

## 네 바퀴 이동로봇의 주차 동작에 관한 연구

### A Study on Parking Motions of a Four-wheeled Mobile Robot

강수민<sup>1</sup>, 성영휘<sup>2\*</sup>

Su-min Kang<sup>1</sup>, Young Whee Sung<sup>2\*</sup>

#### 〈Abstract〉

Traditional cars have a structure that steers the front wheels to change their direction so they have difficulties in performing parking motion, especially in a narrow space. As electric vehicles developed, robotics technology especially omni-directional mobile robot technology began to be incorporated into the automobile field. Omni-directional mobility and special turning movements are particularly useful for parking cars. In this paper, we propose a four-wheeled mobile robot. The proposed robot has a structure that can combine or separate robot body and robot wheel parts by using electric brakes. The proposed robot has omni-directional mobility and has the ability to rotate around an arbitrary point. Due to these omnidirectional and rotational characteristics, the proposed robot allows for various types of movements when applied to a car. In particular, parking is performed in a simple and intuitive manner that does not require complicated path planning. We implemented the proposed four-wheeled robot and showed its effectiveness by conducting several parking experiments.

*Keywords : Four-wheeled Robot, Mobile Robot, Parking Motion*

---

1 주저자, (주)자화전자, 부연구원  
E-mail: smkang@jahwa.co.kr

2\* 정회원, 교신저자, 금오공과대학교 전자공학부, 교수  
E-mail: ywsung@kumoh.ac.kr

1 JAHWA ELECTRONICS Co., Ltd, Korea

2\* School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology

### 1. 서론

전통적인 자동차는 자동차의 진행방향을 바꾸기 위해서 앞바퀴를 조향하는 구조를 가지고 있으며 이로 인해 계와 같이 옆으로 이동하는 크랩(crab) 주행이나 사선주행과 같은 전방향(Omindirectional) 이동성을 가지지 못하고 제자리 회전이나 특정 회전중심점을 기준으로 하는 회전 등의 동작을 하는 것은 불가능하다.

자동차 산업이 발전하면서 내연기관 자동차를 벗어나 전기모터를 사용하는 전기차 시대로 접어들게 되었고 이에 따라 자동차의 전방향 이동성을 구현하기 위하여 다양한 방법이 제안되고 있다 [1-4]. 로봇공학분야에서의 전방향 이동 기술들은 주로 메카넘휠이나 옴니휠 등과 같은 특수한 형태를 띤 바퀴를 장착하는 방식인데 이러한 특수바퀴들은 구조적 견고성이 약하고 이물질에 취약하여 실외 환경에서 작동하는 자동차에는 적용하기 어렵다[5]. 전방향 이동성이나 특별한 회전 동작은 특히 자동차의 주차 동작에 있어 유용하다. 여러 자동차 제조회사에서는 자신들의 자동차에 자동주차 기능을 탑재하고 있으나 대부분의 경우에는 기존 내연기관 자동차의 주차를 위한 동작을 자동화된 경로계획에 따라 생성하는 수준에 그치고 있다. 다만 최근에 국내의 자동차 관련회사가 인휠(In-wheel) 모터를 채택하여 전방향 이동성과 회전 동작을 구현하는 시스템을 개발하여 발표하였다[6]. 본 논문에서는 특수바퀴가 아닌 일반 타이어 튜브 바퀴를 장착하고도 전방향 이동성과 특수한 회전 동작을 구현할 수 있는 이동로봇을 제안하고 이를 자동차에 적용하면 다양한 주차동작을 복잡한 경로계획 없이 직관적으로 쉽게 수행할 수 있음을 보인다.

### 2. 로봇시스템

본 논문에서 제안한 네 바퀴 이동로봇의 외형은 Fig. 1과 같다. 이 로봇은 두 개의 동일한 로봇 모듈이 서로 연결되어 있는 형태이다. 하나의 로봇 모듈은 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 차동구동형 바퀴를 가지며 전방향 이동이 가능한 로봇이다. 이 로봇은 두 개의바퀴로 이루어진 바퀴부와 로봇 몸체부가 전자 브레이크에 의해 서로 결합되거나 분리될 수 있는 구조로 되어 있다.

하나의 로봇 모듈에는 독립적으로 구동되는 두 개의 바퀴가 있는데 각각 증분형 엔코더가 달린 DC모터에 의해 구동된다. 이 바퀴부에는 연직방향으로 부착된 원기동 형태의 샤프트가 연결되어 있고 이 샤프트는 Fig. 3에서 나타낸 바와 같은 전자브레이크를 통해 절대치 엔코더와 연결되어 있다.

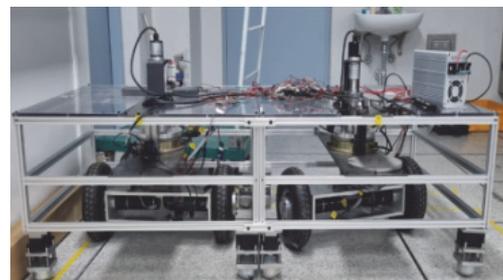


Fig. 1 The proposed four-wheeled mobile robot

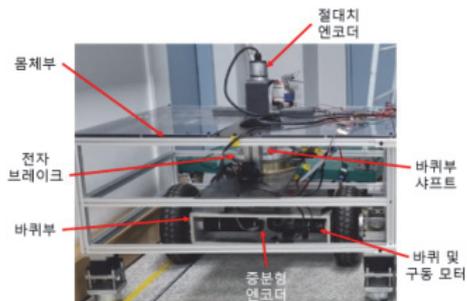


Fig. 2 Robot module

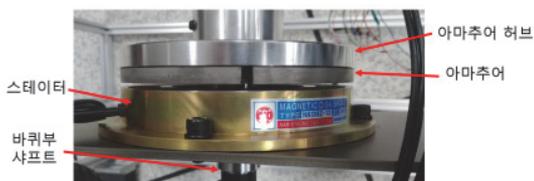


Fig. 3 Electric brake

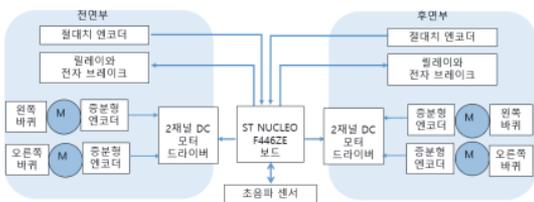


Fig. 4 Robot controller

전자브레이크는 Fig. 3에서와 같이 고정되어 있는 스테이터, 그리고 스테이터와 분리된 아마추어 및 아마추어 허브로 구성되어 있는데 전자브레이크에 전류를 흘려주면 전자장이 발생하여 스테이터와 아마추어가 단단하게 고정되게 된다. 한편 스테이터와 절대치형 엔코더는 로봇 몸체부에 고정되어 있고 로봇 바퀴부의 샤프트는 아마추어 및 절대치형 엔코더와 연결되어 있어서 전자브레이크에 전류가 흐르지 않을 때는 바퀴부가 몸체부와 독립적으로 자유롭게 제자리 회전이 가능하게 되지만 전자브레이크에 전류가 흐르면 로봇 바퀴부와 몸체부는 서로 견고하게 고정되어 이 로봇 모듈은 바퀴가 몸체에 고정된 일반적인 차동 구동형 이동로봇이 된다.

로봇 제어기의 구성은 Fig. 4와 같다. 로봇 주 제어기는 32비트 마이크로컨트롤러인 ARM M4를 채용한 누클레오 보드를 사용하였다. 네바퀴 이동로봇의 전면부와 후면부의 바퀴를 구동하는 네 개의 모터를 구동하기 위하여 2채널 DC모터 드라이버인 MW-MDC24D200D 두 개를 사용하였다. 이 드라이버는 DC모터에 부착되어 있는 중분형 엔코더로부터 펄스 신호를 받아 PID 속도제어를 수행

할 수 있다. 누클레오 보드는 DC모터 드라이버에 각 바퀴를 구동하기 위한 속도명령을 주고 절대치 엔코더 및 초음파센서를 인터페이스한다. 또한 릴레이를 통해 전자브레이크를 온/오프하기 위한 명령을 준다.

제안된 네 바퀴 로봇은 Fig. 5에서와 같이 두 종류의 PID제어를 수행한다. DC모터 드라이버인 문위커는 제어기로부터 속도명령을 받아 자체적으로 PID 속도제어를 수행한다. 즉 주어진 속도명령에 따라 바퀴부의 두 바퀴를 속도 제어한다. 로봇이 전방향 이동을 하기 위해서는 먼저 전자브레이크를 풀어 로봇 몸체부와 바퀴부를 분리한 상태에서 몸체부는 고정된 채로 바퀴부만을 로봇이 이동할 방향으로 향하도록 회전시켜야 한다. 로봇의 바퀴부는 두 개의 차동 구동되는 바퀴로 이루어져 있으므로 두 바퀴의 회전방향을 반대로 하면 제자리 회전하게 되고 이에 따라 바퀴부에 부착되어 있는 샤프트가 회전하는데 이 회전 각도는 절대치 엔코더를 통하여 피드백된다. 즉 바퀴부의 회전 각도를 명령으로 주고 절대치 엔코더로 각도를 피드백 받아 PID위치 제어를 하게 된다.

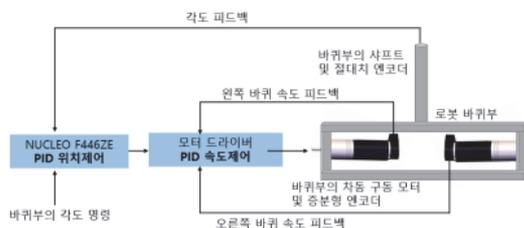


Fig. 5 Position control for wheel parts

### 3. 로봇 전방향 동작 및 회전

제안된 네 바퀴 로봇은 로봇 몸체를 회전하지 않고도 평면상의 모든 방향으로 이동할 수 있는 전방향(Omin-directional) 동작을 할 수 있을 뿐

아니라 다양한 형태의 회전 동작이 가능하며 이를 활용하면 매우 쉽고 직관적으로 주차동작을 수행할 수 있다. Fig. 6은 네 바퀴 로봇의 전방향 이동성을 보인다. 그림에서 위쪽의 정사각형은 로봇의 전면부를, 아래쪽의 정사각형은 로봇의 후면부를 나타낸다. 각 정사각형 안의 직사각형은 각각 로봇의 전면부와 후면부의 바퀴부를 나타낸다. 또한 화살표는 로봇의 이동방향을 나타낸다. 그림에서와 같이 로봇은 전자브레이크를 해제하고 전면부와 후면부의 바퀴부를 이동하고자 하는 방향을 향하도록 위치 제어한 후 다시 전자브레이크를 작동시킨 후 바퀴부의 바퀴를 속도제어 함으로써 원하는 방향으로 이동할 수 있게 된다.

제안된 로봇은 임의의 회전 중심점을 중심으로 회전이 가능한데 주차동작을 위해서는 Fig. 7에서와 같이 세 종류의 회전을 고려한다. 그림에서 왼

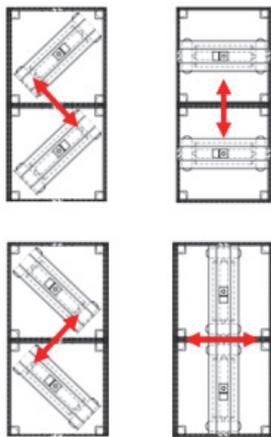


Fig. 6 Omni-directional move

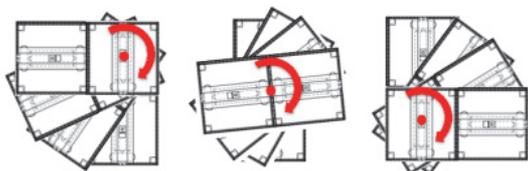


Fig. 7 Three types of rotation

쪽 편은 로봇 전면부의 바퀴부 중심점에 대한 회전, 가운데는 로봇 중심점에 대한 회전, 그리고 오른쪽은 후면부의 바퀴부 중심점에 대한 회전을 나타낸다.

Fig. 8은 네 바퀴 로봇을 나타낸다. 그림에서 왼쪽 정사각형은 로봇 전면부를, 오른쪽 정사각형은 로봇 후면부를 나타내고, 정사각형 안에 위치한 직사각형은 바퀴부를 나타낸다. 전면부와 후면부는 모듈로봇으로 동일한 형태와 치수를 갖는다. 전면부의 가로 길이는  $L_1$ , 바퀴부에 부착된 바퀴 사이의 길이는  $L_2$ 이다.  $v_l^f, v_r^f, v_l^r, v_r^r$ 은 각각 전면부 왼쪽 바퀴의 선속도, 전면부 오른쪽 바퀴의 선속도, 후면부 왼쪽 바퀴의 선속도와 후면부 오른쪽 바퀴의 선속도를 나타낸다.

Fig. 8에서 세 개의 X 표시는 회전 중심을 나타내는데 왼쪽부터 차례로 전면부의 바퀴부 중심점, 로봇 중심점, 후면부의 바퀴부 중심점을 나타낸다. 로봇 중심점에 대한 회전을 수행하면 네 바퀴 로봇은 제자리 회전을 하게 된다. 이때에는 로봇 전면부와 후면부의 전자브레이크를 모두 작동시켜 두 개의 바퀴부 모듈을 로봇 몸체에 고정시킨 후 바퀴를 속도제어하게 된다. 로봇 중심점에

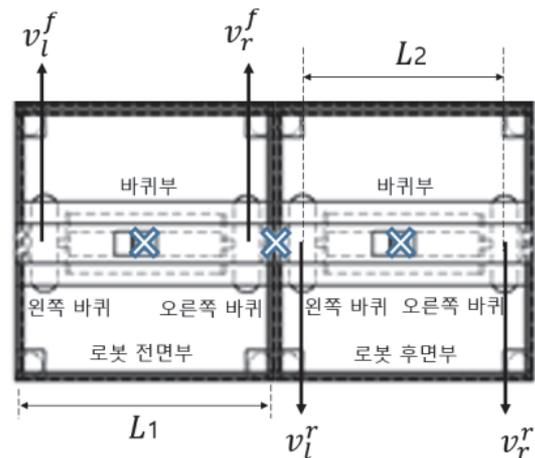


Fig. 8 Three centers of rotation of the robot

대해 시계방향으로 회전하는 로봇의 각속도를  $w$ 라 하면 바퀴의 선속도 성분들은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} |v_l^f| &= [(L_1 + L_2)/2] |w| \\ |v_r^f| &= [(L_1 - L_2)/2] |w| \\ |v_l^r| &= [(L_1 - L_2)/2] |w| \\ |v_r^r| &= [(L_1 + L_2)/2] |w| \\ v_l^f &= -v_r^r, v_r^f = -v_l^r \end{aligned} \quad (1)$$

한편, 로봇 바퀴의 반지름을  $r$ 이라 할 때 로봇 바퀴의 선속도  $v$ 와 로봇 바퀴의 회전 각속도  $w_r$  사이에는  $v = w_r \times r$ 의 관계가 있으므로 식 (1)로부터 식 (2)를 구할 수 있다. 식 (2)는 네 바퀴 로봇의 회전 각속도  $w$ 가 주어진 경우에 네 바퀴의 회전 각속도를 구한 것이고 이는 PID 속도 제어기가 추종해야할 속도 명령으로 주어진다. 식 (2)에서  $w_l^f, w_r^f, w_l^r, w_r^r$ 은 각각 전면부 왼쪽 바퀴, 전면부 오른쪽 바퀴, 후면부 왼쪽 바퀴, 후면부 오른쪽 바퀴의 각속도를 나타낸다.

$$\begin{aligned} |w_l^f| &= [(L_1 + L_2)/2r] |w| \\ |w_r^f| &= [(L_1 - L_2)/2r] |w| \\ |w_l^r| &= [(L_1 - L_2)/2r] |w| \\ |w_r^r| &= [(L_1 + L_2)/2r] |w| \end{aligned} \quad (2)$$

로봇 전면부의 바퀴부 중심점에 대한 회전을 하는 경우에는 전면부 전자브레이크를 해제하여 전면부의 바퀴부는 로봇 몸체와 연결이 해제된 상태에서 후면부 전자브레이크를 작동시켜 후면부의 바퀴부만 로봇 몸체에 고정된다. 이때에는 전면부의 바퀴부는 움직이지 않으므로  $v_l^f, v_r^f$ 는 0이고 후면부의 각 바퀴의 선속도 성분들과 각속도 성분들은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} |v_l^r| &= \left( \frac{2L_1 - L_2}{2} \right) |w|, \\ |v_r^r| &= \left( \frac{2L_1 + L_2}{2} \right) |w| \\ |w_l^r| &= \left( \frac{2L_1 - L_2}{2r} \right) |w|, \\ |w_r^r| &= \left( \frac{2L_1 + L_2}{2r} \right) |w| \end{aligned} \quad (3)$$

로봇 후면부의 바퀴부 중심점에 대한 회전을 하는 경우에는 전면부 전자브레이크를 작동시켜 전면부의 바퀴부는 로봇 몸체와 고정되고 후면부 전자브레이크를 해제하여 후면부의 바퀴부만 로봇 몸체와 연결이 해제된다. 이때에는 후면부의 바퀴부는 움직이지 않으므로  $v_l^r, v_r^r$ 은 0이고 전면부의 각 바퀴의 선속도 성분들과 각속도 성분들은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} |v_l^f| &= \left( \frac{2L_1 + L_2}{2} \right) |w|, \\ |v_r^f| &= \left( \frac{2L_1 - L_2}{2} \right) |w| \\ |w_l^f| &= \left( \frac{2L_1 + L_2}{2r} \right) |w|, \\ |w_r^f| &= \left( \frac{2L_1 - L_2}{2r} \right) |w| \end{aligned} \quad (4)$$

#### 4. 실험

제안된 네 바퀴 로봇의 전방향 이동성과 회전 성능을 이용하여 평행주차 및 일반주차 동작에 대한 실험을 수행하였다. 평행주차 실험은 로봇의 전방향성을 이용하여 Fig. 9에서와 같이 후진, 바퀴부 정렬, 좌진의 순서로 이동한다. Fig. 9의 (a)는 로봇의 초기 위치를 나타내며 그림에서 로봇의 왼쪽이 전면부, 오른쪽이 후면부이다.

Fig. 10은 주차 동작 중에 바퀴부의 방향을 나

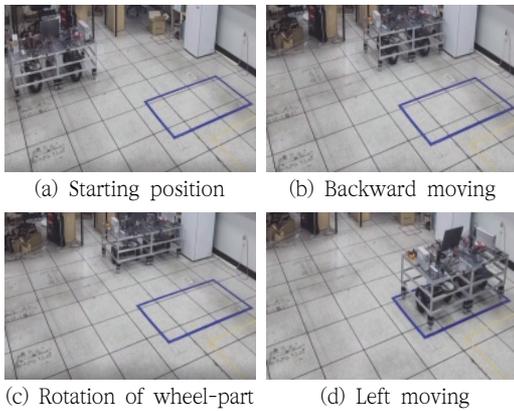


Fig. 9 Parallel parking motion

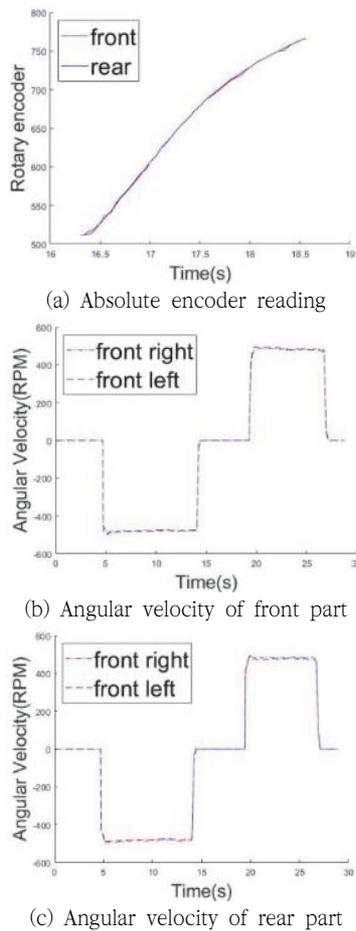


Fig. 10 Encoder outputs and angular velocities of the four wheels

타내는 절대치 엔코더의 값과 각 바퀴의 각속도를 나타낸 것이다.

이 때 바퀴부는 정면을 향해 있으며 Fig. 10의 (a)에서와 같이 절대치 엔코더 값은 512이다. Fig. 9의 (b)는 로봇이 후진하여 주차 영역과 평행하게 위치한 상태를 나타낸다. Fig. 9의 (c)에서는 두 개의 바퀴부를 모두 90° 회전한 상태를 나타낸다. Fig. 10의 (a)에서 바퀴부의 위치제어를 통해 최종 절대치 엔코더의 값이 90° 회전한 768에 위치한 상태를 나타낸다. 이어 Fig. 9의 (d)에서 로봇을 좌진하여 주차를 완료하게 된다. Fig. 10의 (b)와 (c)에서는 전면부와 후면부 바퀴들의 각속도를 나타내고 있다. 제안된 로봇의 전방향 이동성을 이용하여 복잡한 경로계획 없이 단순하고 효율적인 방식으로 평행주차할 수 있다는 것을 알 수 있다.

다음에는 제안된 네 바퀴 로봇의 전방향성과 회전 성능을 이용하여 일반주차를 수행하는 실험을 수행하였다.

Fig. 11은 로봇의 이동 과정을, Fig. 12는 바퀴

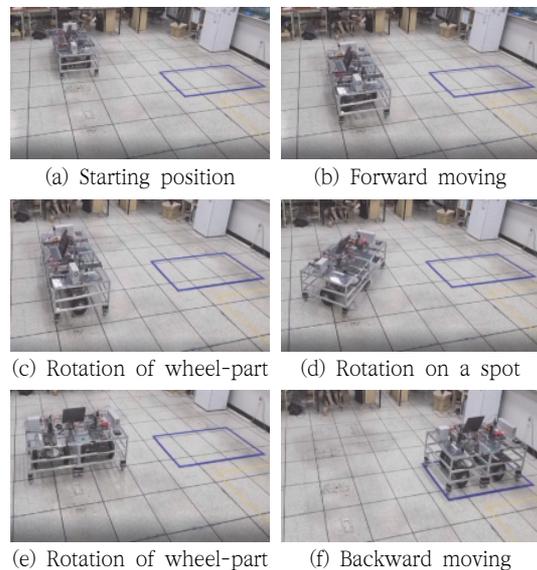
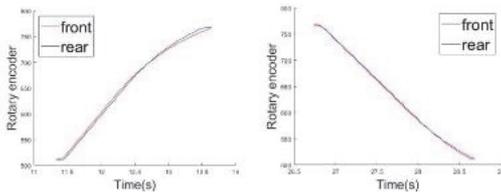


Fig. 11 Parking motion with rotation on the center of the robot body

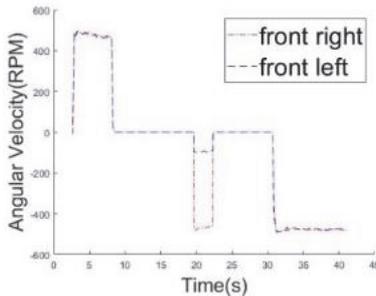
부의 방향과 각 바퀴의 각속도를 표시하였다. 실험에서는 로봇의 후면부가 주차 영역에 먼저 진입하도록 하였으며 Fig. 11의 (a)에서 아래쪽이 로봇의 전면부, 위쪽이 후면부이다. Fig. 11의 (b)에서 직진을 수행하고 (c)에서 로봇 중심점을 회전 중심으로 하여 회전할 수 있도록 두 개의 바퀴부를 회전시켜 일직선으로 위치시킨다. (d)에서 네 개의 바퀴를 회전시켜 제자리 회전을 수행한다. (e)에서 로봇의 회전이 완료된 후 로봇을 후진시킬 수 있도록 바퀴부를 회전시킨다. (f)에서 로봇을 후진시

켜 주차 동작을 완료한다.

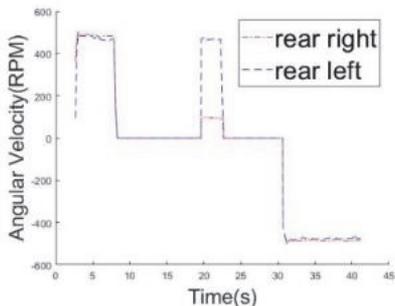
Fig. 11의 (c)단계와 (e)단계에서의 바퀴부 회전은 PID 위치제어에 의해 수행되며 이 때 바퀴부의 회전 각도를 나타내는 절대치 엔코더 값은 Fig. 12의 (a)에 표시되어 있는 바와 같이 512에서 90° 회전 한 768로 이동 후 다시 512로 이동하게 된다. Fig. 12의 (b)와 (c)는 전체 주차 동작 중 전자브레이크가 작동된 상태인 직진구간, 제자리 회전 구간, 후진 구간에서의 네 바퀴의 각속도를 나타낸다. 직진과 후진 구간에서는 전면부와 후면부의 좌우 바퀴의 각속도는 같고 제자리 회전 구간에서는 좌우 바퀴의 각속도는 식(1)과 같이 주어진다. 이 실험을 통하여 제안된 로봇의 전방향성과 회전 성능을 이용하여 복잡한 경로계획 없이 단순하고 효율적으로 일반 주차를 할 수 있다는 것을 알 수 있다.



(a) Absolute encoder reading



(b) Angular velocity of front part



(c) Angular velocity of rear part

Fig. 12 Encoder outputs and angular velocities of the four wheels

## 5. 결론

본 논문에서는 전자브레이크를 적용하여 로봇 몸체부와 바퀴부가 선택적으로 결합되거나 분리되는 구조를 갖는 네 바퀴 전방향 이동로봇을 제안하였다. 제안된 로봇은 두 개의 동일한 로봇 모듈이 서로 결합되어 있는 형태로서 로봇 몸체를 회전시키지 않으면서도 평면상의 어느 방향으로도 이동할 수 있는 전방향성을 갖는다. 또한 임의의 위치에 있는 회전 중심에 대한 로봇 몸체부의 회전도 가능한 동작 특성을 갖는다. 이러한 전방향성과 회전 특성으로 인하여 제안된 로봇의 구조는 자동차에 적용하였을 경우 다양한 형태의 동작이 가능하며 특히 주차 동작에 있어서 기존 자동차와 달리 복잡한 경로계획을 필요로 하지 않는 단순하고 직관적인 방식으로 주차 동작을 수행할 수 있다. 제안된 네 바퀴 로봇을 실제 제작하여 로봇의 전

방향성을 이용한 평행주차 실험과 로봇의 전방향성 및 회전 특성을 이용한 일반주차 실험을 수행함으로써 효용성을 검증하였다.

## 사 사

이 연구는 국립금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2022년도).

## 참고문헌

- [1] J. Kim, H. S. Kim, Y. H. Kim, S. Y. Jung, "Design of a stair cleaning robot using mecanum wheels," *Proc. of ICROS Annual Conference 2013*, pp.441-442, 2013.
- [2] G. Mourioux, C. Novales, G. Poisson, P. Vieyres, "Omni-directional robot with spherical orthogonal wheels: concepts and analyses," 2006 *IEEE International Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3374-3379, May, 2006.
- [3] Y. Ueno, T. Ohno, K. Terashima, "The development of driving system with differential drive steering system for omni-directional mobile robot," *Proc. of the 2009 IEEE International Conf. on Mechatronics and Automation*, pp. 1089-1094, August, 2009.
- [4] G. Mourioux, C. Novales, G. Poisson, P. Vieyres, "Omni-directional robot with spherical orthogonal wheels: concepts and analyses," 2006 *IEEE International Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3374-3379, May, 2006.
- [5] N. Ushimi, M. Yamamoto, and A. Mohri, "Two wheels caster type odometer for omni-directional vehicles," *Proc. of the 2003 IEEE International Conf. on Robotics & Automation*, pp. 497-502, Sep., 2003.
- [6] 문철우, 김재구, "새시 기술의 미래: e-코너 모듈," *기계저널*, 제 62권, 제 12호, pp.32-36, 2022
- [7] M. C. Kim and Y. W. Sung, "A Differential Drive Mobile Robot with Omnidirectionality," *The Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 69. No. 5, pp.698-705, 2020.

---

(접수: 2024.06.10. 수정: 2024.07.08. 게재확정: 2024.07.15.)