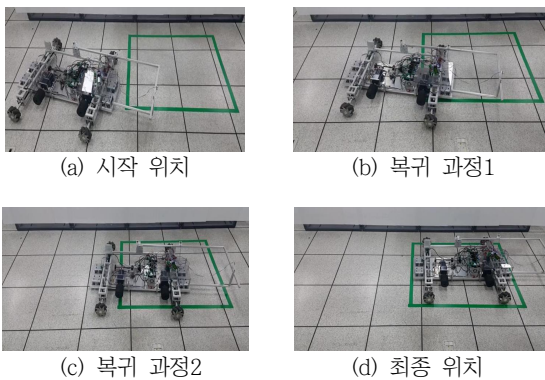


그림 14 위치 오차와 방향 오차가 있을 때 오차 극복 능력 실험  
**Fig. 14** Experiment for overcoming position error and orientation error

그림 14의 (b), (c)는 오차를 극복하며 목표 위치로 이동 중인 과정을 나타낸다. 그림 14의 (d)는 최종 목표 위치에 도착한 상

태를 나타낸다. 그림 15의 (a)~(d)는 그림 14의 (a)~(d)의 로봇의 위치를 이차원 평면상에서 표시한 것이다. 그림 15의 (d)에서 실선으로 표시된 사각형이 목표 위치를 나타낸다.

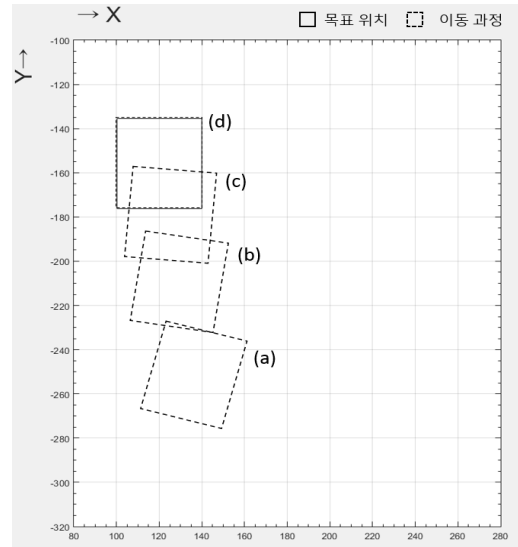


그림 15 위치 오차와 방향 오차가 있을 때 로봇의 이동  
**Fig. 15** Mobile robot movement when position error and orientation error exist

전방향 이동 로봇의 처음 위치는  $d1=1740\text{mm}$ ,  $d2=900\text{mm}$ ,  $d3=730\text{mm}$ 이다. 처음 위치에서 목표 위치와의 차이는  $d1=1140\text{mm}$ ,  $d2=300\text{mm}$ ,  $d3=130\text{mm}$ 이고 방향 오차는  $\phi=-14.87^\circ$ 이다. 표 2는 그림 15의 각 위치에서의 위치 오차와 방향오차를 나타낸 것이다. 실험 결과 초음파 센서를 사용하여 위치 오차와 방향 오차를 극복하고 최종 목표 위치에 오차 없이 도달할 수 있음을 알 수 있다.

표 2 오차 극복 실험 결과

Table 2 Experiment results for overcoming errors

	d1(mm)	d2(mm)	d3(mm)	$\phi(\text{deg})$
시작위치(a)	1740	900	730	$-14.87^\circ$
복귀과정1(b)	1130	760	660	$-8.88^\circ$
복귀과정2(c)	830	690	630	$-5.35^\circ$
최종위치(d)	600	600	600	$0.0^\circ$

### 3.4 개발된 전방향 이동 로봇의 차량 이동 실험

그림 8에 나타난 알고리즘에 따라 스마트폰을 이용하여 전방향 이동 로봇을 조종하면서 실외에서 이중 주차된 차량을 안전하게 이동하는 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험은 이동 로봇이 전방향성을 이용하여 이중 주차된 차량의 앞바퀴를 찾아 들어가는 과정을 실험하였으며 결과는 그림 16에 나타내었다. 그림 16의

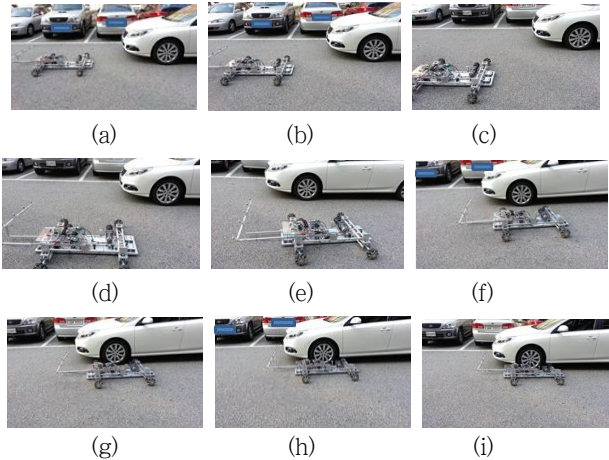


그림 16 전방향성을 이용하여 바퀴 찾아 들어가기  
**Fig. 16** Approaching to a wheel by using omni-directional mobility

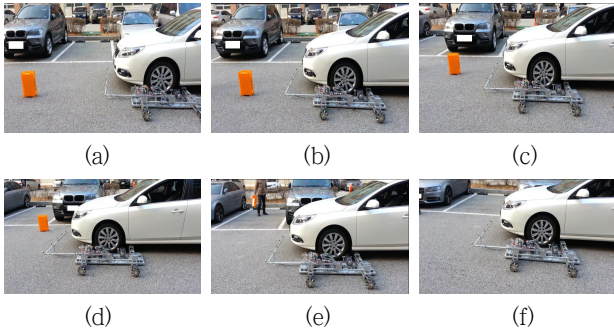


그림 17 고정 장애물 실험  
**Fig. 17** Experiment for a fixed obstacle

(a)~(c)에서 이동 로봇은 좌측 이동을 하고 (d), (e)에서 후진을 한 후, (f)~(i)에서 우측 이동을 하여 차체 하부로 들어가 이중 주차된 차량의 한 쪽 앞바퀴에 두 개의 롤러를 밀착시킬 수 있도록 이동한다.

두 번째 실험은 고정 장애물이 있을 때 이중 주차된 차량을 전진 이동시키는 실험이다. 고정 장애물은 가로 120mm, 세로 280mm, 높이 450mm의 장애물을 이중 주차된 차량이 이동하는 방향의 좌측, 중앙, 우측으로 차례로 이동 배치하면서 차량 이동 실험을 수행하였다. 전방향 이동 로봇이 이중 주차된 차량을 이동시키면서 다섯 개의 초음파 센서를 이용하여 장애물을 감지하면 차량 이동을 중지하고 장애물이 제거되면 차량 이동을 재개하여 지정된 거리만큼 이동한 후 정지하는 실험이다. 실험 결과는 그림 17과 같다.

그림 17의 (a)는 출발 전의 상태이다. 장애물은 이중 주차된 차량의 좌측면에 위치된 상태이다. (b)는 전방향 이동 로봇이 장애물을 감지하여 정지를 한 상태이고, 이 상태에서 장애물을 제거한 후 장애물을 차량의 중앙부로 이동 배치하였다. 장애물이 제거된 상태에서 전방향 이동 로봇은 이동을 재개하고 그림 17

의 (c)에서 중앙의 장애물을 감지한 후 정지한다. 다시 장애물을 제거하고 차량의 우측면으로 이동 배치하면 이동을 재개하고 그림 17의 (d)에서 이중 주차된 차량의 우측면에 있는 장애물을 감지하고 정지한다. 그림 17의 (e)는 지정된 주차구역에 주차된 차량은 감지를 하지 않고 앞으로 계속 이동시키는 상태를 보이고 있으며 그림 17의 (f)는 지정된 거리만큼 이동 후 멈춘 상태이다. 실험 결과 다양한 위치에 있는 전방의 장애물을 정확하게 감지하고 알고리즘에 따라 이중 주차된 차량을 안전하게 이동시켰다.

세 번째 실험은 이동 장애물이 있을 때 이중 주차된 차량을 전진 이동시키는 실험으로 결과는 그림 18과 같다. 그림 18의 (a)에서 전방향 이동 로봇이 이중 주차된 차량의 이동을 개시한다. 그림 18의 (b)는 차량의 이동 중에 사람이 이중 주차된 차량의 전방 왼쪽에서 진입한 상태로 전방향 이동 로봇은 사람을 장애물로 인식하고 이동을 멈춘다. 그림 18의 (c)에서 사람이 이동하여 안전거리 이상으로 멀어지면 전방향 이동 로봇은 이동을 재개한다. 그림 18의 (d)에서는 사람이 이중 주차된 차량의 전방 오른쪽에서 진입하고 이동 로봇은 감지 후 이동을 멈춘다. 그림 18의 (e)에서 사람이 다시 이동하여 경로 상에 장애물이 존재하지 않으면 이동을 재개한 후 그림 18의 (f)에서와 같이 지정된 거리만큼 이동하고 정지한다. 실험 결과 전방향 이동 로봇은 사람이 감지되면 즉시 제동하고 제동 상태를 유지하며 진행 경로 상에서 사람이 사라진 후에는 이동을 재개하여 정해진 거리만큼 이중 주차된 차량을 이동시킨 후 정지 하였다. 위의 두 실험 결과 전방향 이동 로봇은 정지 장애물과 이동 장애물을 모두 정확하게 감지하고 이중 주차된 차량을 안전하게 이동시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

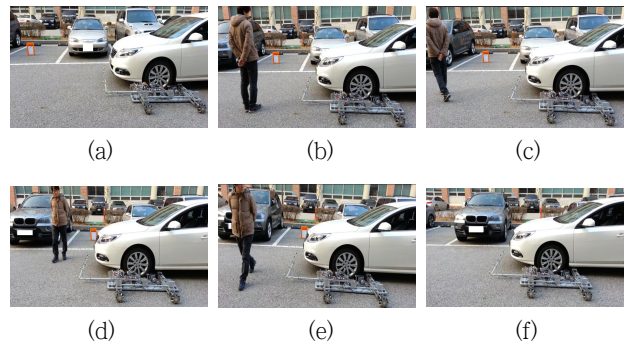


그림 18 이동 장애물 실험  
**Fig. 18** Experiment for a moving obstacle

#### 4. 결 론

본 논문에서는 이중 주차된 차량을 안전하고 편리하게 이동시켜 줄 수 있는 이동 로봇에 대하여 연구하였다. 제한한 이동 로봇은 이중 주차된 차량의 차체 밑으로 진입한 후, 이중 주차된 차량의 한 쪽 바퀴를 두 개의 롤러를 사용하여 회전시킴으로써 차량을 이동시키는 방식이다. 이러한 방식이 가능하기 위해서는

이동 로봇이 전방향성을 가져야 하고 로봇 자체의 높이가 낮아야 하는 제한점을 갖는다. 따라서 전방향성을 갖도록 하기 위해 네 개의 메카넘 휠을 채택하였고 국내에서 사용되는 대부분의 차량을 이동시킬 수 있도록 로봇의 높이를 가능한 낮추어 설계 제작하였다. 이중 주차된 차량의 바퀴를 강제로 회전시킬 수 있도록 롤러 형태의 톨도 설계 제작하였다. 전방향 이동 로봇이 이중 주차된 차량을 안전하게 이동시킬 수 있도록 다수 개의 초음파 센서를 사용하여 장애물을 감지하면 차량의 이동을 정지시키고 장애물이 제거되면 이동을 재개하도록 하였다. 개발된 전방향 이동 로봇의 주행 정밀도 실험을 통하여 평면 상의 임의의 방향으로 매우 정밀하게 이동할 수 있음을 보였고, 초음파 센서를 사용하여 목표 위치로 정밀하게 이동할 수 있음을 보이는 실험도 수행하였다. 또한 이중 주차된 중형 세단을 대상으로 고정 장애물과 이동 장애물이 있는 경우에 차량을 안전하고 편리하게 이동시킬 수 있음을 실험을 통하여 검증하였다. 추후에는 스마트폰으로 로봇을 조종을 하는 것이 아니라 영상센서 등을 사용하여 이중 주차된 차량을 로봇이 스스로 찾아가서 이동시켜주는 자율형 전방향 이동 로봇을 개발할 예정이다.

**감사의 글**

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 지원된 논문임

**References**

[1] Christian Buhler, Ralf Hoelper, Helmut Hoyer, Wolfram Humann, "Autonomous robot technology for advanced wheelchair and robotic aids for people with disabilities," Robotics and Autonomous Systems, 14 (1995), pp. 213-222

[2] B.S. Lee, H. S. Yang, "Design of pole climbing robot with mecanum wheel," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, pp. 323-324, 2010.

[3] J.J. Kim, H. S. Kim, Y. H. Kim, S. Y. Jung, "Design of a stair cleaning robot using mecanum wheels," ICROS 2013, pp. 441-442, 2013.

[4] YunHimchan, HwangJeonguk, YoonHeesang, ParkTaehyeong, KimGonu, "Auto-Parking System of Omni-directional Robot Using Fuzzy Control," CICS'13, pp. 26-27, 2013.

[5] Y. J. Choi, B. K. Kim, T. Y. Do, J. R. Yoo, "Intention Reading for Operation of a Motorized Skateboard with Mecanum Wheels," ICROS 2013, pp. 110-111, 2013.

[6] A Cheong, MWS Lau, E Foo, J Hedley, Ju Wen Bo, "Development of a Robotic Waiter System," IFAC-PapersOnLine, Volume 49, Issue 21, pp. 681-686, 2016

[7] Dong-Hyuk Jeong, Jong-Han Park, Jin-Il Park, Yong-

Tae Kim, "A study on Omni-directional mobile robot for freight transportation," CICS '12, pp. 137-138, 2012.

[8] Tianran Peng, Jun Qian, Bin Zi, Jiakui Liu, Xingwei Wang, "Mechanical Desing and Control System of and Omin-directional Mobile Robot for Material Converying," 9<sup>th</sup> International Conf. on Digital Enterprise Technology, pp. 412-415, 2016

[9] Muir, P. F., Neuman, C. P., "Kinematic Modeling for Feedback Control of an Omnidirectional Wheeled Mobile Robot", In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1172-1178, 1987.

[10] Pakpoom Viboonchaicheep, Akira Shimada, "Position Rectification Control for Mecanum Wheeled Omni-directional Vehicles," IECON'03, pp. 854-859, 2003

[11] Baeksuk Chu, Gangik Cho, Young Whee Sung, "Position Control Algorithm and Experimental Evaluation of an Omni-directional Mobile Robot", Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 24, No. 2, pp.141-147, 2015.

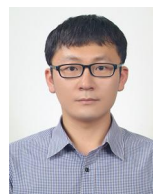
**저 자 소 개**

**윤 경 수 (Kyung Su Yoon)**



1987년 5월 9일생. 2015년 금오공과대학교 전자공학부 졸업. 2015년 3월~2017년 2월 금오공과대학교 전자공학과 석사. 2017년~현재 (주)탐앤지니어링 연구원  
주관심분야 : 지능로봇, 임베디드 시스템.

**이 명 섭 (Myung Sub Lee)**



1981년 2월 15일생. 2008년 계명대학교 기계자동차공학과 졸업. 2010년 계명대학교 지능형자동차공학과 석사. 2014년 2월~금오공과대학교 전자공학과 박사과정  
주관심분야 : 지능로봇, 임베디드 시스템.

**성 영 휘 (Young Whee Sung)**



1962년 5월 20일생. 1988년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1996년 KAIST 전기및전자공학과 졸업(공학). 1996년~1998년 LG산전 선임연구원. 1998~현재 국립 금오공과대학교 전자공학부 교수  
주관심분야 : 지능로봇, 지능형 이동체